Κονδύλης Παναγιώτης

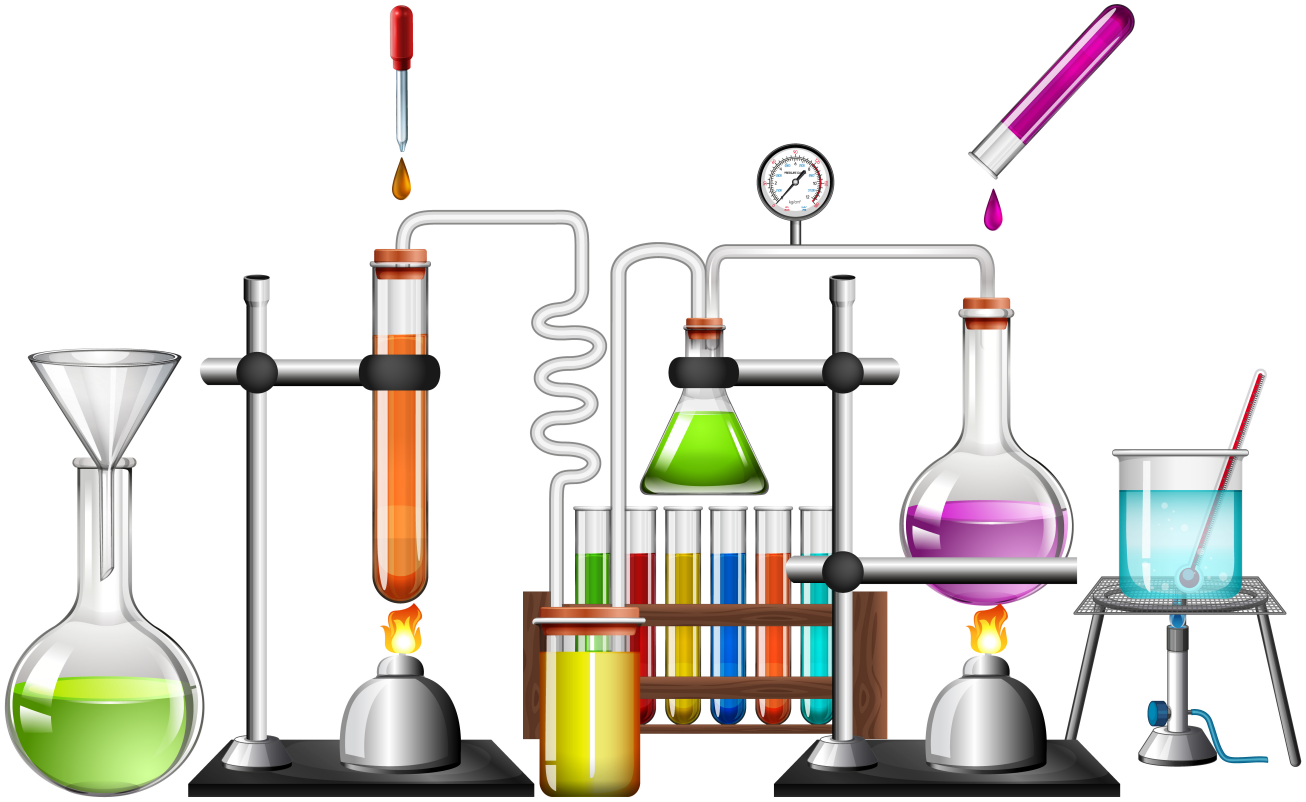
Λατζώνης Πολυνίκης

ΧΗΜΕΙΑ

Γ΄ ΛΥΚΕΙΟΥ

Τεύχος Γ1

2026 - 2027



1. Κβαντικοί αριθμοί και τροχιακά
2. Διαμοριακές δυνάμεις - Ώσμωση
3. Θερμοχημεία
4. Χημική κινητική
5. Χημική ισορροπία

Κονδύλης Παναγιώτης Λατζώνης Πολυνίκης

Χ Η Μ Ε Ι Α

Γ΄ ΛΥΚΕΙΟΥ

Τεύχος Γ1



Χημεία Γ΄ Λυκείου

Τεύχος Γ1

Παναγιώτης Γ. Κονδύλης, Ph.D.
6945-891908
pkondylis@hotmail.com

Πολυνίκης Δ. Λατζώνης
6944-735073
polyneices@gmail.com

Σεπτέμβριος 2026

http://chemistrytopics.xyz/

ΑΝΤΙ ΠΡΟΛΟΓΟΥ

«Παίζοντας» σωστά με τη Χημεία...

Ίσως να σας αρέσει η μουσική ή ίσως ένα συναρπαστικό άθλημα, όπως το ποδόσφαιρο ή η ιστιοσανίδα. Δε μπορείτε, όμως, ποτέ να μάθετε πιάνο πηγαίνοντας στο Μέγαρο μουσικής για ν' ακούσετε ένα κονσέρτο, ούτε μπορείτε να μάθετε να παίζετε ποδόσφαιρο βλέποντας τηλεόραση...

Με παρόμοιο τρόπο δεν μπορείτε να μάθετε Χημεία βλέποντας απλά κάποιον άλλον (π.χ. τον καθηγητή σας, στον πίνακα) να «κάνει» Χημεία. Ούτε διαβάζοντας αποσπασματικά ένα βιβλίο ή τις σημειώσεις σας. Όλα αυτά δεν είναι αρκετά, αν δεν μπορείτε να «κάνετε» Χημεία μόνοι σας.

Αυτό, όμως, απαιτεί εξάσκηση σε συνεχή βάση, που με τη σειρά του απαιτεί αυτοπειθαρχία μέχρις ότου γίνει συνήθεια.

Μπορεί κανείς εύκολα να πελαγώσει αν δεν βρίσκει τις γενικές αρχές σε κάθε ένα κεφάλαιο. Μαθαίνοντας κανείς τα γενικά χαρακτηριστικά και κανόνες σε κάθε θέμα, το πώς δηλαδή αυτό «δουλεύει» σε γενικές γραμμές, τον απελευθερώνει από την απομνημόνευση καθεμίας ερώτησης θεωρίας, καθεμίας εφαρμογής ξεχωριστά. Δένει όλες τις ιδέες μαζί και δεν «χάνεται» στις επιμέρους λεπτομέρειες.

Πολλοί μαθητές παλεύουν με τη Χημεία γιατί δεν στέκονται στο πώς συνδέονται τα διάφορα επιμέρους θέματα ενός κεφαλαίου το ένα με το άλλο, με το πώς οι ιδέες συνδέονται και κάθε μία άσκηση, κάθε ένα πρόβλημα το βλέπουν σαν μοναδικό. Παρατηρείστε για παράδειγμα πως όλα τα άτομα έχουν ορισμένες βασικές αρχές στην ηλεκτρονιακή τους δόμηση ή πως όλα τα οξέα και οι βάσεις συμπεριφέρονται ανάλογα στα υδατικά τους διαλύματα.

Μετά τη θεωρία και τις ερωτήσεις μαθαίνουμε να λύνουμε ασκήσεις και προβλήματα. «Μα πώς θα μπορέσω να το κάνω αυτό;» μπορεί να αναφωνήσει κάποιος, που ποτέ του δεν έχει καταλάβει τις ασκήσεις και τα προβλήματα της Χημείας. Η απάντηση είναι απλή: Δουλεύοντας τα παραδείγματα των ερωτήσεων, των ασκήσεων και των προβλημάτων! Θα υπάρχουν στα πλαίσια αυτού του βιβλίου αρκετά για να μην πλήξετε.

Μπορείτε, λοιπόν, να ακολουθήσετε το εξής μονοπάτι εργασίας: Διαβάστε ένα τμήμα ύλης (θεωρία), διαβάστε προσεκτικά τα παραδείγματα και στη συνέχεια πολεμήστε τις ασκήσεις και τα προβλήματα προς λύση (δεν είναι άλυτα, μπορούν να λυθούν από όλους τους προσεκτικούς αναγνώστες), που έχουν σχέση με το αντικείμενο που διαβάσατε. Οι ασκήσεις και τα προβλήματα θα σας βοηθήσουν να καταλάβετε, αν φτάσατε με επιτυχία στον προορισμό σας, μετά από κάθε κεφάλαιο.

Και μην ξεχνάτε ότι στη μάχη αυτή της γνώσης το βιβλίο είναι ο οδηγός, αλλά ο καθηγητής σας είναι ο μεγάλος σας σύμμαχος. Ζητείστε τη βοήθειά του, αν «κολλήσετε» σε ένα πρόβλημα ή μία άσκηση και δεν θυμάστε κάποια άλλη παρόμοια λυμένη. Γενικά, δεν είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό να χάσει κανείς δυσανάλογα πολύ χρόνο σε μία άσκηση, αν δεν «βγαίνει». Εκτός, αν δεν το βλέπει κανείς σαν υποχρέωση, αλλά 'just for having fun'... Γιατί:

Η Χημεία μπορεί να γίνει διασκέδαση, ένα χόμπι. Αν το καταλάβετε αυτό, θα είναι το καλύτερο μάθημα από όλα.

Οι συγγραφείς

Στον Γιώργο, στον Δημήτρη, στον Παναγιώτη ...

... και στους μαθητές μας, που η περιέργεια και ο ενθουσιασμός τους μας δίνουν ιδέες
και οι ερωτήσεις τους συχνά μας διδάσκουν τη διδακτική της Χημείας ...

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ, ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΤΟΜΟ Γ1

Σε κάθε ένα κεφάλαιο να κάνετε όλες τις ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής και τις ερωτήσεις του τύπου Σωστό - Λάθος. Είναι αυτές που θα σας βοηθήσουν να κατανοήσετε καλά την αντίστοιχη θεωρία. Μπορείτε να κάνετε κατά προτεραιότητα τις παρακάτω ερωτήσεις, ασκήσεις και προβλήματα (ανά κεφάλαιο).

Κεφάλαιο 1: **1.1-1.15**, **1.19**, 1.20, 1.24, 1.26, **1.30**, 1.32

Κεφάλαιο 2: **2.1-2.19**, 2.22, 2.25, 2.27, 2.29

Κεφάλαιο 3: **3.1-3.30**, **3.36**, 3.41, 3.43, 3.46, 3.47, 3.50-3.52, 3.54, 3.58

Κεφάλαιο 4: **4.1-4.12**, 4.14, 4.18, 4.22, 4.25, 4.30, 4.34, 4.35, 4.36, 4.38

Κεφάλαιο 5: **5.1-5.17**, **5.19**, 5.21, 5.22, 5.27, 5.30, 5.34, 5.35, 5.39, 5.40, 5.42, 5.46

Κεφάλαιο 6: **6.1-6.22**, 6.25, 6.27, 6.31, 6.33, 6.34, 6.36, 6.37, 6.38, 6.40, 6.42

Κεφάλαιο 7: **7.1-7.29**, 7.31, 7.33, 7.34, 7.38, 7.39, 7.42, **7.47**

Κεφάλαιο 8: **8.1-8.15**, 8,17, 8.19, 8.23, 8.27-8.32, 8.34-8.40

Κεφάλαιο 9: **9.1-9.22**, 9.25, 9.29, 9.32, 9.33, 9.35, 9.36, 9.38, 9.40, 9.42, 9.44-9.46, 9.48-9.50, 9.52, 9.53, 9.55-9.57, 9.59, 9.61-9.63

Κεφάλαιο 10: **10.1-10.13**, 10.14-10.18, 10.20, 10.22, 10.24-10.25, 10.27-10.29, 10.31, 10.32, 10.36, 10.38

Κεφάλαιο 11: **11.1-11.25**, 11.27, 11.29, 11.30, 11.32, 11.35, 11.36-11.40

Κεφάλαιο 12: **12.1-12.16**, 12.18-12.22, 12.25, 12.29, 12.31, 12.32, 12.34, 12.36, 12.37, 12.38, 12.39, 12.41, 12.43, 12.45

Κεφάλαιο 13: **13.1-13.15**, 13.17, 13.18, 13.19-13.21, 13.23, 13.25-13.28, 13.30-13.32, 13.35

Κεφάλαιο 14: **14.1-14.21**, 14.24-24.26, 14.27-14.33, 14.36, 14.37

Κεφάλαιο 15: **15.1-15.12**, 15.14, 15.16-15.18, 15.25, 15.26, 15.31, 15.33-15.34, 15.39-15.41, 15.44-15.48, 15.50, 15.52-15.56, 15.58-15.76, 15.77, **15.78**, 15.80

Περιεχόμενα

1 Ατομικό πρότυπο του Bohr

1. Ποιες θεωρίες εξηγούν τη φύση του φωτός; 3
2. Συνεχή και γραμμικά φάσματα εκπομπής 4
3. Πλανητικά μοντέλα - Το ατομικό πρότυπο του Bohr 5
4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της θεωρίας του Bohr 6
5. Η κυματική θεωρία της ύλης του de Broglie 7
6. Αρχή αβεβαιότητας (απροσδιοριστίας) του Heisenberg 8

Παραδείγματα ερωτήσεων και ασκήσεων 9
Ερωτήσεις και Ασκήσεις 13
Χημεία και τέρατα 16
Φυλλάδιο εργασίας 1 17

2 Κβαντικοί Αριθμοί και Τροχιακά

1. Το κβαντομηχανικό πρότυπο για το άτομο του υδρογόνου 19
2. Ο κύριος κβαντικός αριθμός (n) 20
3. Ο αζιμουθιακός (δευτερεύων) κβαντικός αριθμός (l) 20
4. Ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός (m_l) 21
5. Στιβάδες, υποστιβάδες και τροχιακά 21
6. Οι δυνατές καταστάσεις για το άτομο του Η 22
7. Ο κβαντικός αριθμός του spin (m_s) 23
8. Γραφικές παραστάσεις τροχιακών - Ηλεκτρονιακά νέφη 23
9. Σχήματα των s και p τροχιακών 25

Παραδείγματα ερωτήσεων και ασκήσεων 25
Ερωτήσεις και Ασκήσεις 29
Χημεία και τέρατα 30
Φυλλάδιο εργασίας 2 31

3 Αρχές δόμησης πολυηλεκτρονιακών ατόμων

1. Οι ενέργειες των υποστιβάδων στα πολυηλεκτρονιακά άτομα 33

2. Σύγκριση των ενεργειών των διαφόρων υποστιβάδων 33
3. Οι αρχές δόμησης στα πολυηλεκτρονιακά άτομα (aufbau) 34
4. Η απαγορευτική αρχή του Pauli 34
5. Αρχή ελάχιστης ενέργειας 35
6. Ο κανόνας του Hund 36
7. Η διαδικασία της ηλεκτρονιακής δόμησης 37
8. Ηλεκτρονιακές δομές των κατιόντων και των ανιόντων 37
9. Ενέργειες των υποστιβάδων ενός ατόμου 38
10. Αποκλίσεις από τη σειρά πλήρωσης των υποστιβάδων 38
11. Θεμελιώδεις, διεγερμένες και αδύνατες καταστάσεις 39

Παραδείγματα ερωτήσεων και ασκήσεων 39
Ερωτήσεις και Ασκήσεις 43
Χημεία και τέρατα 48
Φυλλάδιο εργασίας 3 49

4 Δομή του Περιοδικού Πίνακα

1. Ανάλυση του σύγχρονου Περιοδικού Πίνακα (Π.Π.) 51
2. Ηλεκτρονιακές δομές και Π.Π. 52
3. Οι τομείς του περιοδικού πίνακα 53
4. Σειρά πλήρωσης των υποστιβάδων στον Π.Π. 54
5. Οι χημικές ιδιότητες των στοιχείων με βάση τον Π.Π. 55
6. Τα οξείδια της 3ης περιόδου 56
7. Τα χλωρίδια της 3ης περιόδου του Π.Π. 57
8. Τα στοιχεία μετάπτωσης 57

Παραδείγματα ερωτήσεων και ασκήσεων 58
Ερωτήσεις και Ασκήσεις 61
Χημεία και τέρατα 64
Φυλλάδιο εργασίας 4 65

5 Μεταβολή ορισμένων περιοδικών ιδιοτήτων

1. Τι είναι το δραστικό πυρηνικό φορτίο (Z_{eff}); 67
2. Πώς μεταβάλλεται η ατομική ακτίνα στον Π.Π.; 67
3. Πώς επηρεάζονται οι ακτίνες των ιόντων των στοιχείων; 69
4. Τι είναι η ενέργεια ιοντισμού; 69
5. Διαδοχικές ενέργειες ιοντισμού. 70
6. Πώς μεταβάλλεται η ενέργεια ιοντισμού στον Π.Π.; 71
7. Πώς αποσπώνται ηλεκτρόνια από τα στοιχεία μετάπτωσης; 72
8. Πώς μεταβάλλεται η ηλεκτραρνητικότητα στον Π.Π.; 72

9. Πώς μεταβάλλονται οι ιδιότητες των στοιχείων με βάση τον Π.Π.; 73
10. Αιτιολογήσεις 73

Παραδείγματα ερωτήσεων και ασκήσεων 74
Ερωτήσεις και Ασκήσεις 77
Χημεία και τέρατα 81
Φυλλάδιο εργασίας 5 82
Διαγώνισμα 1: Ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων και περιοδικός πίνακας 85

6 Θεωρία Δεσμού Σθένους - Υβριδισμός

1. Η Θεωρία Δεσμού Σθένους 89
2. Η θεωρία των μοριακών τροχιακών 90
3. Δεσμοί σ (σίγμα) 90
4. Δεσμοί π (πι) 91
5. Μεθοδολογία: Εύρεση του αριθμού των σ και π δεσμών από το μοριακό τύπο 91
6. Υβριδισμός γενικά – Υβριδισμός (sp^3: Τετραεδρική γεωμετρία 92
7. Υβριδισμός sp^2: Επίπεδη τριγωνική γεωμετρία 93
8. Υβριδισμός sp: Γραμμική γεωμετρία 94

Παραδείγματα ερωτήσεων και ασκήσεων 95
Ερωτήσεις και Ασκήσεις 102
Φυλλάδιο εργασίας 6 106
Διαγώνισμα 2: Ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων - Υβριδισμός 109

7 Διαμοριακές δυνάμεις

1. Οι χημικοί δεσμοί 115
2. Δίπολα μόρια - Διπολική ροπή 116
3. Διαμοριακές δυνάμεις 117
4. Δυνάμεις διπόλου - διπόλου 118
5. Δυνάμεις διασποράς ή δυνάμεις London 119
6. Δεσμός υδρογόνου 119
7. Σύγκριση της ισχύος των διαφόρων δεσμών 124
8. Επίδραση των διαμοριακών δυνάμεων στις ιδιότητες της ύλης 124
9. Δεσμοί ιόντος - διπόλου μορίου 125
10. Συμπληρωματικό θέμα: Δυνάμεις διπόλου - στιγμιαίου διπόλου (δυνάμεις Debye). ... 125

Παραδείγματα ερωτήσεων 126
Ερωτήσεις και Ασκήσεις 128
Χημεία και τέρατα 130
Φυλλάδιο εργασίας 7 131

8 Ώσμωση και ωσμωτική πίεση

1. Εισαγωγή 137
2. Περιγραφή του φαινομένου της ώσμωσης 138
3. Ωσμωτική πίεση 138
4. Από τι εξαρτάται η ωσμωτική πίεση διαλύματος - Νόμος van't Hoff 140
5. Εφαρμογές της ώσμωσης 140
6. Μεθοδολογία προβλημάτων στην ωσμωτική πίεση 141

Παραδείγματα ασκήσεων και προβλημάτων 142
Ερωτήσεις - Ασκήσεις - Προβλήματα 147
Χημεία και τέρατα 151
Φυλλάδιο εργασίας 8 152
Διαγώνισμα 3: Διαμοριακές δυνάμεις - Ώσμωση 155

9 Θερμοχημεία

1. Εξώθερμες και ενδόθερμες αντιδράσεις 161
2. Ενθαλπία αντίδρασης (ΔΗ) 162
3. Από τι εξαρτάται η ενθαλπία μιας αντίδρασης (ΔΗ); 164
4. Πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού μιας ένωσης 165
5. Πρότυπη ενθαλπία καύσης 166
6. Πρότυπη ενθαλπία εξουδετέρωσης 167
7. Νόμοι της Θερμοχημείας 169

Παραδείγματα ασκήσεων και προβλημάτων 172
Ερωτήσεις και Προβλήματα 178
Χημεία και τέρατα 184
Φυλλάδιο εργασίας 9 185
Διαγώνισμα 4: Θερμοχημεία 187

10 Χημική κινητική (1) - Ορισμός ταχύτητας αντίδρασης

1. Τι είναι η χημική κινητική 193
2. Θεωρία των συγκρούσεων 193
3. Θεωρία της μεταβατικής κατάστασης 194
4. Ορισμός της ταχύτητας αντίδρασης 195
5. Καμπύλες αντίδρασης 197
6. Γραφικός υπολογισμός της μέσης και της στιγμιαίας ταχύτητας 199

Παραδείγματα ασκήσεων 200
Ερωτήσεις και Ασκήσεις 207
Χημεία και τέρατα 212
Φυλλάδιο εργασίας 10 213

11 Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα αντίδρασης - Καταλύτες

1. Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα αντίδρασης 217
2. Καταλύτες 219
3. Πώς ερμηνεύεται η δράση των καταλυτών; 220
4. Ένζυμα ή βιοκαταλύτες 222

Παραδείγματα ασκήσεων 222
Ερωτήσεις και Ασκήσεις 227
Χημεία και τέρατα 233
Φυλλάδιο εργασίας 11 234

12 Χημική κινητική - Νόμος ταχύτητας

1. Απλές και πολύπλοκες αντιδράσεις - Μηχανισμός αντίδρασης 237
2. Νόμος ταχύτητας αντίδρασης 238
3. Μεθοδολογία ασκήσεων: Μέθοδος των αρχικών ταχυτήτων 240
4. Μεθοδολογία ασκήσεων: Ταχύτητα αντίδρασης, διαγράμματα 241

Λυμένες ερωτήσεις και ασκήσεις 242
Ερωτήσεις και Ασκήσεις 247
Χημεία και τέρατα 252
Φυλλάδιο εργασίας 12 253
Διαγώνισμα 5: Χημική κινητική 255
Διαγώνισμα 6: Διαμοριακές δυνάμεις - Ώσμωση - Θερμοχημεία - Χημική κινητική 259

13 Χημική ισορροπία - Απόδοση αντίδρασης

1. Μονόδρομες ή ποσοτικές αντιδράσεις 265
2. Αμφίδρομες αντιδράσεις - Χημική ισορροπία 265
3. Βασικά χαρακτηριστικά μιας χημικής ισορροπίας 267
4. Απόδοση μιας χημικής αντίδρασης 269

Παραδείγματα ασκήσεων 271
Ερωτήσεις και Ασκήσεις 275
Χημεία και τέρατα 279
Φυλλάδιο εργασίας 13 280

14 Χημική ισορροπία - Αρχή Le Chatelier

1. Εισαγωγή 283
2. Παράγοντες που επηρεάζουν τη θέση μιας χημικής ισορροπίας 284
3. Η συγκέντρωση ως παράγοντας της χημικής ισορροπίας 284

4. Η πίεση ως παράγοντας της χημικής ισορροπίας 285
5. Η θερμοκρασία ως παράγοντας της χημικής ισορροπίας 287
6. Εισαγωγή αδρανούς αερίου σε μία χημική ισορροπία 288
7. Επίδραση καταλύτη στη θέση μιας χημικής ισορροπίας 288
8. Αρχή Le Chatelier και διαγράμματα συγκεντρώσεων και ταχυτήτων 289
9. Μετατόπιση μιας χημικής ισορροπίας με αραίωση του διαλύματος 290

Παραδείγματα ασκήσεων 291
Ερωτήσεις και Ασκήσεις 295
Χημεία και τέρατα 300
Φυλλάδιο εργασίας 14 301

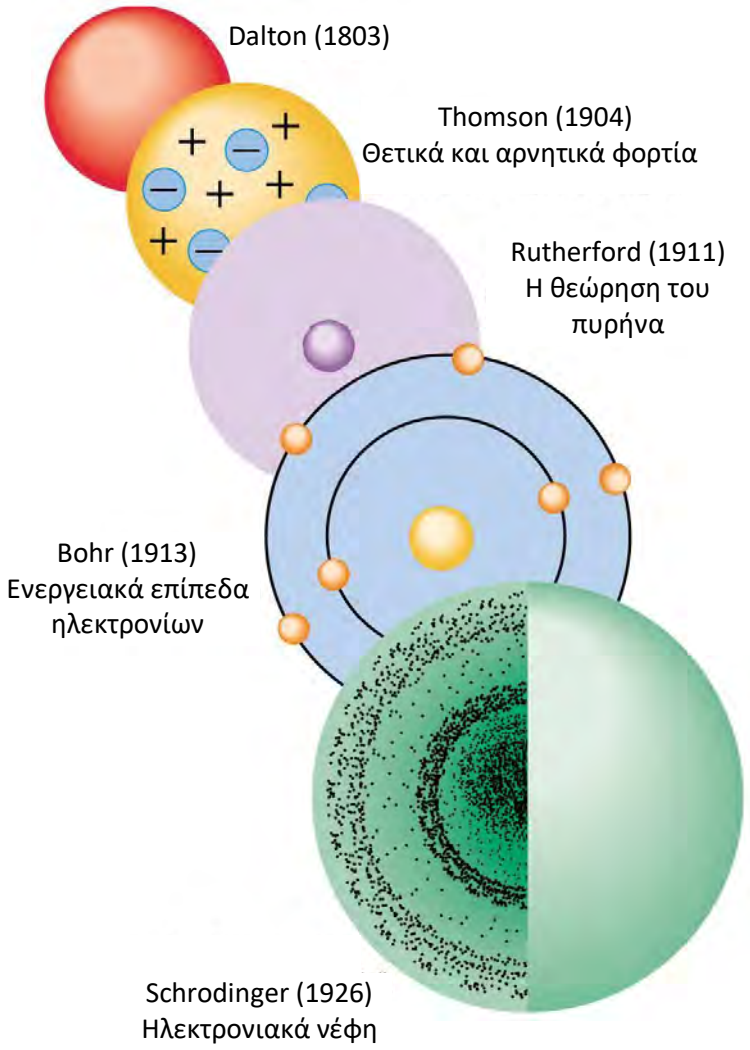
15 Χημική ισορροπία - Σταθερά χημικής ισορροπίας

1. Νόμος χημικής ισορροπίας 305
2. Κινητική απόδειξη του νόμου της χημικής ισορροπίας 306
3. Παραδείγματα του νόμου Χ.Ι. - Μονάδες της K_c 307
4. Επίδραση ενός καταλύτη στη σταθερά μιας χημικής ισορροπίας 308
5. Μεθοδολογία: Υπολογισμοί με βάση τη σταθερά K_c 308
6. Μεθοδολογία: Μετατόπιση της θέσης της Χ.Ι. 309
7. Προς ποια κατεύθυνση εξελίσσεται αντίδραση; 310
8. Μεθοδολογία (1): Προβλήματα Χ.Ι. με βάση την Αρχή Le Chatelier 311
9. Μεθοδολογία (2): Μεταβολή της απόδοσης με την προσθήκη επιπλέον ποσότητας αντιδρώντος 312
10. Μεθοδολογία (3): Ισορροπία κατανομής μιας διαλυμένης ουσίας σε μίγμα δύο μη αναμιγνυόμενων διαλυτών 312

Παραδείγματα ασκήσεων και γενικών προβλημάτων 313
Ερωτήσεις και Ασκήσεις 324
Χημεία και τέρατα 332
Φυλλάδιο εργασίας 15 333
Διαγώνισμα 7: Χημική ισορροπία 339
Διαγώνισμα 8: Ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων και περιοδικός πίνακας - Διαμοριακές δυνάμεις - Ώσμωση - Θερμοχημεία - Χημική κινητική - Χημική ισορροπία 343
Διαγώνισμα 9: Ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων και περιοδικός πίνακας - Διαμοριακές δυνάμεις - Ώσμωση - Θερμοχημεία - Χημική κινητική - Χημική ισορροπία 347

Απαντήσεις 351

Ηλεκτρονιακή Δομή των Ατόμων και Περιοδικός Πίνακας

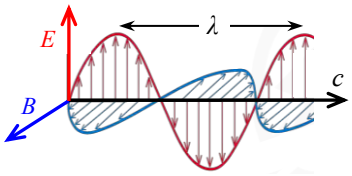




1 Ατομικό πρότυπο του Bohr Εισαγωγή στην κβαντική θεωρία

ΘΕΜΑΤΑ ΘΕΩΡΙΑΣ

1. Ποιες θεωρίες εξηγούν τη φύση του φωτός;



Η θεωρία της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Maxwell, 1865) δέχεται ότι το φως διαδίδεται ως ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό κύμα οι εντάσεις των οποίων μεταβάλλονται χρονικά με τη μορφή ημιτονοειδών συναρτήσεων σε επίπεδα κάθετα μεταξύ τους. Η θεωρία ερμηνεύει πολλές ιδιότητες της ακτινοβολίας, δεν εξηγεί όμως την επίδραση του φωτός πάνω στην ύλη π.χ. το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

Ο όρος φωτόνιο δόθηκε από τον Gilbert Lewis στο Πανεπιστήμιο Berkeley το 1926, πολύ αργότερα από την αρχική υπόθεση του Planck.

Όταν το φως αλληλοεπιδρά με την ύλη συμπεριφέρεται ως ροή σωματιδίων (φωτόνια) ενώ όταν διαδίδεται στο χώρο συμπεριφέρεται ως (ηλεκτρομαγνητικό) κύμα.

Η κυματική θεωρία του φωτός. Σύμφωνα με την κυματική θεωρία, το φως είναι ηλεκτρομαγνητικό κύμα που παράγεται από μία φωτεινή πηγή και διαδίδεται στο χώρο με σταθερή ταχύτητα ($c \approx 3 \cdot 10^8$ m·s^{-1}, στο κενό) μεταφέροντας ενέργεια. Τα διάφορα είδη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (ακτίνες γ, ακτίνες Χ, υπεριώδης, ορατή, υπέρυθρη, μικροκύματα, ραδιοκύματα) διαφοροποιούνται ως προς το μήκος κύματος (λ) και ως προς συχνότητά τους (ν ή f). Τα μεγέθη αυτά συνδέονται με το θεμελιώδη νόμο της κυματικής:

$$c = \lambda \cdot \nu$$

Η κβαντική θεωρία του φωτός. Αν και πολλά από τα φαινόμενα του φωτός μπορούσαν να εξηγηθούν με βάση την κυματική θεωρία, υπήρχαν και άλλα φαινόμενα που δεν μπορούσαν να εξηγηθούν με τη θεωρία αυτή. Το 1900 ο Γερμανός φυσικός Max Planck θεώρησε ότι η φωτεινή ενέργεια που ακτινοβολείται από ένα θερμαινόμενο σώμα δεν εκπέμπεται σε συνεχή ροή αλλά με τη μορφή αυτοτελών ποσοτήτων (κβάντων φωτός) η ενέργεια των οποίων είναι ανάλογη με τη συχνότητα (ν) της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Η ενέργεια ενός τέτοιου κβάντου φωτός δίνεται από τη σχέση:

$$E = h \cdot \nu$$

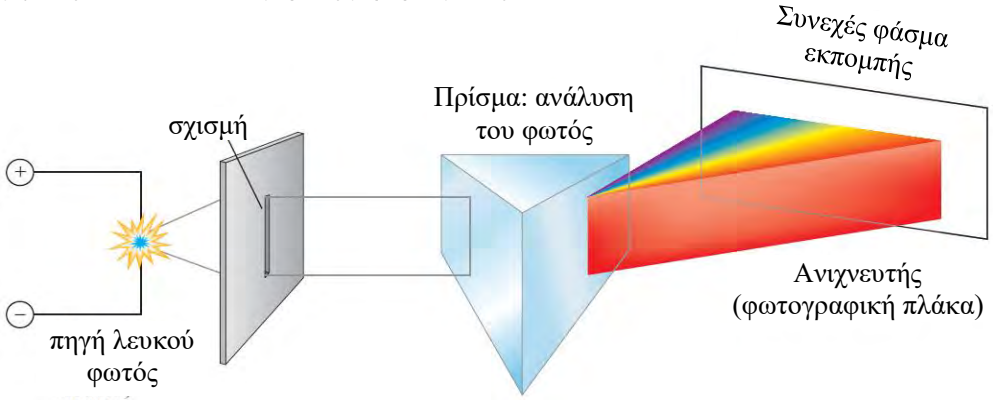
όπου $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J·s η σταθερά του Planck και ν ή f η συχνότητα της ακτινοβολίας σε s^{-1} (Hz). Το 1905 ο Einstein γενίκευσε την υπόθεση του Planck θεωρώντας ότι η ακτινοβολία μιας συγκεκριμένης συχνότητας (ν), με όποιο τρόπο και να παράγεται, διαδίδεται στο χώρο με τη μορφή φωτονίων που το καθένα έχει συγκεκριμένη ενέργεια $E = h \cdot \nu$ και ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του φωτός (c). Σύμφωνα, λοιπόν, με την κβαντική θεωρία του φωτός:

«Η ακτινοβολία εκπέμπεται ή απορροφάται όχι κατά τρόπο συνεχή, αλλά κατά «πακέτα» ενέργειας (κβάντα ή φωτόνια), δηλαδή κατά ορισμένες τιμές ενέργειας».

Έτσι, σύμφωνα με την κβαντική θεωρία, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διαδίδεται στο χώρο με την ταχύτητα του φωτός (c) και περιγράφεται ως ροή σωματιδίων (φωτονίων), καθένα από τα οποία μεταφέρει πακέτο ενέργειας ανάλογο με τη συχνότητα της ακτινοβολίας.

2. Συνεχή και γραμμικά φάσματα εκπομπής

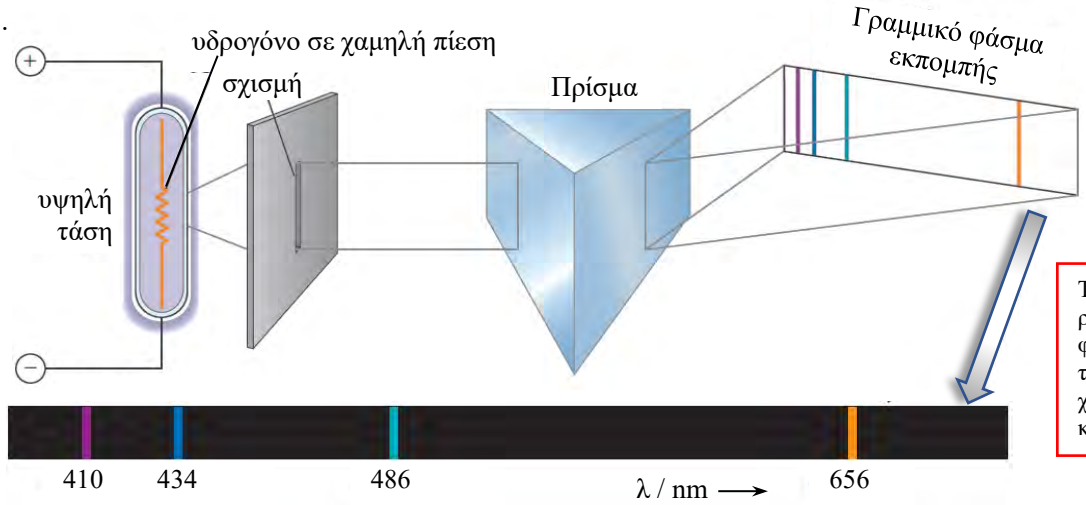
Το σύνολο των ακτινοβολιών που εκπέμπει μία φωτεινή πηγή ονομάζεται φάσμα εκπομπής της πηγής αυτής. Τα φάσματα εκπομπής διακρίνονται σε συνεχή και γραμμικά. Σε **συνεχές φάσμα εκπομπής** αντιστοιχεί για παράδειγμα το λευκό φως που παράγεται από ένα κοινό λαμπτήρα πυράκτωσης και μπορεί να αναλυθεί σε μια συνεχή ταινία στην οποία εμφανίζονται όλα τα επιμέρους μήκη κύματος.



Το συνεχές φάσμα εκπομπής είναι μία συνεχής ταινία (περιοχή συχνοτήτων) με όλα τα ενδιάμεσα μήκη κύματος.

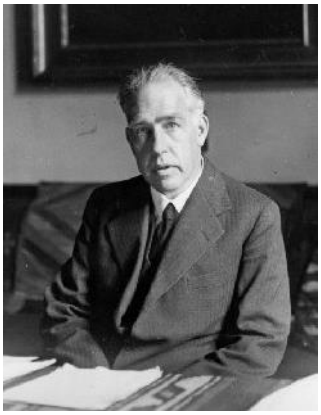
Σχήμα 1. *(Συνεχές) Φάσμα εκπομπής λευκού φωτός. Ένα τυπικό ανθρώπινο μάτι ανταποκρίνεται στην περιοχή 380 - 750 nm.*

Ένα αέριο σε χαμηλή πίεση, όταν διεγερθεί (π.χ. με ηλεκτρική εκκένωση) εκπέμπει ακτινοβολία. Με την ανάλυση της ακτινοβολίας αυτής προκύπτει μια σειρά από φασματικές γραμμές καθεμία από τις οποίες αντιστοιχεί σε διακριτό (συγκεκριμένο) μήκος κύματος. Το σύνολο των φασματικών αυτών γραμμών ονομάζεται **γραμμικό φάσμα εκπομπής** του αερίου. Το πιο απλό φάσμα παράγεται από τα άτομα υδρογόνου, στο οποίο εμφανίζονται διακριτά μήκη κύματος όχι μόνο στην περιοχή του ορατού φωτός αλλά και σε περιοχές μη ορατής ακτινοβολίας (υπεριώδη, υπέρυθρη κτλ.).



Τα στοιχεία με τη μορφή αερίου δίνουν επίσης γραμμικά φάσματα εκπομπής, που αποτελούνται από διακριτές συχνότητες χαρακτηριστικές για κάθε στοιχείο.

Σχήμα 2. *Οι γραμμές του φάσματος εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου που αντιστοιχούν στην ορατή ακτινοβολία αποτυπωμένες σχηματικά σε φωτογραφική πλάκα. Το σύνολο των ακτινοβολιών του ορατού φάσματος αναφέρεται ως σειρά Balmer και αποτελεί μικρό μόνο μέρος του φάσματος εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου.*



Niels Bohr. Βραβείο Nobel Φυσικής το 1922 «για την έρευνα στη δομή των ατόμων και τις ακτινοβολίες που προέρχονται από αυτά». Προς τιμή του ονομάστηκε το στοιχείο $_{107}$Ns του Περιοδικού Πίνακα.

3. Πλανητικά μοντέλα - Το ατομικό πρότυπο του Bohr για το άτομο του υδρογόνου

Στα τέλη του 19ου αιώνα οι επιστήμονες ανακάλυψαν το ηλεκτρόνιο ως συστατικό του ατόμου αλλά δεν μπορούσαν να καταλάβουν το ρόλο του, το είδος της ενέργειας που σχετίζονταν με αυτό αλλά και τη σημασία του στη Χημεία. Αργότερα ο Rutherford ανακάλυψε τον πυρήνα ως βασικό συστατικό του ατόμου και πρότεινε το πρώτο ουσιαστικά ατομικό πρότυπο το 1911. Σύμφωνα με αυτό, όλη σχεδόν η μάζα του ατόμου και πάντως όλο το θετικό φορτίο είναι στον πυρήνα ενώ τα ηλεκτρόνια περιστρέφονται γύρω του καταλαμβάνοντας τον υπόλοιπο χώρο του ατόμου (πλανητικό μοντέλο). Όμως, το πρότυπο αυτό δεν εξηγεί τα γραμμικά φάσματα εκπομπής των ατόμων.

Ο Bohr μελέτησε τα γραμμικά φάσματα εκπομπής των αερίων και το 1913 πρότεινε ένα ατομικό πρότυπο για το άτομο του Η, υιοθετώντας την υπόθεση των Planck - Einstein για την κβαντική φύση του φωτός. Θεώρησε δύο συνθήκες, τη μηχανική και την οπτική.

1η συνθήκη (μηχανική συνθήκη): *Τα ηλεκτρόνια κινούνται γύρω από τον πυρήνα σε ορισμένες μόνο επιτρεπόμενες κυκλικές τροχιές. Κάθε μία από τις τροχιές αυτές έχει καθορισμένη ενέργεια, με άλλα λόγια η ενέργεια του ηλεκτρονίου είναι κβαντισμένη.*

Ο Bohr απέδειξε ότι οι διακριτές τιμές ενέργειας που μπορεί να πάρει το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου δίνονται από τη σχέση:

$$E_n = -\frac{2{,}18\cdot10^{-18}}{n^2}\ \text{J}$$

Η σταθερά $2{,}18\cdot10^{-18}$ συμπεριλαμβάνει τις τιμές της μάζας του ηλεκτρονίου, του φορτίου του ηλεκτρονίου, της διηλεκτρικής σταθεράς (ε_o) και της σταθεράς του Planck. Αναφέρεται ως σταθερά Rydberg (σε μονάδες ενέργειας).

Ο ακέραιος αριθμός n = 1, 2, 3 κτλ. λέγεται **(κύριος) κβαντικός αριθμός** και αντιστοιχεί στις διάφορες επιτρεπόμενες κυκλικές τροχιές του ηλεκτρονίου. Για n = 1 αντιστοιχεί η πλησιέστερη τροχιά στον πυρήνα που συμβολίζεται με Κ και διαθέτει τη χαμηλότερη ενέργεια (**θεμελιώδης** ή βασική κατάσταση του ηλεκτρονίου). Οι επόμενες τροχιές (στιβάδες ή φλοιοί) χαρακτηρίζονται με n = 2, 3, 4, 5 κτλ. και συμβολίζονται κατά σειρά με L, M, N, O κτλ. Στις τροχιές αυτές το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου διαθέτει όλο και μεγαλύτερη ενέργεια, λέμε δε ότι το άτομο βρίσκεται σε διεγερμένη κατάσταση.

Κβάντωση και διακριτότητα. Ένα φυσικό μέγεθος Μ λέμε ότι είναι κβαντωμένο όταν παίρνει τιμές που είναι όλες τους ακέραια πολλαπλάσια μιας στοιχειώδους ποσότητας μ (Μ = Ν·μ). Όταν πάλι λέμε ότι ένα φυσικό μέγεθος παίρνει διακριτές τιμές εννοούμε ότι οι τιμές αυτές δεν είναι συνεχείς, αλλά αποτελούν μέλη μιας ακολουθίας. Π.χ. το φορτίο q = Ν·e είναι κβαντωμένο ενώ η ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου παίρνει διακριτές τιμές:

$$E_n = -\frac{2{,}18\cdot10^{-18}}{n^2}$$

Το νόμισμα του ευρώ είναι κβαντωμένο, με κβάντο το ένα λεπτό. Υπάρχει το μονόλεπτο, το δίλεπτο αλλά δεν υπάρχει το 1,5λεπτο!

Η ενέργεια του ηλεκτρονίου του ατόμου του υδρογόνου είναι αρνητική, καθώς έλκεται από τον πυρήνα και επομένως απαιτείται ενέργεια για την απόσπασή του. Με την αύξηση της τιμής του n, η ενέργεια γίνεται λιγότερο αρνητική και επομένως αυξάνεται. Θεωρητικά, για $n \to \infty$ η ενέργεια του ηλεκτρονίου παίρνει την τιμή 0, που είναι η μέγιστη δυνατή και αντιστοιχεί στην απελευθέρωσή του από την έλξη του πυρήνα. Το φαινόμενο χαρακτηρίζεται ως ιοντισμός και έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό του κατιόντος H^+.

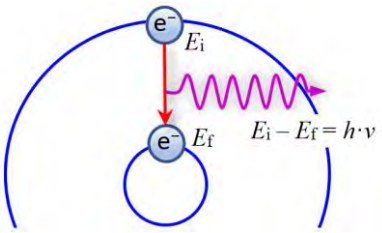
2η συνθήκη (οπτική συνθήκη): *Το ηλεκτρόνιο ενός ατόμου εκπέμπει ενέργεια υπό μορφή ακτινοβολίας, μόνον όταν μεταπηδήσει από τροχιά μεγαλύτερης ενέργειας E_i σε τροχιά μικρότερης ενέργειας E_f.*

Το ηλεκτρόνιο σε μία συγκεκριμένη στιβάδα έχει σταθερή ενέργεια. Όταν απορροφήσει κατάλληλη ενέργεια μεταπηδά σε στιβάδα υψηλότερης ενέργειας αλλά σχεδόν ακαριαία επιστρέφει στη θεμελιώδη κατάσταση είτε απευθείας είτε μέσω ενδιάμεσων στιβάδων. Για παράδειγμα, ένα ηλεκτρόνιο στη στιβάδα Μ (n = 3) μπορεί να μεταπέσει στη στιβάδα L (n = 2) εκπέμποντας φωτόνιο και μετά στην Κ (n = 1) εκπέμποντας άλλο ένα φωτόνιο.

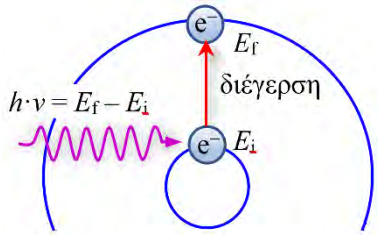
Η διαφορά ενέργειας $\Delta E = E_i - E_f$ ($E_i > E_f$) μεταξύ των δύο ενεργειακών στιβάδων εκπέμπεται με τη μορφή ενός φωτονίου. Από τις σχέσεις $\Delta E = h \cdot \nu$ και $c = \lambda \cdot \nu$, προκύπτει:

$$E_i - E_f = \frac{h \cdot c}{\lambda},$$

όπου λ το μήκος κύματος και h η σταθερά του Planck. Αντίθετα, η μετάβαση ενός ηλεκτρονίου από στιβάδα μικρότερης ενέργειας σε στιβάδα μεγαλύτερης ενέργειας απαιτεί απορρόφηση ενέργειας, $\Delta E = h \cdot \nu$, όπου $\Delta E = E_f - E_i$ (στην περίπτωση αυτή $E_f > E_i$).



Εκπομπή ακτινοβολίας προκύπτει όταν το άτομο σε διεγερμένη αποβάλλει ενέργεια με τη μορφή φωτονίων ώστε να επιστρέψει στη θεμελιώδη κατάσταση ή σε στάθμη χαμηλότερης ενέργειας.



Εφαρμογή 1

Να υπολογιστεί το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που προκύπτει κατά τη μετάπτωση του ηλεκτρονίου του ατόμου του υδρογόνου από τη στιβάδα Μ στη στιβάδα L.
Δίνονται: $c = 3 \cdot 10^8$ m·s^{-1}, και $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J·s.

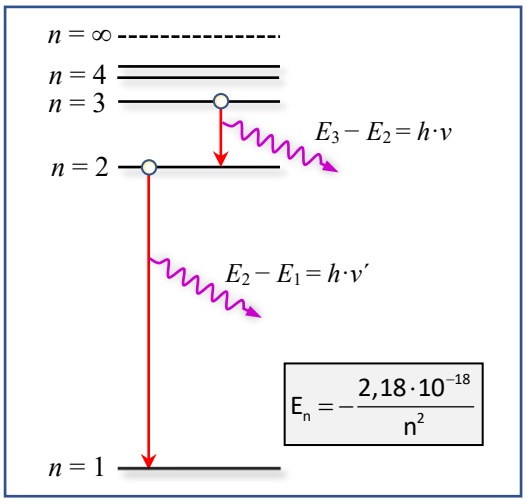
Υπολογίζουμε τη διαφορά ενέργειας ($\Delta E = E_3 - E_2$) που αντιστοιχεί στη μετάπτωση από τη στιβάδα Μ ($n = 3$) στη στιβάδα L ($n = 2$):

$$\Delta E = E_3 - E_2 = -\frac{2{,}18 \cdot 10^{-18}}{3^2} + \frac{2{,}18 \cdot 10^{-18}}{2^2} = \frac{5}{36} \cdot 2{,}18 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

Αυτή η διαφορά ενέργειας αντιστοιχεί στην ενέργεια του φωτονίου και επομένως ισχύει:

$$\Delta E = \frac{5}{36} \cdot 2{,}18 \cdot 10^{-18} = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{\frac{5}{36} \cdot 2{,}18 \cdot 10^{-18}} \approx 656 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 656 \text{ nm}$$

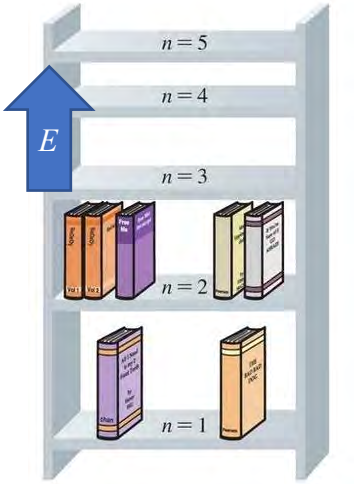


Σχήμα 3. *Όταν το ηλεκτρόνιο του ατόμου του Η μεταπηδήσει από εξωτερική στιβάδα σε άλλη πλησιέστερη στον πυρήνα (π.χ. από την Μ στην L ή από την L στην Κ) χάνει ενέργεια και η διαφορά ενέργειας εκπέμπεται με τη μορφή ενός φωτονίου. Όσο μεγαλύτερη η διαφορά ενέργειας ΔΕ μεταξύ των δύο στιβάδων, τόσο μεγαλύτερη η συχνότητα (μικρότερο μήκος κύματος) της ακτινονολίας που εκπέμπεται (ν΄ > ν).*

4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της θεωρίας του Bohr

Το ατομικό πρότυπο του Bohr αποτελεί συνδυασμό δύο διαφορετικών τρόπων σκέψης, της κλασικής φυσικής και της κβαντικής θεωρίας του Planck. Παρά το γεγονός ότι η παραδοχή του για τις κυκλικές τροχιές αποδείχτηκε λανθασμένη, οι σκέψεις του Bohr εξακολουθούν να έχουν αξία, καθώς αποτελούν την απαρχή για την ανάπτυξη των σύγχρονων αντιλήψεων περί της δομής του ατόμου.

Το μοντέλο Bohr δεν προέβλεψε το φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου, το αντίστροφο συνέβη. Το φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου ώθησε τον Bohr να προτείνει το ατομικό του πρότυπο.



Το ατομικό πρότυπο του Bohr αποτελεί ένα απλό πρότυπο που ερμηνεύει με επιτυχία τα φάσματα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου και όλων των λεγόμενων **υδρογονοειδών ιόντων** (π.χ. $_2He^+$, $_3Li^{2+}$ κτλ.), δηλαδή των κατιόντων που διαθέτουν ένα μόνο ηλεκτρόνιο. Τα φάσματα αυτά είναι όλα γραμμικά, αποτελούνται δηλαδή από συγκεκριμένες φασματικές γραμμές, και όχι συνεχή.

Η πιο σημαντική θεώρηση του ατομικού προτύπου του Bohr είναι οι διακριτές τιμές ενέργειας που μπορεί να έχει το ηλεκτρόνιο. Έτσι, κάθε φασματική γραμμή αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη ενέργεια, μήκος κύματος (λ) και συχνότητα (ν) και προκύπτει από μία συγκεκριμένη μετάπτωση του ηλεκτρονίου από μία εξωτερική τροχιά μεγαλύτερης ενέργειας σε μία εσωτερική τροχιά μικρότερης ενέργειας.

Παρά τη σημαντική του επιτυχία στην εξήγηση του φάσματος εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου, το ατομικό πρότυπο του Bohr δεν μπόρεσε να εξηγήσει τα γραμμικά φάσματα εκπομπής των πολυηλεκτρονιακών ατόμων και δεν συμπεριέλαβε τις αλληλεπιδράσεις (απώσεις) μεταξύ των ηλεκτρονίων στην περίπτωση των πολυηλεκτρονιακών ατόμων. Δεν μπόρεσε επίσης να ερμηνεύσει το σχηματισμό των χημικών δεσμών και σταδιακά εγκαταλείφθηκε. Πάντως, αποτέλεσε την αφετηρία για το νέο μοντέλο του ατόμου που στηρίζεται σε έναν επαναστατικό κλάδο της φυσικής, την κβαντομηχανική.

5. Η κυματική θεωρία της ύλης του de Broglie



Ο Louis de Broglie (προφέρεται Λουί ντε Μπρέιγ) περιέγραψε τα υλικά κύματα με μαθηματικούς όρους, η θεωρία του όμως αποδείχθηκε και πειραματικά το 1927 με τη βοήθεια δέσμης ηλεκτρονίων που διαθλάται και περιθλάται, όπως ακριβώς η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Βραβείο Νόμπελ Φυσικής το 1929.

Είδαμε στην κβαντική θεωρία του Planck ότι η ακτινοβολία παρουσιάζει και σωματιδιακές ιδιότητες, αποτελείται δηλαδή από φωτόνια. Το 1924 ο Γάλλος Louis de Broglie για να εξηγήσει τη κβάντωση των ενεργειακών καταστάσεων των ηλεκτρονίων στο ατομικό πρότυπο του Bohr θεώρησε και το αντίστροφο, ότι δηλαδή τα μικροσκοπικά κινούμενα σωματίδια εμφανίζουν και κυματική συμπεριφορά (υλικά κύματα). Διατύπωσε την αρχή:

Το φωτόνιο, όπως και κάθε κινούμενο μικροσκοπικό σωματίδιο (π.χ. ηλεκτρόνιο, πρωτόνιο) παρουσιάζει διττή φύση, σωματίδιου (κβάντου) και ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

Σύμφωνα με τον de Broglie, το μήκος κύματος (λ) που αντιστοιχεί σε σωματίδιο μάζας m και ταχύτητας υ συνδέεται με την ορμή του, $p = m \cdot \upsilon$ και τη σταθερά του Planck με τη σχέση:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot \upsilon}$$

Οι δύο «όψεις» ενός σωματιδίου, υλική και κυματική, αλληλοσυμπληρώνονται αλλά κατά ένα «περίεργο τρόπο» δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτές ταυτόχρονα στο ίδιο πείραμα.

Η ύλη, λοιπόν, εμφανίζει εκτός από σωματιδιακή και κυματική συμπεριφορά. Για παράδειγμα, μία δέσμη ηλεκτρονίων μπορεί να εμφανίσει περίθλαση, μία ιδιότητα που εμφανίζει και μία δέσμη φωτός ή ένα υδάτινο κύμα. Για να εκδηλωθεί ο κυματικός χαρακτήρας ενός σωματιδίου θα πρέπει αυτό να έχει <u>πολύ μικρή μάζα</u> ώστε να αντιστοιχεί σε μετρήσιμο μήκος κύματος. Με άλλα λόγια, τα υλικά κύματα είναι ανιχνεύσιμα μόνο στην περίπτωση υποατομικών σωματιδίων ή ελαφρών σχετικά πυρήνων ή ατόμων.

Η θεωρία αυτή έθεσε τις βάσεις για την ανάπτυξη της κβαντομηχανικής και επιβεβαιώθηκε πειραματικά το 1927 από άλλους ερευνητές, οδήγησε δε στην ανακάλυψη του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου.

Εφαρμογή 2

Βολίδα μάζας 10 mg κινείται με ταχύτητα 100 $m \cdot s^{-1}$. Το μήκος κύματος κατά de Broglie που σχετίζεται με τη βολίδα αυτή θα είναι:
Α) $\lambda = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ m Β) $\lambda = 6{,}63 \cdot 10^{-31}$ m Γ) $\lambda = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ nm Δ) $\lambda = 6{,}63 \cdot 10^{34}$ m
Δίνεται η σταθερά του Planck: $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J·s.

Επιλογή Β. Σύμφωνα με τη σχέση της κυματικής θεωρίας της ύλης του de Broglie:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot \upsilon} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{10^{-5} \cdot 100} = 6{,}63 \cdot 10^{-31}\ \text{m}$$

Σημείωση: Το μήκος κύματος αυτό είναι αμελητέο και δεν μπορεί να μετρηθεί.

6. Αρχή της αβεβαιότητας (ή της απροσδιοριστίας) του Heisenberg

Νέες ερωτήσεις προκύπτουν, λοιπόν, για τη θέση του ηλεκτρονίου στο άτομο. Αν το ηλεκτρόνιο συμπεριφέρεται και ως κύμα, τότε πώς μπορεί να οριστεί η θέση του στο άτομο;



Ο Γερμανός φυσικός Werner Heisenberg ήταν σύγχρονος του de Broglie και το 1927 θεώρησε ότι είναι αδύνατο να γνωρίζουμε ταυτόχρονα τη θέση και την ταχύτητα ενός σωματιδίου, όπως π.χ. του ηλεκτρονίου. Στην πραγματικότητα, για τον εντοπισμό του ηλεκτρονίου πρέπει να αλληλοεπιδράσει με ένα φωτόνιο. Όμως, με τον τρόπο αυτό το ηλεκτρόνιο απορροφά την ενέργεια του φωτονίου με αποτέλεσμα να αλλάζει θέση. Έτσι, η θέση του ηλεκτρονίου δεν μπορεί πια να προσδιοριστεί με ακρίβεια. Οπότε:

Είναι αδύνατο να προσδιορίσουμε με ακρίβεια συγχρόνως τη θέση και την ορμή ($p = m \cdot \upsilon$) ενός μικρού σωματιδίου π.χ. ηλεκτρονίου (αρχή αβεβαιότητας ή απροσδιοριστίας του Heisenberg).

Η μαθηματική διατύπωση της αρχής της αβεβαιότητας είναι: $\Delta x \cdot \Delta p \geq h/4\pi$, όπου Δx η αβεβαιότητα στη θέση και Δp η αβεβαιότητα στην ορμή ενός σωματιδίου που κινείται στον άξονα x. Υπολογισμοί έχουν δείξει ότι αν η αβεβαιότητα στη θέση ενός ηλεκτρονίου είναι $\Delta x = 1$ pm ($= 10^{-12}$ m), η αβεβαιότητα στην ταχύτητα θα είναι μεγαλύτερη από $5 \cdot 10^7$ $m \cdot s^{-1}$. Με άλλα λόγια δεν έχουμε ιδέα για την ταχύτητά του!

Αυτό σημαίνει ότι αν γνωρίζουμε με σχετική ακρίβεια πώς κινείται ένα σωματίδιο (γνωρίζοντας την ορμή του) δεν μπορούμε να γνωρίζουμε πού ακριβώς είναι, ενώ αντίστροφα αν γνωρίζουμε με σχετική ακρίβεια τη θέση του δεν γνωρίζουμε ακριβώς από πού έχει έλθει ή πού ακριβώς πάει.

Βασικό συμπέρασμα της αρχής της απροσδιοριστίας είναι η ανικανότητα περιγραφής της τροχιάς ενός ηλεκτρονίου, καθώς σε κάθε σημείο της απαιτείται ταυτόχρονα η γνώση της θέσης και της ταχύτητάς του. Επομένως, το πλανητικό πρότυπο του Bohr για το άτομο του υδρογόνου «κατέρρευσε» καθώς σε αυτό καθορίζονται επακριβώς οι τροχιές κίνησης των ηλεκτρονίων. Με άλλα λόγια, στο μικρόκοσμο η έννοια της τροχιάς ενός σωματιδίου χάνει πια τη σημασία της όπως την ξέρουμε στην κλασική φυσική.



Το… κρύο ανέκδοτο της ημέρας: By Bill Amend

Αν και ο Einstein ασχολήθηκε αρχικά με την κβαντική θεωρία, ποτέ δεν δέχτηκε την αρχή της αβεβαιότητας του Heinsenberg. Κάποτε είπε: «Ο Θεός δεν παίζει ζάρια με το σύμπαν». Ο δε Bohr φέρεται ότι είπε: «Albert, σταμάτα να λες στο Θεό τι να κάνει!».

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

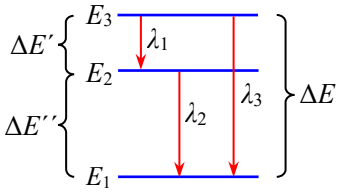
1. Μία συσκευή laser παράγει ακτινοβολία μήκους κύματος $\lambda = 337$ nm **με** $N = 3{,}37\cdot10^{24}$ **φωτόνια. Να υπολογιστεί η ενέργεια της ακτινοβολίας που παράχθηκε από τη συσκευή. Δίνονται οι σταθερές:** $h = 6{,}6\cdot10^{-34}$ J·s, $c = 3\cdot10^{8}$ m·s^{-1}. 1 nm = 10^{-9} m.

ΛΥΣΗ

Η ενέργεια καθενός φωτονίου είναι $E_{\phi\omega\tau} = h\cdot\nu$, όπου h η σταθερά του Planck και ν η συχνότητα της ακτινοβολίας. Επομένως, η ενέργεια της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί σε N τέτοια φωτόνια θα δίνεται από τη σχέση: $E_{\alpha\kappa\tau} = N\cdot E_{\phi\omega\tau} = N\cdot h\cdot\nu$. Η συχνότητα της ακτινοβολίας είναι $\nu = c/\lambda$ και άρα:

$$E_{\alpha\kappa\tau} = \frac{N\cdot h\cdot c}{\lambda} = \frac{3{,}37\cdot10^{24}\cdot6{,}6\cdot10^{-34}\cdot3\cdot10^{8}}{337\cdot10^{-9}} = 1{,}98\cdot10^{6}\ \text{J}$$

2. Στο σχήμα που ακολουθεί δίνονται τρία ενεργειακά επίπεδα ενός ατόμου υδρογόνου καθώς και τρεις μεταπτώσεις με τα αντίστοιχα μήκη κύματος λ_1, λ_2 **και** λ_3**.**



Ποια σχέση συνδέει τα μήκη κύματος λ_1, λ_2 **και** λ_3**;**

Α) $\lambda_1 + \lambda_2 = \lambda_3$ **Β)** $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 0$ **Γ)** $\lambda_3 = \lambda_2\cdot\lambda_1/(\lambda_1 + \lambda_2)$ **Δ)** $\lambda_3 = (\lambda_2 + \lambda_3)/(\lambda_1\cdot\lambda_2)$

Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

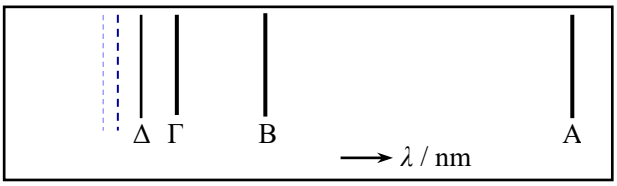
Επιλογή Γ. Ισχύει: $\Delta E = \Delta E' + \Delta E'' \Rightarrow E_3 - E_1 = (E_3 - E_2) + (E_2 - E_1)$ και επομένως:

$$h\cdot\nu_3 = h\cdot\nu_1 + h\cdot\nu_2 \Rightarrow \nu_3 = \nu_1 + \nu_2$$

Με βάση και τη σχέση $c = \lambda\cdot\nu$, προκύπτει:

$$\frac{c}{\lambda_3} = \frac{c}{\lambda_1} + \frac{c}{\lambda_2} \Rightarrow \frac{1}{\lambda_3} = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} = \frac{\lambda_2 + \lambda_1}{\lambda_2\cdot\lambda_1} \Rightarrow \lambda_3 = \frac{\lambda_2\cdot\lambda_1}{\lambda_2 + \lambda_1}$$

3. Το 2011 **το διαστημόπλοιο Voyager 1 εντόπισε την ακτινοβολία Lyman-α στον γαλαξία μας. Η ακτινοβολία αυτή ανήκει στην υπεριώδη περιοχή του γραμμικού φάσματος εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου και σχετίζεται με μεταπτώσεις από** $n \geq 2$ **σε** $n = 1$**. Πήρε το όνομά της από τον Αμερικανό Theodore Lyman που τις ανακάλυψε το** 1906**. Στο διπλανό σχήμα εμφανίζονται οι φασματικές γραμμές της σειράς.**



α) Ποια ηλεκτρονιακή μετάπτωση αντιστοιχεί:

i. Στη γραμμή Α **(με το μεγαλύτερο μήκος κύματος της σειράς).**

ii. Στη γραμμή Δ**.**

β) Να εξηγήσετε αν το μήκος κύματος της γραμμής Α **είναι μεγαλύτερο, μικρότερο ή ίσο με το μήκος κύματος της μετάπτωσης από** $n = 3$ **σε** $n = 2$**.**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Η γραμμή Α διαθέτει το μεγαλύτερο μήκος κύματος από όλες τις μεταπτώσεις της σειράς Lyman και επομένως έχει τη μικρότερη συχνότητα καθώς και τη μικρότερη διαφορά ενέργειας ΔE. Από τις μεταπτώσεις της σειράς, $n = 2 \rightarrow n = 1$, $n = 3 \rightarrow n = 1$, $n = 4 \rightarrow n = 1$ κτλ. αυτή με τη μικρότερη ΔE αντιστοιχεί στη μετάπτωση από $n = 2$ σε $n = 1$. Η γραμμή Β αντιστοιχεί στη μετάπτωση από $n = 3$ σε $n = 1$, η γραμμή Γ στη μετάπτωση από $n = 4$ σε $n = 1$ και επομένως η γραμμή Δ αντιστοιχεί στη μετάπτωση από $n = 5$ σε $n = 1$.

β) Η διαφορά ενέργειας (ΔE) που αντιστοιχεί στη μετάπτωση από $n = 2$ σε $n = 1$ υπολογίζεται ως εξής:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = -\frac{2,18\cdot 10^{-18}}{2^2} + \frac{2,18\cdot 10^{-18}}{1^2} = \frac{3}{4}\cdot 2,18\cdot 10^{-18}\ \text{J}$$

Η $\Delta E'$ που αντιστοιχεί στη μετάπτωση από $n = 3$ σε $n = 2$ υπολογίζεται ως εξής:

$$\Delta E' = E_3 - E_2 = -\frac{2,18\cdot 10^{-18}}{3^2} + \frac{2,18\cdot 10^{-18}}{2^2} = \frac{5}{36}\cdot 2,18\cdot 10^{-18}\ \text{J}$$

Παρατηρούμε ότι: $\Delta E > \Delta E'$ οπότε από τη σχέση $\Delta E = h\cdot\nu$ προκύπτει ότι κατά τις μεταπτώσεις από $n = 2$ σε $n = 1$ προκύπτει ακτινοβολία μεγαλύτερης συχνότητας και επομένως μικρότερου μήκους κύματος.

4. Όταν το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου μεταπίπτει από στιβάδα με κύριο κβαντικό αριθμό n = x στη στιβάδα L ($n = 2$), εκπέμπεται φωτόνιο που αντιστοιχεί σε ακτινοβολία με συχνότητα ν. Όταν κατόπιν το ηλεκτρόνιο μεταπίπτει από τη στιβάδα L στη στιβάδα K ($n = 1$), εκπέμπεται φωτόνιο που αντιστοιχεί σε ακτινοβολία με συχνότητα 4ν. Να υπολογίσετε την τιμή του x.

ΛΥΣΗ

Για τη μετάπτωση από στιβάδα με κύριο κβαντικό αριθμό n = x στη στιβάδα L:

$$\Delta E = E_x - E_2 = -\frac{2,18\cdot 10^{-18}}{x^2} + \frac{2,18\cdot 10^{-18}}{2^2}\ \text{J}$$

$$2,18\cdot 10^{-18}\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{x^2}\right) = h\cdot\nu \quad (1)$$

Για τη μετάπτωση από τη στιβάδα L στη στιβάδα K:

$$\Delta E' = E_2 - E_1 = -\frac{2,18\cdot 10^{-18}}{2^2} + \frac{2,18\cdot 10^{-18}}{1^2}\ \text{J}$$

$$2,18\cdot 10^{-18}\cdot\frac{3}{4} = h\cdot 4\nu \quad (2)$$

Από τις σχέσεις (1) και (2) με διαίρεση κατά μέλη, προκύπτει:

$$4 = \frac{\frac{3}{4}}{\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{x^2}\right)} = \frac{3}{4\cdot\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{x^2}\right)} \Rightarrow \frac{1}{4} - \frac{1}{x^2} = \frac{3}{16} \Rightarrow \frac{1}{x^2} = \frac{1}{16} \Rightarrow x = 4$$

5. Ποια είναι η ελάχιστη ενέργεια σε $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ **που απαιτείται για την (πλήρη) απομάκρυνση των ηλεκτρονίων** 1 mol **ατόμων υδρογόνου από τη θεμελιώδη κατάσταση; Αριθμός Avogadro:** $N_A = 6{,}02\cdot10^{23}$**.**

ΛΥΣΗ

Το ηλεκτρόνιο θεωρείται εκτός ατόμου όταν αποκτήσει ενέργεια $E = 0$ (ή και μεγαλύτερη), δηλαδή όταν $n = \infty$. Σύμφωνα με τη θεωρία του Bohr το ηλεκτρόνιο ενός ατόμου υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάσταση έχει ενέργεια:

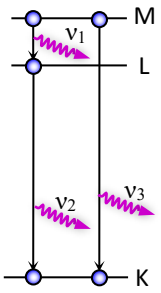
$$E_1 = -\frac{2{,}18\cdot10^{-18}}{1^2}\ (\text{J})$$

Επομένως, η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για την απομάκρυνση του ηλεκτρονίου ενός ατόμου υδρογόνου θα είναι:

$$\Delta E = 0 - E_1 = 0 - \left(-\frac{2{,}18\cdot10^{-18}}{1^2}\right) = \frac{2{,}18\cdot10^{-18}}{1^2}\ \text{J} = 2{,}18\cdot10^{-21}\ \text{kJ}$$

Σε 1 mol ατόμων υδρογόνου αντιστοιχούν $N_A = 6{,}02\cdot10^{23}$ άτομα υδρογόνου και επομένως η απαιτούμενη ενέργεια σε $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ θα είναι:

$$\Delta E_{mol} = 2{,}18\cdot10^{-21}\cdot6{,}02\cdot10^{23} \approx 1312\ \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$



6. α) Ποιες μεταπτώσεις μπορούν να οδηγήσουν τα ηλεκτρόνια ατόμων υδρογόνου από τη ενεργειακή στάθμη M **στη θεμελιώδη κατάσταση;**
β) Να συγκρίνετε τις τιμές για τα δυνατά μήκη κύματος (λ**) των ακτινοβολιών που μπορούν να παραχθούν από τις μεταπτώσεις αυτές.**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Το ηλεκτρόνιο μπορεί είτε να μεταπέσει απευθείας στη στιβάδα K είτε αρχικά στην L και στη συνέχεια στην K. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα εκπομπής τριών ακτινοβολιών με διαφορετικές συχνότητες που αντιστοιχούν στις μεταπτώσεις, M → L, L → K και M → K.

β) Οι ενέργειες που αντιστοιχούν στις στιβάδες M, L και K δίνονται από τις σχέσεις:

$$E_M = -\frac{2{,}18\cdot10^{-18}}{3^2}\ \text{J} \qquad E_L = -\frac{2{,}18\cdot10^{-18}}{2^2}\ \text{J} \qquad E_K = -\frac{2{,}18\cdot10^{-18}}{1^2}\ \text{J}$$

$$\Delta E_1 = E_M - E_L = h\cdot\nu_1,\ \Delta E_2 = E_L - E_K = h\cdot\nu_2,\ \Delta E_3 = E_M - E_K = h\cdot\nu_3$$

(όπου ν_1, ν_2, ν_3 οι συχνότητες των αντίστοιχων ακτινοβολιών).

Για τις μεταπτώσεις αυτές, ισχύει η σχέση: $\Delta E_3 > \Delta E_2 > \Delta E_1$ και επομένως: $\nu_3 > \nu_2 > \nu_1$. Από τη σχέση της κυματικής, $c = \lambda\cdot\nu$, προκύπτει τελικά: $\lambda_3 < \lambda_2 < \lambda_1$.

Η κατάσταση που αντιστοιχεί στη στιβάδα M είναι υψηλής ενέργειας και επομένως ασταθής. Έτσι, το ηλεκτρόνιο σε διεγερμένες καταστάσεις μεταπίπτει σχεδόν ακαριαία στη θεμελιώδη κατάσταση (στιβάδα K) είτε απευθείας είτε μέσω λιγότερο διεγερμένων καταστάσεων.

7. Ένα πρωτόνιο, ένα ηλεκτρόνιο και ένας πυρήνας ηλίου ($_2$He**) κινούνται με τις ίδιες ταχύτητες** υ **και έχουν μήκη κύματος κατά de Broglie,** λ_1**,** λ_2 **και** λ_3**, αντίστοιχα. Για τα μήκη κύματος αυτά ισχύει:**

Α) $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3$ **Β)** $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$ **Γ)** $\lambda_2 > \lambda_1 > \lambda_3$ **Δ)** $\lambda_1 = \lambda_2 > \lambda_3$

Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

ΛΥΣΗ

Επιλογή Γ. Σύμφωνα με την κυματική θεωρία της ύλης, ισχύει:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot \upsilon}$$

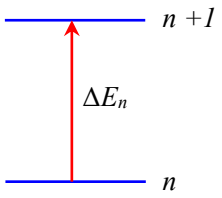
Για τις μάζες των τριών σωματιδίων ισχύει: $m_e < m_p < m_{He}$. Εφόσον τα τρία σωματίδια κινούνται με την ίδια ταχύτητα θα ισχύει: $\lambda_2 > \lambda_1 > \lambda_3$.

8. Να αιτιολογήσετε την ισχύ της πρότασης που ακολουθεί.
«Η διαφορά ενέργειας μεταξύ δύο διαδοχικών ενεργειακών σταθμών (ΔE_n) του ατόμου του υδρογόνου ελαττώνεται με την αύξηση του κύριου κβαντικού αριθμού (n)».

Η πρόταση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς απόδειξη σε σχετικές αιτιολογήσεις.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Έστω δύο διαδοχικές ενεργειακές στάθμες όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα. Από θεωρία του Bohr για το άτομο του υδρογόνου, ισχύει:



$$E_n = \frac{E_1}{n^2}, \quad E_1 = -2{,}18 \cdot 10^{-18}\ \text{J}$$

Για τη διαφορά μεταξύ των δύο ενεργειακών σταθμών ισχύει:

$$\Delta E_n = E_{n+1} - E_n = \frac{E_1}{(n+1)^2} - \frac{E_1}{n^2} = -E_1 \cdot \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{(n+1)^2} \right)$$

$$\Delta E_n = -E_1 \cdot \frac{(n+1)^2 - n^2}{n^2 \cdot (n+1)^2} = -E_1 \cdot \frac{2n+1}{n^2 \cdot (n+1)^2} = -E_1 \cdot \left(\frac{2}{n \cdot (n+1)^2} + \frac{1}{n^2 \cdot (n+1)^2} \right)$$

Για όσους αγαπούν τα Μαθηματικά!

Επειδή $-E_1 > 0$ και με την αύξηση της τιμής του n οι όροι εντός της παρένθεσης ελαττώνονται, προκύπτει ότι η ΔE_n ελαττώνεται με την αύξηση του κύριου κβαντικού αριθμού (n).

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

Σε όποιες από τις παρακάτω ασκήσεις και προβλήματα απαιτείται, να θεωρήσετε: $c = 3\cdot10^8$ m·s^{-1}, και $h = 6{,}63\cdot10^{-34}$ J·s.

1.1. Με βάση την κβαντική θεωρία του Planck προκύπτει ότι:
Α) μία φωτεινή πηγή παράγει φωτόνια με τα ίδια μήκη κύματος (λ)
Β) όλα τα φωτόνια έχουν την ίδια ενέργεια
Γ) όλες οι ακτινοβολίες έχουν το ίδιο μήκος κύματος (λ)
Δ) όλα τα φωτόνια μιας ακτινοβολίας με συχνότητα (ν) έχουν την ίδια ενέργεια

1.2. Τα μήκη κύματος δύο ακτινοβολιών είναι $\lambda_1 = 2\cdot10^{-7}$ m και $\lambda_2 = 4\cdot10^{-7}$ m, αντίστοιχα. Ποιος είναι ο λόγος (E_1/E_2) των ενεργειών των φωτονίων των ακτινοβολιών;
Α) 1/4 Β) 4 Γ) 1/2 Δ) 2

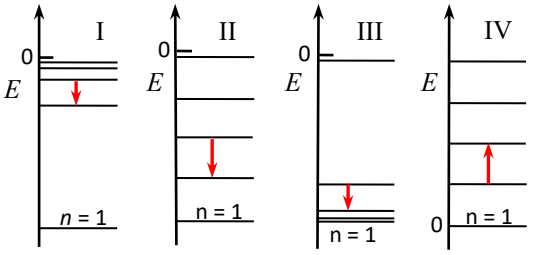
1.3. Σύμφωνα με το ατομικό πρότυπο του Bohr, η συχνότητα (ν) της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από διεγερμένα άτομα υδρογόνου κατά τη μετάπτωση από στιβάδα ενέργειας E_i σε στιβάδα ενέργειας E_f δίνεται από τη σχέση:

Α) $\nu = \dfrac{E_i - E_f}{\lambda}$ Β) $\nu = \dfrac{E_i - E_f}{h}$
Γ) $\nu = \dfrac{E_f - E_i}{h}$ Δ) $\nu = \dfrac{h}{E_i - E_f}$

Όπου h η σταθερά του Planck και λ το μήκος κύματος.

1.4. Το γραμμικό φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου επιβεβαιώνει:
Α) την αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg
Β) το ότι οι ενέργειες των στιβάδων του ατόμου του υδρογόνου λαμβάνουν διακριτές τιμές
Γ) την κυματική θεωρία της ύλης του de Broglie
Δ) την κυματική φύση του φωτός

1.5. Ποιο από τα ακόλουθα ενεργειακά διαγράμματα αναπαριστά την μετάπτωση από τη στάθμη $n = 3$ προς τη $n = 2$ στο φάσμα εκπομπής του υδρογόνου;



Α) Το I Β) Το II Γ) Το III Δ) Το IV

1.6. Στο διάγραμμα που ακολουθεί εμφανίζονται οι κύριες φασματικές γραμμές του ορατού φάσματος εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου που αναφέρονται ως σειρά Balmer.



Οι γραμμές στο διάγραμμα αντιστοιχούν σε ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις από διεγερμένες καταστάσεις στην κατάσταση με $n = 2$. Ποια ηλεκτρονιακή μετάπτωση αντιστοιχεί, i. στην γραμμή Α (με το μεγαλύτερο μήκος κύματος της σειράς) και ii. στην γραμμή Δ;
Α) i. $n = 3 \rightarrow n = 2$ και ii. $n = 6 \rightarrow n = 2$
Β) i. $n = 1 \rightarrow n = 2$ και ii. $n = 4 \rightarrow n = 2$
Γ) i. $n = 3 \rightarrow n = 2$ και ii. $n = 5 \rightarrow n = 2$
Δ) i. $n = 4 \rightarrow n = 3$ και ii. $n = 7 \rightarrow n = 3$

1.7. Το ηλεκτρόνιο ενός ατόμου υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάσταση έχει ενέργεια −13,6 eV (1 eV = $1{,}6\cdot10^{-19}$ J). Ποια από τις παρακάτω τιμές ενέργειας μπορεί να αντιστοιχεί στην ενέργεια του ηλεκτρονίου ενός ατόμου υδρογόνου σε διεγερμένη κατάσταση;
Α) −3,4 eV Β) −6,8 eV Γ) +13,6 eV Δ) +27,2 eV

1.8. Το μεγαλύτερο μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα άτομο υδρογόνου παρατηρείται κατά τη μετάβαση του ηλεκτρονίου μεταξύ:
Α) $E_4 \rightarrow E_3$ Β) $E_7 \rightarrow E_1$ Γ) $E_7 \rightarrow E_6$ Δ) $E_3 \rightarrow E_4$
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

1.9. Κατά τη μετάπτωση N → K του ηλεκτρονίου ενός ατόμου υδρογόνου εκπέμπεται ακτινοβολία συχνότητας ν_1 και μήκους κύματος λ_1, κατά τη μετάπτωση N → L εκπέμπεται ακτινοβολία με ν_2 και λ_2, ενώ κατά την μετάπτωση L → K εκπέμπεται ακτινοβολία με ν_3 και λ_3. Ποια από τις σχέσεις που ακολουθούν είναι η σωστή;
Α) $\nu_1 = \nu_2 + \nu_3$ Β) $\nu_1 > \nu_2 + \nu_3$
Γ) $\lambda_3 = \lambda_1 + \lambda_2$ Δ) $\dfrac{1}{\lambda_3} = \dfrac{1}{\lambda_1} + \dfrac{1}{\lambda_2}$

1.10. Ποιος είναι ο μέγιστος αριθμός γραμμών στο φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου που αντιστοιχεί στη αποδιέγερση των ηλεκτρονίων από την ενεργειακή στάθμη με $n = 4$ προς τη θεμελιώδη κατάσταση;
Α) 3 Β) 6 Γ) 9 Δ) 12

1.11. Για ποιο από τα παρακάτω σωματίδια δεν μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία η θεωρία του Bohr;
Α) Στο άτομο του H Β) Στο ιόν $_3Li^+$
Γ) Στο ιόν $_2He^+$ Δ) Στο ιόν $_4Be^{3+}$

1.12. Ποιο είναι το βασικό χαρακτηριστικό της κυματικής θεωρίας της ύλης του de Broglie;
Α) Δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια η θέση και η ορμή ενός σωματιδίου
Β) Τα κινούμενα σωματίδια εμφανίζουν και κυματική συμπεριφορά
Γ) Τα κινούμενα σωματίδια εμφανίζουν αποκλειστικά κυματική συμπεριφορά
Δ) Το φωτόνιο εμφανίζει κυματική συμπεριφορά

1.13. Ένα πρωτόνιο κινείται με τετραπλάσια ταχύτητα από ένα σωματίδιο α ($^4_2He^{2+}$). Αν για τη μάζα του σωματιδίου α (m_α) και τη μάζα του πρωτονίου (m_p) ισχύει η σχέση $m_\alpha = 4m_p$, ποια θα είναι η σχέση των αντιστοίχων μηκών κύματος λ_α και λ_p, σύμφωνα με την κυματική θεωρία της ύλης;
Α) $\lambda_\alpha = \lambda_p$ Β) $\lambda_p = 4\cdot\lambda_a$ Γ) $\lambda_\alpha = 4\cdot\lambda_p$ Δ) $\lambda_\alpha\cdot\lambda_p = 4$

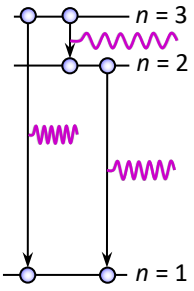
1.14. Σύμφωνα με την αρχή της απροσδιοριστίας του Heisenberg, όσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια με την οποία γνωρίζουμε την ορμή (p) ενός σωματιδίου τόσο μικρότερη είναι η ακρίβεια με την οποία γνωρίζουμε:
Α) την κινητική του ενέργεια Β) τη μάζα (m) του
Γ) την ταχύτητα (υ) του Δ) τη θέση του

1.15. Οι προτάσεις που ακολουθούν σχετίζονται με το άτομο του υδρογόνου σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr.
1. Το φάσμα εκπομπής του ατόμου του Η είναι συνεχές
2 Κατά τις μεταπτώσεις Μ → L εκπέμπεται ακτινοβολία συχνότητας $\nu = (E_M - E_L)/h$
3. Όλες οι γραμμές του φάσματος εκπομπής του ατόμου του Η οφείλονται σε μεταπτώσεις από ανώτερες στιβάδες στη στιβάδα Κ ($n = 1$)
4. Η ενέργεια του ηλεκτρονίου εξαρτάται αποκλειστικά από την τιμή του κύριου κβαντικού αριθμού (n)
Ποιες από τις παραπάνω προτάσεις δεν είναι σωστές;
Α) Οι προτάσεις 1 και 2 Β) Οι προτάσεις 1 και 3
Γ) Οι προτάσεις 3 και 4 Δ) Οι προτάσεις 2 και 4

1.16. Να εξετάστε αν οι προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές ή όχι.
α) Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία, η ενέργεια μιας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας δίνεται από τη σχέση: $E = h\cdot\nu$.
β) Στο ατομικό πρότυπο του Bohr για το άτομο του υδρογόνου, αν η διαφορά ενέργειας μεταξύ των υποστιβάδων L και Κ είναι x kJ, η διαφορά ενέργειας μεταξύ των υποστιβάδων Μ και L θα είναι (x/2) kJ.
γ) Στο άτομο του υδρογόνου η ενέργεια του ηλεκτρονίου αυξάνεται με την αύξηση του κύριου κβαντικού αριθμού (n).
δ) Το φάσμα εκπομπής του ατόμου του Η είναι συνεχές.
ε) Σύμφωνα με την αρχή της απροσδιοριστίας του Heisenberg δεν είναι δυνατή η ακριβής μέτρηση της θέσης και της ορμής ενός αυτοκινήτου.
στ) Αν ένα ηλεκτρόνιο και ένα πρωτόνιο έχουν το ίδιο μήκος κύματος κατά de Broglie θα έχουν και την ίδια ταχύτητα.

1.17. Κατά τη διέγερση ενός ατόμου υδρογόνου, το ηλεκτρόνιο μεταπηδά από την ενεργειακή στάθμη με $n = 2$ στη στάθμη με $n = 3$. Να χαρακτηρίσετε τις προτάσεις που ακολουθούν ως σωστές ή λανθασμένες.
α) Η ενεργειακή στάθμη με $n = 3$ αποτελεί την πρώτη διεγερμένη κατάσταση του ατόμου του υδρογόνου.
β) Χρειάζεται περισσότερη ενέργεια για να ιοντιστεί ένα άτομο υδρογόνου που βρίσκεται στη στάθμη $n = 3$ σε σχέση με ένα άτομο υδρογόνου που βρίσκεται στη στάθμη $n = 2$.
γ) Το ηλεκτρόνιο όταν βρίσκεται στη στάθμη $n = 3$ είναι κατά μέσο όρο πιο μακριά από τον πυρήνα σε σύγκριση με το ηλεκτρόνιο που βρίσκεται στη στάθμη $n = 2$.
δ) Η συχνότητα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας κατά τη μετάπτωση ηλεκτρονίου από $n = 3$ σε $n = 2$ είναι η ίδια με τη συχνότητα της ακτινοβολίας που απορροφάται κατά τη μεταπήδηση ηλεκτρονίου από τη $n = 2$ στη $n = 3$.
ε) Η συχνότητα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας κατά τη μετάπτωση ηλεκτρονίου από $n = 3$ σε $n = 2$ είναι μεγαλύτερη αυτής που εκπέμπεται κατά τη μετάπτωση ηλεκτρονίου από $n = 3$ στη $n = 1$. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

1.18. Στο διπλανό σχήμα εμφανίζονται οι μεταπτώσεις Μ → Κ, Μ → L και L → Κ. Τα μήκη κύματος (λ) των ακτινοβολιών που αντιστοιχούν στις μεταπτώσεις αυτές είναι 656 nm, 103 nm και 122 nm (με τυχαία σειρά).



α) Να αποδώσετε τα μήκη κύματος αυτά στις παραπάνω μεταπτώσεις
β) Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας. Δεν απαιτούνται υπολογισμοί.

1.19. Το νεφέλωμα της λιμνοθάλασσας βρίσκεται στον αστερισμό του Τοξότη και αποτελείται από ένα τεράστιο νέφος ιοντισμένου υδρογόνου και σκόνης. Το κόκκινο χρώμα στο νεφέλωμα αυτό οφείλεται σε μεταπτώσεις $n = 3 \rightarrow n = 2$ των ηλεκτρονίων ατόμων υδρογόνου που παράγουν ακτινοβολία με μήκος κύματος $\lambda = 656$ nm. Η μετάπτωση αυτή ανήκει στη λεγόμενη σειρά Balmer στην οποία αντιστοιχούν γενικά οι μεταπτώσεις $n \geq 3 \rightarrow n = 2$. Σε σχέση με τη μετάπτωση $3 \rightarrow 2$ οι υπόλοιπες μεταπτώσεις της σειράς Balmer παράγουν ακτινοβολίες που θα έχουν:



i. το ίδιο μήκος κύματος ($\lambda = 656$ nm)
ii. μικρότερο μήκος κύματος ($\lambda < 656$ nm)
iii. την ίδια συχνότητα (ν)
iv. μικρότερη συχνότητα (ν)
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

1.20. Τα ηλεκτρόνια ατόμων υδρογόνου μεταπίπτουν διαδοχικά από τη στιβάδα Ν στην L και στη συνέχεια στην Κ, οπότε εκπέμπονται ακτινοβολίες με μήκη κύματος λ_1 και λ_2, αντίστοιχα.
α) Σε ποια από τις δύο μεταπτώσεις του ηλεκτρονίου εκπέμπεται ακτινοβολία μεγαλύτερης συχνότητας;
β) Ποια η τιμή του λόγου λ_1/λ_2 των μηκών κύματος λ_1 και λ_2 των ακτινοβολιών που παράγονται κατά την πρώτη και τη δεύτερη μετάπτωση;

1.21. Το ηλεκτρόνιο ενός ατόμου υδρογόνου βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση.
α) Ποια η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται ώστε το ηλεκτρόνιο να διαφύγει από την έλξη του πυρήνα;
β) Ποια η τιμή της αντίστοιχης ενέργειας για 1 mol ατόμων υδρογόνου; Αριθμός Avogadro: $N_A = 6{,}02\cdot10^{23}$.
γ) Αν το ηλεκτρόνιο ήταν στη στιβάδα L ποια η ελάχιστη ενέργεια που θα χρειαζόταν, ώστε το ηλεκτρόνιο να διαφύγει από την έλξη του πυρήνα;

1.22. Μία σημαντική διαδικασία που συμβαίνει στην ανώτερη ατμόσφαιρα είναι η φωτοδιάσπαση των μορίων του $O_2(g)$:

$$O_2(g) + h\nu \longrightarrow 2O(g)$$

Η ενέργεια που απαιτείται για τη διάσπαση αυτή είναι $E = 495\ \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$. Ποια από τις παρακάτω σχέσεις δίνει το μήκος κύματος λ που απαιτείται για τη φωτοδιάσπαση του $O_2(g)$;

Α) $\lambda = \dfrac{h\cdot c\cdot N_A}{495\cdot 10^3}\ m$ Β) $\lambda = \dfrac{h\cdot c}{495\cdot 10^3\cdot N_A}\ m$

Γ) $\lambda = \dfrac{h\cdot N_A}{495\cdot 10^3\cdot c}\ m$

Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας. h η σταθερά του Planck, c η ταχύτητα του φωτός στο κενό, N_A ο αριθμός του Avogadro.

1.23. Να εξηγήσετε την ισχύ των παρακάτω προτάσεων.
α) Η αποδοχή της αρχής της αβεβαιότητας οδηγεί αυτομάτως στην κατάρριψη όλων των πλανητικών προτύπων, συμπεριλαμβανομένου και του ατομικού πρότυπου Bohr.
β) Κατά την αποδιέγερση του ηλεκτρονίου διαφόρων ατόμων Η που βρίσκονται αρχικά στη στιβάδα Μ μπορούν να προκύψουν ακτινοβολίες με 3 διαφορετικά μήκη κύματος.

1.24. Σε αστρονομικές παρατηρήσεις τα σήματα που λαμβάνονται από μακρινά άστρα είναι γενικά πολύ ασθενή. Ένας ανιχνευτής φωτονίων λαμβάνει ακτινοβολία 660 nm συνολικής ενέργειας $3\cdot 10^{-18}$ J. Να υπολογίσετε τον αριθμό των φωτονίων που ελήφθησαν από τον ανιχνευτή.
Δίνονται οι σταθερές: $h = 6{,}6\cdot 10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s}$, $c = 3\cdot 10^8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

1.25. Αρκετά χρόνια πριν το ατομικό πρότυπο του Bohr, ο Ελβετός μαθηματικός Balmer προτείνει τον εμπειρικό τύπο που ακολουθεί με τον οποίο υπολογίζονται τα μήκη κύματος (λ) μιας σειράς φασματικών γραμμών στο φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου.

$$\lambda = \frac{n^2\cdot K}{n^2 - 2^2}$$

Στον παραπάνω τύπο η Κ είναι μία σταθερά και ο n ακέραιος αριθμός με $n \geq 3$. Η σειρά αυτή των φασματικών γραμμών ισχύει για μεταπτώσεις από στιβάδες με $n \geq 3$ στη στιβάδα με $n = 2$. Να αποδείξετε τον εμπειρικό τύπο του Balmer με βάση το ατομικό πρότυπο του Bohr.

1.26. Θεωρούμε 1000 άτομα υδρογόνου των οποίων τα ηλεκτρόνια βρίσκονται στη στιβάδα Μ. Κατά την αποδιέγερση των ατόμων αυτών εκπέμπονται συνολικά 1600 φωτόνια με τρία διαφορετικά μήκη κύματος λ_1, λ_2 και λ_3 ($\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$). Να προσδιοριστεί ο αριθμός των φωτονίων με μήκος κύματος λ_1 καθώς και οι αριθμοί των φωτονίων με μήκη κύματος λ_2 και λ_3.

1.27. Θεωρούμε την αποδιέγερση των ηλεκτρονίων ατόμων υδρογόνου από την τρίτη στιβάδα ($n = 3$). Στη μία περίπτωση τα ηλεκτρόνια μεταβαίνουν απευθείας στην Κ στιβάδα παράγοντας ακτινοβολία συχνότητας ν_1. Στη δεύτερη περίπτωση τα ηλεκτρόνια μεταβαίνουν αρχικά στη στιβάδα L, παράγοντας ακτινοβολία συχνότητας ν_2 και στη συνέχεια στη στιβάδα Κ παράγοντας ακτινοβολία συχνότητας ν_3.
α) Να βρεθεί η μαθηματική σχέση ισότητας μεταξύ των τριών συχνοτήτων.
β) Να υπολογιστεί ο λόγος ν_1/ν_3.
γ) Σε άλλα άτομα υδρογόνου, τα ηλεκτρόνιά τους διεγείρονται στη στιβάδα Ν. Ποιος είναι ο μέγιστος δυνατός αριθμός συχνοτήτων που μπορούν να ανιχνευθούν κατά τη μετάπτωση των ηλεκτρονίων στη θεμελιώδη κατάσταση; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

1.28. Κατά τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης στα φυτά η πράσινη χρωστική (χλωροφύλλη) απορροφά μπλε ακτινοβολία μήκους κύματος λ_1 και εκπέμπει ερυθρή ακτινοβολία με $\lambda_2 > \lambda_1$. Η απορρόφηση 1 mol φωτονίων μήκους κύματος λ_1 με ταυτόχρονη έκλυση 1 mol φωτονίων μήκους κύματος λ_2 θα έχει ως συνολικό αποτέλεσμα:
i. την απελευθέρωση ενέργειας στο περιβάλλον
ii. την απορρόφηση ενέργειας από τη χλωροφύλλη
iii. ούτε έκλυση ούτε απορρόφηση ενέργειας καθώς ο αριθμός των φωτονίων που απορροφώνται και εκλύονται είναι ο ίδιος
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

1.29. Η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για την (πλήρη) απομάκρυνση του ηλεκτρονίου ενός ατόμου υδρογόνου από τη θεμελιώδη κατάσταση είναι E_0.
α) Η ενέργεια που απαιτείται για τη μετάβαση του ηλεκτρονίου του ατόμου του υδρογόνου από τη στιβάδα με $n = 2$ στη στιβάδα με $n = 3$ θα είναι:
i. $5E_0/36$ ii. $3E_0/4$ iii. $31E_0/36$ iv. $E_0/4$
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

1.30. Ένας φούρνος μικροκυμάτων παράγει ακτινοβολία μήκους κύματος $\lambda = 13{,}26$ cm η οποία μπορεί να απορροφηθεί από τα μόρια του νερού ανεβάζοντας τη θερμοκρασία του. Ένα φλυτζάνι τσάι απαιτεί την απορρόφηση ενέργειας $Q = 48$ kJ για την αύξηση της θερμοκρασίας του από τους 25 °C στους 85 °C. Ποιος αριθμός φωτονίων του φούρνου μικροκυμάτων πρέπει να απορροφηθεί από το τσάι για τη θέρμανση αυτή;
Δίνεται η σταθερά του Planck, $h = 6{,}63\cdot 10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s}$ καθώς και η ταχύτητα του φωτός στο κενό, $c = 3\cdot 10^8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

1.31. α) Σε ποια περίπτωση πρωτόνια μάζας m και σωματίδια α ($_2He^{2+}$) μάζας $4m$ θα παράγουν ακτινοβολία με το ίδιο μήκος κύματος (λ) κατά de Broglie;
1. Αν η ορμή (p) του σωματιδίων α είναι τετραπλάσια από την ορμή των πρωτονίων
2. Αν τα δύο σωματίδια έχουν την ίδια ταχύτητα (υ)
3. Αν τα δύο σωματίδια έχουν την ίδια ορμή (p)
4. Σε καμία περίπτωση
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

1.32. Το ηλεκτρόνια ατόμων υδρογόνου μεταπίπτουν από στιβάδα με κύριο κβαντικό αριθμό $n > 2$ στη στιβάδα L εκπέμποντας ακτινοβολία μήκους κύματος λ_1. Στη συνέχεια μεταπίπτουν στη θεμελιώδη κατάσταση εκπέμποντας ακτινοβολία μήκους κύματος λ_2. Αν $\lambda_1/\lambda_2 = 4$, να υπολογιστεί η τιμή του κύριου κβαντικού αριθμού n.

Χημεία και… τέρατα: «What a wonderful world...» (⋆)



Πηγή: Wikipedia, Τροποποίηση εργασίας της NASA και της ESA.

Το 1054 μ.χ. κοντά στον αστερισμό του Ταύρου καταγράφεται από Κινέζους αστρονόμους της εποχής η εμφάνιση ενός «επισκέπτη» αστέρα στον ουρανό, που ήταν ορατός ακόμη και την ημέρα. Μέχρι που χάθηκε από τον ουρανό δύο χρόνια μετά, την άνοιξη του 1056. Η ξαφνική του εμφάνιση οφειλόταν σε μία έκρηξη σουπερνόβα, πολύ πιο λαμπερή από το αρχικό άστρο. Αν και η έκρηξη έγινε 1000 χρόνια πριν τα υπολείμματα του νεφελώματος του καρκίνου, όπως ονομάζεται σήμερα, συνεχίζει να εκπέμπει όχι μόνο ορατή ακτινοβολία, αλλά και υπέρυθρη, ακτίνες Χ και άλλες περιοχές της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το νεφέλωμα βρίσκεται 6.500 έτη φωτός μακριά και για το λόγο αυτό το κοσμικό γεγονός που το δημιούργησε συνέβη στην πραγματικότητα 6.500 χρόνια πριν γίνει ορατό στη Γη, δηλαδή περίπου το 5400 π.Χ.

Από τις ακτινοβολίες που λαμβάνονται προσδιορίζονται τα στοιχεία που υπάρχουν στο νεφέλωμα. Οι ακτινοβολίες αποτελούνται κυρίως από ιοντισμένο ${}_2He$ και ${}_1H$, μαζί με ${}_6C$, ${}_8O$, ${}_7N$, ${}_{26}Fe$ και ${}_{16}S$. Το νεφέλωμα εκπέμπει συνεχές φάσμα αλλά και γραμμικό. Το γραμμικό φάσμα αποτελείται την πράσινη ακτινοβολία που είναι χαρακτηριστικό φασματικό αποτύπωμα των ιόντων ${}_{16}S^{+}$, την κόκκινη ακτινοβολία που οφείλεται στα ιόντα ${}_8O^{2+}$ αλλά και στα άτομα Η και προκύπτουν από τη διέγερση των ατόμων από τις ακτίνες Χ και την υπεριώδη ακτινοβολία.

(⋆) Το τραγούδι «*What a Wonderful World*» τραγουδήθηκε από τον Louis Armstrong το 1967. Ακούστηκε στην ταινία «*Good Morning, Vietnam*».
«I see skies of blue, And clouds of white,
The bright blessed day, The dark sacred night,
And I think to myself, What a wonderful world...»

Χημεία και… τέρατα: «Salvador Dalí: Υπερρεαλιστής ζωγράφος, ψυχολόγος ή κβαντικός φυσικός;»



«La persistencia de la memoria, η εμμονή της μνήμης» είναι ελαιογραφία σε καμβά που ζωγράφησε ο περίφημος Ισπανός υπερρεαλιστής ζωγράφος Salvador Dalí το 1931. Είναι η πιο διάσημη εικόνα του Dalí και βρίσκεται στο Μουσείο Μοντέρνας Τέχνης της Νέας Υόρκης. Τα ρολόγια που λιώνουν αντιπροσωπεύουν το χάσιμο της σημασίας και τη φθορά του χρόνου. Ο τίτλος του έργου αφορά την ικανότητα της μνήμης να συγκρατείται στον χρόνο, καθώς αυτός φθείρεται γύρω της. Σε όλα τα έργα του, η μεγαλύτερη συνεισφορά του Dalí ήταν η «παρανοϊκή - κριτική μέθοδός» του, που του επέτρεψε να ζωγραφίζει και να βλέπει δύο διαφορετικά πράγματα στην ίδια στιγμή, στην περίπτωση αυτή ο χρόνος και η φύση.

Ο ίδιος ο Salvador Dalí ανέφερε:
«Στην υπερρεαλιστική περίοδο, ήθελα να δημιουργήσω την εικονογραφία του εσωτερικού κόσμου, του θαυμαστού κόσμου της Ψυχολογίας του «πατέρα μου» Sigmund Freud. Το κατάφερα. Σήμερα, ο εξωτερικός κόσμος, ο κόσμος της Φυσικής, υπερβαίνει τον κόσμο της Ψυχολογίας. Ο «πατέρας μου» σήμερα είναι ο Heisenberg». (ελεύθερη μετάφραση)

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 1

Στις παρακάτω ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής 1 - 11 να σημειώσετε απλώς τη σωστή απάντηση.

1. Ένα φωτόνιο μπλε ακτινοβολίας έχει $\lambda = 400$ nm ενώ ένα φωτόνιο κόκκινης ακτινοβολίας έχει $\lambda = 700$ nm. Ποια από τις προτάσεις που ακολουθούν ισχύει για τα δύο φωτόνια;
Α) Έχουν την ίδια συχνότητα (ν)
Β) Έχουν την ίδια ενέργεια
Γ) Η ενέργεια του φωτονίου της μπλε ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια του φωτονίου της κόκκινης
Δ) Η ενέργεια του φωτονίου της κόκκινης ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια του φωτονίου της μπλε

2. Σύμφωνα με την οπτική συνθήκη, το ηλεκτρόνιο ενός ατόμου υδρογόνου:
Α) εκπέμπτει ένα φωτόνιο όταν μεταπηδήσει από μία εσωτερική στιβάδα σε μία εξωτερική
Β) εκπέμπτει ένα φωτόνιο όταν μεταπηδήσει από μία εξωτερική στιβάδα σε μία εσωτερική
Γ) απορροφά ένα φωτόνιο όταν μεταπηδήσει από μία εξωτερική στιβάδα σε μία εσωτερική
Δ) απορροφά ένα φωτόνιο ενέργειας ίσης με την ενέργεια της στιβάδας στην οποία κινείται

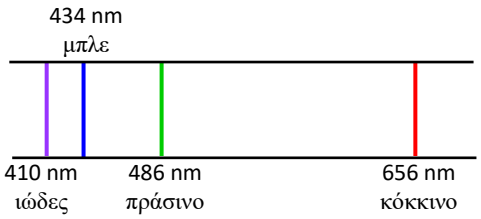
3. Στο άτομο του υδρογόνου θεωρούμε τις μεταπτώσεις Μ → L και Ν → Μ. Στην πρώτη μετάπτωση παράγεται φωτόνιο συχνότητας ν_1 και μήκους κύματος λ_1 ενώ στη δεύτερη μετάπτωση παράγεται φωτόνιο συχνότητας ν_2 και μήκους κύματος λ_2. Τα δύο αυτά φωτόνια έχουν ταχύτητες στο κενό c_1 και c_2, αντίστοιχα. Για τα δύο αυτά φωτόνια, ποια από τις σχέσεις που ακολουθούν είναι σωστή;
Α) $\nu_1 = \nu_2$ Β) $\nu_1 < \nu_2$ Γ) $\lambda_1 < \lambda_2$ Δ) $c_1 > c_2$

4. Σε έναν αριθμό ατόμων υδρογόνου τα ηλεκτρόνιά τους βρίσκονται όλα στην ίδια διεγερμένη ενεργειακή στάθμη Μ ($n = 3$). Κατά τη διαδικασία μετάπτωσης των ηλεκτρονίων αυτών προς τη θεμελιώδη κατάσταση εκπέμπονται φωτόνια:
Α) τριών διαφορετικών συχνοτήτων και δυο διαφορετικών ενεργειών
Β) που όλα έχουν το ίδιο μήκος κύματος
Γ) τριών διαφορετικών συχνοτήτων, που όμως όλα έχουν την ίδια ενέργεια
Δ) τριών διαφορετικών συχνοτήτων και τριών διαφορετικών ενεργειών

5. Ποια μετάβαση του ηλεκτρονίου ενός ατόμου υδρογόνου απαιτεί την απορρόφηση μεγαλύτερης ενέργειας;
Α) $n = 1 \rightarrow n = 3$ Β) $n = 2 \rightarrow n = 4$
Γ) $n = 3 \rightarrow n = 1$ Δ) $n = 4 \rightarrow n = 2$

6. Σύμφωνα με τη θεωρία του Bohr, ποια από τις ακόλουθες μεταπτώσεις του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου αντιστοιχεί στην εκπομπή φωτονίου με το μικρότερο μήκος κύματος;
Α) Από $n = 2$ σε $n = 1$ Β) Από $n = 3$ σε $n = 2$
Γ) Από $n = 4$ σε $n = 2$ Δ) Από $n = 5$ σε $n = 4$

7. Δίνεται το γραμμικό φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου στην περιοχή του ορατού, που προκύπτει από τις παρακάτω αποδιεγέρσεις ηλεκτρονίων: $n = 6 \rightarrow n = 2$, $n = 5 \rightarrow n = 2$, $n = 4 \rightarrow n = 2$ και $n = 3 \rightarrow n = 2$.



Ποιο είναι το μήκος κύματος (λ) που αντιστοιχεί στη μετάπτωση $n = 3 \rightarrow n = 2$:
Α) 410 nm Β) 434 nm Γ) 486 nm Δ) 656 nm
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2023]

8. Το ατομικό πρότυπο του Bohr μπορεί να εφαρμοστεί ικανοποιητικά:
Α) μόνο στο άτομο του υδρογόνου
Β) μόνο στα υδρογονοειδή ιόντα ($_2He^+$, $_3Li^{2+}$ κτλ.)
Γ) στο άτομο του υδρογόνου και στα υδρογονοειδή ιόντα
Δ) σε όλα τα άτομα

9. Σχετικά με τα πλανητικά μοντέλα δίνονται οι προτάσεις Ι και ΙΙ που ακολουθούν.
Πρόταση Ι: Το πλανητικό μοντέλο του Rutherford (πριν από το ατομικό πρότυπο του Bohr) δεν μπόρεσε να εξηγήσει το (γραμμικό) φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου.
Πρόταση ΙΙ: Το πλανητικό μοντέλο του Bohr δεν συμφωνεί με την αρχή της αβεβαιότητας (ή απροσδιοριστίας) του Heisenberg.
Σχετικά με τις προτάσεις Ι και ΙΙ τι από τα παρακάτω ισχύει;
Α) Και οι δύο προτάσεις είναι σωστές
Β) Και οι δύο προτάσεις είναι λανθασμένες
Γ) Η πρόταση Ι είναι σωστή ενώ η πρόταση ΙΙ είναι λανθασμένη
Δ) Η πρόταση Ι είναι λανθασμένη ενώ η πρόταση ΙΙ είναι σωστή

10. Σύμφωνα με την κυματική θεωρία της ύλης, το μήκος κύματος (λ) ενός κινούμενου σωματιδίου είναι:
Α) ανάλογο με την κινητική του ενέργεια
Β) ανάλογο με την ορμή του
Γ) αντιστρόφως ανάλογο με την κινητική του ενέργεια
Δ) αντιστρόφως ανάλογο με την ορμή του

11. Η μάζα του πρωτονίου (m_p) είναι 1836 φορές μεγαλύτερη από τη μάζα του ηλεκτρονίου (m_e). Αν τα δύο αυτά σωματίδια κινούνται με την ίδια ταχύτητα, ποια είναι η σχέση των αντιστοίχων μηκών κύματος λ_p και λ_e, σύμφωνα με την κυματική θεωρία της ύλης του de Broglie;
Α) $\lambda_e = 1836 \cdot \lambda_p$ Β) $\lambda_e = \lambda_p / 1836$
Γ) $\lambda_e = \lambda_p$ Δ) $\lambda_e \cdot \lambda_p = 1836$ [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

12. *Να αιτιολογήσετε την ισχύ της πρότασης που ακολουθεί.*
«Κατά τις μεταπτώσεις ηλεκτρονίων ατόμων υδρογόνου από τη στιβάδα L στη στιβάδα K παράγεται ακτινοβολία μήκους κύματος λ που δίνεται από τη σχέση:

$$\lambda = \frac{4 \cdot h \cdot c}{3 \cdot 2{,}18 \cdot 10^{-18}}\ m,$$

όπου h η σταθερά του Planck και c η ταχύτητα του φωτός στο κενό.»

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

13. Το ηλεκτρόνιο ενός ατόμου υδρογόνου βρίσκεται στην στιβάδα M και μεταπίπτει διαδοχικά στη στιβάδα L και στη συνέχεια στην K. Κατά τις δύο αυτές μεταπτώσεις εκπέμπονται δύο φωτόνια που αντιστοιχούν σε ακτινοβολία με μήκη κύματος λ_1 και λ_2, αντίστοιχα. Να υπολογιστεί ο λόγος λ_1/λ_2.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

«Τα άτομα ή τα στοιχειώδη σωματίδια δεν είναι πραγματικά. Σχηματίζουν περισσότερο έναν κόσμο δυνατοτήτων ή πιθανοτήτων παρά έναν κόσμο πραγματικό ή γεγονότων». – Werner Heisenberg (ελεύθερη μετάφραση)

2 Κβαντικοί Αριθμοί και Τροχιακά

ΘΕΜΑΤΑ ΘΕΩΡΙΑΣ

1. Το κβαντομηχανικό πρότυπο για το άτομο του υδρογόνου

Το 1925 νέα δεδομένα τόσο πειραματικά όσο και θεωρητικά έκαναν επιτακτική την ανάγκη για ένα νέο ατομικό μοντέλο. Με αφετηρία την κβαντική θεωρία του Planck αλλά και την υλοκυματική θεωρία του de Broglie και αργότερα την αρχή της απροσδιοριστίας του Heisenberg, ο Schrödinger και άλλοι επιστήμονες της εποχής πρότειναν το κβαντομηχανικό μοντέλο του ατόμου που ισχύει μέχρι την εποχή μας.

Το ατομικό πρότυπο του Bohr εξήγησε το γραμμικό φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου αλλά δεν μπόρεσε να εξηγήσει τα γραμμικά φάσματα εκπομπής των πολυηλεκτρονιακών ατόμων. Όμως, επί της ουσίας το πρότυπο αυτό «κατέρρευσε» με την αποδοχή της αρχής της απροσδιοριστίας του Heisenberg. Παράλληλα, η διατύπωση της κυματικής θεωρίας της ύλης από τον de Broglie οδήγησε τον Αυστριακό φυσικό Schrödinger να επινοήσει το 1926 μία «μυθική» εξίσωση που περιγράφει το ηλεκτρόνιο ως (στάσιμο) κύμα με σωματιδιακές ιδιότητες, συνδυάζοντας τις επιμέρους υποθέσεις που είχαν γίνει για την ερμηνεία της συμπεριφοράς του μικρόκοσμου. Η υπόθεση αυτή διατυπωμένη σε μια πολύπλοκη μαθηματική έκφραση αποτελεί την κυματική εξίσωση του Schrödinger που άνοιξε το δρόμο της κβαντομηχανικής (ή κυματομηχανικής).



Ο Αυστριακός φυσικός Erwin Schrödinger (1887- 1961) σε γραμματόσημο της χώρας του. Ασχολήθηκε κυρίως με την κβαντική φυσική, επινοώντας την περίφημη κυματική του εξίσωση. Βραβείο Νόμπελ Φυσικής το 1933 για τις εργασίες του πάνω στην ατομική θεωρία.

Η επίλυση της εξίσωσης του Schrödinger για το άτομο του υδρογόνου οδηγεί σε ένα σύνολο κυματοσυναρτήσεων (ψ), που κάθε μία αντιστοιχεί στην ενέργεια του ηλεκτρονίου καθώς και στην πιθανότητα εύρεσής του στο χώρο γύρω από τον πυρήνα. Στο κβαντομηχανικό μοντέλο η έννοια της τροχιάς αντικαθίσταται από την έννοια του <u>ατομικού τροχιακού</u> που απαιτεί για την περιγραφή του τρεις ακέραιους κβαντικούς αριθμούς n, ℓ και m_ℓ. Οι αριθμοί αυτοί προκύπτουν κατά τη διαδικασία της επίλυσης της εξίσωσης του Schrödinger και ο συνδυασμός του καθορίζει μια συγκεκριμένη κατάσταση του ηλεκτρονίου.

Κάθε μία από τις συναρτήσεις - λύσεις (ψ) της εξίσωσης του Schrödinger αντιστοιχεί σε μία τριάδα κβαντικών αριθμών (n, ℓ, m_ℓ), που με τη σειρά της αντιστοιχεί σε ένα τρισδιάστατο χώρο ορισμένου σχήματος και προσανατολισμού στον οποίο μπορεί να βρεθεί το ηλεκτρόνιο. Ένας τέτοιος χώρος ονομάζεται ατομικό τροχιακό. Κάθε ατομικό τροχιακό έχει χαρακτηριστική ενέργεια και σχήμα και αντιστοιχεί στην πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου σε κάθε στοιχειώδες τμήμα του χώρου (ΔV) γύρω από τον πυρήνα.

Η εξίσωση του Schrödinger αποτελεί αξίωμα για την κβαντομηχανική. Οι 3 κβαντικοί αριθμοί δεν εισάγονται αυθαίρετα αλλά προκύπτουν κατά τη διαδικασία επίλυσης της εξίσωσης ως συνέπεια των απαιτήσεων που οφείλουν να πληρούν οι κυματοσυναρτήσεις.

<u>Κυματική εξίσωση Schrödinger για το άτομο του υδρογόνου</u>

⇩ επίλυση

ψ_1 , ψ_2 , ψ_3 …. ψ_n (κυματοσυναρτήσεις)

⇕

πιθανότητα παρουσίας του e^- στο χώρο γύρω από τον πυρήνα ⇦ (n, ℓ, m_ℓ) τροχιακό ⇨ E (ενέργεια)

Η ακριβής επίλυση της εξίσωσης του Schrödinger είναι δυνατή μόνο για το άτομο του υδρογόνου και τα υδρογονοειδή ιόντα και οδηγεί σε ένα συγκεκριμένο σύνολο τιμών ενέργειας που είναι το ίδιο με αυτό που προβλέπει το ατομικό πρότυπο του Bohr. Δηλαδή, για το άτομο του υδρογόνου και η θεωρία του Schrödinger κατέληξε στη σχέση:

$$E_n = -\frac{2{,}18 \cdot 10^{-18}}{n^2} \text{ (J)}$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι στα πολυηλεκτρονιακά άτομα δεν μπορεί να προκύψει ακριβής επίλυση της εξίσωσης του Schrödinger. Στις περιπτώσεις αυτές η επίλυση της εξίσωσης γίνεται *μόνο* προσεγγιστικά με τη χρήση πολύπλοκων μαθηματικών μεθόδων.

2. Ο κύριος κβαντικός αριθμός (*n*)

Ο κύριος κβαντικός αριθμός (*n*) προκύπτει άμεσα από την επίλυση της εξίσωσης Schrödinger για το άτομο του υδρογόνου. Μόνο όταν ο *n* παίρνει τις ακέραιες τιμές,

$$n = 1, 2, 3, 4 \ldots,$$

οι λαμβανόμενες μαθηματικές εκφράσεις αποτελούν λύσεις της εξίσωσης Schrödinger.

Σε κάθε τιμή του *n* αντιστοιχεί ένα σύνολο n^2 ατομικών καταστάσεων (τροχιακών). Έτσι, για $n=1$ έχουμε ένα μόνο τροχιακό, για $n=2$ έχουμε συνολικά $2^2=4$ τροχιακά, ενώ για $n=3$ έχουμε συνολικά $3^2=9$ τροχιακά κτλ. Τα σύνολα των τροχιακών που αντιστοιχούν στον ίδιο κύριο κβαντικό αριθμό *n* αντιστοιχούν σε στιβάδες ή φλοιούς και συμβολίζονται με τα γράμματα K, L, M κτλ. (για λόγους αναλογίας με τη θεωρία του Bohr).

κύριος κβαντικός αριθμός (*n*)	1	2	3	4	…
στιβάδα	K	L	M	N	…

Ο κύριος κβαντικός αριθμός (*n*) καθορίζει την ενέργεια του ηλεκτρονίου και είναι ενδεικτικός της μέσης απόστασης του ηλεκτρονίου από τον πυρήνα.

Ο κύριος κβαντικός αριθμός ταυτίζεται με τον αριθμό *n* που εισήγαγε αυθαίρετα ο Bohr στο ατομικό του πρότυπο. Στο πρότυπο του Bohr ο αριθμός *n* αναφέρεται σε μια καθορισμένη απόσταση από τον πυρήνα (ακτίνα της κυκλικής τροχιάς). Σύμφωνα με την κβαντομηχανική ο *n* είναι απλώς ενδεικτικός της μέσης απόστασης από τον πυρήνα αφού το ηλεκτρόνιο μπορεί να βρίσκεται, με διαφορετική πιθανότητα, σε οποιαδήποτε απόσταση από αυτόν.

3. Ο αζιμουθιακός (δευτερεύοντας) κβαντικός αριθμός (*ℓ*)

Ο δευτερεύοντας ή αζιμουθιακός κβαντικός αριθμός (*ℓ*) προκύπτει, όπως και ο κύριος κβαντικός αριθμός, άμεσα από την επίλυση της εξίσωσης του Schrödinger οι λύσεις της οποίας έχουν νόημα, για δεδομένη τιμή του *n*, μόνο όταν ο αριθμός αυτός παίρνει τις τιμές:

$$\ell = 0, 1, 2, 3, \ldots, (n-1)$$

Στον διπλανό πίνακα εμφανίζονται οι τιμές για τον *ℓ* για τις διάφορες τιμές του *n*. Με βάση τις διαφορετικές τιμές του *ℓ* καθορίζονται ισάριθμα υποσύνολα τροχιακών που λέμε ότι αποτελούν τις υποστιβάδες μιας δεδομένης ενεργειακής στιβάδας. Ανάλογα με την τιμή του *ℓ* οι υποστιβάδες καθορίζονται με τα γράμματα s, p, d, f, g κτλ.:

n	*ℓ*
1	0
2	0, 1
3	0, 1, 2
4	0, 1, 2, 3
…	……
n	0, 1, 2, 3, …, (*n* – 1)

ℓ	0	1	2	3	4	…
υποστιβάδες	s	p	d	f	g	…

Οι συμβολισμοί των τροχιακών s, p, d, f σχετίζονται με τα αρχικά λέξεων που σχετίζονται με φασματικές γραμμές: **s**harp, **p**rincipal, **d**iffuse, **f**undamental.

Όπως θα δούμε ο δευτερεύοντας κβαντικός αριθμός καθορίζει και το σχήμα των τροχιακών καθώς τροχιακά με διαφορετικές τιμές του *ℓ* έχουν διαφορετικά σχήματα στο χώρο.

Παραδείγματα

- Για $n=1$ προκύπτει μόνο $\ell=0$. Επομένως, η στιβάδα K έχει μόνο μία υποστιβάδα, την 1s (1 για τον κύριο κβαντικό αριθμό και s για τον δευτερεύοντα).
- Για $n=2$ ο δευτερεύοντας κβαντικός αριθμός μπορεί να πάρει τις τιμές $\ell=0, 1$ οπότε για τη στιβάδα L προκύπτουν δύο υποστιβάδες, η 2s και η 2p.

Η ερώτηση της ημέρας: Από ποιες υποστιβάδες αποτελείται η στιβάδα Ν ($n = 4$);

- Για $n = 3$ ο δευτερεύοντας κβαντικός αριθμός μπορεί να πάρει τις τιμές $\ell = 0, 1, 2$ οπότε για τη στιβάδα Μ προκύπτουν τρεις υποστιβάδες, η 3s, η 3p και η 3d.

4. Ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός (m_ℓ)

Ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός συμβολίζεται με m_ℓ και από την επίλυση της εξίσωσης του Schrödinger προκύπτει ότι μπορεί να πάρει τις τιμές:

$$-\ell, \ldots\ldots, -2, -1, 0, +1, +2, \ldots\ldots\ldots, +\ell,$$

δηλαδή συνολικά $(2\ell + 1)$ διαφορετικές τιμές. Με βάση τις δυνατές τιμές του m_ℓ μία υποστιβάδα αναλύεται σε τροχιακά καθώς σε κάθε τιμή του αντιστοιχεί ένα τροχιακό. Π.χ. μία p υποστιβάδα έχει $\ell = 1$ και άρα $m_\ell = -1, 0, 1$, οπότε διαθέτει τρία τροχιακά.

Τα πέντε d τροχιακά συμβολίζονται ως εξής:
$d_{z^2}, d_{xy}, d_{xz}, d_{yz}, d_{x^2-y^2}$
αλλά οι συμβολισμοί αυτοί είναι έξω από τα πλαίσια αυτού του βιβλίου.

p υποστιβάδα ($\ell = 1$)			
Δυνατές τιμές του m_ℓ	1	0	−1
Συμβολισμός τροχιακών	p_x	p_z	p_y

Ο m_ℓ καθορίζει τους δυνατούς προσανατολισμούς των τροχιακών στο χώρο.

5. Στιβάδες, υποστιβάδες και τροχιακά

Τελικά, με βάση την κβαντομηχανική οι δυνατές καταστάσεις του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου είναι τα τροχιακά, τα οποία ομαδοποιούνται σε υποστιβάδες και οι υποστιβάδες σε στιβάδες. Μία στιβάδα προσδιορίζεται μόνο από τον κύριο κβαντικό αριθμό (n) και διακρίνεται σε υποστιβάδες που καθεμία χαρακτηρίζεται από μία τιμή του δευτερεύοντα κβαντικού αριθμού (ℓ). Κάθε υποστιβάδα αποτελείται από τροχιακά καθένα από τα οποία διαθέτει διαφορετική τιμή του μαγνητικού κβαντικού αριθμού (m_ℓ). Έτσι, για τις τέσσερις πρώτες στιβάδες προκύπτει ο πίνακας που ακολουθεί.

Πίνακας: *Δυνατές τιμές των κβαντικών αριθμών: Στιβάδες, υποστιβάδες και τροχιακά*

n	ℓ	Χαρακτηρισμός υποστιβάδας	m_ℓ	Αριθμός τροχιακών στην υποστιβάδα	
1	0	1s	0	1	
2	0	2s	0	1	4
	1	2p	−1, 0, 1	3	
3	0	3s	0	1	9
	1	3p	−1, 0, 1	3	
	2	3d	−2, −1, 0, 1, 2	5	
4	0	4s	0	1	16
	1	4p	−1, 0, 1	3	
	2	4d	−2, −1, 0, 1 ,2	5	
	3	4f	−3, −2, −1, 0, 1, 2, 3	7	

Ο συνολικός αριθμός των τροχιακών σε μία στιβάδα είναι n^2. Π.χ. η στιβάδα Ν με $n = 4$ διαθέτει $4^2 = 16$ τροχιακά, ένα τροχιακό στην υποστιβάδα 4s, τρία τροχιακά στην 4p, πέντε στην 4d και επτά τροχιακά στην 4f.

Ο συνολικός αριθμός τροχιακών σε μία υποστιβάδα είναι $2\ell + 1$. Έτσι, π.χ. μία p υποστιβάδα ($\ell = 1$) διαθέτει $2\ell + 1 = 3$ τροχιακά (με $m_\ell = -1, 0, 1$).

Στιβάδα είναι ένα σύνολο τροχιακών με την ίδια τιμή του κύριου κβαντικού αριθμού ενώ **υποστιβάδα** μιας στιβάδας είναι ένα σύνολο τροχιακών με την ίδια τιμή και του δευτερεύοντα κβαντικού αριθμού.

Εφαρμογή 3

Ένα τροχιακό ενός ατόμου υδρογόνου έχει συμβολισμό $2p_y$. Σε σχέση με τους κβαντικούς αριθμούς, τι πληροφορίες μας δίνει ο συμβολισμός αυτός;

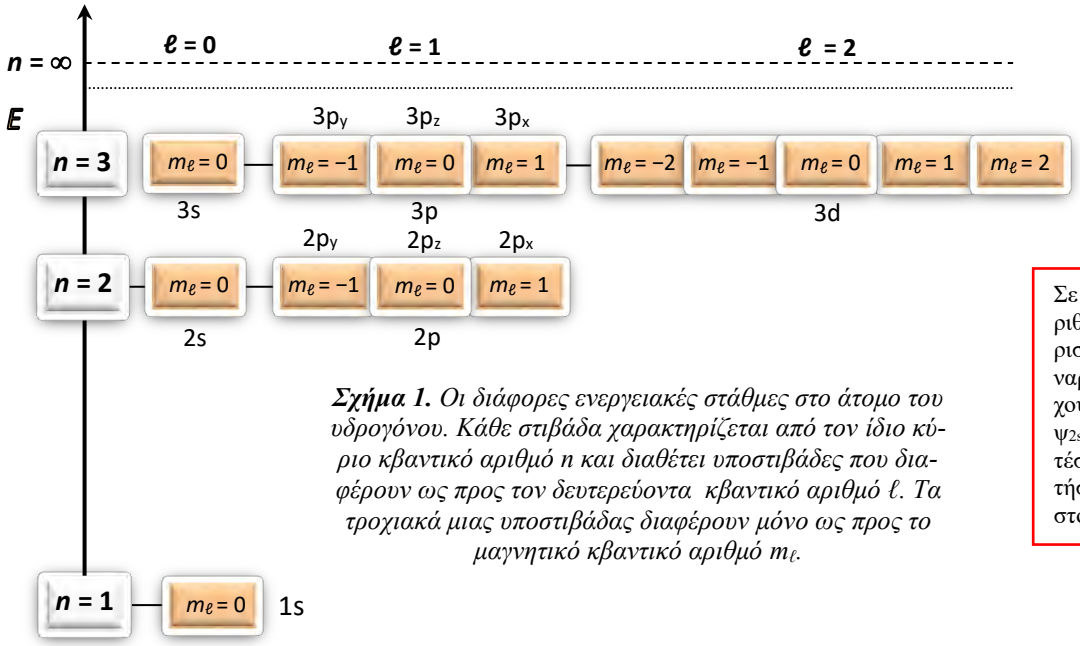
κύριος κβαντικός αριθμός ($n = 2$) → $2p_y$ ← μαγνητικός κβαντικός αριθμός ($m_\ell = -1$)

↑

δευτερεύοντας κβαντικός αριθμός ($\ell = 1$)

6. Οι δυνατές καταστάσεις για το άτομο του υδρογόνου

Το σχήμα που ακολουθεί αναπαριστάνει όλα τα τροχιακά για το άτομο του υδρογόνου για $n = 1, 2, 3$ (κάθε «κουτάκι» παριστάνει ένα τροχιακό).



Σχήμα 1. *Οι διάφορες ενεργειακές στάθμες στο άτομο του υδρογόνου. Κάθε στιβάδα χαρακτηρίζεται από τον ίδιο κύριο κβαντικό αριθμό n και διαθέτει υποστιβάδες που διαφέρουν ως προς τον δευτερεύοντα κβαντικό αριθμό ℓ. Τα τροχιακά μιας υποστιβάδας διαφέρουν μόνο ως προς το μαγνητικό κβαντικό αριθμό m_ℓ.*

Σε κάθε κύριο κβαντικό αριθμό $n > 1$ αντιστοιχούν περισσότερες από μία κυματοσυναρτήσεις. Π.χ. για $n = 2$ υπάρχουν οι κυματοσυναρτήσεις ψ_{2s}, ψ_{2px}, ψ_{2py} και ψ_{2pz}. Στις τέσσερις αυτές κυματοσυναρτήσεις του ατόμου του Η αντιστοιχεί η ίδια ενέργεια.

Εφαρμογή 4

Από ποιες υποστιβάδες αποτελείται η στιβάδα Μ ($n = 3$); Ποιες τριάδες κβαντικών αριθμών (n, ℓ, m_ℓ) χαρακτηρίζουν κάθε τροχιακό της στιβάδας αυτής;

Για $n = 3$, $\ell = 0, 1, 2$. Για $\ell = 0$ (υποστιβάδα 3s), $m_\ell = 0$. Για $\ell = 1$ (υποστιβάδα 3p), $m_\ell = 1, 0, -1$. Τέλος, για $\ell = 2$ (υποστιβάδα 3d), $m_\ell = -2, -1, 0, 1, 2$. Προκύπτουν έτσι ένα τροχιακό 3s που αντιστοιχεί στην τριάδα (3,0,0), τρία τροχιακά 3p με τριάδες (3,1,−1), (3,1,0), (3,1,1) καθώς και πέντε τροχιακά 3d με τριάδες (3,2,−2), (3,2,−1), (3,2,0), (3,2,1), (3,2,2). Ο συνολικός αριθμός των τροχιακών είναι $n^2 = 9$.

Στο άτομο του υδρογόνου τα τροχιακά της ίδιας στιβάδας έχουν την ίδια ενέργεια. Κάθε στιβάδα διαιρείται σε αριθμό υποστιβάδων ίσο με τον κύριο κβαντικό αριθμό (n). Έτσι, η στιβάδα K ($n=1$) διαθέτει μόνο την υποστιβάδα 1s, η στιβάδα L ($n=2$) αποτελείται από δύο υποστιβάδες, την 2s και την 2p, της ίδιας ενέργειας, η στιβάδα M ($n=3$) αποτελείται από τρεις υποστιβάδες, την 3s την 3p και την 3d της ίδιας ενέργειας κτλ. Δηλαδή η ενέργεια εξαρτάται μόνο από την τιμή του κύριου κβαντικού αριθμού (n) και αυξάνεται με την αύξηση του n, καθώς γίνεται όλο και λιγότερο αρνητική.

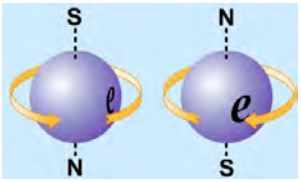
Στη **θεμελιώδη κατάσταση** το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου καταλαμβάνει το τροχιακό 1s, απορροφώντας όμως την απαιτούμενη ενέργεια μπορεί να βρεθεί σε τροχιακό μιας άλλης στιβάδας, π.χ. στο τροχιακό 2p (διεγερμένη κατάσταση).

Αν και «μας αρέσει» να λέμε ότι το spin οφείλεται σε περιστροφή περί τον άξονά του και θεωρούμε ως μηχανικό ανάλογο μια σφαίρα που αυτοπεριστρέφεται, αυτό δεν είναι σωστό. Το spin είναι καθαρά κβαντική ιδιότητα που δεν απαντάται στην κλασική Φυσική και πάντως δεν οφείλεται σε αυτοπεριστροφή. Απαντάται σε υποατομικά σωματίδια και είναι μια χαρακτηριστική ιδιότητα της ύλης, όπως η μάζα και το φορτίο.

7. Ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός του spin (m_s)

Το 1924 ο Αυστριακός φυσικός Wolfgang Pauli για την ερμηνεία λεπτομερειών στα φάσματα εκπομπής εισήγαγε έναν τέταρτο κβαντικό αριθμό, τον μαγνητικό κβαντικό αριθμό του spin (m_s) με μοναδικές δυνατές τιμές $-½$ και $+½$. Ένα χρόνο αργότερα, πειραματικές μελέτες επιβεβαίωσαν τον Pauli θεωρώντας ότι το ηλεκτρόνιο έχει μια εσωτερική στροφορμή, τη στροφορμή spin ή ιδιοπεριστροφή ως χαρακτηριστική κβαντική του ιδιότητα, ανεξάρτητα από τις τιμές των άλλων κβαντικών αριθμών n, ℓ και m_ℓ. Λόγω του spin το ηλεκτρόνιο λειτουργεί ως ένας μικροσκοπικός μαγνήτης παράγοντας μαγνητικό πεδίο που μπορεί να είναι παράλληλο ($m_s = +½$) ή αντιπαράλληλο ($m_s = -½$) με τη διεύθυνση ενός εξωτερικά εφαρμοζόμενου μαγνητικού πεδίου.

Κάθε ηλεκτρόνιο και ανεξάρτητα από το τροχιακό στο οποίο βρίσκεται μπορεί να έχει $m_s = +1/2$ ή $m_s = -1/2$. Οι ενέργειες των διαφορετικών αυτών καταστάσεων διαφοροποιούνται με την εφαρμογή εξωτερικού μαγνητικού πεδίου.



$m_s = +½$ $m_s = -½$

Σχήμα 2. *Το ηλεκτρόνιο συμπεριφέρεται σαν να περιστρεφόταν γύρω από τον άξονά του (ιδιοπεριστροφή) παράγοντας ένα μαγνητικό πεδίο με κατεύθυνση (προσανατολισμό) που εξαρτάται από τη φορά του spin. Οι δύο φορές της ιδιοπεριστροφής αντιστοιχούν στις δύο τιμές του m_s, +1/2 και −1/2.*

Η καλύτερη εξήγηση που έχει ειπωθεί για το spin: Είναι σαν μία μπάλα που αυτοπεριστρέφεται με τη διαφορά ότι δεν είναι μπάλα και δεν αυτοπεριστρέφεται!

8. Γραφικές παραστάσεις τροχιακών - Ηλεκτρονιακά νέφη

Οι κυματοσυναρτήσεις είναι συναρτήσεις θέσης του ηλεκτρονίου στο άτομο, π.χ. είναι της μορφής ψ(x, y, z), όπου x, y, z είναι οι συντεταγμένες της θέσης του ηλεκτρονίου στο χώρο γύρω από τον πυρήνα. Αν και οι κυματοσυναρτήσεις δεν έχουν ιδιότητες πιθανοτήτων, το τετράγωνό τους (ψ^2) μας δίνει την πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο σε στοιχειώδη περιοχή του χώρου γύρω από τον πυρήνα (συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας). Έτσι $\psi^2 = 0$ σημαίνει απαγορευτική θέση για το ηλεκτρόνιο της δεδομένης ενεργειακής κατάστασης ενώ όταν $\psi^2 \neq 0$ σημαίνει ότι υπάρχει μία συγκεκριμένη περιοχή του χώρου γύρω από τον πυρήνα που μπορεί να καταληφθεί από το ηλεκτρόνιο.

Με τις αντιλήψεις της κβαντομηχανικής δεν θεωρούμε κίνηση του ηλεκτρονίου σε μια ορισμένη τροχιά, αλλά την πιθανότητα να βρίσκεται σε μια ορισμένη θέση στο χώρο γύρω από τον πυρήνα.

Εφαρμογή 5

Για το άτομο του υδρογόνου η τιμή μιας κυματοσυνάρτησης ψ στις θέσεις Α και Β έχει τιμές $\psi_1 = 10^{-4}$ και $\psi_2 = -10^{-3}$, αντίστοιχα. Σε ποια από τις δύο θέσεις Α ή Β το ηλεκτρόνιο εμφανίζει τη μεγαλύτερη πιθανότητα παρουσίας;

$\psi^2(A) = (10^{-4})^2 = 10^{-8}$, $\psi^2(B) = (-10^{-3})^2 = 10^{-6}$

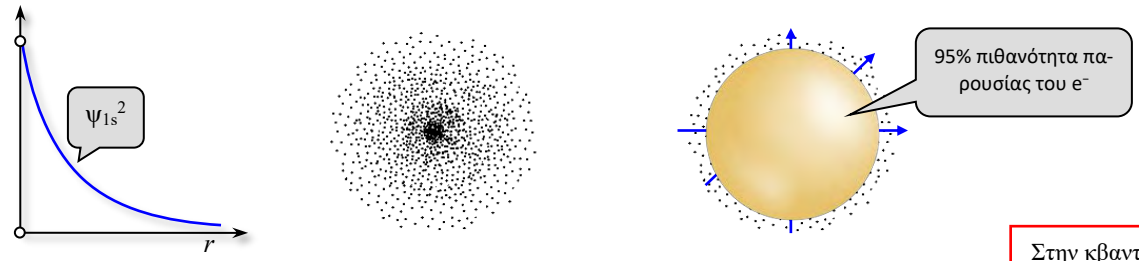
Ισχύει: $\psi^2(A) < \psi^2(B)$ και επομένως η πιθανότητα παρουσίας στη θέση Β είναι μεγαλύτερη από την πιθανότητα παρουσίας στη θέση Α.

Το ψ^2 εκφράζει την πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο σε στοιχειώδη περιοχή (ΔV) του χώρου γύρω από τον πυρήνα, ενώ το $-e\psi^2$ ($-e$ το φορτίο του ηλεκτρονίου) εκφράζει την κατανομή ή την πυκνότητα του ηλεκτρονιακού νέφους στο χώρο γύρω από τον πυρήνα.

Με βάση υπολογισμούς πιθανότητας για διάφορα σημεία γύρω από τον πυρήνα προκύπτουν εικόνες που αναπαριστούν τα τροχιακά πολύ πιο κατανοητά από μαθηματικές συναρτήσεις.

Έτσι, π.χ. το τροχιακό 1s μπορεί να αναπαρασταθεί: **α)** με τη μορφή της γραφικής παράστασης της ψ^2_{1s}, που αντιστοιχεί στην πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου σε στοιχειώδη όγκο ΔV σε απόσταση r από τον πυρήνα, **β)** με τη μορφή ηλεκτρονιακού νέφους, όπου πυκνότερες κουκκίδες αντιστοιχούν σε μεγαλύτερη πιθανότητα παρουσίας του ηλεκτρονίου γύρω από τον πυρήνα, **γ)** ως σφαιρική επιφάνεια που περικλείει π.χ. το 90-95% της πιθανότητας εύρεσης του ηλεκτρονίου στο τροχιακό αυτό.

Οι τρόποι αυτοί αναπαράστασης για το τροχιακό 1s φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί.

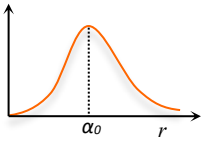


Σχήμα 3. *Τρόποι αναπαράστασης του τροχιακού 1s του ατόμου του Η. α) Με τη μορφή του γραφήματος της $-e\psi^2_{1s} = f(r)$, όπου r η απόσταση από τον πυρήνα (και $-e$ το φορτίο του ηλεκτρονίου) που εκφράζει την κατανομή ή την πυκνότητα του ηλεκτρονιακού νέφους στο χώρο γύρω από τον πυρήνα, β) Με τη μορφή ηλεκτρονιακού νέφους και γ) ως σφαιρική επιφάνεια, που περικλείει π.χ. το 95% της πιθανότητας της παρουσίας του ηλεκτρονίου.*

Στην κβαντομηχανική η έννοια της τροχιάς του ηλεκτρονίου αντικαθίσταται από το ηλεκτρονιακό νέφος. Περιοχές του ηλεκτρονιακού νέφους με μεγάλη πυκνότητα κουκκίδων εμφανίζουν μεγαλύτερη πιθανότητα παρουσίας του ηλεκτρονίου από άλλες με μικρότερη πυκνότητα.

Μεγάλη ηλεκτρονιακή πυκνότητα σε μία περιοχή του χώρου όγκου ΔV σημαίνει ότι το ηλεκτρόνιο βρίσκεται για περισσότερο χρόνο στην περιοχή αυτή σε σχέση με άλλη περιοχή με μικρότερη ηλεκτρονιακή πυκνότητα. Αν το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου πάρει ενέργεια και μεταπηδήσει σε μία υψηλότερη ενεργειακή στάθμη, θα περνά το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου του όλο και μακρύτερα από τον πυρήνα, σχηματίζοντας ηλεκτρονιακό νέφος μεγαλύτερου μεγέθους και ενδεχόμενα διαφορετικού σχήματος.

Η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου σε στοιχειώδη σφαιρικό φλοιό πάχους Δr σε απόσταση r από τον πυρήνα προκύπτει από το διάγραμμα:



Η πιθανότητα αυτή παρουσιάζει μέγιστο στο α_o, που αντιστοιχεί στην ακτίνα της θεμελιώδους τροχιάς του προτύπου του Bohr, ενώ για $r = 0$ η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου σε στοιχειώδη σφαιρικό φλοιό πάχους Δr είναι 0. Για μεγάλες τιμές του r η συνάρτηση τείνει επίσης στο 0.

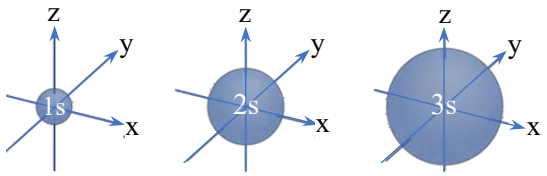
Συμπεράσματα για το τροχιακό 1s

- Για το τροχιακό 1s η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου είναι μέγιστη κοντά στον πυρήνα και τείνει στο μηδέν σε μεγάλες αποστάσεις γύρω από αυτόν (πρακτικά, η πιθανότητα εύρεσης μηδενίζεται από κάποια απόσταση και μετά).
- Το τροχιακό 1s παρουσιάζει σφαιρική συμμετρία με αυθαίρετη ακτίνα r που περικλείει συγκεκριμένη πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου π.χ. 95%. Το ακριβές μέγεθος του τροχιακού είναι αδύνατον να σχεδιαστεί, αφού η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου μηδενίζεται θεωρητικά μόνο σε άπειρη απόσταση από τον πυρήνα. Το ηλεκτρονιακό νέφος είναι πυκνότερο κοντά στον πυρήνα όπου το ψ^2 είναι μέγιστο. Έτσι, η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου σε δοσμένο στοιχειώδες τμήμα του χώρου για το τροχιακό 1s είναι μέγιστη κοντά στον πυρήνα.

9. Σχήματα των s και p τροχιακών

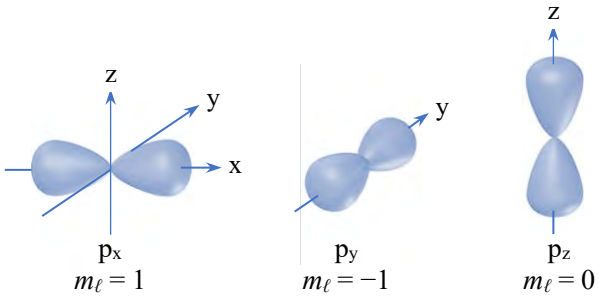
Ο κύριος κβαντικός αριθμός καθορίζει και το μέγεθος του τροχιακού.

Αναφέραμε ήδη ότι για τα s ατομικά τροχιακά ισχύει $\ell = 0$ και άρα $m_\ell = 0$. Τα τροχιακά αυτά παρουσιάζουν σφαιρική συμμετρία και παριστάνονται με σφαίρες που στο εσωτερικό τους υπάρχει σημαντικό μέρος (π.χ. το 95%) της πιθανότητας παρουσίας του ηλεκτρονίου γύρω από τον πυρήνα. Γενικά, το μέγεθος των σφαιρών που παριστάνουν τα s τροχιακά εξαρτάται από τον κύριο κβαντικό αριθμό n. Όσο αυξάνεται η τιμή του n αυξάνεται και το μέγεθος της σφαίρας, όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 4. *Το τροχιακό 1s του ατόμου του Η έχει ακτίνα περίπου 200 pm, ενώ το* 2s *και το* 3s *τροχιακό έχουν ακτίνες περίπου 500 pm και 1000 pm, αντίστοιχα.*

Τα τροχιακά τύπου p είναι αυτά για τα οποία ισχύει $\ell = 1$ και διακρίνονται σε p_x, p_y και p_z με $m_\ell = 1, -1, 0$, αντίστοιχα. Τα σχήματά τους είναι τα εξής:



Σχήμα 5. *Τα τρία p τροχιακά μιας υποστιβάδας διαφέρουν μόνο στον μαγνητικό κβαντικό αριθμό m_ℓ. Οι δύο λοβοί χωρίζονται από κάθετο σε αυτούς επίπεδο στο οποίο η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου είναι μηδέν.*

Με τα σχήματα των d τροχιακών, αλλά και των f τροχιακών δεν θα ασχοληθούμε στα πλαίσια αυτού του βιβλίου.

Τα p τροχιακά έχουν το ίδιο σχήμα, διαφέρουν όμως ως προς το μέγεθός τους που εξαρτάται από την τιμή του κβαντικού αριθμού n. Τα τροχιακά p_x, p_y, p_z διαφέρουν (για ορισμένη τιμή του n) μόνο ως προς τον προσανατολισμό τους στο χώρο που δηλώνεται με τις διαφορετικές τιμές του μαγνητικού κβαντικού αριθμού (m_ℓ).

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

1. Να χαρακτηριστούν οι προτάσεις που ακολουθούν ως σωστές (Σ) ή λανθασμένες (Λ). Στις λανθασμένες προτάσεις να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας.

α) Το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου καταλαμβάνει πάντα το τροχιακό 1s.

β) Η ενέργεια της υποστιβάδας 1s **στο ιόν** $_2He^+$ **είναι ίση με την ενέργεια της υποστιβάδας** 1s **του ατόμου του** H.

γ) Αν ένα ατομικό τροχιακό έχει $m_\ell = 1$ θα ανήκει οπωσδήποτε σε p **υποστιβάδα.**

δ) Ένα ατομικό τροχιακό καθορίζεται από τους κβαντικούς αριθμούς n, ℓ και m_ℓ.

ε) Για την πλήρη περιγραφή του ηλεκτρονίου του ατόμου του υδρογόνου απαιτούνται μόνο οι τρεις πρώτοι κβαντικοί αριθμοί (n, ℓ, m_ℓ).

στ) Στο άτομο του υδρογόνου μία στιβάδα με κύριο κβαντικό αριθμό n αποτελείται από n υποστιβάδες.
ζ) Όταν για ένα ατομικό τροχιακό ισχύει $m_\ell = 0$ αυτό θα είναι υποχρεωτικά τύπου s**.**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
Λανθασμένες είναι οι προτάσεις α, β, γ, ε και ζ.

α) Το τροχιακό 1s χαρακτηρίζεται ως θεμελιώδης κατάσταση. Όμως, το ηλεκτρόνιο μπορεί, λαμβάνοντας την κατάλληλη ενέργεια, να βρεθεί και σε διεγερμένες καταστάσεις μεγαλύτερης ενέργειας.

β) Η ενέργεια της υποστιβάδας 1s στο ιόν $_2He^+$ είναι μικρότερη (πιο αρνητική) από την ενέργεια της υποστιβάδας 1s του ατόμου του Η καθώς ο πυρήνας στο $_2He^+$ έχει μεγαλύτερο φορτίο (+2) και επομένως απαιτείται μεγαλύτερη ενέργεια για την απομάκρυνσή του ηλεκτρονίου.

γ) Ένα τροχιακό με $m_\ell = 1$ μπορεί να ανήκει σε οποιαδήποτε υποστιβάδα εκτός από υποστιβάδα s, στην οποία ισχύει μόνο $m_\ell = 0$. Έτσι, για παράδειγμα σε μία d υποστιβάδα ισχύει $\ell = 2$ και επομένως $m_\ell = -2, -1, 0, \mathbf{1}, 2$.

ε) Απαιτείται και ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός του spin (m_s).

ζ) Η δυνατότητα του μαγνητικού κβαντικού αριθμού να λαμβάνει την τιμή $m_\ell = 0$ ισχύει για οποιαδήποτε τροχιακά s, p, d, f κτλ.

2. Στον πίνακα που ακολουθεί, οι αριθμοί της στήλης (I**) αποτελούν μία τετράδα τιμών των κβαντικών αριθμών του ηλεκτρονίου ενός ατόμου** Η **σε διεγερμένη κατάσταση. Να αντιστοιχήσετε τον κάθε κβαντικό αριθμό της στήλης (**II**) με μία από τις τιμές που μπορεί να πάρει (στήλη** I**), καθώς και με την πληροφορία που μας παρέχει και η οποία αναφέρεται στη στήλη (**III**).**

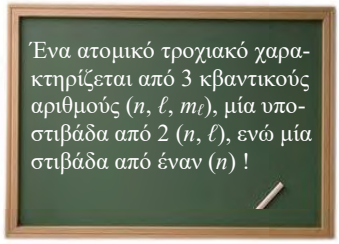
I	II	III
Α. −2	**1.** ℓ	**α. προσανατολισμός ατομικού τροχιακού**
Β. −1/2	**2.** m_ℓ	**β. σχήμα ατομικού τροχιακού**
Γ. 2	**3.** n	**γ. spin του ηλεκτρονίου**
Δ. 3	**4.** m_s	**δ. μέγεθος ατομικού τροχιακού**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
Ο κύριος κβαντικός αριθμός n έχει την τιμή 3 (θετικός αριθμός μεγαλύτερος από τον αζιμουθιακό) και καθορίζει το μέγεθος του τροχιακού. Ο αζιμουθιακός κβαντικός αριθμός (ℓ) έχει την τιμή 2 (θετικές τιμές μικρότερες του κύριου κβαντικού αριθμού) και καθορίζει το σχήμα του τροχιακού. Ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός (m_ℓ) έχει την τιμή −2 και καθορίζει τον προσανατολισμό του τροχιακού. Τέλος, ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός του spin (m_s) έχει τιμή −1/2 (δυνατές τιμές +1/2, −1/2) και καθορίζει το spin του ηλεκτρονίου.

3. Ποιο από τα παρακάτω σύνολα κβαντικών αριθμών (n, ℓ, m_ℓ, m_s) είναι αποδεκτό για το ηλεκτρόνιο ενός ατόμου υδρογόνου σε διεγερμένη κατάσταση;
Α) (3, 0, −1, +1/2**)** **Β) (**4, 3, −2, −1/2**)** **Γ) (**3, 1, −2, −1/2**)** **Δ) (**2, 3, −3, +1/2**)**
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας καθώς και γιατί οι άλλες επιλογές δεν είναι σωστές.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Επιλογή Β. Για $n = 4$, $\ell = 0, 1, 2, 3$. Για $\ell = 3$, $m_\ell = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$. Οι δυνατές τιμές του m_s είναι +1/2, −1/2, ανεξάρτητα από τις τιμές των άλλων τριών κβαντικών αριθμών. Στην επιλογή Α, για $\ell = 0$, δεν μπορεί να ισχύει $m_\ell = -1$. Στην επιλογή Γ, για $\ell = 1$ δεν μπορεί να ισχύει $m_\ell = -2$. Στην επιλογή Δ, για $n = 2$, δεν μπορεί να ισχύει $\ell = 3$.



4. Να θεωρήσετε την ενεργειακή στιβάδα N **ενός ατόμου υδρογόνου.**
α) Ποια η τιμή του κύριου κβαντικού αριθμού n **και ποιες οι δυνατές τιμές του δευτερεύοντα κβαντικού αριθμού** ℓ**;**
β) Πώς συμβολίζεται η υποστιβάδα της στιβάδας N **με** $\ell = 2$**; Πόσα τροχιακά διαθέτει η υποστιβάδα αυτή; Ποιες οι δυνατές τιμές του** m_ℓ **για την ίδια υποστιβάδα;**
γ) Πόσα από τα τροχιακά της στιβάδας N **χαρακτηρίζονται από** $m_\ell = 1$**;**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Η στιβάδα N χαρακτηρίζεται από $n = 4$, οπότε $\ell = 0, 1, 2, 3$.

β) Η υποστιβάδα με $\ell = 2$ χαρακτηρίζεται ως 4d και διαθέτει 5 τροχιακά, καθώς οι δυνατές τιμές του m_ℓ είναι πέντε: −2, −1, 0, 1 και 2.

γ) Τροχιακά με $m_\ell = 1$ διαθέτουν οι υποστιβάδες με $\ell > 0$, δηλαδή η υποστιβάδα 4p ($\ell = 1$, $m_\ell = -1, 0,$ **1**), η υποστιβάδα 4d ($\ell = 2$, $m_\ell = -2, -1, 0,$ **1**, 2) και η υποστιβάδα 4f ($\ell = 3$, $m_\ell = -3, -2, -1, 0,$ **1**, 2, 3). Επομένως, τα τροχιακά της στιβάδας N με $m_\ell = 1$ είναι τρία.

5. Πόσα ατομικά τροχιακά αντιστοιχούν:
α) Στις υποστιβάδες 2s**,** 5s**,** 3p**,** 3d **και** 4f**.**
β) Στις στιβάδες L **και** M**.**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Το πλήθος των τροχιακών μιας υποστιβάδας με δευτερεύοντα κβαντικό αριθμό ℓ καθορίζεται από τον αριθμό των δυνατών τιμών του m_ℓ που δίνεται από τη σχέση $(2\ell + 1)$. Έτσι στην υποστιβάδα 2s αντιστοιχεί ένα μόνο τροχιακό ($\ell = 0$), στην υποστιβάδα 5s ($\ell = 0$) επίσης ένα τροχιακό, στην 3p ($\ell = 1$) τρία τροχιακά, στην 3d, ($\ell = 2$) πέντε τροχιακά και στην υποστιβάδα 4f ($\ell = 3$) επτά τροχιακά.

β) Το πλήθος των τροχιακών μιας στιβάδας είναι ίσο με n^2, οπότε για παράδειγμα η στιβάδα L ($n = 2$) διαθέτει $2^2 = 4$ συνολικά τροχιακά, ενώ η στιβάδα M ($n = 3$) διαθέτει $3^2 = 9$ τροχιακά (ένα στην υποστιβάδα 3s, τρία στην 3p και 5 στην 3d).

6. Για τα τροχιακά 2s **και** $2p_x$ **ενός ατόμου υδρογόνου να αναφέρετε δύο ομοιότητες και δύο διαφορές.**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Ομοιότητες: Τα τροχιακά 2s και $2p_x$ ενός ατόμου υδρογόνου έχουν την ίδια ενέργεια και την ίδια τιμή του κύριου κβαντικού αριθμού ($n = 2$).

Διαφορές: Τα τροχιακά 2s και $2p_x$ ενός ατόμου υδρογόνου έχουν διαφορετικό σχήμα και διαφορετική τιμή του δευτερεύοντα κβαντικού αριθμού: $\ell = 0$ και $\ell = 1$, αντίστοιχα.

7. Για το άτομο του υδρογόνου, να συγκρίνετε το πρότυπο του Rutherford, το πρότυπο του Bohr και την κβαντομηχανική περιγραφή κατά Schrödinger.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Το ατομικό πρότυπο του Rutherford είναι μία προκβαντική θεωρία που ανέφερε ότι τα ηλεκτρόνια εκτελούσαν κυκλικές κινήσεις γύρω από τον πυρήνα (πλανητικό μοντέλο), χωρίς όμως να μπορεί να εξηγήσει το γραμμικό φάσμα εκπομπής του ατόμου του Η.

Ο Bohr εισήγαγε την κβαντική θεωρία στο ατομικό του πρότυπο θεωρώντας τα ηλεκτρόνια ως σωματίδια που εκτελούν κυκλικές τροχιές γύρω από τον πυρήνα με καθορισμένες ενέργειες και ακτίνες (μηχανική συνθήκη) ενώ οι μεταπτώσεις τους από τροχιές μεγαλύτερης ενέργειας σε τροχιές μικρότερης ενέργειας είναι αυτές που παράγουν ακτινοβολίες με συγκεκριμένα μήκη κύματος (οπτική συνθήκη). Η κατάσταση του ηλεκτρονίου για το άτομο του Bohr περιγράφεται με τη θεώρηση του κύριου κβαντικού αριθμού (n).

Στην κβαντομηχανική το ηλεκτρόνιο περιγράφεται ως (στάσιμο) κύμα και παράλληλα ως σωματίδιο με τη θεώρηση και της δυναμικής του ενέργειας λόγω της αλληλεπίδρασής του με τον πυρήνα.

Η έννοια της τροχιάς αντικαθίσταται με την έννοια της πιθανότητας παρουσίας στο χώρο γύρω από τον πυρήνα ενώ η κατάσταση του ηλεκτρονίου περιγράφεται με την έννοια του τροχιακού που απαιτεί τη θεώρηση τριών κβαντικών αριθμών (n, ℓ, m_ℓ). Οι δύο κβαντικές θεωρίες συμφωνούν ότι οι δυνατές ενεργειακές καταστάσεις του ατόμου του υδρογόνου δίνονται από τη σχέση:

$$E_n = -\frac{2{,}18 \cdot 10^{-18}}{n^2} (J)$$

Το γραμμικό φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου εξηγείται και στις δύο περιπτώσεις με μεταπτώσεις από καταστάσεις υψηλότερης ενέργειας σε καταστάσεις χαμηλότερης ενέργειας. Η ενέργεια του παραγόμενου φωτονίου σε μία τέτοια μετάπτωση αντιστοιχεί στη διαφορά ενέργειας (ΔE) μεταξύ των δύο ενεργειακών καταστάσεων.



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

2.1. Τι πρωτοποριακό εισήγαγε ο Schrödinger στο κβαντομηχανικό πρότυπο του ατόμου του υδρογόνου;
Α) Τις ηλεκτρονιακές στιβάδες
Β) Την πιθανότητα παρουσίας του ηλεκτρονίου
Γ) Την εκπομπή και την απορρόφηση φωτονίων
Δ) Το ότι η ενέργεια των ηλεκτρονίων είναι κβαντισμένη

2.2. Ποιος κβαντικός αριθμός συμβολίζεται με τα γράμματα s, p, d, f αντί με αριθμούς;
Α) Ο κύριος κβαντικός αριθμός
Β) Ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός
Γ) Ο δευτερεύοντας ή αζιμουθιακός κβαντικός αριθμός
Δ) Ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός του spin

2.3. **i.** Για $n = 3$, ο αριθμός ℓ μπορεί να πάρει τις τιμές:
Α) 0, 1, 2, 3 Β) 0, 1, 2 Γ) 1, 2 Δ) 1, 2, 3
ii. Η υποστιβάδα με $n = 3$ και $\ell = 2$ είναι η:
Α) 3d Β) 3f Γ) $3p_x$ Δ) 3s

2.4. Ένα ατομικό τροχιακό με $n = 3$ και $m_\ell = 0$ θα έχει:
Α) $\ell = 0$, 1 ή 2 Β) $\ell = 1$ Γ) $\ell = 2$ Δ) $m_s = +1/2$

2.5. Ποια η μικρότερη τιμή του κύριου κβαντικού αριθμού (n) στον οποίο αντιστοιχούν ατομικά τροχιακά με $m_\ell = 3$;
Α) $n = 2$ Β) $n = 3$ Γ) $n = 4$ Δ) $n = 5$

2.6. Ποιοι κβαντικοί αριθμοί μπορούν να πάρουν την τιμή 0;
Α) n και ℓ Β) n και m_ℓ Γ) ℓ και m_ℓ Δ) Μόνο ο ℓ

2.7. Η υποστιβάδα 3d αποτελείται από:
Α) τρία ατομικά τροχιακά Β) πέντε ατομικά τροχιακά
Γ) ένα ατομικό τροχιακό Δ) επτά ατομικά τροχιακά
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2024]

2.8. Η στιβάδα Μ ($n = 3$) διαθέτει:
Α) Τρεις υποστιβάδες και πέντε τροχιακά
Β) τρεις υποστιβάδες και εννέα τροχιακά
Γ) δύο υποστιβάδες και οκτώ τροχιακά
Δ) δύο υποστιβάδες και τέσσερα τροχιακά

2.9. **i.** Τα τροχιακά 2s και 3s ενός ατόμου Η διαφέρουν:
Α) κατά το μέγεθός τους Β) κατά το σχήμα τους
Γ) κατά τον προσανατολισμό τους Δ) Σε όλα τα προηγούμενα
ii. Τα ατομικά τροχιακά 3s και $3p_x$ στο άτομο του Η έχουν:
Α) την ίδια ενέργεια Β) το ίδιο σχήμα
Γ) τον ίδιο προσανατολισμό Δ) Τίποτα από τα προηγούμενα

2.10. Ποιες είναι οι δυνατές τιμές του m_ℓ για ένα τροχιακό της υποστιβάδας 4d;
Α) 0, 1, 2 Β) 0, −1, −2, −3
Γ) −2, −1, 0, 1, 2 Δ) 0, 1, 2, 3

2.11. Η τιμή του κβαντικού αριθμού ℓ αντιστοιχεί:
Α) στον αριθμό των e^- που περιέχονται στο τροχιακό
Β) στο σχήμα του ατομικού τροχιακού
Γ) στο μέγεθος του τροχιακού
Δ) στον προσανατολισμό του στο χώρο

2.12. Σε ένα ατομικό τροχιακό με $n = 3$ και $m_\ell = -2$ ισχύει:
Α) $\ell \leq 2$ Β) $\ell = 2$ Γ) $\ell = 2$ ή $\ell = 3$ Δ) $\ell \geq 2$

2.13. Ποια από τις παρακάτω τετράδες κβαντικών αριθμών, που αφορούν σε ηλεκτρόνιο, είναι δυνατή;
Α) (1,1,1,+1/2) Β) (2,0,1,+1/2)
Γ) (1,0,0,−1/2) Δ) (3,2,1,0) [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2025]

2.14. Ποια από τις υποστιβάδες που ακολουθούν έχει $\ell = 2$;
Α) 2s Β) 5p Γ) 4f Δ) 5d

2.15. Πόσα τροχιακά υπάρχουν σε μία f υποστιβάδα;
Α) 4 Β) 5 Γ) 7 Δ) 10

2.16. Ο αριθμός των τροχιακών μιας υποστιβάδας με κύριο κβαντικό n και δευτερεύοντα κβαντικό αριθμό ℓ είναι:
Α) $2n^2$ Β) $2\ell + 1$ Γ) $2\ell - 1$ Δ) $n - 1$

2.17. Ποιο από τα παρακάτω σύνολα κβαντικών αριθμών μπορεί να καθορίζει το τροχιακό $4p_x$;
Α) $n = 4$, $\ell = 2$, $m_\ell = 0$ Β) $n = 4$, $\ell = 1$, $m_\ell = 1$
Γ) $n = 2$, $\ell = 1$, $m_\ell = -1$ Δ) $n = 3$, $\ell = 0$, $m_\ell = 0$
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

2.18. Σε ποια μετάπτωση του ηλεκτρονίου του ατόμου του Η εκπέμπεται φωτόνιο μικρότερου μήκους κύματος;
Α) 1s → 2p Β) 3s → 2s Γ) 2p → 1s Δ) 2s → 3s

2.19. Για το άτομο του Η η κυματοσυνάρτηση ψ σε δύο θέσεις Α και Β έχει τιμές $\psi_1 = -0{,}1$ και $\psi_2 = 0{,}3$, αντίστοιχα. Η πιθανότητα να βρίσκεται το ηλεκτρόνιο στη θέση Α είναι:
Α) τριπλάσια από ότι στη θέση Β
Β) υποτριπλάσια από ότι στη θέση Β
Γ) εξαπλάσια από ότι στη θέση Β
Δ) υποεννεαπλάσια από ότι στη θέση Β

2.20. Να εξηγήσετε αν οι προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές ή όχι.
α) Το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου βρίσκεται πάντα στην κατάσταση που ορίζεται ως 1s ατομικό τροχιακό.
β) Μία στιβάδα με κύριο κβαντικό αριθμό n διαθέτει n τον αριθμό υποστιβάδες και n^2 τροχιακά.
γ) Ο κβαντικός αριθμός του spin δεν συμμετέχει στη διαμόρφωση της τιμής της ενέργειας του ηλεκτρονίου, ούτε στον καθορισμό του τροχιακού.
δ) Στις τιμές $n = 3$ και $\ell = 0$ αντιστοιχεί ένα μόνο τροχιακό.
ε) Δεν είναι ποτέ δυνατό το μοναδικό ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου να βρεθεί σε τροχιακό 2s ή 2p.
στ) Η υποστιβάδα 3d έχει περισσότερα τροχιακά από την 5s.
ζ) Στο άτομο του υδρογόνου οι ενέργειες των υποστιβάδων 3s, 3p και 3d είναι ίσες.
η) Στο ιόν $_3Li^{2+}$ το τροχιακό με $n = 2$ και $\ell = 0$ έχει μικρότερη ενέργεια σε σχέση με το τροχιακό με $n = 2$ και $\ell = 1$.
θ) Ο κύριος κβαντικός αριθμός καθορίζει τον προσανατολισμό του ηλεκτρονιακού νέφους σε σχέση με τους άξονες x, y, z. [ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2025]

ι) Ο δευτερεύοντας ή αζιμουθιακός κβαντικός αριθμός ℓ παίρνει τιμές: $-n,\ldots, 0, \ldots n$.
κ) Στο τροχιακό p_x η πιθανότητα παρουσίας του ηλεκτρονίου είναι μέγιστη στα σημεία του άξονα x ενώ η η πιθανότητα παρουσίας του ηλεκτρονίου στο επίπεδο yz είναι ίση με το μηδέν.
λ) Σε όλες τις υποστιβάδες υπάρχει τροχιακό με $m_\ell = 0$.
μ) Όλα τα τροχιακά της ίδιας στιβάδας έχουν το ίδιο σχήμα.
ν) Ο προσανατολισμός ενός τροχιακού 3p καθορίζεται αποκλειστικά από τον μαγνητικό κβαντικό αριθμό του spin.
ξ) Για ένα ηλεκτρόνιο σε s τροχιακό η τιμή του ψ^2 είναι η ίδια για όλα τα σημεία που ισαπέχουν από τον πυρήνα.
ο) Για τις ενέργειες των υποστιβάδων 3s, 3p και 4s του ιόντος $_2He^+$ ισχύει: $E_{3s} = E_{3p} < E_{4s}$.

2.21. Ποιες από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές για ένα ηλεκτρόνιο με $n = 4$ και $m_\ell = -2$;
α) Το ηλεκτρόνιο είναι στην στιβάδα N.
β) Το ηλεκτρόνιο μπορεί να είναι σε d τροχιακό.
γ) Το ηλεκτρόνιο είναι σε p τροχιακό.
δ) Το ηλεκτρόνιο πρέπει να έχει $m_s = +1/2$.

2.22. Ποια χαρακτηριστικά ενός τροχιακού ατόμου Η σχετίζονται με καθέναν από τους κβαντικούς αριθμούς n, ℓ και m_ℓ;

2.23. α) Ποιες οι ομοιότητες και οι διαφορές των τριών τροχιακών 2p σ' ένα άτομο υδρογόνου;
β) Ποιες οι ομοιότητες και οι διαφορές του τροχιακού 2s σε ένα άτομο Η και σε ένα ιόν $_3Li^{2+}$;

2.24. Να συμπληρώσετε τον πίνακα που ακολουθεί με τα στοιχεία (α)-(η) που λείπουν.

n	ℓ	Υποστιβάδα	Αριθμός τροχιακών
2	1	(α)	(β)
(γ)	(δ)	3d	(ε)
4	(ζ)	(η)	7

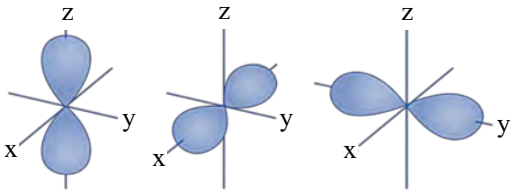
2.25. Στις μεταπτώσεις 3d → 2p και 3p → 2s του ηλεκτρονίου ενός ατόμου υδρογόνου παράγονται φωτόνια που αντιστοιχούν σε ακτινοβολίες μήκους κύματος λ_1 και λ_2, αντίστοιχα. Για τα μήκη αυτά κύματος θα ισχύει:
i. $\lambda_1 = \lambda_2$ ii. $\lambda_1 > \lambda_2$ iii. $\lambda_1 < \lambda_2$
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

2.26. Ένα ατομικό τροχιακό έχει $m_\ell = 3$. Ποια η μικρότερη δυνατή τιμή για τον κύριο κβαντικό αριθμό n; Να εξηγήσετε την απάντησή σας.

2.27. Ποιες οι δυνατές τιμές του κβαντικού αριθμού που λείπει σε κάθε περίπτωση;
α) $n = 3$, $\ell = \ldots..$, $m_\ell = 2$, $m_s = +1/2$
β) $n > \ldots..$, $\ell = 2$, $m_\ell = -1$, $m_s = -1/2$
γ) $n = 4$, $\ell = 2$, $m_\ell = 0$, $m_s = \ldots\ldots$
δ) $n \geq \ldots..$, $\ell = 0$, $m_\ell = \ldots\ldots.$, $m_s = \ldots..$

2.28. Ποιες δυνατές τιμές των κβαντικών αριθμών n, ℓ, m_ℓ:
α) Για κάθε τροχιακό στην υποστιβάδα 4d.
β) Για κάθε τροχιακό στη στιβάδα με $n = 3$.
γ) Για κάθε τροχιακό στην υποστιβάδα 4f.

2.29. Στο σχήμα που ακολουθεί δίνονται τρία ατομικά τροχιακά ενός ατόμου υδρογόνου με το ίδιο μέγεθος.



α) Τα τρία αυτά τροχιακά:
1. έχουν την ίδια ενέργεια
2. διαφέρουν στην τιμή του δευτερεύοντα κβαντικού αριθμού (ℓ)
3. έχουν την ίδια τιμή του μαγνητικού κβαντικού αριθμού (m_ℓ)
4. Καμία από τις παραπάνω τρεις προτάσεις δεν είναι σωστή
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

2.30. Να θεωρήσετε την ενεργειακή στιβάδα Ο στο άτομο του υδρογόνου.
α) Ποια η τιμή του n και ποιες οι δυνατές τιμές του ℓ;
β) Πώς συμβολίζεται η υποστιβάδα με $\ell = 2$; Πόσα τροχιακά διαθέτει η υποστιβάδα αυτή;
γ) Ποιες οι τιμές του m_ℓ για την παραπάνω υποστιβάδα;
δ) Πόσα από τα τροχιακά της στιβάδας Ο διαθέτουν $m_\ell = 1$;
ε) Ποια η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για να βρεθεί το ηλεκτρόνιο από τη στιβάδα L εκτός του ατόμου;

Χημεία και… τέρατα: «Ε, λοιπόν, βρήκα μία!»

«Κάποτε, στο τέλος μίας διάλεξης, άκουσα τον Debye να λέει περίπου τα εξής: «Schrödinger, μια και δεν ασχολείσαι αυτή τη στιγμή με πολύ σημαντικά προβλήματα (…), γιατί δεν μιλάς καμιά φορά γι' αυτή τη θέση του de Broglie, που φαίνεται να έχει προσελκύσει κάποια προσοχή τελευταία;».

Έτσι σε μία από τις επόμενες διαλέξεις ο Schrödinger έκανε μία διαυγέστατη παρουσίαση για πώς ο de Broglie συνέδεσε ένα κύμα με ένα σωμάτιο και πώς μπόρεσε να βγάλει τις συνθήκες κβάντωσης του Bohr, απαιτώντας να ταιριάζει ένας ακέραιος αριθμός μηκών κύματος πάνω σε μία στάσιμη τροχιά. Όταν τελείωσε, ο Debye παρατήρησε ότι ένας τέτοιος τρόπος περιγραφής του φαινόταν μάλλον παιδιάστικος. Αυτός, σαν μαθητής του Sommerfeld, είχε μάθει ότι για να μιλήσει κανείς σωστά για κύματα πρέπει να έχει μία κυματική εξίσωση […].

Ύστερα από μερικές εβδομάδες ο Schrödinger έδωσε μία άλλη ομιλία στο σεμινάριο την οποία άρχισε ως εξής: «Ο συνάδελφος Debye είπε ότι πρέπει να έχει κανείς μια κυματική εξίσωση. Ε, λοιπόν βρήκα μία!». [Felix Bloch]

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 2

Στις παρακάτω ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής 1 - 17 να σημειώσετε απλώς τη σωστή απάντηση.

1. Ο κύριος κβαντικός αριθμός καθορίζει:
Α) το σχήμα του ηλεκτρονιακού νέφους
Β) την ιδιοπεριστροφή του ηλεκτρονίου
Γ) τον προσανατολισμό του ηλεκτρονιακού νέφους
Δ) το μέγεθος του ηλεκτρονιακού νέφους [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

2. Σχετικά με τις τιμές των τεσσάρων κβαντικών αριθμών, τι από τα παρακάτω δεν ισχύει;
Α) $n = 1, 2, 3, ...$ Β) $\ell = 1, 2, 3, ... , (n+1)$
Γ) $m_\ell = -\ell, ... , 0, ... , +\ell$ Δ) $m_s = +1/2, -1/2$

3. Αν για ένα τροχιακό $m_\ell = 1$, τότε ο ℓ δεν μπορεί να πάρει την τιμή:
Α) 0 Β) 1 Γ) 0 ή 1 Δ) 2

4. Σχετικά με τις υποστιβάδες 3s, 3p και 3d ενός ατόμου υδρογόνου, ποια από τις παρακάτω σχέσεις είναι η σωστή;
Α) $E_{3s} < E_{3p}$ Β) $E_{3p} < E_{3d}$
Γ) $E_{3s} < E_{3d}$ Δ) $E_{3s} = E_{3p} = E_{3d}$

5. Το πλήθος των ατομικών τροχιακών στις στιβάδες L και M είναι αντίστοιχα:
Α) 4 και 9 Β) 4 και 10 Γ) 8 και 18 Δ) 4 και 8
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

6. Ένα οποιοδήποτε τροχιακό s έχει:
Α) $n = 1$, $\ell = 0$ και $m_\ell = 0$ Β) $\ell = 0$ και $m_\ell = 0$
Γ) $n = 1$ και $m_\ell = 0$ Δ) $\ell = 1$ και $m_\ell = 0$

7. Το ηλεκτρόνιο ενός ατόμου μπορεί να έχει την εξής τετράδα κβαντικών αριθμών:
Α) (2, 2, 0, +½)
Β) (2, 0, 1, −½)
Γ) (1, 0, 0, +½)
Δ) (3, 2, 1, 0) [ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2026]

8. Ποιος τύπος ατομικού τροχιακού αντιστοιχεί στην τριάδα $n = 3$, $\ell = 0$ και $m_\ell = 0$; [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]
Α) $3p_x$ Β) $3p_y$ Γ) 3s Δ) $3p_z$

9. Ποιο από τα παρακάτω τροχιακά δεν μπορεί να υπάρχει;
Α) 5s Β) 3p Γ) 4f Δ) 2d
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

10. Ο ελάχιστος κύριος κβαντικός αριθμός (n) που μπορεί να έχει ένα d ατομικό τροχιακό είναι:
Α) $n = 1$ Β) $n = 2$ Γ) $n = 3$ Δ) $n = 4$

11. Σε ποια από τις παρακάτω υποστιβάδες αντιστοιχούν περισσότερα ατομικά τροχιακά;
Α) Στην υποστιβάδα 4p Β) Στην υποστιβάδα 2s
Γ) Στην υποστιβάδα 3d Δ) Στην υποστιβάδα 4f
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2026]

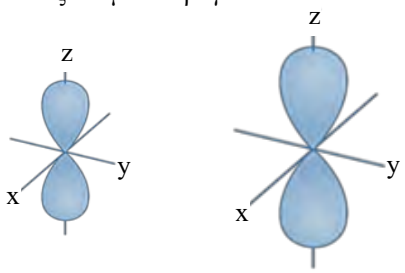
12. Σε ένα άτομο του υδρογόνου, ποιος ο αριθμός των τροχιακών με $n = 3$ και $m_\ell = 1$;
Α) 1 Β) 2 Γ) 3 Δ) 4

13. Με βάση το συμβολισμό p_x προκύπτουν οι τιμές:
Α) του δευτερεύοντος κβαντικού αριθμού
Β) του μαγνητικού κβαντικού αριθμού
Γ) του αζιμουθιακού και του μαγνητικού κβαντικού αριθμού
Δ) του κύριου και του δευτερεύοντος κβαντικού αριθμού
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

14. Ο κβαντικός αριθμός ℓ καθορίζει:
Α) τον προσανατολισμό του ηλεκτρονιακού νέφους
Β) την ιδιοπεριστροφή του ηλεκτρονίου
Γ) το σχήμα του ηλεκτρονιακού νέφους
Δ) το μέγεθος του ηλεκτρονιακού νέφους [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

15. Από τις ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις, 3s → 2p, 4s → 3p, 5s → 4p και 6s → 5p σε ένα άτομο υδρογόνου, ποιες παράγουν ακτινοβολίες με το ίδιο μήκος κύματος (λ);
Α) Η μετάπτωση 3s → 2p και η μετάπτωση 4s → 3p
Β) Η μετάπτωση 5s → 4p και η μετάπτωση 6s → 5p
Γ) Όλα τα φωτόνια έχουν το ίδιο μήκος κύματος
Δ) Οι τέσσερις μεταπτώσεις παράγουν ακτινοβολίες με διαφορετικά μήκη κύματος

16. Στο σχήμα που ακολουθεί εμφανίζονται δύο ατομικά τροχιακά ενός ατόμου υδρογόνου.



Τα δύο αυτά τροχιακά έχουν:
Α) την ίδια ενέργεια
Β) την ίδια τιμή του ℓ αλλά διαφορετική τιμή του m_ℓ
Γ) την ίδια τιμή του ℓ και του m_ℓ αλλά διαφορετική τιμή του n
Δ) την ίδια τιμή του m_s αλλά διαφορετική τιμή του m_ℓ

17. Ένα τροχιακό ενός ατόμου υδρογόνου έχει $m_\ell = -1$. Το τροχιακό αυτό θα ανήκει υποχρεωτικά:
Α) σε υποστιβάδα s
Β) σε υποστιβάδα p
Γ) είτε σε υποστιβάδα s είτε σε υποστιβάδα p
Δ) σε υποστιβάδα με $\ell \geq 1$

18. Για ένα άτομο του υδρογόνου η τιμή της κυματοσυνάρτησης ψ στις θέσεις Α και Β γύρω από τον πυρήνα έχει τιμές $\psi_1 = 10^{-3}$ και $\psi_2 = -10^{-2}$, αντίστοιχα. Να εξηγήσετε σε ποια από τις δύο θέσεις Α ή Β το ηλεκτρόνιο παρουσιάζει μεγαλύτερη πιθανότητα παρουσίας.

.....

.....

19. Θεωρούμε τα τροχιακά που αντιστοιχούν στις τρεις πρώτες ενεργειακές στιβάδες ενός ατόμου υδρογόνου (n = 1, 2, 3).
α) Ποιος είναι ο συνολικός αριθμός των τροχιακών με n = 1, n = 2 και n = 3;
β) Πόσα από τα τροχιακά των τριών πρώτων ενεργειακών στιβάδων έχουν ℓ = 1;
γ) Πόσα από τα τροχιακά των τριών πρώτων ενεργειακών στιβάδων έχουν m_ℓ = 1;
Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

20. Να χαρακτηρίσετε τις προτάσεις που ακολουθούν ως σωστές ή λανθασμένες.
α) Όλα τα τροχιακά με τον ίδιο κύριο κβαντικό αριθμό (n) συγκροτούν μια υποστιβάδα. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]
β) Η επίλυση της εξίσωσης Schrödinger για το άτομο του υδρογόνου οδηγεί στις κυματοσυναρτήσεις ψ, οι οποίες περιγράφουν την κατάσταση του ηλεκτρονίου με ορισμένη ενέργεια (E_n) και ονομάζονται ατομικά τροχιακά.
γ) Σύμφωνα με την κβαντομηχανική, τα ηλεκτρόνια κινούνται σε κυκλικές τροχιές γύρω από τον πυρήνα του ατόμου.
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]
δ) Αν ένα τροχιακό έχει $m_\ell = 0$, θα είναι οπωσδήποτε τροχιακό τύπου s.
ε) Το ψ^2 εκφράζει την πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο σε ένα ορισμένο σημείο του χώρου γύρω από τον πυρήνα.
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2024]
στ) Η κυματική εξίσωση του Schrödinger για το άτομο του υδρογόνου συσχετίζει με μαθηματικό τρόπο τη σωματιδιακή και την κυματική συμπεριφορά του ηλεκτρονίου.
ζ) Ο κβαντικός αριθμός του spin δεν συμμετέχει στη διαμόρφωση της τιμής της ενέργειας του ηλεκτρονίου και κατά συνέπεια στο καθορισμό του ατομικού τροχιακού.

21. Να αναφέρετε τρεις ομοιότητες και δύο διαφορές ανάμεσα στα τροχιακά $2p_x$ και $2p_z$ ενός ατόμου υδρογόνου.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

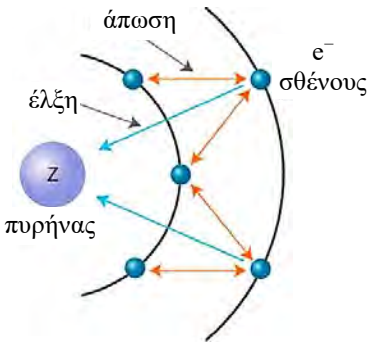
.....

«Δεν έχει τόσο σημασία να δει κανείς ότι δεν έχουν δει οι άλλοι, αλλά το να σκεφτεί ότι δεν έχει σκεφτεί κανείς άλλος για κάτι που όλοι βλέπουν».
– Erwin Schrodinger

3 Αρχές Δόμησης Πολυηλεκτρονιακών Ατόμων

ΘΕΜΑΤΑ ΘΕΩΡΙΑΣ

1. Οι ενέργειες των υποστιβάδων στα πολυηλεκτρονιακά άτομα



Το άτομο του Η και τα υδρογονοειδή ιόντα διαθέτουν ένα μόνο ηλεκτρόνιο, με αποτέλεσμα να μην εμφανίζονται ηλεκτρονιακές απώσεις και ο δευτερεύοντας κβαντικός αριθμός (ℓ) δεν επηρεάζει την ενέργεια των τροχιακών της ίδιας στιβάδας. Στα πολυηλεκτρονιακά άτομα οι απώσεις μεταξύ των ηλεκτρονίων έχουν ως αποτέλεσμα την ενεργειακή διαφοροποίηση των υποστιβάδων της ίδιας στιβάδας.

Είδαμε ότι η κυματική εξίσωση του Schrödinger επιλύεται επακριβώς μόνο για το άτομο του υδρογόνου (και τα υδρογονοειδή ιόντα). Στα πολυηλεκτρονιακά άτομα, εκτός από την έλξη των ηλεκτρονίων από τον πυρήνα, εμφανίζονται απώσεις μεταξύ των ηλεκτρονίων και η εξίσωση του Schrödinger περιέχει όρους που σχετίζονται με τη δυναμική ενέργεια λόγω των απώσεων αυτών. Στην περίπτωση αυτή για την επίλυση της εξίσωσης εφαρμόζονται πολύπλοκες προσεγγιστικές μέθοδοι με βάση τις οποίες προκύπτουν δύο σημαντικές διαφοροποιήσεις σε σχέση με το άτομο του υδρογόνου:

- Η ελκτική δύναμη του πυρήνα σε ένα δοσμένο ηλεκτρόνιο αυξάνεται με την αύξηση του φορτίου του με αποτέλεσμα οι ενέργειες των τροχιακών να μειώνονται με την αύξηση του ατομικού αριθμού Z, να λαμβάνουν δηλαδή όλο και πιο αρνητικές τιμές.
- Οι ενέργειες των υποστιβάδων μίας στιβάδας εξαρτώνται και από τον δευτερεύοντα κβαντικό αριθμό ℓ, με αποτέλεσμα οι ενέργειες των υποστιβάδων της ίδιας στιβάδας να μην είναι πια ίσες. Μάλιστα, σε μια δοσμένη στιβάδα (δοσμένος n), με την αύξηση της τιμής του ℓ αυξάνεται και η ενέργεια της υποστιβάδας.

Η τιμή του ℓ αποτελεί μέτρο της άπωσης μεταξύ των ηλεκτρονίων ενός πολυηλεκτρονιακού ατόμου.

2. Σύγκριση των ενεργειών των διαφόρων υποστιβάδων - Κανόνας ($n + \ell$)

Λοιπόν, τα ηλεκτρόνια ενός πολυηλεκτρονιακού ατόμου απωθούνται μεταξύ τους. Έτσι, τα ηλεκτρόνια που είναι μακρύτερα από τον πυρήνα προστατεύονται από την ελκτική επίδραση του πυρήνα από τα εσωτερικά τους ηλεκτρόνια. Η αποτελεσματικότητα της προστασίας ενός συγκεκριμένου ηλεκτρονίου από τα εσωτερικά του ηλεκτρόνια εξαρτάται από το είδος του τροχιακού το οποίο καταλαμβάνει. Έτσι, ένα ηλεκτρόνιο σε τροχιακό 2s «σπαταλά» περισσότερο χρόνο κοντά στον πυρήνα από ότι ένα ηλεκτρόνιο σε τροχιακό 2p. Άρα, ένα ηλεκτρόνιο σε τροχιακό 2p προστατεύεται από την έλξη του πυρήνα από τα ηλεκτρόνια σε τροχιακό 2s (καθώς και από τα ηλεκτρόνια 1s). Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα τροχιακά 2s και 2p να μην έχουν πια την ίδια ενέργεια.

Στα πολυηλεκτρονιακά άτομα με την αύξηση της τιμής του ℓ αυξάνεται η ενέργεια της υποστιβάδας μιας στιβάδας.

Γενικότερα, στα πολυηλεκτρονιακά άτομα οι ενέργειες των υποστιβάδων μιας συγκεκριμένης στιβάδας ακολουθούν τη σειρά: s < p < d < f, δηλαδή σύμφωνα με την αύξηση του δευτερεύοντα κβαντικού αριθμού. Έτσι για παράδειγμα για τις υποστιβάδες της στιβάδας Μ ($n = 3$) ενός πολυηλεκτρονιακού ατόμου ισχύει: $E_{3s} < E_{3p} < E_{3d}$.

Είπαμε, στα πολυηλεκτρονιακά άτομα οι ενέργειες των υποστιβάδων εξαρτώνται και τον δευτερεύοντα κβαντικό αριθμό ℓ.

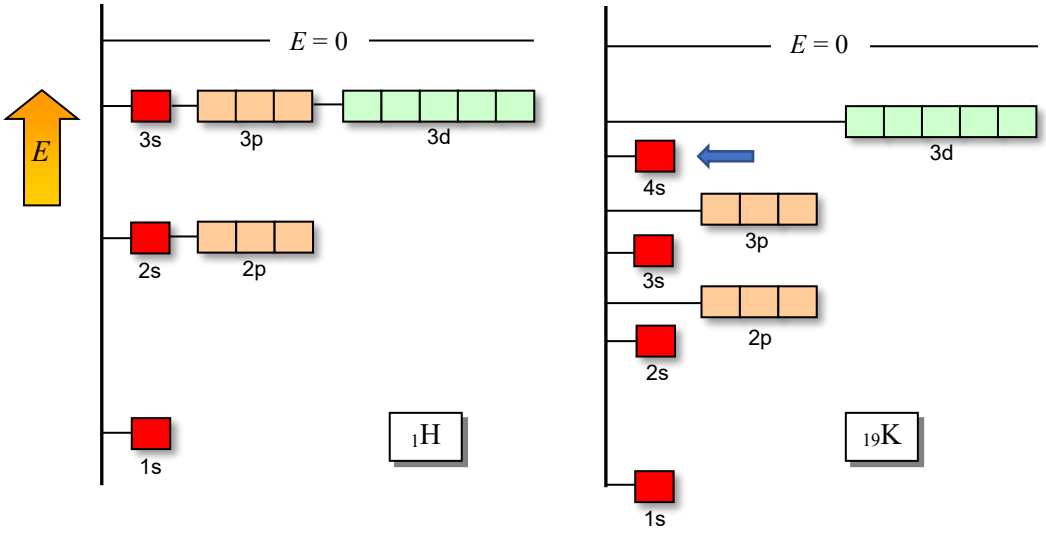
Έχει διαπιστωθεί ότι ανάμεσα σε δύο υποστιβάδες ενός πολυηλεκτρονιακού ατόμου τη χαμηλότερη ενέργεια έχει αυτή με το μικρότερο άθροισμα $(n + \ell)$. Με βάση τον κανόνα αυτό έχουμε π.χ.:

Για την 4s: $n_1 + \ell_1 = 4 + 0 = 4$
Για την 3d: $n_2 + \ell_2 = 3 + 2 = 5 > 4$ και επομένως $E_{4s} < E_{3d}$

Στην περίπτωση στην οποία για δύο υποστιβάδες ισχύει: $n_1 + \ell_1 = n_2 + \ell_2$, τη μικρότερη ενέργεια έχει αυτή με το μικρότερο n, καθώς η έλξη από τον πυρήνα είναι σημαντικότερος παράγοντας σε σχέση με τις απώσεις μεταξύ των ηλεκτρονίων. Π.χ.:

4s: $n_1 + \ell_1 = 4 + 0 = 4$
3p: $n_2 + \ell_2 = 3 + 1 = 4$ και επομένως $E_{4s} > E_{3p}$

Σε κάποιες περιπτώσεις, παρατηρείται απόκλιση από τη διαδοχική σειρά ενέργειας των στιβάδων, καθώς κάποια υποστιβάδα με μικρότερο n μπορεί να παρουσιάζει μεγαλύτερη ενέργεια από μία άλλη υποστιβάδα με μεγαλύτερο n. Θα φανεί καλύτερα τι ακριβώς εννοούμε στα διαγράμματα που ακολουθούν.



Σχήμα 1. *Συγκριτικό διάγραμμα των διαφόρων υποστιβάδων για το άτομο του υδρογόνου (αριστερά) και ένα πολυηλεκτρονιακό άτομο, π.χ. το άτομο του καλίου (δεξιά). Στο άτομο του υδρογόνου οι υποστιβάδες της ίδιας στιβάδας έχουν την ίδια ενέργεια. Στο πολυηλεκτρονιακό άτομο οι υποστιβάδες της ίδιας στιβάδας δεν έχουν πια την ίδια ενέργεια, καθώς με την αύξηση του ℓ αυξάνεται και η ενέργεια της υποστιβάδας.*

aufbau: Γερμανική λέξη που σημαίνει δόμηση (κατασκευή).

3. Οι αρχές δόμησης στα πολυηλεκτρονιακά άτομα (aufbau)

Σε ένα πολυηλεκτρονιακό άτομο τα ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν τα διάφορα τροχιακά που είναι οργανωμένα σε υποστιβάδες και σε στιβάδες. Η διαδικασία για τη διαδοχική συμπλήρωση των τροχιακών με ηλεκτρόνια αναφέρεται ως ηλεκτρονιακή δόμηση και ακολουθεί τους εξής κανόνες (αρχές):

- Απαγορευτική αρχή του Pauli.
- Αρχή της ελάχιστης ενέργειας.
- Κανόνας του Hund.

4. Η απαγορευτική αρχή του Pauli



Στην πραγματικότητα το 1925 η αρχή που πρότεινε ο Pauli ήταν η εξής: Τα ηλεκτρόνια ενός συστήματος δεν μπορούν να βρεθούν ταυτόχρονα στην ίδια κβαντική κατάσταση. Αργότερα με την ανάπτυξη της κβαντομηχανικής και για την περίπτωση των πολυηλεκτρονιακών ατόμων πήρε τη διπλανή διατύπωση.

Το 1925 ο Αυστριακός φυσικός Wolfgang Pauli πρότεινε το εξής:

«Είναι αδύνατο να υπάρχουν στο ίδιο άτομο δύο ηλεκτρόνια με ίδια τετράδα κβαντικών αριθμών (n, ℓ, m_ℓ, m_s)».

Οι τρεις πρώτοι κβαντικοί n, ℓ και m_ℓ καθορίζουν ένα συγκεκριμένο τροχιακό, οπότε δύο ηλεκτρόνια που καταλαμβάνουν το ίδιο τροχιακό θα πρέπει να έχουν τους τρεις αυτούς κβαντικούς αριθμούς ίδιους. Έτσι, σύμφωνα με την απαγορευτική αρχή του Pauli θα πρέπει να διαφέρουν στον τέταρτο κβαντικό αριθμό του spin, m_s. Επειδή οι δυνατές τιμές του m_s είναι μόνο δύο (+1/2, −1/2) συμπεραίνουμε ότι:

«Μόνο δύο ηλεκτρόνια μπορούν να καταλάβουν το ίδιο τροχιακό και τα δύο αυτά ηλεκτρόνια θα πρέπει να έχουν αντίθετο spin».

Σύμφωνα με την απαγορευτική αρχή του Pauli μπορούμε να προσδιορίσουμε το μέγιστο αριθμό των ηλεκτρονίων σε μία οποιαδήποτε υποστιβάδα, s, p, d, f κτλ. Έτσι μία υποστιβάδα τύπου p (2p, 3p, 4p κτλ.) που αποτελείται από τρία τροχιακά, θα «χωράει» το πολύ $3 \cdot 2 = 6$ ηλεκτρόνια. Ανάλογα, ο μέγιστος αριθμός ηλεκτρονίων σε μία d υποστιβάδα είναι 10 ηλεκτρόνια, σε μία f υποστιβάδα 14 ηλεκτρόνια, ενώ μία υποστιβάδα τύπου s «χωράει» δύο μόνο ηλεκτρόνια καθώς διαθέτει ένα μόνο τροχιακό.

Τελικά, με βάση την απαγορευτική αρχή του Pauli μπορούμε να προσδιορίσουμε το μέγιστο αριθμό ηλεκτρονίων σε ένα τροχιακό, σε μία υποστιβάδα και τελικά σε μία στιβάδα, σύμφωνα με τον πίνακα που ακολουθεί.

Ένα τροχιακό μπορεί να είναι κενό ή να διαθέτει ένα μόνο ηλεκτρόνιο ή και δύο ηλεκτρόνια αλλά με αντιπαράλληλο spin. Αν παραστήσουμε με (↑) και (↓) τα ηλεκτρόνια με spin +1/2 και −1/2 οι δυνατές δομές για ένα συγκεκριμένο τροχιακό, σύμφωνα με την απαγορευτική αρχή του Pauli είναι:

 πλήρες τροχιακό

 ημισυμπληρωμένο

 κενό τροχιακό

ΣΤΙΒΑΔΑ	ΤΡΟΧΙΑΚΑ		ΠΛΗΘΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ	
	είδος	πλήθος	υποστιβάδας	στιβάδας
K	1s	1	2	**2**
L	2s	1	2	**8**
	2p	3	6	
M	3s	1	2	**18**
	3p	3	6	
	3d	5	10	
N	4s	1	2	**32**
	4p	3	6	
	4d	5	10	
	4f	7	14	

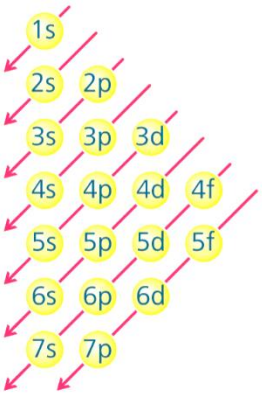
Παρατηρούμε ότι ο μέγιστος αριθμός ηλεκτρονίων σε μία στιβάδα είναι $2n^2$, όπου n ο κύριος κβαντικός αριθμός της στιβάδας.

5. Η αρχή της ελάχιστης ενέργειας

Γενικά, κατά την πλήρωση με ηλεκτρόνια των τροχιακών ενός πολυηλεκτρονιακού ατόμου ακολουθείται η αρχή της ελάχιστης ενέργειας, σύμφωνα με την οποία:

«Κατά την ηλεκτρονιακή δόμηση ενός πολυηλεκτρονιακού ατόμου, τα ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν τροχιακά με τη μικρότερη ενέργεια, ώστε να αποκτήσουν τη μεγαλύτερη σταθερότητα στη θεμελιώδη τους κατάσταση».

Με βάση τον κανόνα ($n + \ell$), η σειρά πλήρωσης των υποστιβάδων απομνημονεύεται εύκολα σύμφωνα με το διπλανό διάγραμμα. Βλέπουμε π.χ. ότι μετά την συμπλήρωση της υποστιβάδας 3p (με 6 ηλεκτρόνια) συμπληρώνεται η υποστιβάδα 4s (που έχει μικρότερη ενέργεια) και μετά η 3d. Με άλλα λόγια, η εισαγωγή ηλεκτρονίων στη στιβάδα N ($n = 4$) αρχίζει προτού συμπληρωθεί η στιβάδα M ($n = 3$)!



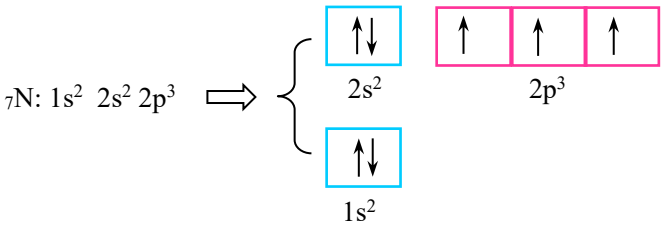
Το διάγραμμα αυτό αναφέρεται και ως κανόνας Klechkowsky - Madelung.

6. Ο κανόνας του Hund

Σύμφωνα με τον εμπειρικό κανόνα του Hund (ή κανόνας της μέγιστης πολλαπλότητας) που διατυπώθηκε το 1925 από τον Hund:

«Ηλεκτρόνια που καταλαμβάνουν τροχιακά της ίδιας ενέργειας (της ίδιας υποστιβάδας), έχουν κατά προτίμηση παράλληλα spin».

Έτσι, σε μία υποστιβάδα πρώτα καταλαμβάνονται όλα τα τροχιακά της από ένα ηλεκτρόνιο με παράλληλα spin και στη συνέχεια, αν υπάρχουν διαθέσιμα ηλεκτρόνια, θα αρχίσουν να δημιουργούνται ζεύγη ηλεκτρονίων με αντιπαράλληλα spin. Π.χ. στην ηλεκτρονιακή δομή του $_7$N μετά την συμπλήρωση του τροχιακού 1s και του τροχιακού 2s αρχίζει η συμπλήρωση της 2p υποστιβάδας, που αποτελείται από τρία τροχιακά της ίδιας ενέργειας. Τα τρία ηλεκτρόνια κατανέμονται στα τροχιακά αυτά «κατά μόνας» με παράλληλα spin:



Η εφαρμογή του κανόνα του Hund εξασφαλίζει το μέγιστο άθροισμα κβαντικών αριθμών spin, π.χ. στην περίπτωση του $_7$N: 1/2 + 1/2 + 1/2 = 3/2. Σε μία πιο πρακτική θεώρηση, το 1ο ηλεκτρόνιο σε μία υποστιβάδα μπορεί είτε να έχει «spin-up» (↑) είτε «spin-down» (↓), το 2ο ηλεκτρόνιο όμως που θα καταλάβει ένα άλλο τροχιακό της υποστιβάδας θα πρέπει να έχει το ίδιο spin. Η διάταξη αυτή εξασφαλίζει τη μικρότερη ενέργεια στο σύστημα και επομένως είναι η πιο σταθερή.

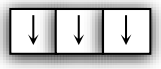
Ας δούμε τώρα το άτομο του $_8$O: $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$. Οι ηλεκτρονιακές δομές που εμφανίζονται στα παρακάτω διαγράμματα είναι δεκτές με βάση την απαγορευτική του Pauli, όμως **μόνο η αριστερή** είναι σύμφωνη και με τον κανόνα του Hund:





Friedrich Hund (1896 - 1997). Γερμανός θεωρητικός φυσικός.

Με βάση τον κανόνα του Hund, η ηλεκτρονιακή δομή του $_7$N γράφεται ως εξής: $1s^2\ 2s^2\ 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$.
Η δομή αυτή εξασφαλίζει τη μικρότερη ενέργεια στο σύστημα. Να σημειωθεί ότι μία δομή της μορφής,



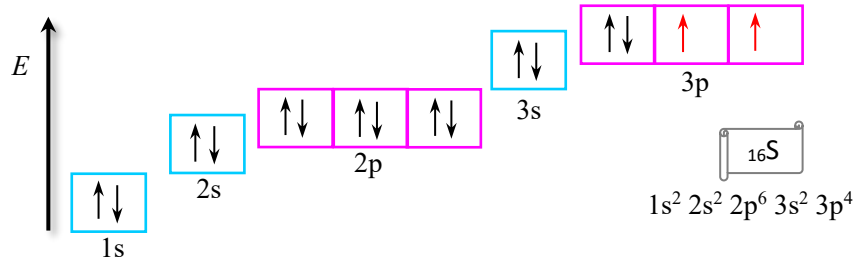
είναι επίσης σύμφωνη με τον κανόνα του Hund.

Σε ένα λεωφορείο ή στο μετρό τα καθίσματα είναι δύο θέσεων και σε αυτά οι επιβάτες προτιμούν να καθίσουν σε ένα κενό διθέσιο, χωρίς διπλανό επιβάτη, για να έχουν περισσότερο χώρο. Βέβαια, όταν όλα τα διθέσια καταληφθούν από έναν επιβάτη, τότε καταλαμβάνεται και η διπλανή θέση.

7. Η διαδικασία της ηλεκτρονιακής δόμησης

Με βάση τους τρεις κανόνες της ηλεκτρονιακής δόμησης μπορούμε να γράψουμε τις ηλεκτρονιακές δομές των ατόμων στη θεμελιώδη τους κατάσταση. Ας θεωρήσουμε π.χ. την περίπτωση του $_{16}S$. Με βάση τη σειρά πλήρωσης εισάγουμε κατά σειρά δύο e^- στην υποστιβάδα 1s, δύο e^- στην υποστιβάδα 2s, έξι e^- στην 2p, δύο e^- στην 3s και τέσσερα e^- στην 3p (δεν συμπληρώνεται, καθώς δεν υπάρχουν διαθέσιμα ηλεκτρόνια). Έτσι η ηλεκτρονιακή δομή του $_{16}S$ έχει ως εξής: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^4$ (δομή στιβάδων, $K^2\ L^8\ M^6$).

Η δομή αυτή απεικονίζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί:



Εναλλακτικά, μπορούμε να γράψουμε τη δομή ενός ατόμου με βάση το προηγούμενό του ευγενές αέριο και τις επιπλέον υποστιβάδες που διαθέτει:

$_{16}S$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^4$ ή $[_{10}Ne]\ 3s^2\ 3p^4$
$_{28}Ni$: $1s^2\ 2s^2 2p^6\ 3s^2 3p^6\ 3d^8\ 4s^2$ ή $[_{18}Ar]\ 3d^8\ 4s^2$

Τα 3d ηλεκτρόνια είναι γενικά πιο κοντά στον πυρήνα σε σχέση με τα 4s ηλεκτρόνια. Έτσι, όταν εισέλθουν 3d ηλεκτρόνια στην ηλεκτρονιακή δομή, απωθούν τα 4s ηλεκτρόνια πιο μακριά από τον πυρήνα «αναγκάζοντάς» τα να έχουν μεγαλύτερη ενέργεια. Αυτό εξηγεί γιατί τα 4s ηλεκτρόνια απομακρύνονται κατά προτεραιότητα από ένα άτομο αν και συμπληρώνουν τη δομή πριν από τα 3d.

Θα παρατηρήσατε ότι στη δομή αυτή γράψαμε την υποστιβάδα 3d πριν την 4s παρότι συμπληρώνεται μετά. Πραγματικά, όταν η 4s συμπληρωθεί και αρχίζει η συμπλήρωση της 3d, η 4s αποκτά υψηλότερη ενέργεια, καθώς η ενέργεια της εξωτερικής στιβάδας είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια οποιασδήποτε εσωτερικής. Έτσι, π.χ. στο άτομο του $_{22}Ti$ με δομή: $[_{18}Ar]\ 3d^2\ 4s^2$ η ενέργεια των ηλεκτρονίων της υποστιβάδας 4s είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια των ηλεκτρονίων της 3d (άσχετα αν το τελευταίο ηλεκτρόνιο «μπήκε» στην υποστιβάδα 3d, σύμφωνα με τη σειρά πλήρωσης των υποστιβάδων!). Απόδειξη; Δείτε τη επόμενη παράγραφο.

8. Ηλεκτρονιακές δομές κατιόντων και ανιόντων

Η ερώτηση της ημέρας: Ποια η ηλεκτρονιακή δομή του ιόντος Mg^{2+};

Γενικά, οι ηλεκτρονιακές δομές των κατιόντων στη θεμελιώδη κατάσταση προκύπτουν από τα αντίστοιχα άτομα με αφαίρεση ηλεκτρονίων από την τελευταία υποστιβάδα που διαθέτει ηλεκτρόνια. Έτσι, π.χ. η ηλεκτρονιακή δομή του $_{11}Na$ είναι $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$, ενώ του $_{11}Na^+$ είναι $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$ (αφαίρεση ενός ηλεκτρονίου από την υποστιβάδα 3s).

Για να δούμε όμως τι συμβαίνει με τα άτομα που διαθέτουν ηλεκτρόνια σε d υποστιβάδα. Κατά τη διαδικασία της δόμησης η υποστιβάδα 4s βρίσκεται χαμηλότερα ενεργειακά από την 3d και για το λόγο αυτό συμπληρώνεται κατά προτεραιότητα. Όμως στα άτομα με ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια στην 3d, η 4s αποκτά μεγαλύτερη ενέργεια μετά την πλήρωση, οπότε η αποβολή ηλεκτρονίων γίνεται πρώτα από την υποστιβάδα αυτή. Δηλαδή:

Κατά το σχηματισμό ενός κατιόντος από ουδέτερο άτομο, πρώτα αφαιρούνται τα p ηλεκτρόνια (αν υπάρχουν), στη συνέχεια αφαιρούνται τα s ηλεκτρόνια και τέλος αφαιρούνται τα τυχόν d ηλεκτρόνια που είναι απαραίτητα για να επιτευχθεί το καθορισμένο θετικό φορτίο.

Παραδείγματα

$_{22}Ti$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2 3p^6 3d^2\ 4s^2$ $_{26}Fe$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^6\ 4s^2$

$_{22}Ti^{2+}$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^2$ $_{26}Fe^{2+}$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^6$

$_{22}Ti^{3+}$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^1$ $_{26}Fe^{3+}$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5$

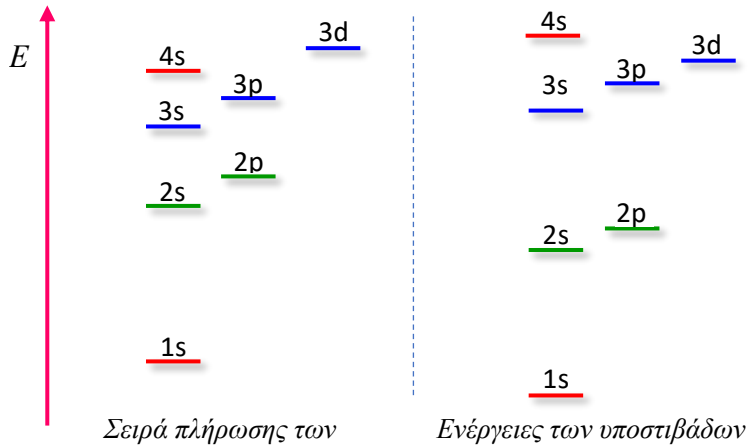
Ανιόντα σχηματίζουν βασικά τα αμέταλλα που όπως θα δούμε συμπληρώνουν μία p υποστιβάδα. Κατά το σχηματισμό, λοιπόν, ενός ανιόντος γενικά προστίθενται ηλεκτρόνια σε υποστιβάδα τύπου p (μέχρι και τη συμπλήρωσή της). Π.χ.:

$_8O$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^4 \Rightarrow {}_8O^{2-}$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$

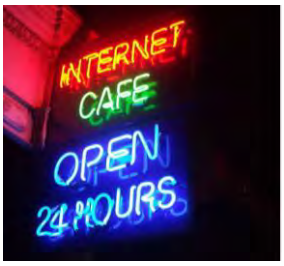
Γενικά, ως ηλεκτρόνια σθένους χαρακτηρίζουμε όλα τα ηλεκτρόνια των υποστιβάδων με το μεγαλύτερο κύριο κβαντικό αριθμό και είναι υπεύθυνα και για το σχηματισμό των χημικών δεσμών. Π.χ. το $_9F$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^5$ διαθέτει 7 ηλεκτρόνια σθένους. Σε κάποιες περιπτώσεις στο σχηματισμό δεσμών συμμετέχουν και «εσωτερικά» ηλεκτρόνια, π.χ. τα ηλεκτρόνια d υποστιβάδων στα στοιχεία μετάπτωσης, αλλά με την περίπτωση αυτή δεν θα ασχοληθούμε.

9. Ενέργειες των υποστιβάδων ενός ατόμου

Στις αρχές της ηλεκτρονιακής δόμησης των ατόμων (aufbau) είδαμε τη σειρά πλήρωσης των υποστιβάδων, σύμφωνα με την οποία η 4s συμπληρώνεται πριν από την 3d. Όμως, η ηλεκτρονιακή δομή π.χ. του Fe γράφεται $_{26}Fe$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^6\ 4s^2$. Γιατί; Ένας λόγος είναι για να εμφανίσουμε τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας, που είναι αυτά τα οποία αποχωρούν πρώτα κατά το σχηματισμό του κατιόντος. Ένας λόγος είναι επίσης ότι η σειρά πλήρωσης δεν είναι ίδια με την ενεργειακή σειρά μετά την πλήρωση του ατόμου. Έτσι, π.χ. με την εισαγωγή έστω και ενός ηλεκτρονίου στην 3d υποστιβάδα αυτή αποκτά μικρότερη ενέργεια από την 4s:



Σειρά πλήρωσης των υποστιβάδων (aufbau) *Ενέργειες των υποστιβάδων του ατόμου μετά την πλήρωση*



Όταν το ηλεκτρικό ρεύμα περάσει από ένα αέριο, τα ηλεκτρόνιά του διεγείρονται και μεταπηδούν σε υψηλότερες ενεργειακές στάθμες. Σχεδόν ακαριαία επιστρέφουν στη θεμελιώδη κατάσταση ελευθερώνοντας την ενέργεια που απορρόφησαν με τη μορφή φωτονίων. Με άλλα λόγια, η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε φωτεινή. Αυτή είναι η βασική αρχή των φωτεινών επιγραφών «νέον» αν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα αέρια για την απόκτηση του επιθυμητού χρώματος. Πηγή φωτογραφίας: *Indroductory Chemistry - 1st Canadian Edition* by Jessie Key.

10. Αποκλίσεις από τη σειρά πλήρωσης των υποστιβάδων

Η ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων $_{24}Cr$ και $_{29}Cu$ έχει ως εξής:

$_{24}Cr$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^1$ $_{29}Cu$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^1$

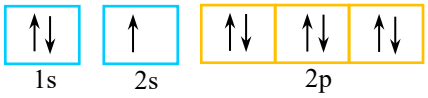
Σύμφωνα με τη σειρά πλήρωσης το άτομο του $_{24}Cr$ θα έπρεπε να είχε ηλεκτρονιακή δομή στη θεμελιώδη κατάσταση $[_{18}Ar]\ 3d^4\ 4s^2$. Όμως, πειραματικά έχει βρεθεί ότι η ηλεκτρονιακή δομή του $_{24}Cr$ στη θεμελιώδη κατάσταση είναι $[_{18}Ar]\ 3d^5\ 4s^1$. Ανάλογη διαφοροποίηση εμφανίζεται και στο άτομο του $_{29}Cu$, που από αναμενόμενη δομή $[_{18}Ar]\ 3d^9\ 4s^2$ εμφανίζει τελικά τη δομή $[_{18}Ar]\ 3d^{10}\ 4s^1$. Οι εξαιρέσεις αυτές εξηγούνται με την ειδική σταθερότητα που εμφανίζει η ημισυμπληρωμένη (d^5) και η συμπληρωμένη (d^{10}) υποστιβάδα 3d, αλλά και από το γεγονός ότι η διαφορά ενέργειας ανάμεσα στην 3d και στην 4s είναι μικρή.

Ανάλογες αποκλίσεις παρατηρούνται και σε άλλες περιπτώσεις, ιδιαίτερα σε στοιχεία που συμπληρώνουν υποστιβάδες τύπου f.

11. Θεμελιώδεις, διεγερμένες και αδύνατες καταστάσεις

Για το άτομο του $_9$F με βάση τις αρχές της ηλεκτρονιακής δόμησης προκύπτει η ηλεκτρονιακή δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^5$ (**θεμελιώδης** κατάσταση) που εξασφαλίζει τη μικρότερη ενέργεια στο σύστημα και τη μεγαλύτερη σταθερότητα. Κάθε άλλη κατάσταση που δεν υπακούει στην αρχή της ελάχιστης ενέργειας, αλλά είναι συμβατή με την απαγορευτική αρχή του Pauli λέγεται **διεγερμένη** κατάσταση και μπορεί να προκύψει π.χ. με απορρόφηση φωτονίου κατάλληλης συχνότητας (ν). Π.χ. η δομή $1s^2\ 2s^1\ 2p^6$ αντιστοιχεί σε διεγερμένη κατάσταση ενός ατόμου $_9$F:

$$F(1s^2\ 2s^2\ 2p^5) + h\nu \rightarrow F(1s^2\ 2s^1\ 2p^6) \Rightarrow$$



Έτσι, μία κατάσταση η οποία δεν είναι συμβατή με την απαγορευτική αρχή του Pauli είναι **αδύνατη** κατάσταση, π.χ. η δομή $_9$F: $1s^2\ 2p^7$ είναι αδύνατη καθώς παραβιάζει την απαγορευτική αρχή του Pauli.

Σημείωση: Μία δομή που παραβιάζει αποκλειστικά τον κανόνα Hund θεωρείται μάλλον διεγερμένη κατάσταση καθόσον διαθέτει μεγαλύτερη ενέργεια από τη θεμελιώδη.



Τεστ φλόγας. Μικρή ποσότητα Na(s) θερμαίνεται σε λύχνο Bunsen. Στη θεμελιώδη κατάσταση το $_{11}$Na έχει δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$. Με τη θέρμανση τα ηλεκτρόνια απορροφούν ενέργεια και μεταβαίνουν σε υποστιβάδες ανώτερης ενέργειας (διεγερμένες καταστάσεις). Το χαρακτηριστικό κίτρινο χρώμα στο τεστ φλόγας του Na αποδίδεται στην μετάπτωση του ηλεκτρονίου από την υποστιβάδα 3p στην υποστιβάδα 3s.
Πηγή φωτογραφίας Wikipedia.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

1. Να αναφερθούν τρεις ομοιότητες και τρεις διαφορές ανάμεσα στις υποστιβάδες ενός ατόμου υδρογόνου και ενός πολυηλεκτρονιακού ατόμου.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Ομοιότητες: Και στις δύο περιπτώσεις οι υποστιβάδες, i. έχουν αρνητικές τιμές ενέργειας, ii. λαμβάνουν κβαντισμένες τιμές ενέργειας και iii. έχουν τον ίδιο συμβολισμό ανάλογα με τις τιμές των κβαντικών αριθμών n και ℓ.

Διαφορές: Οι ενέργειες των υποστιβάδων σε ένα πολυηλεκτρονιακό άτομο i. έχουν πιο αρνητικές τιμές, λόγω του μεγαλύτερου πυρηνικού φορτίου, ii. έχουν διαφορετική ενέργεια ακόμα και όταν ανήκουν στην ίδια στιβάδα (ενώ στο άτομο του Η έχουν την ίδια ενέργεια όταν ανήκουν στην ίδια στιβάδα) και iii. εξαρτώνται από τις τιμές των κβαντικών αριθμών n και ℓ ενώ στο άτομο του Η μόνο από την τιμή του n.

2. Θεωρούμε την υποστιβάδα 2p **ενός πολυηλεκτρονιακού ατόμου.**
α) i. Ποιοι κβαντικοί αριθμοί περιγράφουν την υποστιβάδα 2p**; ii. Από πόσα τροχιακά αποτελείται; iii. Ποιες τριάδες κβαντικών αριθμών αντιστοιχούν στα τροχιακά αυτά;**
β) i. Ποιος ο μέγιστος αριθμός των ηλεκτρονίων που διαθέτει η υποστιβάδα αυτή;
ii. Ποιες τετράδες κβαντικών αριθμών αντιστοιχούν στα ηλεκτρόνια αυτά;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) i. $n = 2$, $\ell = 1$. ii. Οι δυνατές τιμές του m_ℓ είναι: −1, 0, 1 και επομένως η υποστιβάδα 2p αποτελείται από τρία τροχιακά. iii. (2,1,−1), (2,1,0) και (2,1,1).

β) i. Σύμφωνα με την απαγορευτική αρχή του Pauli, κάθε τροχιακό διαθέτει δύο το πολύ ηλεκτρόνια και επομένως στην υποστιβάδα 2p αντιστοιχούν το πολύ 6 ηλεκτρόνια.

ii. (2,1,−1,+1/2), (2,1,−1,−1/2), (2,1,0,+1/2), (2,1,0,−1/2), (2,1,1,+1/2), (2,1,1,−1/2).

3. Σε ένα πολυηλεκτρονιακό άτομο, ποιος είναι ο μέγιστος αριθμός ηλεκτρονίων με $n + \ell = 4$; Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.
i. 2 **ii.** 6 **iii.** 8 **iv.** 10

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
Επιλογή iii. Περιπτώσεις:
α) $n = 4$, $\ell = 0$: Υποστιβάδα 4s, 2 το πολύ ηλεκτρόνια.
β) $n = 3$, $\ell = 1$: Υποστιβάδα 3p, 6 το πολύ ηλεκτρόνια.
Συνολικά 2 + 6 = 8 ηλεκτρόνια.

4. Ποιος είναι ο μικρότερος ατομικός αριθμός στοιχείου, το άτομο του οποίου περιέχει:
α) Τέσσερα συνολικά s **ηλεκτρόνια.** **β) Επτά συνολικά** p **ηλεκτρόνια.**
γ) Δώδεκα συνολικά d **ηλεκτρόνια.** **δ) Ένα ζεύγος ηλεκτρονίων σε** p **υποστιβάδα.**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
α) $\underline{1s^2}\ \underline{2s^2}$ ($Z = 4$).

β) $1s^2\ 2s^2\ \underline{2p^6}\ 3s^2\ \underline{3p^1}$ ($Z = 13$).

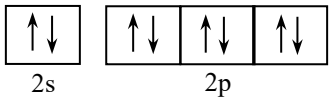
γ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ \underline{3d^{10}}\ 4s^2\ 4p^6\ \underline{4d^2}\ 5s^2$ ($Z = 40$).

δ) Για να υπάρχει ένα ζεύγος ηλεκτρονίων σε p υποστιβάδα αυτή θα πρέπει να έχει δομή p^4 καθώς, σύμφωνα με τον κανόνα του Hund, στις δομές p^3, p^2 ή p^1 αντιστοιχούν μόνο μονήρη (ασύζευκτα) ηλεκτρόνια. Επομένως, για να υπάρχει ένα ζεύγος ηλεκτρονίων σε p υποστιβάδα η ηλεκτρονιακή δομή θα πρέπει να είναι: $1s^2\ 2s^2\ \underline{2p^4}$ ($Z = 8$).

5. Ποιος ο μέγιστος αριθμός ηλεκτρονίων σε πολυηλεκτρονιακό άτομο, στη θεμελιώδη του κατάσταση, με:
α) $n = 2$, **β)** $n = 2$, $m_s = -1/2$, **γ)** $n = 4$, $\ell = 4$, $m_\ell = 3$, **δ)** $n = 3$, $\ell = 2$, **ε)** $\ell = 0$, $m_s = +1/2$, **στ)** $n = 3$, $m_\ell = 0$.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
α) Στη στιβάδα L ($n = 2$) υπάρχουν το πολύ $2 \cdot 2^2 = 8$ ηλεκτρόνια.

β) Από το διάγραμμα τροχιακών για την στιβάδα με $n = 2$, έχουμε:



Παρατηρούμε ότι από τα 8 το πολύ ηλεκτρόνια που μπορεί να βρίσκονται στην στιβάδα L μόνο 4, διαθέτουν και $m_s = -1/2$.

γ) Κανένα ηλεκτρόνιο δεν μπορεί να έχει $n = 4$ και $\ell = 4$ καθώς ο δευτερεύων κβαντικός αριθμός ℓ παίρνει τιμές μέχρι $(n - 1)$ και όχι τιμή ίση με n.

δ) Στους κβαντικούς αριθμούς $n = 3$ και $\ell = 2$ αντιστοιχούν τα 3d τροχιακά που είναι 5 και διαθέτουν το πολύ 10 ηλεκτρόνια.

ε) Το πολύ 7 ηλεκτρόνια. Τα γνωστά στοιχεία έχουν το πολύ 7 υποστιβάδες τύπου s (από 1s μέχρι 7s), οπότε σε αυτές θα περιέχονται συνολικά $2 \cdot 7 = 14$ ηλεκτρόνια το πολύ από τα οποία τα μισά έχουν $m_s = +1/2$.

στ) Η στιβάδα με $n = 3$ (στιβάδα M) διαθέτει τις υποστιβάδες 3s, 3p και 3d. Στην υποστιβάδα 3s, ισχύει $\ell = 0$ και άρα $m_\ell = 0$. Στην υποστιβάδα 3p, $\ell = 1$ και άρα $m_\ell = -1, 0, 1$. Στην υποστιβάδα 3d, $\ell = 2$ και άρα $m_\ell = -2, -1, 0, 1, 2$. Επομένως, η στιβάδα M διαθέτει τρία τροχιακά με $m_\ell = 0$, τα οποία καταλαμβάνονται από 6 το πολύ ηλεκτρόνια.

6. Οι κονσέρβες τροφίμων κατασκευάζονται από κράματα μετάλλων όπως το αργίλιο (ή αλουμίνιο, $_{13}$Al) και ο σίδηρος ($_{26}$Fe).
α) Να γράψετε την ηλεκτρονιακή δομή (κατανομή ηλεκτρονίων σε υποστιβάδες) των ατόμων του Fe **και του** Al **στη θεμελιώδη κατάσταση.**
β) Στη θεμελιώδη κατάσταση, πόσα ηλεκτρόνια του ατόμου του Fe **έχουν** $\ell = 0$**;**
γ) Στη θεμελιώδη κατάσταση, πόσα ηλεκτρόνια του ιόντος Al^{3+} **έχουν** $m_\ell = -1$**;**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
α) Σύμφωνα με τους κανόνες τις ηλεκτρονιακής δόμησης προκύπτουν οι δομές:
$_{13}$Al: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^1$, $_{26}$Fe: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^6\ 4s^2$

β) Ηλεκτρόνια με $\ell = 0$ είναι τα ηλεκτρόνια σε s υποστιβάδες και στην περίπτωση του Fe είναι 2 + 2 + 2 + 2 = 8 ηλεκτρόνια.

γ) Το $_{13}Al^{3+}$ έχει χάσει τρία ηλεκτρόνια και επομένως η δομή του είναι $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$. Στη δομή αυτή, $m_\ell = -1$ διαθέτει ένα από τα τρία τροχιακά της 2p υποστιβάδας, το $2p_y$, που διαθέτει δύο ηλεκτρόνια.

7. Ποια είναι η ηλεκτρονιακή δομή των ιόντων που ακολουθούν στη θεμελιώδη κατάσταση; α) $_3Li^{2+}$**, β)** $_1H^-$**, γ)** $_{19}K^+$**, δ)** $_{34}Se^{2-}$**, ε)** $_{48}Cd^{2+}$**.**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
α) $1s^1$. Το $_3Li^{2+}$ διαθέτει ένα μόνο ηλεκτρόνιο, καθώς έχει χάσει τα υπόλοιπα δύο.

β) Το $_1H^-$ διαθέτει 2 ηλεκτρόνια. Η ηλεκτρονιακή του δομή είναι: $1s^2$.

γ) $_{19}K^+$ (18 e): $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ \ 3s^2\ 3p^6$ (έχει χάσει το ηλεκτρόνιο 4s).

δ) $_{34}Se^{2-}$ (36 e): $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ \ 4p^6$.

ε) Το άτομο $_{48}$Cd διαθέτει 48 ηλεκτρόνια και δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6\ 4d^{10}\ 5s^2$. Χάνοντας τα δύο ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας, σχηματίζεται το κατιόν Cd^{2+} με 46 e^- και δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ \ 4p^6\ 4d^{10}$.

8. Να γράψετε την ηλεκτρονιακή δομή στη θεμελιώδη κατάσταση, α) των ατόμων $_{24}$Cr **και** $_{29}$Cu**, και β) των ιόντων** Cu^+, Cu^{2+}, Cr^{3+}, Cr^{6+}. **Να σημειώσετε τον αριθμό των μονήρων (ασύζευκτων) ηλεκτρονίων σε κάθε περίπτωση.**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
α) Είδαμε στη θεωρία ότι στην ηλεκτρονιακή δομή της θεμελιώδους κατάστασης των ατόμων του $_{24}$Cr και του $_{29}$Cu παρουσιάζεται απόκλιση, λόγω της ειδικής σταθερότητας που παρουσιάζει η δομή d^5 και d^{10}:
$_{24}$Cr: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^1$ (6 μονήρη ηλεκτρόνια).
$_{29}$Cu: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^1$ (1 μονήρες ηλεκτρόνιο).

β) Σε κάθε περίπτωση αποβάλλονται ηλεκτρόνια από την εξωτερική στιβάδα (4s) και στη συνέχεια από τις εσωτερικές υποστιβάδες:
Cu^+: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}$ (κανένα μονήρες ηλεκτρόνιο).
Cu^{2+}: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^9$ (ένα μονήρες ηλεκτρόνιο).
Cr^{3+}: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^3$ (3 μονήρη ηλεκτρόνια).
Cr^{6+}: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$ (κανένα μονήρες ηλεκτρόνιο).

9. Να χαρακτηρίσετε τις ηλεκτρονιακές δομές I - V **που ακολουθούν ως θεμελιώδεις, διεγερμένες ή αδύνατες. Για τις ηλεκτρονιακές δομές σε διεγερμένη κατάσταση να γράψετε τις αντίστοιχες δομές της θεμελιώδους κατάστασης.**

I. $_6$C**:** $1s^2\ 2s^1\ 2p^3$ **II.** $_8O^{2-}$**:** $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$ **III.** $_{24}$Cr**:** $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^1$

IV. $_9$F**:** $1s^2\ 2s^1\ 2p^7$ **V.** $_{17}Cl^-$**:** $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5\ 4s^1$

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

I. Διεγερμένη κατάσταση. Θεμελιώδης: $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$.

II. Θεμελιώδης κατάσταση.

III. Θεμελιώδης κατάσταση, λόγω της ειδικής σταθερότητας της ημισυμπληρωμένης 3d υποστιβάδας.

IV. Αδύνατη κατάσταση, Η υποστιβάδα 2p δεν μπορεί να διαθέτει 7 ηλεκτρόνια, λόγω της απαγορευτικής αρχής του Pauli.

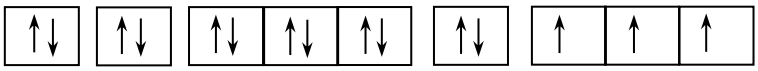
V. Διεγερμένη κατάσταση. Θεμελιώδης: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$.

10. Να προσδιοριστούν οι δυνατοί ατομικοί αριθμοί ενός στοιχείου Σ, το άτομο του οποίου στη θεμελιώδη κατάσταση διαθέτει 3 **μονήρη ηλεκτρόνια στη στιβάδα** Μ**.**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

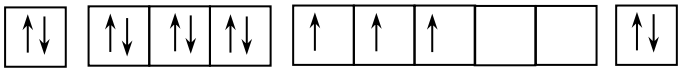
Η στιβάδα Μ διαθέτει τις υποστιβάδες 3s, 3p και 3d. Από τις υποστιβάδες αυτές, η 3s διαθέτει δύο ηλεκτρόνια (κι' αυτά σε ζεύγος), οπότε μένουν οι δύο άλλες. Διακρίνουμε τις περιπτώσεις:

α) Αν η Μ είναι εξωτερική στιβάδα, τότε δεν μπορούν να υπάρξουν ηλεκτρόνια στην 3d (θα υπήρχαν ηλεκτρόνια στην 4s):



Επομένως, $Z = 15$.

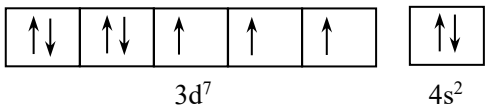
β) Αν η Μ δεν είναι εξωτερική στιβάδα, τότε μπορεί τα τρία μονήρη ηλεκτρόνια να είναι στην 3d, που συμπληρώνεται μετά την 4s, οπότε προκύπτει και η δομή:



Επομένως, $Z = 23$.

Δηλαδή μπορεί κατά τη διαδικασία της δόμησης να εισέρχονται ηλεκτρόνια σε στιβάδα προηγούμενη από την εξωτερική!

Υπάρχει και μία τελευταία και ίσως η πιο δύσκολη περίπτωση να τη σκεφτεί κανείς: Τα τρία μονήρη ηλεκτρόνια στη 3d να συνυπάρχουν μαζί με δύο ζεύγη ηλεκτρονίων:



Για την περίπτωση αυτή απαιτούνται τέσσερα επιπλέον ηλεκτρόνια, οπότε $Z = 27$.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

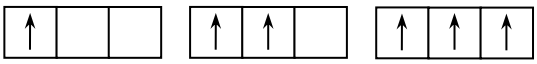
3.1. Ποιοι κβαντικοί αριθμοί σχετίζονται με την ενέργεια ενός ηλεκτρονίου σε ένα πολυηλεκτρονιακό άτομο;
Α) Μόνον ο n Β) Ο n και ο ℓ
Γ) Ο n, ο ℓ και ο m_ℓ Δ) Και οι τέσσερις

3.2. Οι υποστιβάδες 3d και 4p ενός πολυηλεκτρονιακού ατόμου έχουν:
Α) την ίδια ενέργεια και το ίδιο άθροισμα $(n + \ell)$
Β) διαφορετική ενέργεια αλλά το ίδιο άθροισμα $(n + \ell)$
Γ) την ίδια ενέργεια αλλά διαφορετικό άθροισμα $(n + \ell)$
Δ) διαφορετική ενέργεια και διαφορετικό άθροισμα $(n + \ell)$

3.3. Κατά τη διαδικασία της ηλεκτρονιακής δόμησης σε ένα πολυηλεκτρονιακό άτομο (aufbau):
Α) η υποστιβάδα 4p συμπληρώνεται αμέσως μετά την υποστιβάδα 4s
Β) μετά την υποστιβάδα 3p συμπληρώνεται η 3d
Γ) μετά την υποστιβάδα 3d συμπληρώνεται η 4s
Δ) η υποστιβάδα 4s συμπληρώνεται πριν από την 3d

3.4. Με ποια από τις αρχές της ηλεκτρονιακής δόμησης προκύπτει ο μέγιστος αριθμός ηλεκτρονίων σε μία στιβάδα;
Α) Με την αρχής τη ελάχιστης ενέργειας
Β) Με την απαγορευτική αρχή του Pauli
Γ) Με τον κανόνα του Hund
Δ) Με όλες τις αρχές της ηλεκτρονιακής δόμησης

3.5. Τα ηλεκτρόνια ενός πολυηλεκτρονιακού ατόμου καταλαμβάνουν την υποστιβάδα 2p με την παρακάτω σειρά:



$2p^1$ $2p^2$ $2p^3$

Ποιος κανόνας ή αρχή της ηλεκτρονιακής δόμησης υπαγορεύει την πλήρωση της υποστιβάδας 2p με την παραπάνω σειρά;
Α) Ο κανόνας του Hund
Β) Η απαγορευτική αρχή του Pauli
Γ) Η αρχή της ελάχιστης ενέργειας
Δ) Η αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg

3.6. **i.** Ο μέγιστος αριθμός ηλεκτρονίων σε τροχιακά p σε μία ορισμένη στιβάδα είναι:
Α) 2 Β) 3 Γ) 6 Δ) 10
ii. Σε ένα πολυηλεκτρονιακό άτομο, ποιος είναι ο μέγιστος αριθμός ηλεκτρονίων με $n = 4$;
Α) 10 Β) 14 Γ) 32 Δ) 50

3.7. Ποιος ο ατομικός αριθμός ενός στοιχείου το άτομο του οποίου στη θεμελιώδη κατάσταση διαθέτει ένα μόνο ζεύγος ηλεκτρονίων σε p υποστιβάδα;
Α) 4 Β) 6 Γ) 7 Δ) 8

3.8. Ποιον αριθμό ηλεκτρονίων περιέχει η υποστιβάδα 3d;
Α) 6 το πολύ Β) 5 το πολύ
Γ) Τουλάχιστον 10 Δ) Το πολύ 10

3.9. Ο ατομικός αριθμός (Z) ενός ατόμου με δομή $2p^3$ στη θεμελιώδη κατάσταση θα είναι:
Α) $Z = 5$ Β) $Z \geq 5$ Γ) $Z = 7$ Δ) $Z \leq 7$

3.10. **i.** Στο άτομο του $_{14}Si$ στη θεμελιώδη κατάσταση ο αριθμός των τροχιακών με μονήρες ηλεκτρόνιο είναι:
Α) 2 Β) 0 Γ) 3 Δ) 1
ii. Ποιος ο αριθμός των p ηλεκτρονίων στο ίδιο άτομο;
Α) 2 Β) 4 Γ) 6 Δ) 8

3.11. Ποια από τις επόμενες ηλεκτρονιακές δομές αντιστοιχεί στη θεμελιώδη κατάσταση του ατόμου του $_{28}Ni$;
Α) K(2) L(8) M(18) Β) K(2) L(8) M(10) N(8)
Γ) K(2) L(8) M(17) N(1) Δ) K(2) L(8) M(16) N(2)
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

3.12. Σε ένα άτομο ο μέγιστος αριθμός e^- με: i. $n = 3$, $\ell = 2$, ii. $n = 2$, $\ell = 1$, $m_\ell = -1$ και iii. $n = 1$, $\ell = 0$ είναι, αντίστοιχα:
Α) 18, 4, 18 Β) 10, 2, 2 Γ) 10, 6, 2 Δ) 10, 2, 0

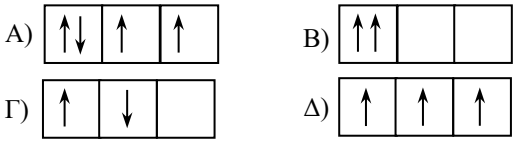
3.13. Το ιόν $_7N^{3-}$ έχει στη θεμελιώδη κατάσταση την ίδια ηλεκτρονιακή δομή με το:
Α) άτομο του $_2He$ Β) κατιόν $_{10}Ne^+$
Γ) άτομο του $_4Be$ Δ) ανιόν $_8O^{2-}$

3.14. Για την παραγωγή του φάσματος εκπομπής του $_{31}Ga$ (γάλλιο) πρέπει προηγουμένως να διεγερθεί. Ποια από τις παρακάτω ηλεκτρονιακές δομές αντιστοιχεί σε διεγερμένη κατάσταση του ατόμου του $_{31}Ga$;
Α) $[_{18}Ar]\ 3d^{10}\ 4s^3\ 4p^1$ Β) $[_{18}Ar]\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^2$
Γ) $[_{18}Ar]\ 3d^{10}\ 4s^2\ 5s^1$ Δ) $[_{18}Ar]\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^1$

3.15. Από τις ηλεκτρονιακές δομές, $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2$ (I), $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^2$ (II), $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$ (III), $1s^2\ 2s^2\ 2p^5$ (IV), $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$ (V), αποτελούν τις δομές του ιόντος $_{13}Al^{3+}$ και του ιόντος $_8O^{2-}$ στη θεμελιώδη κατάσταση:
Α) οι δομές (I) και (IV), αντίστοιχα
Β) η δομή (III) και στις δύο περιπτώσεις
Γ) οι δομές (II) και (V), αντίστοιχα
Δ) οι δομές (III) και (V), αντίστοιχα

3.16. Το στοιχείο $_{99}Es$ (αϊνσταΐνιο) είναι ένα μεταλλικό συνθετικό στοιχείο της σειράς των ακτινιδών. Το άτομό του έχει δομή (στη θεμελιώδη κατάσταση): $[Rn]\ 5f^{11}\ 7s^2$. Πόσα μονήρη ηλεκτρόνια διαθέτει το άτομο αυτό;
Α) 1 Β) 2 Γ) 3 Δ) 4

3.17. **i.** Ποια από τις παρακάτω ηλεκτρονιακές δομές μιας p υποστιβάδας παραβιάζει τον κανόνα του Hund;



[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

ii. Η ηλεκτρονιακή δομή του $_3$Li δεν μπορεί να είναι $1s^3$:
Α) λόγω της αρχής της αβεβαιότητας ή απροσδιοριστίας του Heisenberg
Β) λόγω της απαγορευτικής αρχής του Pauli
Γ) λόγω του κανόνα του Hund
Δ) λόγω της κυματικής θεωρίας της ύλης του de Broglie

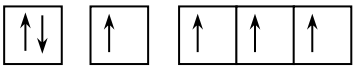
3.18. Πόσα ηλεκτρόνια σε ένα άτομο $_{22}$Ti στη θεμελιώδη κατάσταση έχουν $n = 3$ και $\ell = 2$;
Α) 2 Β) 8 Γ) 10 Δ) 18

3.19. Τα ηλεκτρόνια ενός ατόμου Χ στη θεμελιώδη κατάσταση καταλαμβάνουν 4 τροχιακά. Ο ατομικός αριθμός Z του στοιχείου θα είναι ίσος με:
Α) 4 Β) 6 Γ) 8 Δ) 10

3.20. **i.** Θεωρήστε ένα άτομο $_{17}$Cl στη θεμελιώδη του κατάσταση. Πόσα ηλεκτρόνια του ατόμου έχουν $\ell = 0$;
Α) 2 Β) 4 Γ) 6 Δ) 8
ii. Ποιο σύνολο κβαντικών αριθμών (n, ℓ, m_ℓ) μπορεί να αντιστοιχεί στο μονήρες (ασύζευκτο) ηλεκτρόνιο ενός ατόμου $_{17}$Cl στη θεμελιώδη κατάσταση;
Α) (2, 1, 0) Β) (2, 1, 1) Γ) (3, 1, 1) Δ) (3, 0, 0)

3.21. Ποια από τις δομές που ακολουθούν είναι αδύνατη για τη θεμελιώδη κατάσταση ενός ατόμου;
Α) $[_{18}Ar]\ 3d^{10}\ 4s^1$ Β) $[_{18}Ar]\ 4s^1$
Γ) $[_{18}Ar]\ 3d^3$ Δ) $[_{18}Ar]\ 3d^{10}\ 4s^2$

3.22. **i.** Ποια από τις δομές που ακολουθούν αντιστοιχεί σε ουδέτερο άτομο σε διεγερμένη κατάσταση;
Α) $[_{54}Xe]\ 4f^{14}\ 5d^{10}\ 6s^2\ 6p^3$ Β) $[_2He]\ 2s^1$
Γ) $[_{10}Ne]\ 3s^1\ 3p^1$ Δ) $[_{18}Ar]\ 3d^{10}\ 4s^1$
ii. Η ηλεκτρονιακή δομή που ακολουθεί αντιστοιχεί σε ένα άτομο $_6$C.



Η δομή αυτή:
Α) είναι αδύνατη λόγω του κανόνα του Hund
Β) είναι αδύνατη γιατί δεν υπακούει στην απαγορευτική αρχή του Pauli
Γ) αντιστοιχεί σε διεγερμένη κατάσταση καθώς δεν υπακούει στην αρχή της ελάχιστης ενέργειας
Δ) είναι αδύνατη γιατί δεν υπακούει στην αρχή της ελάχιστης ενέργειας

3.23. **i.** Η ηλεκτρονιακή δομή του $_{25}Mn^{2+}$ στη θεμελιώδη κατάσταση είναι:
Α) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^4\ 4s^1$
Β) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^3\ 4s^2$
Γ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5$
Δ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5\ 3d^4\ 4s^2$ [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]
ii. Στοιχείο Σ σχηματίζει το κατιόν Σ^{3+} το οποίο διαθέτει 15 ηλεκτρόνια στη στιβάδα Μ στη θεμελιώδη κατάσταση. Ποιος ο ατομικός αριθμός (Z) του στοιχείου;
Α) 25 Β) 26 Γ) 27 Δ) 28

3.24. Οι ηλεκτρονιακές δομές δύο ατόμων Χ και Υ είναι οι εξής: Χ: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$ και Υ: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 6p^1$. Ποια από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστή;
Α) Η μετάβαση από τη δομή Χ στην Υ απαιτεί απορρόφηση ενέργειας
Β) Το ηλεκτρόνιο με τη μεγαλύτερη ενέργεια είναι στη δομή Χ
Γ) Τα δύο άτομα Χ και Υ ανήκουν σε διαφορετικά στοιχεία
Δ) Η δομή Υ δεν μπορεί να υπάρξει

3.25. Άτομα $_{17}$Cl στη θεμελιώδη κατάσταση βομβαρδίζονται με φωτόνια ενέργειας E με αποτέλεσμα την απομάκρυνση όλων των ηλεκτρονίων τους. Σε ποια υποστιβάδα θα ανήκουν τα ηλεκτρόνια με τη μεγαλύτερη κινητική ενέργεια μετά την απομάκρυνσή τους;
Α) 3p Β) 3d Γ) 2p Δ) 1s

3.26. Ποιο από τα παρακάτω ιόντα έχει τα περισσότερα μονήρη (ασύζευκτα) ηλεκτρόνια;
Α) Το $_{28}Ni^{2+}$ Β) Το $_{29}Cu^{2+}$ Γ) Το $_{30}Zn^{2+}$ Δ) Το $_{32}Ge^{2+}$

3.27. Η ηλεκτρονιακή δομή του ατόμου του γαλλίου (Ga) είναι $[_{18}Ar]\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^1$. Με ποια σειρά αποβάλλονται τα ηλεκτρόνια για το σχηματισμό του ιόντος Ga^{4+};

	1ο	2ο	3ο	4ο
Α)	4p	4s	4s	3d
Β)	3d	4s	4s	4p
Γ)	4p	3d	4s	3p
Δ)	4s	4s	4p	3d

3.28. Οι κβαντικοί αριθμοί τεσσάρων ηλεκτρονίων Ι, ΙΙ, ΙΙΙ και ΙV που ανήκουν σε ένα άτομο (Α) είναι:
Ι: (4, 0, 0, +1/2), ΙΙ: (3, 2, 1, +1/2)
ΙΙΙ: (3, 2, 0, +1/2), IV: (3, 1, 1, −1/2)
Για τις ενέργειες των ηλεκτρονίων αυτών του Α ισχύει:
Α) $E_{\rm I} < E_{\rm II} = E_{\rm III} < E_{\rm IV}$ Β) $E_{\rm I} > E_{\rm II} = E_{\rm III} = E_{\rm IV}$
Γ) $E_{\rm II} > E_{\rm I} > E_{\rm III} = E_{\rm IV}$ Δ) $E_{\rm I} > E_{\rm II} = E_{\rm III} > E_{\rm IV}$

3.29. **i.** Η ηλεκτρονιακή δομή του κατιόντος $_{29}Cu^+$ στη θεμελιώδη κατάσταση είναι:
Α) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^9\ 4s^2$ Β) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^8\ 4s^2$
Γ) $[_{18}Ar]\ 3d^{10}$ Δ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^9$
ii. Η ηλεκτρονιακή δομή του ιόντος $_{24}Cr^{3+}$ στη θεμελιώδη κατάσταση είναι:
Α) $[Ar]\ 3d^1\ 4s^2$ Β) $[Ar]\ 3d^3$ Γ) $[Ar]\ 3d^2\ 4s^1$ Δ) $[Ar]\ 3d^5$

3.30. Ο μέγιστος αριθμός ασύζευκτων ηλεκτρονίων στην υποστιβάδα 4f είναι:
Α) 3 Β) 5 Γ) 7 Δ) 3

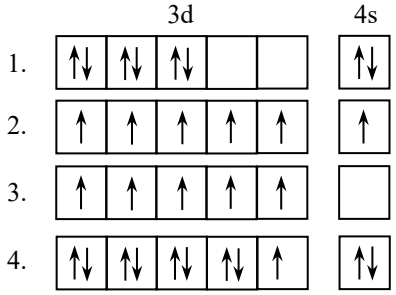
3.31. Να χαρακτηρίσετε τις προτάσεις που ακολουθούν ως σωστές (Σ) ή λανθασμένες (Λ). Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις στις περιπτώσεις των λανθασμένων προτάσεων.
α) Το άτομο του $_8$O έχει άθροισμα κβαντικών αριθμών spin ίσο με 2.
β) Με βάση την απαγορευτική αρχή του Pauli προκύπτει ο μέγιστος αριθμός ηλεκτρονίων που έχει μια υποστιβάδα και τελικά μια στιβάδα.

γ) Για τις ενέργειες των υποστιβάδων 3s και 3p στο άτομο $_{19}$K, ισχύει: $E_{3s} < E_{3p}$.
δ) Σύμφωνα με τον κανόνα του Hund, τρία ηλεκτρόνια τοποθετούνται σε καθένα από τα τρία 2p τροχιακά με παράλληλα spin.
ε) Ο μικρότερος ατομικός αριθμός Z στοιχείου με πλήρη d υποστιβάδα αντιστοιχεί στο στοιχείο με $Z = 30$.
στ) Σε κάθε υποστιβάδα αντιστοιχούν το πολύ $2\cdot(2\ell + 1)$ ηλεκτρόνια (όπου ℓ ο αζιμουθιακός κβαντικός αριθμός).
ζ) Το ηλεκτρόνιο στο τροχιακό 1s του ατόμου του υδρογόνου βρίσκεται κατά μέσο όρο στην ίδια απόσταση από τον πυρήνα με το αντίστοιχο ηλεκτρόνιο στο άτομο του άνθρακα. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]
η) Το άτομο $_{25}$Mn και το ιόν $_{27}Co^{2+}$ έχουν στη θεμελιώδη κατάσταση την ίδια ηλεκτρονιακή δομή.

3.32. Να διατάξετε τις υποστιβάδες 6s, 3d, 4p κατά σειρά αυξανόμενης ενέργειας, σύμφωνα με τη σειρά πλήρωσης. Να αιτιολογήσετε τη διάταξη με βάση τον κανόνα ($n + \ell$).

3.33. Να συμπληρωθούν οι προτάσεις:
α) Ο αριθμός των υποστιβάδων στη στιβάδα με $n = 3$ (στιβάδα Μ) είναι …..
β) Ο αριθμός των τροχιακών στην υποστιβάδα με $\ell = 2$ είναι ……
γ) Ο μέγιστος αριθμός ηλεκτρονίων στην υποστιβάδα 4f είναι ……
δ) Ο μέγιστος αριθμός ηλεκτρονίων σε μία υποστιβάδα p είναι …
ε) Η υποστιβάδα που διαθέτει δέκα το πολύ ηλεκτρόνια είναι η …….
στ) Η υποστιβάδα που διαθέτει δύο το πολύ ηλεκτρόνια είναι του τύπου …….
ζ) Η στιβάδα που περιλαμβάνει 18 το πολύ ηλεκτρόνια είναι η στιβάδα ……

3.34. α) Ποια από τις ηλεκτρονιακές δομές που ακολουθούν μπορεί να ισχύει για τις υποστιβάδες 4s και 3d ενός πολυηλεκτρονιακού ατόμου στη θεμελιώδη κατάσταση;

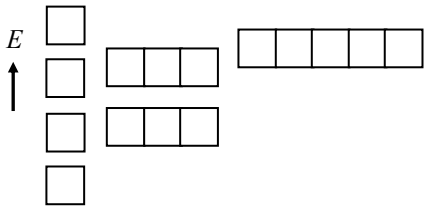


β) Ποιος είναι ο ατομικός αριθμός (Z) του ατόμου;

3.35. Σχετικά με το άτομο του Zn ($Z = 30$), ποιος από τους παρακάτω αριθμούς είναι μεγαλύτερος;
i. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων με $\ell = 0$
ii. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων με $\ell = 1$
iii. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων με $\ell = 2$
iv. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων με $m_\ell = 0$
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

3.36. Οι τέσσερις κβαντικοί αριθμοί (n, ℓ, m_ℓ, m_s) ενός ηλεκτρονίου στη θεμελιώδη κατάσταση του ατόμου του $_{15}$P είναι (3, 1, 1, ½). Ποιο από τα ακόλουθα σύνολα κβαντικών αριθμών είναι αδύνατο για το ίδιο άτομο του $_{15}$P;
Α) (3, 0, 0, ½) Β) (3, 0, 0, −½)
Γ) (3, 1, 0, −½) Δ) (3, 1, −1, ½)
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

3.37. Δίνεται το κενό διάγραμμα των ατομικών τροχιακών που ακολουθεί.



α) Να συμπληρώσετε το διάγραμμα με βέλη για τα ηλεκτρόνια του ατόμου του $_{27}$Co στη θεμελιώδη κατάσταση.
β) Στο ίδιο άτομο, ποιος ο συνολικός αριθμός των ηλεκτρονίων με: i. $n = 3$ και $\ell = 1$. ii. $\ell = 0$.
γ) Στο ίδιο άτομο, ποιο το άθροισμα των κβαντικών αριθμών spin;

3.38. Τα άτομα των στοιχείων Α, Β, Γ και Δ διαθέτουν 2, 3, 2 και 1 μονήρη ηλεκτρόνια, αντίστοιχα, στην ηλεκτρονιακή τους δομή στη θεμελιώδη κατάσταση.
α) Να εξετάσετε αν τα στοιχεία αυτά μπορούν να έχουν ατομικούς αριθμούς, Z, Z+1, Z+2 και Z+3, αντίστοιχα.
β) Αν $Z \leq 18$ να προσδιορίσετε τις δυνατές τιμές του ατομικού αριθμού Z του στοιχείου Α.

3.39. Τα μέταλλα $_{29}$Cu, $_{28}$Ni και $_{30}$Zn περιέχονται στα νομίσματα του 1 ευρώ και των 2 ευρώ. Ποια από τα άτομα των στοιχείων που υπάρχουν στα νομίσματα αυτά διαθέτουν μονήρη (ασύζευκτα) ηλεκτρόνια στην υποστιβάδα 3d στη θεμελιώδη κατάσταση;
Α) Τα άτομα και των τριών στοιχείων
Β) Τα άτομα των στοιχείων Cu και Ni
Γ) Τα άτομα των στοιχείων Zn και Ni
Δ) Μόνο τα άτομα του Ni
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

3.40. Να περιγραφούν με βάση τους τέσσερις κβαντικούς αριθμούς (n, ℓ, m_ℓ, m_s):
α) Τα δύο ηλεκτρόνια του ατόμου $_2$He.
β) Το ηλεκτρόνιο σθένους του $_{11}$Na.
Τα δύο άτομα είναι στη θεμελιώδη κατάσταση.

3.41. Σε ένα άτομο στη θεμελιώδη κατάσταση, ποιος είναι ο μεγαλύτερος αριθμός ηλεκτρονίων με:
α) $n = 4$, $\ell = 2$. β) $n = 5$, $\ell = 3$, $m_\ell = -1$. γ) $n = 3$, $\ell = 3$.

3.42. Το ηλεκτρόνιο ενός πολυηλεκτρονιακού ατόμου είναι στη στιβάδα Μ. Ποιο το μεγαλύτερο άθροισμα ($n + \ell + m_\ell$) που μπορεί να έχει το ηλεκτρόνιο αυτό;
Α) 3 Β) 5 Γ) 7 Δ) 9
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

3.43. α) Πόσα d ηλεκτρόνια, πόσα ηλεκτρόνια με $\ell = 1$ και πόσα μονήρη (ασύζευκτα) ηλεκτρόνια υπάρχουν στη θεμελιώδη κατάσταση των ατόμων με:
i. $Z = 15$.
ii. $Z = 26$.
iii. $Z = 32$.
β) Πόσα d ηλεκτρόνια διαθέτει το άτομο του $_{77}$Ir στη θεμελιώδη κατάσταση;

3.44. Άτομο του $_{33}$As είναι στη θεμελιώδη κατάσταση.
α) Να γράψετε την ηλεκτρονιακή του δομή, στην οποία να εμφανίζεται και ο κανόνας του Hund.
β) Να προσδιορίσετε τον αριθμό των συμπληρωμένων και ημισυμπληρωμένων τροχιακών που περιέχονται στο άτομο αυτό.
γ) Το άτομο ενός άλλου στοιχείου διαθέτει στη θεμελιώδη του κατάσταση τον ίδιο αριθμό ημισυμπληρωμένων τροχιακών στη στιβάδα Μ με το $_{33}$As. Ποιοι οι δυνατοί ατομικοί του αριθμοί;

3.45. Τα άτομα πέντε στοιχείων Α, Β, Γ, Δ και Ε έχουν στη θεμελιώδη κατάσταση, αντίστοιχα, 13, 5, 2, 6 και 14 ηλεκτρόνια με $n = 3$. Ποιοι οι ατομικοί αριθμοί (Z) των στοιχείων αυτών;

3.46. Να προσδιοριστούν οι δυνατοί ατομικοί αριθμοί στοιχείου Σ, το άτομο του οποίου στη θεμελιώδη κατάσταση διαθέτει δύο μονήρη (ασύζευκτα) ηλεκτρόνια:
i. Στη στιβάδα L. ii. Στη στιβάδα Μ.

3.47. Σε ποιο από τα παρακάτω σωματίδια αντιστοιχεί η ηλεκτρονιακή δομή που εμφανίζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί;



i. Στο $_{15}P^{3-}$ ii. Στο $_{16}S^{2-}$ iii. Στο $_{18}$Ar
iv. Και στα τρία προηγούμενα
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

3.48. Άτομο του $_{36}$Kr είναι στη θεμελιώδη του κατάσταση.
α) Πόσα ηλεκτρόνια του ατόμου αυτού έχουν $m_\ell = -1$;
β) Πόσα ηλεκτρόνια έχουν $\ell = 1$;

3.49. Δίνονται τα παρακάτω σύνολα κβαντικών αριθμών (n, ℓ, m_ℓ, m_s):
I: (5, 0, 0, +1/2)
II: (4, 0, 0, +1/2)
III: (3, 2, 1, +1/2)
IV: (3, 2, −2, −1/2)
V: (3, 1, 1, −1/2)
α) Να ταξινομηθούν τα σύνολα αυτά κατά σειρά αυξανόμενης ενέργειας με τη θεώρηση ότι ανήκουν σε πέντε διαφορετικά ηλεκτρόνια ενός ατόμου του $_{38}$Sr.
β) Να ταξινομηθούν τα παραπάνω σύνολα κβαντικών αριθμών κατά σειρά αυξανόμενης ενέργειας με τη θεώρηση ότι ανήκουν σε πέντε διαφορετικές καταστάσεις του ηλεκτρονίου ενός ατόμου $_1$Η.

3.50. α) Ποια είναι η ηλεκτρονιακή δομή των ιόντων: $_{20}Ca^{2+}$, $_{21}Sc^{3+}$, $_{29}Cu^{+}$, $_{29}Cu^{2+}$ στη θεμελιώδη κατάσταση;
β) Ποια από τα ιόντα αυτά έχουν δομή ευγενούς αερίου;

3.51. Οι ηλεκτρονιακές δομές των ατόμων Pd και Ag στη θεμελιώδη κατάσταση είναι οι εξής:
Pd: $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,3d^{10}\,4s^2\,4p^6\,4d^{10}$
Ag: $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,3d^{10}\,4s^2\,4p^6\,4d^{10}\,5s^1$
α) Ποια ή ποιες από τις δύο αυτές ηλεκτρονιακές δομές παρουσιάζουν απόκλιση από τις αρχές της ηλεκτρονιακής δόμησης (aufbau);
i. Και οι δύο
ii. Μόνο η πρώτη
iii. Μόνο η δεύτερη
iv. Καμία από τις δύο
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.
β) Να γράψετε την ηλεκτρονιακή δομή των ιόντων Pd^{2+} και Ag^{+} στη θεμελιώδη κατάσταση.

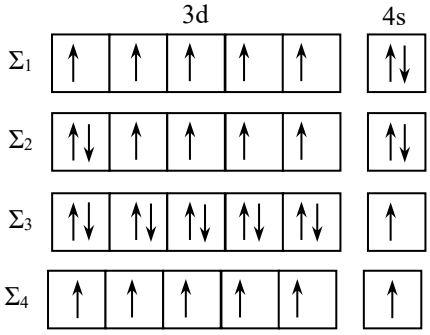
3.52. Ποιοι είναι οι ατομικοί αριθμοί (Z) των στοιχείων των οποίων το άτομο στη θεμελιώδη κατάσταση διαθέτει:
α) Τρία d ηλεκτρόνια.
β) Δέκα p ηλεκτρόνια.
γ) Πλήρη d υποστιβάδα (μικρότερος δυνατός Z).
δ) Τέσσερα s ηλεκτρόνια (μεγαλύτερος δυνατός Z).
ε) Τρία f ηλεκτρόνια.

3.53. Το άτομο στοιχείου παρουσιάζει την εξής κατανομή ηλεκτρονίων σε στιβάδες στη θεμελιώδη κατάσταση:
$K^2\,L^8\,M^8\,N^2$
α) Πόσα ηλεκτρόνια διαθέτει σε s τροχιακά και πόσα ηλεκτρόνια σε p τροχιακά;
β) Πόσα ηλεκτρόνια του ατόμου διαθέτουν $m_\ell = -1$;
γ) Ποια η ηλεκτρονιακή δομή στη θεμελιώδη κατάσταση του ατόμου ενός άλλου στοιχείου με τον αμέσως μεγαλύτερο ατομικό αριθμό (Z);

3.54. α) Ποια η ηλεκτρονιακή δομή του ατόμου του $_{26}$Fe;
β) Ποια είναι η ηλεκτρονιακή δομή των ιόντων Fe^{2+} και Fe^{3+};
γ) Ποιο από τα δύο αυτά ιόντα προβλέπετε να είναι σταθερότερο, οπότε θα σχηματίζει και τις σταθερότερες ενώσεις;
Τα σωματίδια να θεωρηθούν στη θεμελιώδη κατάσταση.

3.55. Το άτομο ενός στοιχείου στη θεμελιώδη κατάσταση διαθέτει 13 ηλεκτρόνια με $n = 3$ κι ένα μόνο ηλεκτρόνιο με $n = 4$.
α) Ποια από τις παρακάτω προτάσεις είναι η σωστή;
1. Το άτομο παρουσιάζει ηλεκτρονιακή δομή: $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,3d^5\,4s^2$
2. Στο άτομο υπάρχουν 7 ηλεκτρόνια με $m_\ell = 0$
3. Στο άτομο υπάρχουν 6 ηλεκτρόνια με $\ell = 0$
4. Από τα δεκατρία ηλεκτρόνια με $n = 3$ τα εννέα ηλεκτρόνια έχουν την ίδια τιμή του m_s
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

3.56. Δίνεται η κατανομή των ηλεκτρονίων στις δύο τελευταίες υποστιβάδες στη θεμελιώδη κατάσταση για τέσσερα στοιχεία μετάπτωσης (Σ_1, Σ_2, Σ_3 και Σ_4).



α) Να υπολογίσετε τον ατομικό αριθμό του στοιχείου Σ_2.
β) Να προσδιορίσετε τον αριθμό των ηλεκτρονίων με κβαντικό αριθμό $\ell = 0$ στο στοιχείο Σ_3. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.
γ) Να προσδιορίσετε το στοιχείο του οποίου το ιόν του με φορτίο +3 διαθέτει τέσσερα μονήρη ηλεκτρόνια. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

[ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2023]

3.57. Το άτομο ενός στοιχείου διαθέτει στη θεμελιώδη του κατάσταση 27 ηλεκτρόνια σε τροχιακά p, 30 σε τροχιακά d και 14 σε τροχιακά f.
α) Πόσα μονήρη ηλεκτρόνια διαθέτει το άτομο;
β) Πόσα ηλεκτρόνια διαθέτει σε τροχιακά s; Ποιος ο ατομικός του αριθμός;
γ) Πόσα ηλεκτρόνια διαθέτει συνολικά στη στιβάδα P και πόσα στη στιβάδα Q;

3.58. Να εξηγήσετε την ισχύ της πρότασης που ακολουθεί.
«Σε ένα πολυηλεκτρονιακό άτομο ο μέγιστος αριθμός ηλεκτρονίων με άθροισμα $n + \ell = 5$ είναι 18.»

3.59. Το άτομο Ι ($Z = 63$) έχει ηλεκτρονιακή δομή στη θεμελιώδη κατάσταση: $[_{54}Xe]$ X $6s^2$ (σε αγκύλη το αμέσως προηγούμενο ευγενές αέριο και X η δομή μιας υποστιβάδας που λείπει).
α) i. Ποια η δομή της υποστιβάδας X (συμβολισμός και ηλεκτρόνια που διαθέτει);
ii. Ποιες από τις στιβάδες που χρησιμοποιεί το άτομο Ι είναι πλήρεις με ηλεκτρόνια;
β) Πόσα ηλεκτρόνια του ατόμου Ι έχουν:
i. $n = 5$ ii. $\ell = 3$ iii. $\ell = 2$ iv. $m_\ell = -3$
γ) Στις ηλεκτρονιακές δομές στη θεμελιώδη κατάσταση των ατόμων II, III, IV και V που ακολουθούν λείπουν επίσης μερικά στοιχεία, τα οποία επισημαίνονται με τα γράμματα Α, Β, Γ, Δ, Ε, Θ, Κ, Λ, Μ και Ν.
II: (Z = Α): [Β] Γ $3p^1$
III: (Z = 22): [Δ] $3s^2$ $3p^6$ Ε $4s^2$
IV: (Z = Θ): [Κ] $6s^2$
V: (Z = 33): [Λ] Μ $4s^2$ Ν
Τα στοιχεία Α και Θ αντιστοιχούν στους ατομικούς αριθμούς των ατόμων II και IV, τα στοιχεία Β, Δ, Κ και Λ στα προηγούμενα ευγενή αέρια των ατόμων και τα στοιχεία Γ, Ε, Μ και Ν σε κάποιες υποστιβάδες. Να γράψετε τα στοιχεία αυτά. Δίνονται τα ευγενή αέρια: $_{10}Ne$, $_{18}Ar$, $_{36}Kr$, $_{54}Xe$ (κάποια μπορεί και να μη χρειαστούν).
δ) Ποιο από τα άτομα II - V έχει τα περισσότερα μονήρη ηλεκτρόνια; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

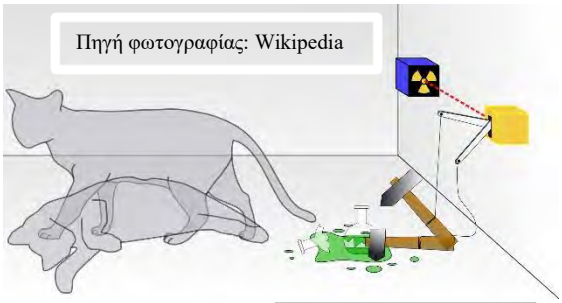


Ξέρετε το φασματοσκόπιο, το όργανο που μας επιτρέπει να ανακαλύπτουμε στα αστέρια στοιχεία που δεν έχουν ακόμη ανακαλυφθεί στη Γη. Αυτό είναι το φάσμα του μετεωρίτη που πέρασε το βράδυ ξυστά από τη Γη και οι γραμμές αυτές είναι χαρακτηριστικές ενός άγνωστου μετάλλου. Με πιάνετε;

Από την περίφημη σειρά κόμικς «Οι περιπέτειες του Tintin», του Βέλγου Georges Remi που υπέγραφε ως Hergé. Στο άλμπουμ με τίτλο: «L'Étoile mystérieuse, το μυστήριο αστέρι» ο Τεντέν και ευρωπαίοι επιστήμονες πηγαίνουν στην Αρκτικό ωκεανό όπου πέφτει ένας μετεωρίτης. Ο καθηγητής Hippolyte Calys χρησιμοποιεί το φασματοσκόπιο για την ανάλυση του φωτός από το μετεωρίτη και προσδιορίζει ένα άγνωστο μέταλλο που το ονομάζει καλυστένιο.

Χημεία και… τέρατα: «Ζεις μονάχα... δύο φορές!»

Στις 7 Ιουνίου του 1935 ο μεγάλος Αυστριακός φυσικός Erwin Schrödinger έγραψε ένα γράμμα στον Albert Einstein για να τον συγχαρεί για αυτό που είναι γνωστό σαν το EPR paper, ένα διάσημο πρόβλημα για την ερμηνεία την Κβαντομηχανικής. Λίγο αργότερα δημοσίευσε αυτό που έγινε ένα από τα πιο διάσημα παράδοξα της Κβαντικής θεωρίας.



Ο μεγάλος Αυστριακός φυσικός προκειμένου να περιγράψει την αβέβαιη περιοχή της κβαντομηχανικής, διατύπωσε ένα υποθετικό πείραμα με μία γάτα κλεισμένη σ' ένα κουτί, όπου υπάρχει μία ραδιενεργή πηγή. Αν ο μετρητής Geiger διαγνώσει έκλυση ραδιενέργειας ένα σφυρί θα κτυπήσει φιάλη με διάλυμα υδροκυανίου (HCN), σκοτώνοντας τη γάτα.

Μέχρι, λοιπόν, να ανοίξουμε το κουτί δεν θα ξέρουμε αν η ραδιενεργή πηγή προκάλεσε την έκλυση του δηλητηρίου – και άρα η γάτα είναι νεκρή- ή όχι -και άρα η γάτα ζει. Έτσι η γάτα θεωρείται ταυτόχρονα ζωντανή και νεκρή. Ηθικό δίδαγμα για τη κβαντομηχανική και όχι μόνο: Τα απειροελάχιστα σωματίδια υπάρχουν και δεν υπάρχουν ταυτόχρονα, δηλαδή υπάρχουν σε χώρο πιθανοτήτων και όχι στον πραγματικό χώρο!

«Η πραγματικότητα αποκαλύπτεται, γίνεται δηλαδή «πραγματικότητα» τη στιγμή που θα την παρατηρήσουμε και όχι πριν ...»
Erwin Schrödinger

Το παράδοξο αυτό συνδέει την κβαντική θεωρία και την κλασσική. Πριν ο παρατηρητής ανοίξει το δοχείο, η μοίρα της γάτας είναι συνδεδεμένη με την κυματοσυνάρτηση πιθανότητας του ατόμου, το οποίο βρίσκεται μεταξύ διασπασμένης μορφής και αδιάσπαστης. Έτσι, λέει ο Schrödinger, και η γάτα βρίσκεται μεταξύ ζωής και θανάτου, μέχρις ότου ο παρατηρητής να ανοίξει το δοχείο, οπότε η κυματοσυνάρτηση «καταρρέει...».

Χημεία και… τέρατα: «For ever young!»



Erwin Schrödinger, Niels Bohr, Louis de Broglie, Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli σε φωτογραφίες προς το τέλος της ζωής τους. Μερικοί από τους φυσικούς επιστήμονες που σημάδεψαν την επιστήμη του 20ού αιώνα και όχι μόνο. Πραγματικοί ροκ σταρ που ήρθαν συχνά σε ρήξη με το επιστημονικό κατεστημένο της εποχής και αφιέρωσαν τη ζωή τους σε ένα από τα λίγα αληθινά πράγματα στον κόσμο που ζούμε: την Επιστήμη. Με τα πάθη τους, τα «κολλήματά» τους, την προσωπική τους καθημερινή ζωή, τις αντιδικίες τους, συχνά.

Και ήταν όλοι τους εκεί τη μαγική δεκαετία του 1920 και άλλαξαν τον κόσμο καθώς τίποτα δεν θα ήταν πια το ίδιο. Και έτσι η δεκαετία αυτή δεν θα ήταν μόνο γνωστή για το οικονομικό κραχ στην Αμερική και τον εμβληματικό χορό τσάρλεστον.

Ο τελευταίος από αυτούς, γόνος αριστοκρατικής γαλλικής οικογένειας, ο Louis de Broglie «έφυγε» το 1987, αλλά στο μυαλό όλων όσων διαβάζουμε τις θεωρίες τους θα είναι για πάντα νέοι...



ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 3

Στις παρακάτω ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής 1 - 20 να σημειώσετε απλώς τη σωστή απάντηση.

1. Κατά την ηλεκτρονιακή δόμηση (aufbau) η υποστιβάδα 4s συμπληρώνεται πριν από την 3d, καθώς η 4s έχει:
Α) μεγαλύτερη τιμή του n Β) μικρότερη τιμή του ℓ
Γ) μικρότερη τιμή του $n + \ell$ Δ) $\ell = 0$

2. «Είναι αδύνατο να υπάρχουν στο ίδιο άτομο δύο ηλεκτρόνια με ίδια τετράδα κβαντικών αριθμών (n, ℓ, m_ℓ, m_s)». Η αρχή αυτή διατυπώθηκε από τον:
Α) Planck Β) Pauli Γ) de Broglie Δ) Hund [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

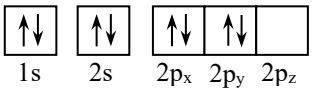
3. Ο μέγιστος αριθμός ηλεκτρονίων με κβαντικούς αριθμούς $n = 4$, $\ell = 2$, $m_\ell = -1$ σε άτομο που βρίσκεται σε θεμελιώδη κατάσταση είναι:
Α) 7 Β) 10 Γ) 14 Δ) 2 [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2023]

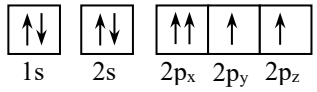
4. Τα ατομικά τροχιακά 2s και $2p_x$ του $_7N$:
Α) έχουν το ίδιο σχήμα
Β) έχουν την ίδια ενέργεια
Γ) έχουν τον ίδιο προσανατολισμό στο χώρο
Δ) διαφέρουν σε όλα τα παραπάνω [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

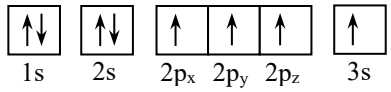
5. Το ηλεκτρόνιο πολυηλεκτρονιακού ατόμου έχει $\ell = 1$. Σε κάθε περίπτωση το ηλεκτρόνιο αυτό:
Α) θα ανήκει στη στιβάδα L
Β) θα ανήκει σε τροχιακό σφαιρικού σχήματος
Γ) μπορεί να ανήκει σε οποιαδήποτε στιβάδα με $n \geq 2$
Δ) θα έχει $m_\ell = 1$

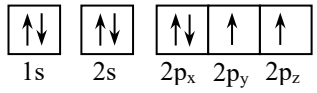
6. Ποια υποστιβάδα συμπληρώνεται αμέσως πριν την 4f, σύμφωνα με τη σειρά πλήρωσης;
Α) 6s Β) 5p Γ) 5d Δ) 4d

7. Ποια είναι η ηλεκτρονιακή δομή του ατόμου του $_8O$ στη θεμελιώδη κατάσταση;

Α) 

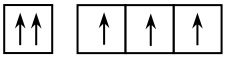
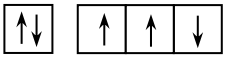
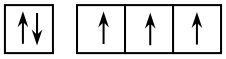
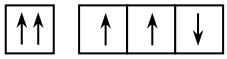
Β) 

Γ) 

Δ) 

8. Στο ιόν $_{26}Fe^{2+}$ ο αριθμός των ηλεκτρονίων στην υποστιβάδα 3d και στη θεμελιώδη κατάσταση είναι:
Α) 2 Β) 3 Γ) 5 Δ) 6 [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

9. Σε ποια από τις παρακάτω ηλεκτρονιακές δομές παραβιάζονται η αρχή του Pauli και ο κανόνας του Hund;

Α)  Β) 
Γ)  Δ) 

[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

10. Ποια από τις παρακάτω ηλεκτρονιακές δομές αντιστοιχεί σε διεγερμένη κατάσταση;
Α) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^1$ Β) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^1$
Γ) $1s^2\ 2s^1\ 2p^6$ Δ) $1s^1\ 2s^1\ 2p^7$

11. Ποια από τις παρακάτω τετράδες κβαντικών αριθμών (n, ℓ, m_ℓ, m_s) αντιστοιχεί στο ηλεκτρόνιο σθένους του ατόμου $_3Li$ στη θεμελιώδη κατάσταση;
Α) (2 , 1 , 0 , +1/2) Β) (2 , 0 , 0 , +1/2)
Γ) (2 , 1 , 1 , +1/2) Δ) (1 , 0 , 0 , −1/2) [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

12. Σε ποιο από τα παρακάτω άτομα ή ιόντα αντιστοιχεί η ηλεκτρονιακή δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$;
Α) $_8O$ Β) $_{11}Na$ Γ) $_8O^{2-}$ Δ) $_{10}Ne^+$ [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

13. Πόσα μονήρη ηλεκτρόνια διαθέτει στη θεμελιώδη κατάσταση το ιόν $_{28}Ni^{2+}$;
Α) 0 Β) 2 Γ) 4 Δ) 6

14. Στη θεμελιώδη κατάσταση όλα τα ηλεκτρόνια σθένους ενός στοιχείου ανήκουν στην υποστιβάδα 3s. Το στοιχείο αυτό μπορεί να έχει ατομικό αριθμό ίσο με:
Α) 8 Β) 10 Γ) 12 Δ) 13 [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

15. Σε ένα πολυηλεκτρονιακό άτομο ο μέγιστος αριθμός ηλεκτρονίων με κβαντικούς αριθμούς $n = 2$ και $m_\ell = 0$ είναι:
Α) οκτώ Β) τέσσερα Γ) δύο Δ) ένα [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

16. Πόσα ηλεκτρόνια ενός πολυηλεκτρονιακού ατόμου στη θεμελιώδη κατάσταση μπορούν να έχουν $\ell = 2$ και $n \leq 4$;
Α) μέχρι 2 Β) μέχρι 4 Γ) μέχρι 10 Δ) μέχρι 20

17. Πόσα ηλεκτρόνια στη θεμελιώδη κατάσταση του ατόμου $_{18}Ar$ έχουν μαγνητικό κβαντικό αριθμό $m_\ell = -1$;
Α) 6 Β) 8 Γ) 4 Δ) 2

18. Ποιο από τα παρακάτω ατομικά τροχιακά ενός πολυηλεκτρονιακού ατόμου στη θεμελιώδη του κατάσταση έχει τη μεγαλύτερη ενέργεια; Οι αριθμοί στην παρένθεση αντιστοιχούν στους κβαντικούς αριθμούς (n, ℓ, m_ℓ).
Α) (3, 1, 0) Β) (3, 2, 0) Γ) (3, 0, 1) Δ) (4, 0, 0) [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

19. Ο ατομικός αριθμός (Z) ενός ατόμου με 7 ηλεκτρόνια σε τροχιακά s, στη θεμελιώδη κατάσταση, είναι ίσος με:
Α) 13 Β) 19 Γ) 19 ή 24 ή 29 Δ) 21

20. Ποιο είναι το πλήθος των p ατομικών τροχιακών του ατόμου $_{15}P$ που περιέχουν e^- στη θεμελιώδη κατάσταση;
Α) 2 Β) 5 Γ) 6 Δ) 9 [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

21. Η ηλεκτρονιακή δομή του ατόμου του $_{42}$Mo (μολυβδαίνιο) παρουσιάζει απόκλιση από τις αρχές της ηλεκτρονιακής δόμησης, ανάλογη με την περίπτωση του $_{24}$Cr. Ποια η ηλεκτρονιακή δομή στη θεμελιώδη κατάσταση του ατόμου $_{42}$Mo και του ιόντος Mo^{3+};

.....

.....

22. Να εξετάστε αν οι προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές ή όχι. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας στις περιπτώσεις των λανθασμένων μόνο προτάσεων.

α) Στα πολυηλεκτρονιακά άτομα οι ενεργειακές στάθμες των υποστιβάδων της ίδιας στιβάδας ταυτίζονται.

.....

.....

β) Ηλεκτρόνια που καταλαμβάνουν τροχιακά της ίδιας ενέργειας (της ίδιας υποστιβάδας) έχουν κατά προτίμηση αντιπαράλληλα spin. [ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2024]

.....

γ) Αν το στοιχείο Σ σχηματίζει το κατιόν $Σ^{3+}$ το οποίο διαθέτει 15 ηλεκτρόνια στη στοιβάδα Μ στη θεμελιώδη κατάσταση, ο ατομικός αριθμός του Σ θα είναι ίσος με 28.

δ) Σ' ένα πολυηλεκτρονικό άτομο, πλην των ελκτικών δυνάμεων πυρήνα - ηλεκτρονίου (που καθορίζονται από τον κύριο κβαντικό αριθμό), ασκούνται απώσεις ηλεκτρονίου - ηλεκτρονίου (που καθορίζονται από το δευτερεύοντα κβαντικό αριθμό).

ε) Στο ιόν του $_{26}Fe^{2+}$ ο μέγιστος κύριος κβαντικός αριθμός τροχιακού που περιέχει ηλεκτρόνια είναι 4. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

.....

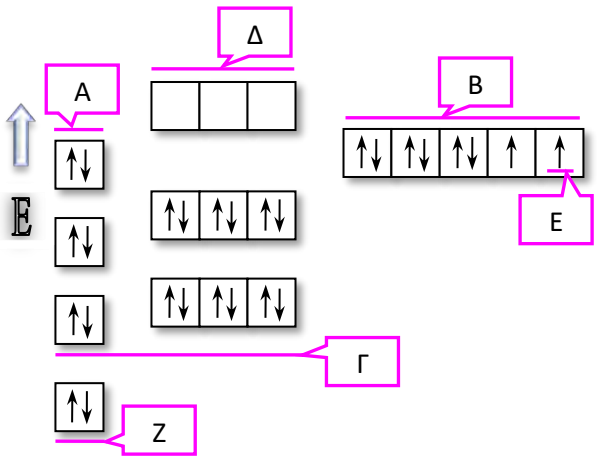
στ) Το ιόν $_{27}Co^{2+}$ και το άτομο του $_{25}$Mn, στη θεμελιώδη κατάσταση έχουν την ίδια ηλεκτρονιακή δομή.

.....

23. Δίνεται το διπλανό διάγραμμα της ηλεκτρονιακής δόμησης του ατόμου ενός στοιχείου στη θεμελιώδη του κατάσταση. Με βάση το διάγραμμα αυτό:

α) Ποιος ο ατομικός αριθμός *Z* του στοιχείου;

β) Ποιος ο συμβολισμός και ποια η σειρά πλήρωσης των υποστιβάδων του διαγράμματος;



.....

γ) Ποιο το συνολικό spin του ατόμου;

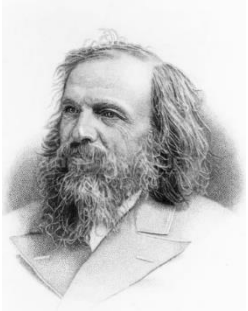
.....

δ) Τι ετικέτες (ονομασίες) θα δίνατε στις γραμμές με τα γράμματα Α, Β, Γ, Δ, Ε και Ζ, αν διαθέτατε μόνο τις εξής: τροχιακό χαμηλότερης ενέργειας, p τροχιακό, κενή υποστιβάδα, υποστιβάδα p, ηλεκτρόνιο με $\ell = 3$, ηλεκτρόνιο με $m_\ell = 3$, μονήρες ηλεκτρόνιο, συμπληρωμένη στιβάδα, d υποστιβάδα, f υποστιβάδα, τροχιακό με $n = 4$. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε κάθε ετικέτα μόνο μία φορά, ενώ μερικές από τις ετικέτες είναι λανθασμένες ή δεν θα χρησιμοποιηθούν.

.....

.....

.....



4 Δομή του Περιοδικού Πίνακα

I have a dream, a fantasy!
«Είδα ένα όνειρο ενός πίνακα στον οποίο όλα τα στοιχεία ήταν ταξινομημένα σε κατάλληλες θέσεις. Όταν ξύπνησα κατέγραψα αμέσως τον πίνακα σε ένα κομμάτι χαρτί κάνοντας μόνο μία αλλαγή που αργότερα φάνηκε ότι ήταν αναγκαία».
– Dmitri Mendeleev

Το 1863 ήταν γνωστά ήδη 56 στοιχεία και ανακαλύπτονταν συνεχώς νέα με ρυθμό περίπου ένα το χρόνο. Αρκετοί επιστήμονες της εποχής παρατηρούσαν ότι υπήρχαν στοιχεία με παρόμοιες ιδιότητες, όπως ο Newlands το 1865, που ήταν ο πρώτος που παρατήρησε την περιοδικότητα των ιδιοτήτων των στοιχείων με βάση τη σχετική ατομική μάζα, χωρίς όμως οι εργασίες τους να τύχουν ευρύτερης αποδοχής στην εποχή τους. Αρκετά χρόνια νωρίτερα, το 1829, ο Döbereiner διατύπωσε τον κανόνα των τριάδων. Επέλεγε βάσει κοινών χημικών ιδιοτήτων τριάδες στοιχείων στις οποίες η μάζα του μεσαίου ήταν το ημιάθροισμα των μαζών των δύο ακραίων. Π.χ. η τριάδα Li, Na, K που σήμερα ανήκουν στην 1η ομάδα.

ΘΕΜΑΤΑ ΘΕΩΡΙΑΣ

1. Ανάλυση του σύγχρονου Περιοδικού Πίνακα (Π.Π.)

Το 1869 ο Ρώσος χημικός Dmitri Mendeleev παρουσίασε την εργασία του «Η σχέση ανάμεσα στις ιδιότητες και το ατομικό βάρος των στοιχείων» στην οποία ανέφερε ότι αν τα στοιχεία ταξινομηθούν κατ' αυξανόμενο ατομικό βάρος (σχετική ατομική μάζα) εμφανίζεται μία σαφής περιοδικότητα στις ιδιότητές τους. Προέβλεψε μάλιστα τις ιδιότητες στοιχείων που ανακαλύφθηκαν αργότερα, όπως το γάλλιο (Ga), το γερμάνιο (Ge) και το σκάνδιο (Sc). Το 1913, με την ανακάλυψη των πρωτονίων στον πυρήνα των ατόμων και με τη θεώρηση του ατομικού αριθμού (Z), ο Άγγλος Moseley τροποποίησε το νόμο της περιοδικότητας των στοιχείων, ο οποίος διατυπώνεται πλέον ως εξής:

«Η χημική συμπεριφορά των στοιχείων είναι περιοδική συνάρτηση του ατομικού αριθμού τους (Z)».

Ο Περιοδικός Πίνακας (Π.Π.) είναι ένα βασικό εργαλείο που μας επιτρέπει να οργανώσουμε και να συγκρίνουμε τις ιδιότητες των διαφόρων χημικών στοιχείων. Αυτά που εμφανίζουν παρόμοιες ιδιότητες τοποθετούνται σε κάθετες στήλες, τις **ομάδες**. Από τις πιο γνωστές ομάδες του Π.Π. ξεχωρίζουμε την 1η ή ΙΑ της οποίας τα στοιχεία εκτός του $_1$H αναφέρονται ως αλκάλια, τη 2η (ή ΙΙΑ, αλκαλικές γαίες), την 17η (ή VIIA, αλογόνα) και την 18η (ή VIIIA, ευγενή αέρια). Οι οριζόντιες σειρές ονομάζονται **περίοδοι**. Η 1η περίοδος περιλαμβάνει δύο μόνο στοιχεία (το $_1$H και το $_2$He), η 2η και η 3η περίοδος από 8 στοιχεία, η 4η και η 5η περίοδος από 18 στοιχεία, ενώ η 6η και η 7η από 32 στοιχεία. Η 7η και τελευταία περίοδος περιλαμβάνει μέχρι και το στοιχείο με Z = 118 (32 στοιχεία μερικά από τα οποία έχουν σχετικά πρόσφατα ανακαλυφθεί).

Τα στοιχεία που περιλαμβάνονται στις ομάδες 3-12 (IIIB-VIIIB, IB, IIB) ονομάζονται στοιχεία μετάπτωσης ή μεταβατικά στοιχεία.

Οι ομάδες 1η (ΙΑ), 2η (ΙΙΑ) και 13 - 18η (IIIA - VIIIA) αναφέρονται ως **κύριες ομάδες** ενώ οι ομάδες που περιλαμβάνουν τα στοιχεία μετάπτωσης αναφέρονται ως **δευτερεύουσες ομάδες**.

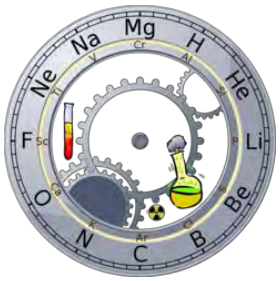
Η αρίθμηση των ομάδων του Περιοδικού Πίνακα από 1-18 είναι η «νέα» αρίθμηση της IUPAC (1988). Σύμφωνα με την παλαιότερη αρίθμηση οι ομάδες κατατάσσονται σε κύριες ομάδες (ΙΑ - VIIIA) και σε δευτερεύουσες (IB - VIIIB).

Η σειρά των στοιχείων με Z = 58-71 (μετά το $_{57}$La, λανθάνιο) ονομάζονται **λανθανίδες** (ή λανθανοειδή). Έχουν παρόμοιες ιδιότητες με το La και δεν τοποθετούνται στο κύριο πίνακα αλλά κάτω από αυτόν σε παράρτημα. Κατ' αναλογία, τα στοιχεία με Z = 90-103 αναφέρονται ως **ακτινίδες** ή ακτινοειδή, έχουν παρόμοιες ιδιότητες με το $_{89}$Ac και τοποθετούνται σε μια σειρά κάτω από τις λανθανίδες. Οι λανθανίδες και οι ακτινίδες ονομάζονται μαζί εσωμεταβατικά στοιχεία.

Το διάγραμμα που ακολουθεί αναπαριστάνει τον Περιοδικό Πίνακα με όλα τα στοιχεία με $Z = 1$ - 21 καθώς και διάφορα άλλα στοιχεία.

	1 (IA)	2 (IIA)											IIIA 13	IVA 14	VA 15	VIA 16	VIIA 17	18 (VIIIA)
			Στοιχεία μετάπτωσης															
			IIIB 3	IVB 4	VB 5	VIB 6	VIIB 7	VIIIB 8	VIIIB 9	VIIIB 10	IB 11	IIB 12						
1	$_1$H																	$_2$He
2	$_3$Li	$_4$Be											$_5$B	$_6$C	$_7$N	$_8$O	$_9$F	$_{10}$Ne
3	$_{11}$Na	$_{12}$Mg											$_{13}$Al	$_{14}$Si	$_{15}$P	$_{16}$S	$_{17}$Cl	$_{18}$Ar
4	$_{19}$K	$_{20}$Ca	$_{21}$Sc									$_{30}$Zn						
5																		
6			$_{57}$La	$_{72}$Hf														
7			$_{89}$Ac	$_{104}$Rf														$_{118}$Og

58	Λανθανίδες	71
90	Ακτινίδες	103



Τι σημαίνει ότι τα στοιχεία της ίδιας ομάδας έχουν παρόμοιες ιδιότητες; Ας πάρουμε π.χ. τα αλογόνα, F, Cl, Br και I. Όλα τα στοιχεία αυτά είναι διατομικά και διαθέτουν ανάλογη χημική δραστικότητα, π.χ. σε σχέση με το Na:
$2Na(s) + F_2(g) \rightarrow 2NaF(s)$
$2Na(s) + Cl_2(g) \rightarrow 2NaCl(s)$
$2Na(s) + Br_2(l) \rightarrow 2NaBr(s)$
$2Na(s) + I_2(s) \rightarrow 2NaI(s)$

2. Ηλεκτρονιακές δομές και Π.Π.

Τα στοιχεία της ίδιας ομάδας του Π.Π. έχουν την ίδια δομή στην εξωτερική στιβάδα και αυτό εξηγεί γιατί τα στοιχεία της ίδιας ομάδας έχουν παρόμοιες ιδιότητες, καθώς οι ιδιότητες των στοιχείων εκδηλώνονται μέσω των ηλεκτρονίων της εξωτερικής τους στιβάδας (**στιβάδα σθένους**). Η μόνη διαφορά είναι ότι οι εξωτερικές στιβάδες αντιστοιχούν σε όλο και μεγαλύτερες τιμές του κύριου κβαντικού αριθμού *n*. Ας δούμε για παράδειγμα τις ηλεκτρονιακές δομές των στοιχείων της 2ης και της 13ης ομάδας:

Για τις κύριες ομάδες του Π.Π. (ομάδες 1-2 και 13-18), τα ηλεκτρόνια σθένους είναι τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας, δηλαδή το άθροισμα των ηλεκτρονίων στις υποστιβάδες με τον μεγαλύτερο κύριο κβαντικό αριθμό (*n*). Π.χ. το $_{13}$Al έχει τρία ηλεκτρόνια σθένους.

2η (IIA) ομάδα	13η (IIIA) ομάδα
$_4$Be: $[_2He]\ 2s^2$	$_5$B: $[_2He]\ 2s^2\ 2p^1$
$_{12}$Mg: $[_{10}Ne]\ 3s^2$	$_{13}$Al: $[_{10}Ne]\ 3s^2\ 3p^1$
$_{20}$Ca: $[_{18}Ar]\ 4s^2$	$_{31}$Ga: $[_{18}Ar]\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^1$
$_{38}$Sr: $[_{36}Kr]\ 5s^2$	$_{49}$In: $[_{36}Kr]\ 4d^{10}\ 5s^2\ 5p^1$
$_{56}$Ba: $[_{54}Xe]\ 6s^2$	$_{81}$Tl: $[_{54}Xe]\ 4f^{14}\ 5d^{10}\ 6s^2\ 6p^1$

Ένα από τα στοιχεία την ύπαρξη του οποίου προέβλεψε ο Mendeleev ήταν το εκα-αργίλιο που το ονόμασε προσωρινά έτσι καθώς έπρεπε να τοποθετηθεί ακριβώς κάτω από το Al. Έξι χρόνια αργότερα το στοιχείο αυτό ανακαλύφθηκε από τον Lecoq de Boisbaudran που το ονόμασε γάλλιο (Ga) προς τιμή της πατρίδας του.

Κάθε περίοδος αρχίζει με μια νέα στιβάδα της οποίας ο κύριος κβαντικός αριθμός (*n*) είναι ίσος με τον αριθμό της περιόδου. Π.χ. το $_{18}$Ar είναι το τελευταίο στοιχείο της 3ης περιόδου με δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$. Το επόμενο στοιχείο ανήκει στην 4η περίοδο και είναι το $_{19}$K με δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1$. Παρατηρούμε ότι το 19ο ηλεκτρόνιο εισέρχεται στη στιβάδα N ($n = 4$). Γενικά, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

Ο αριθμός των στιβάδων που έχουν χρησιμοποιηθεί στην ηλεκτρονιακή δομή του ατόμου ενός στοιχείου καθορίζει τον αριθμό της περιόδου στην οποία ανήκει το στοιχείο.

Πρακτικά, η περίοδος προκύπτει από το μεγαλύτερο κύριο κβαντικό αριθμό (*n*) της ηλεκτρονιακής δομής. Έτσι π.χ., το $_{88}$Ra με δομή $[_{86}Rn]\ 7s^2$ ανήκει στην 7η περίοδο, ενώ το $_{49}$In με δομή $[_{36}Kr]\ 4d^{10}\ 5s^2\ 5p^1$ ανήκει στην 5η περίοδο.

Π.χ. ο $_{15}$P έχει ηλεκτρονιακή δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^3$ και διαθέτει 5 ηλεκτρόνια σθένους. Επομένως ανήκει στην 15η ομάδα (VA) και στην 3η περίοδο.

Σύμφωνα με την κλασική αρίθμηση και μόνο για τις κύριες ομάδες του Π.Π., ο αριθμός των ηλεκτρονίων της εξωτερικής στιβάδας (ηλεκτρόνια σθένους) καθορίζει τον αριθμό της ομάδας που ανήκει το στοιχείο.

3. Οι τομείς του Περιοδικού Πίνακα

Τομέας του Περιοδικού Πίνακα είναι ένα σύνολο στοιχείων τα άτομα των οποίων έχουν τα τελευταία τους ηλεκτρόνια (με τη μέγιστη ενέργεια, σύμφωνα με τη σειρά πλήρωσης των υποστιβάδων) στον ίδιο τύπο υποστιβάδας s, p, d ή f.

Ο s τομέας του Π.Π.

Οι ομάδες 1 και 2 συνιστούν τον s τομέα του Π.Π. γιατί σε αυτόν συμπληρώνεται μια υποστιβάδα τύπου s (η 1s στην 1η περίοδο, η 2s στη 2η περίοδο, η 3s στην 3η περίοδο κτλ.). Π.χ. το $_{38}$Sr: [$_{36}$Kr] $5s^2$ ανήκει στην 5η περίοδο και στη 2η ομάδα. Στον τομέα αυτό θεωρούμε ότι ανήκουν και τα στοιχεία $_1$H και το $_2$He και με εξαίρεση τα στοιχεία αυτά οι ηλεκτρονιακές δομές των στοιχείων του τομέα s γράφονται συνοπτικά ως εξής:

[ευγενές αέριο] ns^1 {για την 1η ομάδα}
[ευγενές αέριο] ns^2 {για την 2η ομάδα} (n ο αριθμός της περιόδου)

Ο p τομέας του Π.Π.

Το $_2$He ($1s^2$) ανήκει στα ευγενή αέρια (18η ή VIIIA ομάδα του Π.Π.), δεν θεωρείται όμως ότι ανήκει στον p τομέα, καθόσον δεν διαθέτει p ηλεκτρόνια. Κατά σύμβαση ανήκει στον s τομέα, αν και είναι ευγενές αέριο.

Γενικά, ο p τομέας του Π.Π. περιλαμβάνει τα στοιχεία των ομάδων 13-18η (IIIA-VIIIA) εκτός του $_2$He που θεωρούμε ότι ανήκει στον s τομέα. Κατά μήκος του τομέα p μιας συγκεκριμένης περιόδου του Π.Π. συμπληρώνεται η υποστιβάδα np, μέχρις ότου να φθάσουμε στη δομή $ns^2\,np^6$, που αντιστοιχεί σε ευγενές αέριο. Π.χ. το $_{13}$Al: $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^1$ ανήκει στην 13η (IIIA) ομάδα ενώ το $_{18}$Ar: $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6$ στην 18η (VIIIA) ομάδα (και τα δύο στοιχεία ανήκουν στην 3η περίοδο).

Η ερώτηση της ημέρας: Ποια είναι η ηλεκτρονιακή δομή του 2ου αλογόνου, στη θεμελιώδη κατάσταση;

Μπορούμε, λοιπόν, να προβλέψουμε τη δομή ενός στοιχείου του τομέα p με βάση τη θέση του στον Π.Π. και χωρίς να χρησιμοποιήσουμε τη σειρά πλήρωσης των υποστιβάδων; Π.χ. ο $_{15}$P, που ανήκει στην 3η περίοδο και στην 15η ομάδα και επομένως ανήκει στον p τομέα. Πιο συγκεκριμένα είναι p^3 στοιχείο. Καθώς το προηγούμενο ευγενές αέριο είναι το $_{10}$Ne, η ηλεκτρονιακή του δομή μπορεί να γραφεί ως εξής: $_{15}$P: [$_{10}$Ne] $3s^2\,3p^3$.

Συνοπτικά, η στιβάδα σθένους του τομέα p του Π.Π. έχει δομή $ns^2\,np^x$ (n ο αριθμός της περιόδου και x = 1-6). Είναι προφανές, ότι οι ομάδες που περιλαμβάνει ο τομέας p του Π.Π. είναι 6 αφού οι υποστιβάδες τύπου p διαθέτουν 6 συνολικά ηλεκτρόνια.



Κίτρινος πυρετός...
– Ε, γέρο-Τζο, τι θα κάνεις το χρυσάφι που βρήκες;
– Θα αγοράσω μια μεγάλη περιοχή και θα ψάξω να βρω χρυσάφι!
[Από τη σειρά κόμικς Λούκυ Λουκ]

Ο d τομέας του Π.Π.

Περιλαμβάνει τις ομάδες 3-12 (IIIB-VIIIB, IB, IIB), δηλαδή όλες τις δευτερεύουσες ομάδες. Πρόκειται για 10 συνολικά ομάδες στο κέντρο του Π.Π. που αντιστοιχούν στα **στοιχεία μετάπτωσης**. Π.χ. οι ηλεκτρονιακές δομές για το $_{21}$Sc και το $_{30}$Zn, που ανήκουν στην 4η περίοδο, στα δύο άκρα του τομέα d, είναι οι εξής:

$_{21}$Sc: [$_{18}$Ar] $\mathbf{3d^1}\,4s^2$ και $_{30}$Zn: [$_{18}$Ar] $\mathbf{3d^{10}}\,4s^2$

Έτσι, στον τομέα d κατά μήκος της 4ης περιόδου συμπληρώνεται η 3d υποστιβάδα με 10 ηλεκτρόνια. Γενικά και παρά τις κάποιες εξαιρέσεις, οι ηλεκτρονιακές δομές των στοιχείων του d τομέα έχουν τη μορφή:

[ευγενές αέριο] $(n-1)d^x\,ns^2$ (n ο αριθμός της περιόδου, x = 1-10)

Το ευγενές αέριο της δομής είναι το αμέσως προηγούμενης περιόδου της συγκεκριμένης σειράς των στοιχείων μετάπτωσης, π.χ. το $_{18}$Ar (3η περίοδος) για τα στοιχεία μετάπτωσης της 4ης περιόδου.

Ο f τομέας του Π.Π.

Εμφανίζονται ως παράρτημα στο κάτω μέρος του Περιοδικού Πίνακα και σε αυτόν συμπεριλαμβάνονται οι λανθανίδες (ή λανθανοειδή) και οι ακτινίδες (ή ακτινοειδή). Στα λανθανοειδή ανήκουν τα στοιχεία της 6ης περιόδου με ατομικούς αριθμούς Z = 58 - 71, ενώ στα ακτινοειδή τα στοιχεία της 7ης περιόδου με ατομικούς αριθμούς Z = 90 - 103. Στον «κλασικό» Περιοδικό Πίνακα τα στοιχεία $_{57}$La (λανθάνιο) και $_{89}$Ac (ακτίνιο) είναι τοποθετημένα στην 3η ομάδα (IIIB) ενώ οι υπόλοιπες λανθανίδες με Z = 58 - 71 στον τομέα f, όπως και οι ακτινίδες με ατομικούς αριθμούς 90 - 103.

Στον Περιοδικό Πίνακα της IUPAC, το $_{57}$La κατατάσσεται και αυτό στις λανθανίδες (ή λανθανοειδή) και το $_{89}$Ac στις ακτινίδες (ή ακτινοειδή) ενώ στο τετράγωνο δίπλα από το $_{56}$Ba αναγράφεται απλώς 57-71 και στο τετράγωνο δίπλα από το $_{88}$Ra αναγράφεται 89-103.

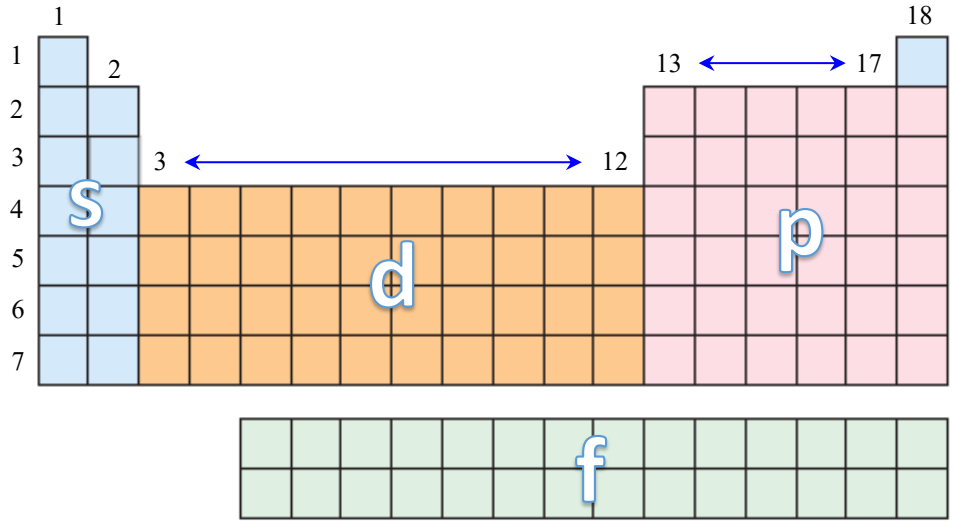
Στα άτομα των στοιχείων του τομέα f συμπληρώνονται διαδοχικά, με κάποιες εξαιρέσεις, οι υποστιβάδες $(n-2)$f, όπου n = 6 ή 7 ο αριθμός της περιόδου. Π.χ. οι ηλεκτρονιακές δομές των στοιχείων $_{61}$Pm και $_{70}$Yb που ανήκουν στις λανθανίδες είναι οι εξής:

$_{61}$Pm: $[_{54}Xe]\ 4f^5\ 6s^2$ $\qquad$ $_{70}$Yb: $[_{54}Xe]\ 4f^{14}\ 6s^2$

$_{61}$Pm: προμήθιο
$_{70}$Yb: υττέρβιο

Οι ηλεκτρονιακές δομές των στοιχείων του f τομέα μπορούν να γραφούν, με αρκετές εξαιρέσεις, με τη γενική μορφή: [ευγενές αέριο] $(n-2)f^x\ ns^2$ (n ο αριθμός της περιόδου, x = 1-14). Για τις λανθανίδες το προηγούμενο ευγενές αέριο είναι το $_{54}$Xe, ενώ για τις ακτινίδες το $_{86}$Rn. Καθώς η υποστιβάδα f συμπληρώνεται με 14 ηλεκτρόνια, ο τομέας f θεωρούμε ότι περιλαμβάνει 14 ομάδες.

Συνοπτικά οι τομείς του Περιοδικού Πίνακα φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:



4. Σειρά πλήρωσης των υποστιβάδων στον Π.Π.

Είδαμε ήδη πως με βάση την ηλεκτρονιακή δομή ενός στοιχείου μπορούμε να προβλέψουμε τη θέση του στον Π.Π. (τομέα, περίοδο και ομάδα), αλλά και το αντίστροφο: Η θέση ενός στοιχείου είναι ενδεικτική της ηλεκτρονιακής δομής του ατόμου του και άρα και των ιδιοτήτων του, φυσικών και χημικών.

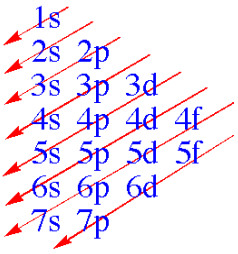
Θα δούμε τώρα ότι ο Περιοδικός Πίνακας είναι ένα αρμονικό πορτρέτο της σειράς πλήρωσης των υποστιβάδων. Η 1η περίοδος του Περιοδικού Πίνακα περιλαμβάνει δύο στοιχεία (το $_1$H και το $_2$He) και σε αυτήν συμπληρώνεται η υποστιβάδα 1s. Η 2η περίοδος διαθέτει δύο στοιχεία στον τομέα s και έξι στοιχεία στον τομέα p και σε αυτήν συμπληρώνεται διαδοχικά οι υποστιβάδες 2s και 2p. Στην 3η περίοδο συμπληρώνονται διαδοχικά οι υποστιβάδες 3s και 3p. Η 4η περίοδος περιλαμβάνει και 10 στοιχεία του d τομέα και σε αυτήν συμπληρώνονται κατά σειρά οι υποστιβάδες 4s, 3d και 4p. Αντίστοιχα, στην 5η περίοδο συμπληρώνονται κατά σειρά οι υποστιβάδες 5s, 4d και 5p.

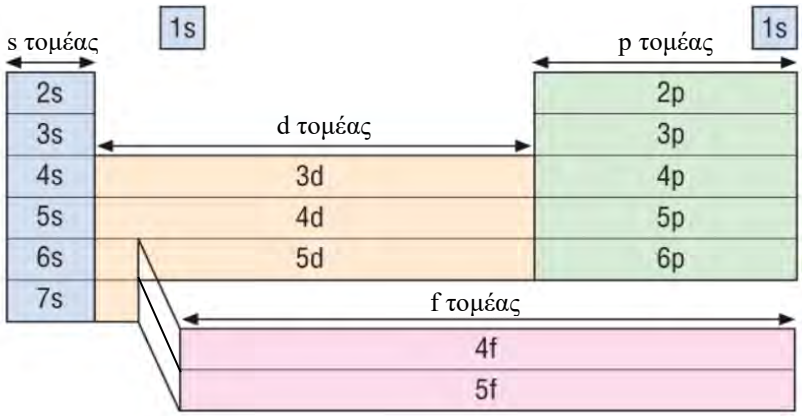
Στην 6η περίοδο συμπληρώνονται διαδοχικά οι υποστιβάδες 6s, 4f (λανθανίδες) 5d και 6p ενώ, στην 7η περίοδο συμπληρώνονται κατά σειρά οι υποστιβάδες 7s, 5f (ακτινίδες) 6d και 7p.

Πόσα στοιχεία περιλαμβάνει κάθε περίοδος;

Η 1η περίοδος περιλαμβάνει δύο μόνο στοιχεία καθώς σε αυτή συμπληρώνεται αποκλειστικά η υποστιβάδα 1s. Η 2η και η 3η περίοδος περιλαμβάνουν από 2 + 6 = 8 στοιχεία καθώς σε αυτές συμπληρώνονται διαδοχικά οι υποστιβάδες 2s, 2p και 3s, 3p, αντίστοιχα. Η 4η και η 5η περίοδος περιλαμβάνουν από 2 + 6 + 10 = 18 στοιχεία και σε αυτές συμπληρώνονται κατά σειρά οι υποστιβάδες 4s, 3d, 4p και 5s, 4d, 5p, αντίστοιχα. Τέλος, η 6η περίοδος (αλλά και η 7η) διαθέτει 2 + 6 + 10 + 14 = 32 στοιχεία καθώς σε αυτή συμπληρώνονται οι υποστιβάδες 6s, 4f (λανθανίδες), 5d, 6p.

Συνοπτικά, η σειρά πλήρωσης των υποστιβάδων στον Περιοδικό Πίνακα εμφανίζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



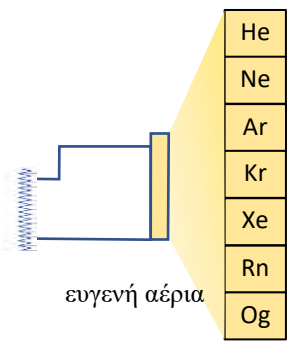


5. Οι χημικές ιδιότητες των στοιχείων με βάση τη θέση τους στον Περιοδικό Πίνακα

Τα στοιχεία μετάπτωσης είναι όλα μέταλλα, όπως και τα στοιχεία του s τομέα (εκτός από το $_1$H και το $_2$He) και του f τομέα. Τα στοιχεία του p τομέα είναι αμέταλλα (πάνω δεξιό άκρο) μέταλλα (κάτω αριστερό άκρο), μεταλλοειδή (στη διαχωριστική διαγώνιο) ή ευγενή αέρια.

Τα άτομα των στοιχείων των τριών πρώτων κύριων ομάδων του Π.Π., της 1ης (ΙΑ), της 2ης (ΙΙΑ) και της 13ης (ΙΙΙΑ) έχουν γενικά την τάση όταν σχηματίζουν ενώσεις να αποβάλλουν 1, 2 ή 3 ηλεκτρόνια, αντίστοιχα, οπότε μετατρέπονται σε σταθερά ιόντα (κατιόντα) με δομή ευγενούς αερίου. Για το λόγο αυτό τα στοιχεία αυτά χαρακτηρίζονται ως **ηλεκτροθετικά στοιχεία** και παρουσιάζουν μικρή ηλεκτραρνητικότητα.

Τα άτομα των στοιχείων της 14ης (IVA) και της 15ης (VA) ομάδας του Π.Π., όταν σχηματίζουν ενώσεις έχουν την τάση να διαμοιράζονται ηλεκτρόνια με άλλα άτομα, ώστε να αποκτήσουν οκτάδα ηλεκτρονίων στην εξωτερική στιβάδα.



Τα στοιχεία των ομάδων 15 (VA), 16 (VIA) και 17 (VIIA) όταν ενώνονται με ηλεκτροθετικά στοιχεία (μέταλλα) έχουν την τάση να προσλαμβάνουν ηλεκτρόνια (αντίστοιχα, 3, 2 ή 1) και να μετατρέπονται σε σταθερά ανιόντα με δομή ευγενούς αερίου. Για το λόγο αυτό χαρακτηρίζονται ως **ηλεκτραρνητικά στοιχεία** και εμφανίζουν μεγάλη ηλεκτραρνητικότητα. Όταν, όμως, ενώνονται με άλλα στοιχεία μέσης ή και μεγάλης ηλεκτραρνητικότητας (π.χ. από τη 14η ομάδα και προς τα δεξιά του Π.Π.) έχουν την τάση να διαμοιράζονται ηλεκτρόνια και να σχηματίζουν ομοιοπολικές ενώσεις.

Τέλος, τα στοιχεία της 18ης ομάδας έχουν σταθερή ηλεκτρονιακή δομή και δεν παρουσιάζουν την τάση να σχηματίζουν ενώσεις, χαρακτηρίζονται δε ως ευγενή αέρια.

6. Τα οξείδια της 3ης περιόδου

Τα πιο κοινά οξείδια των στοιχείων της 3ης περιόδου εμφανίζονται στον πίνακα που ακολουθεί (τα περισσότερα στοιχεία μπορούν να σχηματίσουν περισσότερα από ένα οξείδια).

ομάδα	1η	2η	13η	14η	15η	16η	17η
οξείδια	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_4O_{10} P_2O_3	SO_3 SO_2	Cl_2O_7 κτλ.

Κατά μήκος της 3ης περιόδου και από τα αριστερά προς τα δεξιά, η διαφορά ηλεκταρνητικότητας κάθε στοιχείου με το οξυγόνο μειώνεται συνεχώς και κατά συνέπεια μειώνεται και η πολικότητα των δεσμών τους με το οξυγόνο.

Τα οξείδια στο αριστερό άκρο της σειράς είναι καθαρά ιοντικού χαρακτήρα με υψηλά σημεία τήξης, ενώ στο δεξιό άκρο είναι ομοιοπολικού χαρακτήρα με όλο και χαμηλότερα σημεία τήξης.

Το MgO είναι ιοντικό οξείδιο με σημείο τήξης 2850 °C ενώ το Cl_2O είναι ομοιοπολικό οξείδιο με σημείο τήξης −121 °C.

Ας θεωρήσουμε π.χ. το Na_2O. Πρόκειται για ιοντική ένωση ($2Na^+O^{2-}$) που όταν διαλυθεί στο νερό δίνει μία βάση, το NaOH:

$$Na_2O + H_2O \rightarrow 2NaOH$$

Το ίδιο οξείδιο αντιδρά με οξέα και δίνει άλας και νερό (εξουδετέρωση):

$$Na_2O + H_2SO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + H_2O$$

Για το λόγο αυτό, το Na_2O χαρακτηρίζεται ως **βασικό οξείδιο**.

Ανάλογα συμπεριφέρεται το CaO που με επίδραση H_2O οδηγεί σε $Ca(OH)_2$, το MgO κτλ.:
$CaO + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + H_2O$

Ας θεωρήσουμε τώρα, ένα οξείδιο προς το δεξιό άκρο της σειράς, π.χ. το SO_3. Πρόκειται για ομοιοπολική ένωση και όταν διαλυθεί στο νερό παράγει το θειικό οξύ (H_2SO_4):

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

Επίσης, αντιδρά με βάσεις και δίνει άλας και νερό (εξουδετέρωση):

$$SO_3 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + H_2O$$

Για το λόγο αυτό το SO_3 χαρακτηρίζεται ως **όξινο οξείδιο**.

Ανάλογα συμπεριφέρεται το SO_2 που με επίδραση H_2O οδηγεί σε H_2SO_3, το CO_2 που με επίδραση H_2O οδηγεί σε H_2CO_3, το SiO_2 κτλ.:
$CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$

Το Al_2O_3 χαρακτηρίζεται ως **επαμφοτερίζον** οξείδιο, καθώς με το νερό οδηγεί σε ένωση που διαθέτει και όξινες ιδιότητες με τη μορφή H_3AlO_3 και βασικές με τη μορφή $Al(OH)_3$ ενώ αντιδρά τόσο με οξέα όσο και με βάσεις. Επαμφοτερίζον οξείδιο είναι και το BeO. Τα οξείδια αυτά αντιδρούν τόσο με οξέα όσο και με βάσεις.

Άλλα επαμφοτερίζοντα οξείδια είναι το BeO, το ZnO, το PbO, το SnO κτλ.

Παρατηρούμε, επομένως, στα οξείδια των στοιχείων της 3ης περιόδου μία βαθμιαία μετάβαση από το βασικό χαρακτήρα στον όξινο. Παρόμοιες μεταβολές παρατηρούμε και στα οξείδια των άλλων περιόδων του Περιοδικού Πίνακα για να επιβεβαιωθεί με τον τρόπο αυτό η περιοδική τάση των στοιχείων ως προς τις χημικές τους ιδιότητες.



7. Τα χλωρίδια της 3ης περιόδου του Π.Π.

Τα άτομα των στοιχείων της 3ης περιόδου σχηματίζουν τα εξής χλωρίδια (μερικά στοιχεία σχηματίζουν περισσότερα από ένα):

Ομάδα	1η	2η	13η	14η	15η	16η	17η
Χλωρίδια	NaCl	$MgCl_2$	$AlCl_3$ (Al_2Cl_6)	$SiCl_4$	PCl_3, PCl_5	SCl_2, S_2Cl_2	(Cl_2)

Στα χλωρίδια της 3ης περιόδου του Π.Π., ο ιοντικός χαρακτήρας του δεσμού μειώνεται από τα αριστερά προς τα δεξιά με σύγχρονη αύξηση του ομοιοπολικού χαρακτήρα. Έτσι το NaCl είναι καθαρά ιοντική ένωση, το $MgCl_2$ είναι επίσης ιοντική, ενώ στο $AlCl_3$ ο ομοιοπολικός χαρακτήρας έχει αυξηθεί σημαντικά. Τέλος, στο Cl_2 ο δεσμός είναι καθαρά ομοιοπολικός. Μάλιστα, καθώς οι ιοντικές ενώσεις είναι γενικά στερεές με υψηλά σημεία τήξης σε σχέση με τις ομοιοπολικές, παρατηρείται μία βαθμιαία μεταβολή στη φυσική κατάσταση των χλωριδίων, τα οποία από στερεά στο αριστερό άκρο καταλήγουν σε υγρά και τελικά σε αέρια στο δεξιό άκρο.

Οι παρατηρήσεις δεν ισχύουν μόνο για τα χλωρίδια της 3ης περιόδου, αλλά είναι μία γενικότερη τάση στον Π.Π.

Το $AlCl_3$ απαντά σε διαφορετικές μορφές, ανάλογα με τη θερμοκρασία και τη φυσική κατάσταση. Σε στερεή μορφή έχει τύπο $AlCl_3$, ενώ σε μορφή τήγματος απαντάται ως διμερές, Al_2Cl_6. Η διμερής μορφή απαντάται και στην αέρια φάση, ενώ σε υψηλότερες θερμοκρασίες διασπάται σε $AlCl_3$.

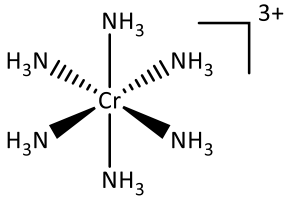
8. Τα στοιχεία μετάπτωσης

Από την 4η περίοδο και μετά εμφανίζονται στοιχεία που ανήκουν στο d τομέα και αναφέρονται ως στοιχεία μετάπτωσης. Τα στοιχεία αυτά βρίσκονται βασικά σε τρεις σειρές του Π.Π. καθώς τα στοιχεία μετάπτωσης της 7ης περιόδου είναι κυρίως τεχνητά στοιχεία. Η 1η σειρά περιλαμβάνει τα στοιχεία της 4ης περιόδου στα οποία συμπληρώνεται η 3d υποστιβάδα (από $3d^1$ μέχρι $3d^{10}$). Η 2η σειρά των στοιχείων μετάπτωσης περιλαμβάνει τα στοιχεία της 5ης περιόδου στα οποία συμπληρώνεται η 4d υποστιβάδα, ενώ στην 3η σειρά των στοιχείων μετάπτωσης της 6ης περιόδου συμπληρώνεται η 5d υποστιβάδα.

Τα στοιχεία μετάπτωσης αν και ανήκουν σε διαφορετικές ομάδες παρουσιάζουν σημαντικές αναλογίες στις ιδιότητές τους. Έτσι:

- Είναι όλα μέταλλα.
- Παρουσιάζουν πολλούς αριθμούς οξείδωσης, π.χ. ο Fe έχει +2 και +3, το Mn έχει +2, +3, +4, +6, +7 κτλ.
- Γενικά, είναι **παραμαγνητικά** στοιχεία, δηλαδή τα άτομά τους διαθέτουν ένα ή περισσότερα μονήρη (ασύζευκτα) ηλεκτρόνια και για το λόγο αυτό έλκονται από το μαγνητικό πεδίο. Η έλξη αυτή αυξάνει με την αύξηση του αριθμού των μονήρων (ασύζευκτων) ηλεκτρονίων.
- Σχηματίζουν **σύμπλοκα** ιόντα, ιόντα δηλαδή που διαθέτουν ένα κεντρικό στοιχείο ενωμένο με υποκαταστάτες, μόρια ή ιόντα. Π.χ. $[Cr(NH_3)_6]^{3+}$.
- Σχηματίζουν συνήθως έγχρωμες ενώσεις, π.χ. το $Ni(OH)_2$ έχει πράσινο χρώμα, το VO_2 έχει μπλε χρώμα κτλ.
- Παρουσιάζουν συχνά αξιοσημείωτη καταλυτική δράση. Π.χ. η αντίδραση υδρογόνωσης των αλκενίων καταλύεται από το Ni, το Pd ή το Pt.

Σύμφωνα με τον ορισμό της IUPAC, ως στοιχείο μετάπτωσης ορίζεται το στοιχείο το άτομο του οποίου έχει ασυμπλήρωτη d υποστιβάδα ή μπορεί να σχηματίσει κατιόν με ασυμπλήρωτη d υποστιβάδα. Με βάση τον ορισμό αυτό κάποια στοιχεία όπως ο $_{30}Zn$ ή το $_{48}Cd$ αποκλείονται από τα στοιχεία μετάπτωσης, αλλά εμείς θα εξακολουθήσουμε να τα συμπεριλαμβάνουμε σε αυτά. Πάντως, ο Zn έχει ΑΟ μόνο +2, δεν σχηματίζει έγχρωμες ενώσεις και δεν είναι παραμαγνητικό στοιχείο.



Το σύμπλοκο ιόν $[Cr(NH_3)_6]^{3+}$ στο οποίο το ιόν Cr^{3+} ενώνεται με έξι μόρια NH_3 (υποκαταστάτες).

Καταλύτης είναι ουσία που αυξάνει την ταχύτητα μιας αντίδρασης, χωρίς να εμφανίζεται στα τελικά προϊόντα.

Σημείωση: Παραμαγνητικά στοιχεία μπορεί να είναι και άλλα στοιχεία που δεν ανήκουν στα στοιχεία μετάπτωσης, π.χ. το $_7N$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^3$ που διαθέτει τρία μονήρη ηλεκτρόνια είναι επίσης παραμαγνητικό. Τα στοιχεία που δεν έχουν μονήρη ηλεκτρόνια απωθούνται από το μαγνητικό πεδίο και χαρακτηρίζονται ως διαμαγνητικά.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

1. Ένα από τα στοιχεία την ύπαρξη των οποίων είχε προβλέψει το Mendeleev είναι και το eka-αργίλιο που το ονόμασε έτσι επειδή έπρεπε να τοποθετηθεί στον Περιοδικό Πίνακα κάτω ακριβώς από το $_{13}$Al. Έξι χρόνια αργότερα ανακαλύφθηκε από τον Γάλλο Lecoq de Boisbaudran και το ονόμασε γάλλιο (Ga).

α) Το στοιχείο Ga **ανήκει:**

i. στην 3η **περίοδο**
ii. στην 13η (IIIA) **ομάδα**
iii. στα στοιχεία μετάπτωσης
iv. στην 3η **(IIIB) ομάδα**

β) Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Επιλογή ii.

β) Η ηλεκτρονιακή δομή του $_{13}$Al στη θεμελιώδη κατάσταση είναι $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^1$ και επομένως το στοιχείο ανήκει στην 3η περίοδο του Περιοδικού Πίνακα, στην 13η ομάδα. Έτσι το Ga που είναι ακριβώς από κάτω στον Περιοδικό Πίνακα θα ανήκει στην 13η ομάδα.



Καθαρό ζιρκόνιο: Alchemist-hp (pse-mendelejew.de)

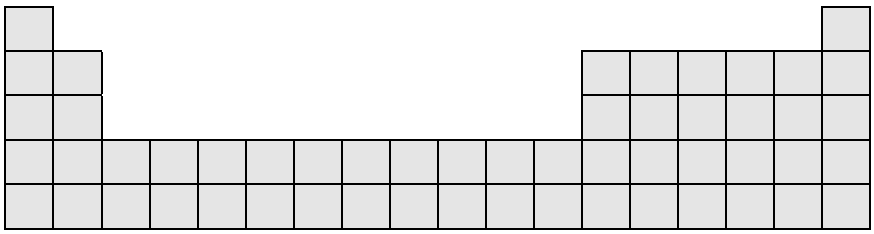
Το ζιρκόνιο ($_{40}$Zr) είναι ένα λαμπερό γκρι-λευκό μέταλλο, πολύ ανθεκτικό στη διάβρωση με βάσεις, οξέα κτλ. Έχει σημείο τήξης 1852 °C και σημείο βρασμού 4377 °C. Σε μορφή σκόνης αναφλέγεται εύκολα.

2. Η ηλεκτρονιακή δομή του ατόμου ενός στοιχείου στη θεμελιώδη κατάσταση καταλήγει σε $4d^2\ 5s^2$. Να προβλέψετε τη θέση του στοιχείου στον Περιοδικό Πίνακα (ομάδα, περίοδος, τομέας) καθώς και τον ατομικό του αριθμό (Z).

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Στη δομή του ατόμου περιλαμβάνεται υποστιβάδα με $n = 5$ και άρα το στοιχείο ανήκει στην 5η περίοδο. Καθώς συμπληρώνεται η υποστιβάδα 4d, το στοιχείο θα ανήκει στον d τομέα και στην 4η ομάδα (λόγω της δομής d^2). Η πλήρης ηλεκτρονιακή δομή θα είναι: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6\ 4d^2\ 5s^2$ και επομένως ο ατομικός αριθμός $Z = 40$.

3. Το διάγραμμα που ακολουθεί αντιστοιχεί σε τμήμα του Περιοδικό Πίνακα.



Στο διάγραμμα αυτό να σημειώσετε:

α) Το ευγενές αέριο A **που ανήκει στην** 3η **περίοδο.**

β) Το στοιχείο B **της** 4ης **περιόδου, που τα άτομά του έχουν** 3 **ασύζευκτα (μονήρη) ηλεκτρόνια στη θεμελιώδη κατάσταση (**3 **περιπτώσεις).**

γ) Το στοιχείο Γ **του s τομέα με δομή εξωτερικής στιβάδας** $5s^1$ **στη θεμελιώδη κατάσταση.**

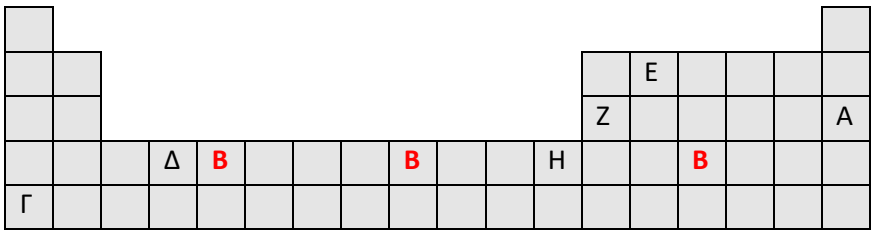
δ) Το στοιχείο Δ **με δομή** $3d^2$ **στη θεμελιώδη κατάσταση.**

ε) Το στοιχείο E **με ηλεκτρονιακή δομή** $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$**.**

ζ) Το στοιχείο Z **με ηλεκτρονιακή δομή** $[_{10}Ne]\ 3s^2\ 3p^1$**.**

η) Το στοιχείο H **με ηλεκτρονιακή δομή** $[_{18}Ar]\ 3d^{10}\ 4s^2$**.**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ



Παρατήρηση: Το στοιχείο Β διαθέτει τρία μονήρη ηλεκτρόνια. Επειδή ανήκει στην 4η περίοδο του Π.Π. τα ασύζευκτα ηλεκτρόνια μπορεί να είναι είτε σε τροχιακά d (οπότε προκύπτει στοιχείο της 5ης ή της 9ης ομάδας του d τομέα του Π.Π.) είτε σε τροχιακά p (στοιχείο της 15ης ομάδας του p τομέα του Π.Π.).

4. Να γράψετε την ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων των στοιχείων που βρίσκονται στην:

α) 3η **περίοδο,** 1η **ομάδα** **β)** 4η **περίοδο,** 1η **ομάδα** **γ)** 3η **περίοδο,** 13η **ομάδα**
δ) 3η **περίοδο,** 18η **ομάδα** **ε)** 4η **περίοδο,** 7η **ομάδα** **στ)** 6η **περίοδο,** 15η **ομάδα**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Πρόκειται για στοιχείο του τομέα s του Π.Π. με δομή εξωτερικής στιβάδας $3s^1$. Ο ατομικός του αριθμός θα είναι $Z = 2 + 8 + 1 = 11$ και η δομή του: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$.

β) Είναι στοιχείο του τομέα s του Π.Π., με δομή εξωτερικής στιβάδας $4s^1$. Ο ατομικός του αριθμός θα είναι $Z = 2 + 8 + 8 + 1 = 19$ και η δομή του: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1$.

γ) Έχουμε: $Z = 2 + 8 + 3 = 13$ (οι 3 πρώτες περίοδοι δεν περιλαμβάνουν στοιχείο του τομέα d). Η πλήρης του δομή θα είναι: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^1$.

δ) Πρόκειται για ευγενές αέριο με $Z = 2 + 8 + 8 = 18$ και δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$.

ε) Πρόκειται για στοιχείο μετάπτωσης και θα διαθέτει 5 ηλεκτρόνια στην υποστιβάδα 3d ($Z = 2 + 8 + 8 + 7 = 25$ και δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^2$.

στ) $Z = 2 + 8 + 8 + 18 + 18 + (32 - 3) = 83$. Είναι στοιχείο του p τομέα με δομή: $[_{54}Xe]\ 4f^{14}\ 5d^{10}\ 6s^2\ 6p^3$, όπου το Xe είναι το ευγενές αέριο της 5ης περιόδου με $Z = 54$.

5. Έστω τα στοιχεία της 4ης **περιόδου του Περιοδικού Πίνακα.**

α) i. Ποιες υποστιβάδες συμπληρώνονται από τα αριστερά προς τα δεξιά στην περίοδο αυτή;

ii. Ποιοι οι ατομικοί αριθμοί του πρώτου και του τελευταίου στοιχείου της περιόδου;

β) Πόσα στοιχεία της 4ης **περιόδου διαθέτουν** d **ηλεκτρόνια στην ηλεκτρονιακή τους δομή στη θεμελιώδη κατάσταση; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.**

γ) Ποιοι οι ατομικοί αριθμοί των στοιχείων της 4ης **περιόδου τα οποία:**

i. Δεν διαθέτουν μονήρη (ασύζευκτα) ηλεκτρόνια στην ηλεκτρονιακή τους δομή στη θεμελιώδη κατάσταση.

ii. Διαθέτουν έξι μονήρη ηλεκτρόνια στην ηλεκτρονιακή τους δομή στη θεμελιώδη κατάσταση.

iii. Διαθέτουν τρία μονήρη ηλεκτρόνια στην ηλεκτρονιακή τους δομή στη θεμελιώδη κατάσταση.

δ) Να εξηγήσετε γιατί πάνω από το στοιχείο με $Z = 21$ δεν υπάρχει άλλο στοιχείο στον Περιοδικό Πίνακα.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) i. 4s, 3d, 4p.

ii. Το 1ο στοιχείο της 4ης περιόδου έχει δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1$ και επομένως έχει $Z = 19$. Το τελευταίο στοιχείο της 4ης περιόδου έχει δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6$ και επομένως έχει $Z = 36$.

β) 16 στοιχεία. Τα 10 στοιχεία του d τομέα και τα 6 του p τομέα, τα οποία διαθέτουν συμπληρωμένη την 3d υποστιβάδα.

γ) i. $Z = 20$, 30 και 36 (τα τελευταία στοιχεία του s, του d και του p τομέα).

ii. $Z = 24$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^1$ (κατ' εξαίρεση, λόγω ειδικής σταθερότητας της $3d^5$ δομής).

iii. $Z = 23$ (δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^3\ 4s^2$), $Z = 27$ (δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^7\ 4s^2$) και $Z = 33$ (δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^3$).

δ) Το στοιχείο με $Z = 21$ είναι στοιχείο του d τομέα της 4ης περιόδου. Πάνω από αυτό δεν βρίσκεται άλλο στοιχείο, καθώς στην 1η, στη 2η και στην 3η περίοδο δεν υπάρχουν στοιχεία του d τομέα.

Σχεδόν όλα τα στοιχεία μετάπτωσης διαθέτουν περισσότερους από έναν αριθμούς οξείδωσης καθώς διαθέτουν ασυμπλήρωτη $(n\text{-}1)$d υποστιβάδα με μικρή διαφορά ενέργειας σε σχέση με την εξωτερική στιβάδα ns. Έτσι, στο σχηματισμό των δεσμών ενός στοιχείου μετάπτωσης μπορούν να συμμετέχουν και ηλεκτρόνια της d υποστιβάδας. Π.χ. στο άτομο του $_{26}$Fe εκτός από τα ηλεκτρόνια της υποστιβάδας 4s μπορεί να αποσπαστεί και ένα ηλεκτρόνιο της 3d (αριθμοί οξείδωσης +2 και +3).

6. α) Το άτομο ενός στοιχείου Α **έχει πέντε ηλεκτρόνια σθένους και ανήκει στον** p **τομέα του Περιοδικού Πίνακα. Σε ποια ομάδα ανήκει το στοιχείο αυτό;**

β) Το ανιόν B^{3-} **ενός άλλου στοιχείου** Β **έχει ηλεκτρονιακή δομή:** $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$**. Σε ποια ομάδα του Περιοδικού Πίνακα ανήκει το στοιχείο** Β**;**

γ) Ενός τρίτου στοιχείου Γ **το άτομο έχει μόνο ένα ζεύγος ηλεκτρονίων σε** p **τροχιακό. Σε ποια ομάδα μπορεί να ανήκει το στοιχείο** Γ**; Ποιο είναι το πιο σταθερό ανιόν που σχηματίζει;**

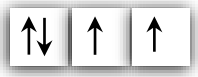
δ) Το άτομο ενός τέταρτου στοιχείου Δ **περιέχει πέντε μονήρη ηλεκτρόνια στη θεμελιώδη του κατάσταση. Σε ποιο τομέα μπορεί να ανήκει το στοιχείο;**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Εφόσον διαθέτει 5 ηλεκτρόνια στη στιβάδα σθένους, η δομή της στιβάδα αυτής θα είναι: $ns^2\ np^3$ (n ο αριθμός της περιόδου). Ανήκει, επομένως στην 15η (VA) ομάδα.

β) Το ανιόν B^{3-} διαθέτει τρία ηλεκτρόνια παραπάνω σε σχέση με το ουδέτερο άτομο του στοιχείου Β. Η ηλεκτρονιακή δομή του ατόμου του Β στη θεμελιώδη κατάσταση θα είναι: $1s^2\ 2s^2\ 2p^3$ και άρα το στοιχείο ανήκει στην 15η (VA) ομάδα.

γ) Για να έχει το άτομο του στοιχείου Γ ένα ζεύγος ηλεκτρονίων σε p τροχιακό, θα πρέπει η αντίστοιχη υποστιβάδα p να διαθέτει 4 ηλεκτρόνια (θυμηθείτε τον κανόνα του Hund!). Επομένως, έχει δομή p^4 οπότε ανήκει στον τομέα p και συγκεκριμένα στην 16η (VIA) ομάδα. Το πιο σταθερό ανιόν θα έχει δομή ευγενούς αερίου. Άρα θα είναι το $Γ^{2-}$.



δ) Τα 5 μονήρη (ασύζευκτα) ηλεκτρόνια δεν μπορεί να ανήκουν σε υποστιβάδα s ούτε σε υποστιβάδα p. Θα είναι, επομένως, είτε στοιχείο μετάπτωσης με δομή d^5 είτε θα ανήκει σε ένα από τα δύο παραρτήματα του Περιοδικού Πίνακα, τις ακτινίδες ή τις λανθανίδες, με δομή f^5 ή f^9.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

Όλες οι ηλεκτρονιακές δομές είναι στη θεμελιώδη κατάσταση των ατόμων, εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά.

4.1. Σε όλα τα στοιχεία του s τομέα:
Α) όλα τα ηλεκτρόνια είναι σε s τροχιακά
Β) όλες τις υποστιβάδες s είναι συμπληρωμένες
Γ) η υποστιβάδα με την υψηλότερη ενέργεια είναι τύπου s
Δ) η υποστιβάδα με την χαμηλότερη ενέγεια είναι τύπου s

4.2. Ποιος ο ατομικός αριθμός στοιχείου που ανήκει στην ίδια ομάδα του Περιοδικού Πίνακα με τον άνθρακα ($_6$C);
Α) 8 Β) 12 Γ) 14 Δ) 34

4.3. Με την εξαίρεση του $_2$He η εξωτερική στιβάδα ενός ευγενούς αερίου εμφανίζει ηλεκτρονιακή δομή:
Α) $ns^2\ np^6$ Β) $ns^2\ np^3$ Γ) $(n-1)d^2\ np^6$ Δ) $(n-1)d^5\ np^1$

4.4. i. Το πρώτο στοιχείο του p τομέα του Περιοδικού Πίνακα που ανήκει στην 3η περίοδο έχει ατομικό αριθμό Z =:
Α) 13 Β) 8 Γ) 10 Δ) 12
ii.Το πρώτο στοιχείο του d τομέα έχει Z =:
Α) 11 Β) 13 Γ) 19 Δ) 21

4.5. Ποια η δομή της εξωτερικής στιβάδας για την τρίτη κατά σειρά αλκαλική γαία του Περιοδικού Πίνακα;
Α) $3s^1$ Β) $3s^2$ Γ) $4s^2$ Δ) $4s^1$

4.6. Το άτομο του στοιχείου $_{84}$Po (πολώνιο) έχει δομή: $[_{54}Xe]\ 4f^{14}\ 5d^{10}\ 6s^2\ 6p^4$. Σε ποια ομάδα του Περιοδικού Πίνακα ανήκει το στοιχείο αυτό;
Α) στη 2η Β) στη 14η Γ) στη 16η Δ) στη 18η

4.7. Η ηλεκτρονιακή δομή του ατόμου του Zn είναι $[_{18}Ar]\ 3d^{10}\ 4s^2$. Από τη δομή αυτή προκύπτει ότι ο Zn:
Α) ανήκει στην 10η ομάδα του Περιοδικού Πίνακα
Β) είναι παραμαγνητικό στοιχείο και εμφανίζει πολλούς αριθμούς οξείδωσης
Γ) ανήκει στον s τομέα του Περιοδικού Πίνακα
Δ) ανήκει στην ίδια περίοδο με το στοιχείο $_{20}$Ca

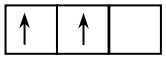
4.8. Το ανιόν X^{3-} έχει δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$. Σε ποια ομάδα του Περιοδικού Πίνακα ανήκει το στοιχείο X;
Α) 15η (VA) Β) 5η (VB) Γ) 18η (VIIIA) Δ) 13η (IIIA)

4.9. Ποια είναι η ηλεκτρονιακή δομή ενός στοιχείου στη θεμελιώδη κατάσταση αν είναι γνωστό ότι ανήκει στην ίδια περίοδο με το $_{11}$Na και στην ίδια ομάδα με το $_5$B;
Α) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^1$ Β) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^3$
Γ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2$ Δ) $1s^2\ 2s^1$

4.10. Ποιο από τα παρακάτω στοιχεία είναι παραμαγνητικό;
Α) $_{20}$Ca Β) $_{12}$Mg Γ) $_{14}$Si Δ) $_{30}$Zn

4.11. Το στοιχείο της 3ης περιόδου του Περιοδικού Πίνακα το άτομο του οποίου διαθέτει 4 μονήρη (ασύζευκτα) ηλεκτρόνια στη θεμελιώδη κατάσταση:
Α) είναι το $_{14}$Si Β) είναι το $_{16}$S
Γ) είναι το $_{14}$Si και το $_{16}$S Δ) Δεν υπάρχει τέτοιο στοιχείο

4.12. Η παρακάτω δομή αντιστοιχεί σε p υποστιβάδα ενός ατόμου στη θεμελιώδη κατάσταση.



Σε ποια ομάδα του Περιοδικού Πίνακα ανήκει το στοιχείο;
Α) 14η Β) 16η Γ) 4η Δ) 2η

4.13. Να χαρακτηρίσετε τις προτάσεις που ακολουθούν ως σωστές ή λανθασμένες. Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας μόνο στην την περίπτωση λανθασμένων προτάσεων.
α) Στοιχείο με δομή του ατόμου του $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^8\ 4s^2$ ανήκει στον d τομέα.
β) Παραμαγνητικά είναι όχι μόνο τα στοιχεία μετάπτωσης αλλά και άλλα στοιχεία, όπως π.χ. το $_8$O, που διαθέτουν μονήρη ηλεκτρόνια στην ηλεκτρονιακή τους δομή.
γ) Από τα οξείδια των στοιχείων $_{13}$Al, $_{17}$Cl, $_{19}$K και $_{20}$Ca με τύπους, Al_2O_3, Cl_2O_7, K_2O και CaO, περισσότερο όξινο είναι το Cl_2O_7.
δ) Η 2η σειρά των στοιχείων μετάπτωσης είναι στην 5η περίοδο και σε αυτήν συμπληρώνεται η υποστιβάδα 4d.
ε) Οι λανθανίδες είναι στοιχεία της 6ης περιόδου του Περιοδικού Πίνακα και σε αυτά συμπληρώνεται η υποστιβάδα 4f.
ζ) Το $_{12}$Mg ανήκει στις αλκαλικές γαίες και σχηματίζει το οξείδιο με τύπο MgO(s) με υψηλό σημείο τήξης.
η) Σε ένα δομημένο άτομο $_{31}$Ga η ενέργεια της υποστιβάδας 4s είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια της υποστιβάδας 3d.

4.14. Δίνονται οι δομές των ατόμων των στοιχείων Α - Ε που ακολουθούν.

Α	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^1$
Β	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^3$
Γ	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^2$
Δ	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6\ 5s^2$
Ε	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6\ 4d^{10}\ 5s^2\ 5p^6$

Ποιο ή ποια από τα στοιχεία αυτά είναι:
α) ευγενές αέριο. β) αλκαλική γαία.
γ) στοιχείο του d τομέα. δ) στη 13η (IIIA) ομάδα.

4.15. Ποιος ο ατομικός αριθμός Z ενός στοιχείου (X) της 4ης περιόδου του Περιοδικού Πίνακα του οποίου το κατιόν X^{3+} διαθέτει ημισυμπληρωμένη d υποστιβάδα (d^5); Σε ποια ομάδα ανήκει το στοιχείο (X);

4.16. Τα ιόντα των στοιχείων μετάπτωσης με μονήρη ηλεκτρόνια σχηματίζουν συνήθως έγχρωμα υδατικά διαλύματα. Ένα από τα παρακάτω ιόντα δίνει ροζ χρώμα στα υδατικά του διαλύματα. Ποιο είναι το ιόν αυτό;
Α) $_{27}Co^{2+}$ Β) $_{21}Sc^{3+}$ Γ) $_{30}Zn^{2+}$ Δ) $_{22}Ti^{4+}$
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

4.17. Το $_{20}$Ca και το $_{30}$Zn διαθέτουν την ίδια δομή στην εξωτερική στιβάδα ($4s^2$). Να εξηγήσετε γιατί δεν ανήκουν στην ίδια ομάδα του Περιοδικού Πίνακα.

4.18. Ένα στοιχείο έχει πέντε ηλεκτρόνια με $\ell = 0$, στη θεμελιώδη κατάσταση. Να προσδιοριστούν:
α) Ο ατομικός αριθμός του στοιχείου.
β) Η θέση του στοιχείου στον Περιοδικό Πίνακα (ομάδα και περίοδος).

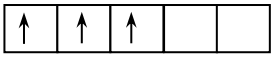
4.19. Το βρώμιο (Br) είναι το 3ο στοιχείο της ομάδας των αλογόνων. Να γράψετε:
α) Την ομάδα και την περίοδο του Περιοδικού Πίνακα στην οποία ανήκει το στοιχείο αυτό.
β) i. Τον ολικό αριθμό των p ηλεκτρονίων καθώς και ii. τον αριθμό των d ηλεκτρονίων του ατόμου στη θεμελιώδη του κατάσταση.

4.20. Δίνονται οι ηλεκτρονιακές δομές των ατόμων των στοιχείων Α, Β, Γ, Δ, Ε και Ζ στη θεμελιώδη κατάσταση.
Α: $1s^2\ 2s^2\ 2p^5$
Β: $1s^2\ 2s^1$
Γ: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$
Δ: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$
Ε: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6$
Ζ: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$
Ποια από τα στοιχεία αυτά ανήκουν στις ίδιες ομάδες και επομένως παρουσιάζουν ανάλογες ιδιότητες;

4.21. α) Ποια δύο από τα παρακάτω άτομα ή ιόντα είναι παραμαγνητικά;
i. $_{20}Ca^{2+}$ ii. $_{29}Cu^{2+}$ iii. $_{30}Zn^{2+}$ iv. $_{7}N$
β) Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2025]

4.22. Ποιες υποστιβάδες συμπληρώνονται από αριστερά προς τα δεξιά στην 3η, στην 4η και στην 5η περίοδο του Π.Π.; Από πόσα στοιχεία αποτελείται καθεμία από αυτές τις περιόδους;

4.23. Η ηλεκτρονιακή δομή μιας υποστιβάδας ατόμου στοιχείου (Χ) στη θεμελιώδη κατάσταση είναι η παρακάτω.

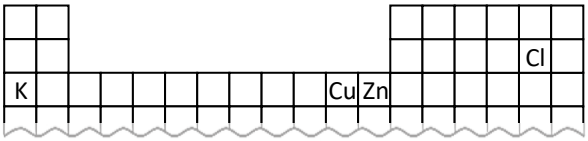


α) Σε ποιον τομέα και σε ποια ομάδα του Περιοδικού Πίνακα μπορεί να ανήκει το στοιχείο (Χ);
β) Ποιος ο μικρότερος ατομικός αριθμός (Z_{min}) που μπορεί να έχει το στοιχείο (Χ);

4.24. Το άτομο ενός στοιχείου Μ της 4ης περιόδου του Περιοδικού Πίνακα έχει άθροισμα κβαντικών αριθμών spin ίσο με το 0 στη θεμελιώδη κατάσταση.
α) Σε ποια ή ποιες ομάδες του Περιοδικού Πίνακα είναι δυνατόν να ανήκει το στοιχείο Μ;
β) Ποιοι οι δυνατοί ατομικοί του αριθμοί του στοιχείου;

4.25. Το ιόν M^{2+} του στοιχείου Μ της 4ης περιόδου του Π.Π. έχει δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5$.
α) Ποιος ο ατομικός αριθμός του Μ;
β) Σε ποιο τομέα και σε ποια ομάδα ανήκει το στοιχείο Μ;
γ) Πόσα ηλεκτρόνια με $\ell = 0$ και πόσα ηλεκτρόνια με $m_\ell = 1$ διαθέτει το άτομο του στοιχείου Μ;
δ) Σε ποιο τομέα, περίοδο και ομάδα ανήκει ένα άλλο στοιχείο Ν το άτομο του οποίου είναι ισοηλεκτρονιακό με το ιόν M^{2+};

4.26. Στο σχήμα που ακολουθεί εμφανίζεται ένα μέρος του Περιοδικού Πίνακα με 4 στοιχεία του.



α) Ποιο από τα παραπάνω στοιχεία σχηματίζει κατιόν +1 με τρεις πλήρεις στιβάδες στη θεμελιώδη κατάσταση;
i. Cl ii. K iii. Cu iv. Zn
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.
β) Ποιο από τα παραπάνω τέσσερα στοιχεία δεν είναι παραμαγνητικό; Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

4.27. Οι ατομικοί αριθμοί των στοιχείων Α, Β και Γ είναι, αντίστοιχα Z, Z+1 και Z+2. Το στοιχείο Β είναι ευγενές αέριο και ανήκει στην 3η περίοδο.
α) Σε ποια ομάδα, περίοδο και τομέα του Περιοδικού Πίνακα ανήκουν τα στοιχεία Α, Β και Γ;
β) Ποιες είναι οι ηλεκτρονιακές δομές των ατόμων των παραπάνω στοιχείων στη θεμελιώδη κατάσταση;

4.28. Το στοιχείο Χ ανήκει στην 3η περίοδο και το άτομό του διαθέτει 6 ηλεκτρόνια σθένους.
α) Ποιος ο τομέας και η ομάδα του Περιοδικού Πίνακα που ανήκει το στοιχείο Χ και ποιος ο ατομικός του αριθμός;
β) Ποιος είναι ο χαρακτήρας των δεσμών (ιοντικοί ή ομοιοπολικοί) των ενώσεων XO_3 και XCl_2 που σχηματίζει το στοιχείο Χ με το οξυγόνο και το χλώριο, αντίστοιχα;

4.29. Ανάμεσα στα στοιχεία με ατομικούς αριθμούς από Z = 1 έως Z = 36 υπάρχουν 8 στοιχεία τα οποία διαθέτουν δύο μονήρη (ασύζευκτα) ηλεκτρόνια στην ηλεκτρονιακή τους δομή στη θεμελιώδη κατάσταση.
α) Σε ποιους τομείς ανήκουν τα στοιχεία αυτά;
β) Να γραφούν οι ηλεκτρονιακές δομές των 8 αυτών στοιχείων.

4.30. Το άτομο ενός στοιχείου (Σ) διαθέτει τρία μόνο ηλεκτρόνια με $m_\ell = -1$ στη θεμελιώδη κατάσταση. Το στοιχείο αυτό (Σ), θα ανήκει οπωσδήποτε:
Α) στον d τομέα Β) στον p τομέα
Γ) στην 13η (ΙΙΙΑ) ομάδα Δ) στην 2η περίοδο
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

4.31. Το στοιχείο ψευδάργυρος με Z = 30 αναφέρεται, γενικά, ως στοιχείο μετάπτωσης.
α) Να εξηγήσετε με βάση την ηλεκτρονιακή δομή το γεγονός αυτό.
β) Παρόλα αυτά από τη Διεθνή Ένωση Χημείας (IUPAC) προτείνεται να μην ταξινομείται ο ψευδάργυρος στα στοιχεία μετάπτωσης. Να αναφέρετε τρία γενικά γνωρίσματα των στοιχείων μετάπτωσης τα οποία δεν αντιστοιχούν στο στοιχείο αυτό.

4.32. Το άτομο του $_{79}$Au (χρυσός) έχει ηλεκτρονιακή δομή: $[_{54}Xe]\ 4f^{14}\ 5d^{10}\ 6s^1$ στη θεμελιώδη κατάσταση.
α) Να εξηγήσετε αν υπάρχει απόκλιση της δομής αυτής από τις αρχές τις ηλεκτρονιακής δόμησης.
β) Να σημειώσετε την θέση του στοιχείου στον Περιοδικό Πίνακα (ομάδα, τομέας, περίοδος).
γ) Να γράψετε την ηλεκτρονιακή δομή του ατόμου του στοιχείου που ανήκει στην ίδια ομάδα με το Au αλλά στην 4η περίοδο.

4.33. Τα στοιχεία Na, Mg, Si, Cl και Ar ανήκουν όλα στην 3η περίοδο και στις ομάδες 1η, 2η, 14η, 17η και 18η, αντίστοιχα.
α) Να γράψετε τις ηλεκτρονιακές δομές των ατόμων των στοιχείων αυτών στη θεμελιώδη τους κατάσταση.
β) Να προβλέψετε τις ηλεκτρονιακές δομές των αμέσως από κάτω στοιχείων της ομάδας που ανήκουν.
γ) Να χαρακτηρίσετε τα χλωρίδια NaCl, του $MgCl_2$ και $SiCl_4$ ως ιοντικά ή ομοιοπολικά.
δ) Να χαρακτηρίσετε τα οξείδια Na_2O, MgO, SiO_2 και Cl_2O_7 ως ιοντικά ή ομοιοπολικά και ως όξινα ή βασικά.

4.34. Οι σπάνιες γαίες είναι το κοινό όνομα δεκαεπτά στοιχείων του Περιοδικού Πίνακα. Κάποια από τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των χρωμάτων στις οθόνες των «έξυπνων» τηλεφώνων (smartphones). Ένα ηλεκτρόνιο του ατόμου μιας σπάνιας γαίας στη θεμελιώδη κατάσταση διαθέτει τους εξής κβαντικούς αριθμούς: $n = 4$, $\ell = 2$, $m_\ell = -2$, $m_s = +1/2$ και δεν υπάρχει άλλο ηλεκτρόνιο στο άτομο αυτό με την ίδια ενέργεια.
α) Σε ποιον τομέα, ομάδα και περίοδο του Περιοδικού Πίνακα ανήκει το παραπάνω στοιχείο;
β) Ποιος είναι ο ατομικός του αριθμός (Z);

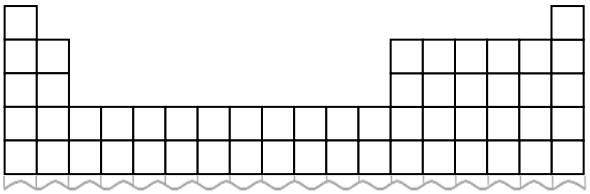
4.35. Τα στοιχεία Α, Β, Γ και Δ ανήκουν στην 4η περίοδο του Περιοδικού Πίνακα με ατομικούς αριθμούς Z, Z+1, Z+2 και Z+3, αντίστοιχα. Ο αριθμός των μονήρων (ασύζευκτων) ηλεκτρονίων στην ηλεκτρονιακή τους δομή των ατόμων τους εμφανίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Στοιχείο	Α	Β	Γ	Δ
Μονήρη e^-	2	1	0	1

α) Σε ποια ομάδα του Περιοδικού Πίνακα ανήκει το στοιχείο Α;
i. Στην 4η (IVB) ii. Στην 10η (VIIIB)
iii. Στην 14η (IVA) iv. Στην 16η (VIA)
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

4.36. Ως γνωστόν κάποια χημικά στοιχεία δεν ακολουθούν τις αρχές της ηλεκτρονιακής δόμησης. Με το δεδομένο ότι το στοιχείο Pd (παλλάδιο, $Z = 46$) δεν είναι παραμαγνητικό, να γράψετε την ηλεκτρονιακή του δομή. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

4.37. Το σχήμα που ακολουθεί παριστάνει τμήμα του Περιοδικού Πίνακα.



Στον πίνακα αυτό να σημειώσετε στην κατάλληλη θέση τα στοιχεία με τα εξής χαρακτηριστικά.
α) Στοιχείο Α που σχηματίζει τρισθενές κατιόν (A^{3+}) με δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$.
β) Τα στοιχεία Β της 4ης περιόδου, που τα άτομά τους έχουν δύο μονήρη ηλεκτρόνια σε p τροχιακά.
γ) Το στοιχείο Γ του s τομέα με δομή εξωτερικής στιβάδας $4s^1$.
δ) Το στοιχείο Δ του d τομέα της 4ης περιόδου με δομή d^8.
ε) Το στοιχείο Ε με δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$.
ζ) Το στοιχείο Ζ με δομή $[_{10}Ne]\ 3s^2\ 3p^5$.
η) Το στοιχείο Η με δομή $[_{36}Kr]\ 5s^1$.
θ) Το στοιχείο Θ με δομή $[_{18}Ar]\ 3d^5\ 4s^2$.
ι) Το στοιχείο Ι με δομή $[_{18}Ar]\ 3d^{10}\ 4s^1$

4.38. **Πρόκληση!** Τα άτομα δύο στοιχείων μετάπτωσης της 4ης περιόδου του Περιοδικού Πίνακα διαθέτουν τον ίδιο αριθμό ($x \neq 0$) ασύζευκτων ηλεκτρονίων στην 3d υποστιβάδα, στη θεμελιώδη κατάσταση. Ποιοι οι δυνατοί ατομικοί αριθμοί των δύο αυτών στοιχείων; Να εξεταστούν όλες οι δυνατές περιπτώσεις.

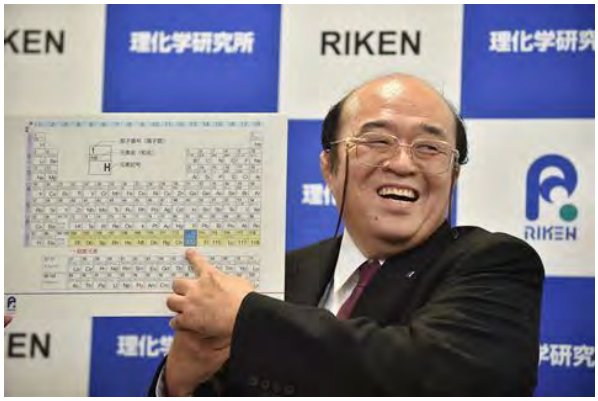
4.39. Το στοιχείο $_{43}$Tc (τεχνήτιο) ανακαλύφθηκε μετά το θάνατο του Mendeleev. Παρόλα αυτά, ο Mendeleev προέβλεψε την ύπαρξη και τις ιδιότητές του με βάση τις ιδιότητες του $_{25}$Mn, του $_{42}$Mo, του $_{44}$Ru και του $_{75}$Re.
α) i. Σε ποια ομάδα, περίοδο και τομέα του Περιοδικού Πίνακα ανήκει το Tc;
ii. Να σημειώσετε στο τμήμα του Περιοδικού Πίνακα που ακολουθεί τη θέση των στοιχείων $_{25}$Mn, $_{42}$Mo, $_{44}$Ru και $_{75}$Re.

Cr		
	Tc	

β) Να γράψετε την ηλεκτρονιακή δομή του Cr στη θεμελιώδη κατάσταση και να σημειώσετε τον αριθμό των μονήρων (ασύζευκτων) ηλεκτρονίων του.

Χημεία και… τέρατα: «East Side Story» (⋆)

Το «East Side Story» μια περιπέτεια με πρωταγωνιστή τον Ιάπωνα επιστήμονα Kosuke Morita. Αυτόν που με την ομάδα του ανακάλυψε το τελευταίο στοιχείο του σύγχρονου Περιοδικού Πίνακα, το νιχόνιο (Nh), που ονομάστηκε έτσι από τη λέξη Nihon (Ιαπωνία, στα ιαπωνικά = η χώρα του ανατέλλοντος ηλίου). Ανακαλύφθηκε στον ιαπωνικό επιταχυντή Riken της Ιαπωνίας και είναι το πρώτο που ανακαλύφθηκε σε ασιατική χώρα και η ερευνητική ομάδα ελπίζει ότι η πίστη στην επιστήμη θα αποκατασταθεί μετά το πλήγμα που υπέστη εξαιτίας της καταστροφής στο πυρηνικό κέντρο της Φουκουσίμα, το 2011.



«Μέχρι τώρα, όλα τα στοιχεία του Περιοδικού Πίνακα είχαν ανακαλυφθεί στην Ευρώπη και στις ΗΠΑ. Το γεγονός ότι εμείς, στην Ιαπωνία, βρήκαμε ένα από τα μόλις 118 ατομικά στοιχεία που είναι γνωστά, κάνει την ανακάλυψή μας σπουδαία», είπε ο **Kosuke Morita** (στη φωτογραφία γεμάτος χαρά και υπερηφάνεια!), επικεφαλής της ερευνητικής ομάδας που έκανε την ανακάλυψη.

Για το στοιχείο αυτό είναι πολύ λίγα γνωστά καθώς διασπάται σχεδόν ακαριαία. Έχει υπολογιστεί ότι διαθέτει ανάλογες ιδιότητες με τα υπόλοιπα στοιχεία της 13ης ομάδας (βόριο, αργίλιο, γάλλιο κτλ.), αν και ο πιο σταθερός αριθμός οξείδωσής του θα πρέπει να είναι ο +1 και όχι ο +3.

Τα νεότερα στοιχεία του Περιοδικού Πίνακα

Τα τελευταία αρκετά χρόνια, τα στοιχεία με ατομικούς αριθμούς Z = 110-118 έχουν ονομαστεί Darmstadtium ($_{110}$Ds), Roentgenium ($_{111}$Rg), Copernicium ($_{112}$Cn), νιχόνιο ($_{113}$Nh), φλερόβιο ($_{114}$Fl), μοσκόβιο ($_{115}$Mc), λιβερμόριο ($_{116}$Lv), τεννεσίνιο ($_{117}$Ts) και ογκανέσιο, ($_{118}$Og). Τα στοιχεία είναι τόσο μεγάλα και ασταθή που μπορούν να δημιουργηθούν μόνο στο εργαστήριο και γρήγορα (ακαριαία, σχεδόν) διασπώνται σε άλλα στοιχεία. Είναι γνωστά ως υπερβαρέα στοιχεία. Η ονομασία των τεσσάρων από αυτά τα στοιχεία (Z = 113, 115, 117 και 118) ανακοινώθηκε σχετικά πρόσφατα (2016) και με αυτά έκλεισε και η 7η περίοδος του Περιοδικού Πίνακα. Τα ονόματα «κλείδωσαν» από τις Διεθνείς Ενώσεις Καθαρής και Εφαρμοσμένης Χημείας (IUPAC) και Φυσικής (IUPAP), έπειτα από 5μηνη διαβούλευση.

Οι μελέτες που οδήγησαν στην ανακάλυψη νέων στοιχείων προσέφεραν μια ενθαρρυντική ένδειξη: Δεν αποκλείεται να υπάρχουν ακόμα βαρύτερα στοιχεία που παραμένουν σταθερά για περισσότερο χρόνο, κάτι που θα διευκόλυνε την ανίχνευσή τους. Ήδη, ερευνητές σε όλο τον κόσμο εργάζονται ήδη για τη δημιουργία των στοιχείων 119 και 120, των πρώτων στοιχείων της 8ης περιόδου του Περιοδικού Πίνακα!

Σύμφωνα με τους κανόνες της IUPAC τα ονόματα των νέων στοιχείων θα πρέπει να σχετίζονται με τη μυθολογία ή κάποιο ορυκτό ή τοποθεσία (χώρα) ή κάποια ιδιότητα ή τέλος με το όνομα κάποιου επιστήμονα. Επίσης, τα νέα στοιχεία πρέπει να έχουν την κατάληξη «-ium» για τις ομάδες 1-16, «-ine» για την ομάδα 17 και «-on» για την ομάδα 18 (International Union of Pure and Applied Chemistry, 2015). Το μοσκόβιο, φέρει το όνομα της Μόσχας, καθώς ανακαλύφθηκε από το ρωσικό Κοινό Ινστιτούτο Πυρηνικών Ερευνών Ντούμπνα. Το τενεσίνο, παραπέμπει στο Τενεσί, την πολιτεία όπου βρίσκονται το Εθνικό Εργαστήριο Όακ Ριντζ και το Πανεπιστήμιο Βάντερμπιλτ, που έκαναν και τη σχετική ανακάλυψη. Τέλος το ογκανέσιο, πήρε το όνομά του από τον Ρώσο καθηγητή πυρηνικής φυσικής Γιούρι Ογκανεσιάν, ο οποίος έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην ανακάλυψή του.

(⋆) Η καλύτερη ταινία του 1961 ήταν το «West Side Story» με πρωταγωνιστές τη Natalie Wood και το «δικό μας» George Chakiris. Την ίδια χρονιά πάταγο έκανε και μία επική περιπέτεια τύπου «γουέστερν», η ταινία «Yojimbo» του Ιάπωνα σκηνοθέτη Ακίρα Κουροσάβα και πρωταγωνιστή τον Toshiro Mifune.

Χημεία και … τέρατα: «Για μια χούφτα δολάρια ακόμη!»

Ο Jeffrey Katzenberg, στέλεχος της Disney, πήγε με μια βαλίτσα χρήματα στον δημιουργό του Breaking Bad, Vince Gilligan. Το μόνο που του ζήτησε ήταν να γυρίσει τρία περισσότερα επεισόδια για τη σειρά με αντάλλαγμα 75 εκατομμύρια δολάρια. Ωστόσο, κάτι τέτοιο θα τους ανάγκαζε να αλλάξουν το τέλος της σειράς. Και τα επεισόδια δεν θα ήταν πια 62, όπως ήθελαν.

Κι αυτό γιατί το νούμερο 62 ήταν σημαντικό για τον κύριο χαρακτήρα, Walter White. Το στοιχείο σαμάριο ($_{62}$Sm), ένα χημικό στοιχείο που ανήκει στις λανθανίδες και χρησιμοποιείται για τη θεραπεία ασθενών με καρκίνο, έχει ατομικό αριθμό 62…

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 4

Στις παρακάτω ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής 1 - 13 να σημειώσετε απλώς τη σωστή απάντηση.

1. Το σύνολο των στοιχείων που ανήκουν στις κύριες ομάδες του Περιοδικού Πίνακα βρίσκονται στους τομείς:
Α) s Β) p Γ) s και p Δ) s, p και d
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

2. Από τα παρακάτω στοιχεία που βρίσκονται στη θεμελιώδη κατάσταση, στον τομέα s του Περιοδικού Πίνακα, ανήκει το στοιχείο:
Α) Α: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^1$
Β) Β: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^1$
Γ) Γ: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2$
Δ) Δ: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1$
[ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2024]

3. Η δομή της εξωτερικής στιβάδας για τα στοιχεία της 16ης ομάδας (VIA) του Περιοδικού Πίνακα είναι:
Α) ns^2 Β) $np^2\ nd^4$ Γ) $ns^2\ np^6$ Δ) $ns^2\ np^4$

4. Το στοιχείο με δομή $1s^2$ ανήκει:
Α) στη 2η (ΙΙΑ) ομάδα Β) στη 2η περίοδο
Γ) στη 18η (VIIIA) ομάδα Δ) στις αλκαλικές γαίες

5. Το στοιχείο $_{13}Al$ ανήκει:
Α) στη 2η περίοδο, 13η (ΙΙΙΑ) ομάδα και τομέα p του Περιοδικού Πίνακα
Β) στην 3η περίοδο, 15η (VA) ομάδα και τομέα p του Περιοδικού Πίνακα
Γ) στην 3η περίοδο, 13η (ΙΙΙΑ) ομάδα και τομέα p του Περιοδικού Πίνακα
Δ) στην 3η περίοδο, 1η ομάδα και τομέα d του Περιοδικού Πίνακα [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

6. Οι ηλεκτρονιακές δομές $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2$ και $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^1\ 4s^2$ αντιστοιχούν σε στοιχεία που ανήκουν:
Α) στον ίδιο τομέα του Περιοδικού Πίνακα
Β) στην ίδια ομάδα του Περιοδικού Πίνακα
Γ) στον ίδιο τομέα και στην ίδια ομάδα του Περιοδικού Πίνακα
Δ) στην ίδια περίοδο του Περιοδικού Πίνακα

7. Ένα στοιχείο ανήκει στον τομέα p του Περιοδικού Πίνακα όταν το άτομό του στη θεμελιώδη κατάσταση:
Α) διαθέτει συμπληρωμένη p υποστιβάδα
Β) διαθέτει ηλεκτρόνια σε p τροχιακά
Γ) διαθέτει τα ηλεκτρόνια με τη μεγαλύτερη ενέργεια σε υποστιβάδα p
Δ) διαθέτει κενή p υποστιβάδα

8. Ποιο από τα παρακάτω στοιχεία έχει παρόμοιες ιδιότητες με το $_{34}Se$;
Α) Το $_{7}N$ Β) Το $_{8}O$ Γ) Το $_{9}F$ Δ) Το $_{11}Na$

9. Από τις παρακάτω ηλεκτρονιακές δομές αντιστοιχεί σε παραμαγνητικό στοιχείο η δομή:
Α) $1s^2$
Β) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$
Γ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$
Δ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2$ [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

10. Το στοιχείο Χ που ανήκει στην 3η περίοδο του Περιοδικού Πίνακα και του οποίου το ανιόν X^{2-} έχει δομή ευγενούς αερίου έχει $Z =$:
Α) 16 Β) 18 Γ) 20 Δ) 34 [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

11. Το πρώτο στοιχείο του Περιοδικού Πίνακα που έχει πλήρως συμπληρωμένα τρία ατομικά τροχιακά ανήκει στη:
Α) 2η ομάδα Β) 14η ομάδα Γ) 16η ομάδα Δ) 17η ομάδα

12. Για τα στοιχεία της 4ης περιόδου του Περιοδικού Πίνακα ποιες υποστιβάδες συμπληρώνονται από αριστερά προς τα δεξιά;
Α) 4s, 3d, 4p Β) 4s, 4p
Γ) 4s, 4p, 4d Δ) 4s, 4p, 4d, 4f

13. Στην 4η περίοδο του Περιοδικού Πίνακα πόσα στοιχεία έχουν ένα ή περισσότερα 3d ηλεκτρόνια στην ηλεκτρονιακή τους δομή στη θεμελιώδη κατάσταση;
Α) 0 Β) 10 Γ) 8 Δ) 16

---

14. *Να χαρακτηρίσετε κάθε μία από τις παρακάτω προτάσεις ως Σωστή (Σ) ή Λανθασμένη (Λ). Δεν απαιτείται αιτιολόγηση.*

α) Η ηλεκτρονιακή δομή της εξωτερικής στιβάδας όλων των ευγενών αερίων είναι $ns^2\ np^6$.

β) Τα άτομα του $_{20}Ca$ και του $_{28}Ni$ είναι παραμαγνητικά. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

γ) Το άτομο του δεύτερου κατά σειρά αλκαλίου έχει δομή στην εξωτερική στιβάδα $2s^1$.

δ) Τα ευγενή αέρια δεν διαθέτουν ηλεκτρόνια σε υποστιβάδες d ή f.

ε) Σύμφωνα με το νόμο περιοδικότητας του Moseley «η χημική συμπεριφορά των στοιχείων είναι περιοδική συνάρτηση του ατομικού τους αριθμού».

15. Τα στοιχεία της τρίτης περιόδου του Περιοδικού Πίνακα $_{11}$Na, $_{12}$Mg, $_{13}$Al και $_{16}$S σχηματίζουν, αντίστοιχα, τα οξείδια: Na_2O, MgO, Al_2O_3 και SO_3. Να χαρακτηρίσετε τα οξείδια αυτά ως όξινα, βασικά ή επαμφοτερίζοντα. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

.....

.....

16. Οι ερωτήσεις που ακολουθούν σχετίζονται με την 1η σειρά των στοιχείων μετάπτωσης.

α) Σε ποια περίοδο του Περιοδικού Πίνακα ανήκουν τα στοιχεία της 1ης σειράς των στοιχείων μετάπτωσης; Σε ποιες ομάδες ανήκουν τα στοιχεία αυτά;

β) Ποιος ο ατομικός αριθμός (Z) ενός από τα παραπάνω στοιχεία το άτομο του οποίου διαθέτει δομή $3d^5\ 4s^2$ στη θεμελιώδη κατάσταση; Σε ποια ομάδα του του Περιοδικού Πίνακα ανήκει το στοιχείο;

γ) Οι ηλεκτρονιακές δομές των παραπάνω στοιχείων μπορούν με κάποιες αποκλίσεις να αποδοθούν ως εξής: [ευγενές αέριο] $3d^x\ 4s^2$, όπου x = 1-10.

i. Ποιος ο ατομικός αριθμός (Z) του ευγενούς αερίου στη γενική αυτή δομή;

ii. Να γράψετε τις ηλεκτρονιακές δομές των ατόμων των στοιχείων με $Z = 24$ και $Z = 29$ που παρουσιάζουν αποκλίσεις σε σχέση με τις αρχές της ηλεκτρονιακής δόμησης.

δ) Δύο από τα στοιχεία μετάπτωσης της 1ης σειράς διαθέτουν δύο μονήρη ηλεκτρόνια στην ηλεκτρονιακή τους δομή στη θεμελιώδη κατάσταση. Ποιοι οι ατομικοί αριθμοί των στοιχείων αυτών;

ε) Να αναφέρετε δύο κοινά χαρακτηριστικά των στοιχείων μετάπτωσης.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

17. Στοιχείο (Α) ανήκει σε κύρια ομάδα του Περιοδικού Πίνακα και περιβάλλεται αριστερά και δεξιά από δύο άλλα στοιχεία, αντίστοιχα το Β και το Γ, τα άτομα των οποίων διαθέτουν από δύο μονήρη ηλεκτρόνια, στη θεμελιώδη κατάσταση.

α) Σε ποιες ομάδες ανήκουν τα στοιχεία Α, Β και Γ; Να εξηγήσετε αν τα στοιχεία είναι παραμαγνητικά ή όχι.

β) Αν είναι επιπλέον γνωστό ότι το στοιχείο Α είναι το 2ο στοιχείο της ομάδας του, πόσα ηλεκτρόνια με $m_\ell = 1$ διαθέτει το άτομό του στη θεμελιώδη κατάσταση;

γ) Ποιοι οι ατομικοί αριθμοί των στοιχείων Δ και Ε που βρίσκονται ακριβώς κάτω από τα στοιχεία Β και Γ, αντίστοιχα, στον Περιοδικό Πίνακα;

δ) Ποιος ο ελάχιστος ατομικός αριθμός (Z) ενός στοιχείου που ανήκει στην ίδια ομάδα με το στοιχείο Α και διαθέτει ηλεκτρόνια σε f υποστιβάδα;

.....

.....

.....

.....

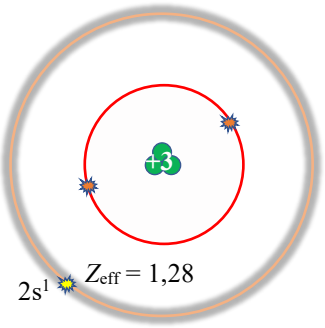
«Ο Περιοδικός Πίνακας είναι πιθανότατα η πιο σημαντική ιδέα στη Χημεία, τόσο θεωρητικά όσο και πρακτικά. Πρόκειται για μία σημαντική απόδειξη για το γεγονός ότι τα στοιχεία δεν είναι ένα τυχαίο συνονθύλευμα αλλά οργανώνονται σε ομάδες και εμφανίζουν ιδιότητες ανάλογα με τη θέση τους».
[Glenn T. Seaborg, βραβείο Νόμπελ Χημείας 1951 (ελεύθερη μετάφραση).]

5 Μεταβολή Ορισμένων Περιοδικών Ιδιοτήτων

ΘΕΜΑΤΑ ΘΕΩΡΙΑΣ

1. Τι είναι το δραστικό πυρηνικό φορτίο (Z_{eff});

Έστω το ηλεκτρόνιο της εξωτερικής στιβάδας ($2s^1$) ενός ατόμου $_3Li$. Το ηλεκτρόνιο αυτό έλκεται από το θετικό φορτίο του πυρήνα (+3). Παράλληλα, όμως, απωθείται από τα δύο εσωτερικά ηλεκτρόνια ($1s^2$) που με τον τρόπο αυτό «προστατεύουν» το 2s ηλεκτρόνιο από την έλξη του πυρήνα. Η διαφορά ανάμεσα στο φορτίο του πυρήνα (Z) και στην προστασία ή τη θωράκιση που παρέχουν τα εσωτερικά ηλεκτρόνια αναφέρεται ως **δραστικό πυρηνικό φορτίο** (Z_{eff} ή Z^*).



Το δραστικό πυρηνικό φορτίο, Z_{eff}, υπολογίζεται με βάση κανόνες που είναι γνωστοί ως κανόνες του Slater. Στο άτομο του $_3Li$ το δραστικό πυρηνικό φορτίο για το $2s^1$ ηλεκτρόνιο υπολογίζεται ότι είναι Z_{eff} = 1,28. Απλουστευμένα: $Z_{eff} = 3 - 2 = 1$.

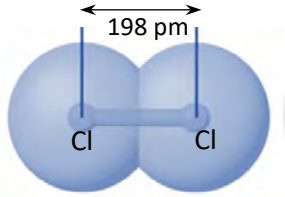
Το Z_{eff} προσδιορίζεται από τη σχέση $Z_{eff} = Z - s$, όπου s ένας αριθμός που παριστάνει την προστασία που παρέχουν σε ένα ηλεκτρόνιο (π.χ. της εξωτερικής στιβάδας) τα εσωτερικά του ηλεκτρόνια. Σε μία απλουστευμένη προσέγγιση μπορούμε να θεωρήσουμε ότι για τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας ο αριθμός s ισούται με τον αριθμό των ηλεκτρονίων των εσωτερικών στιβάδων. Έτσι, π.χ. για το $3s^1$ ηλεκτρόνιο του $_{11}Na$ ($1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$) προκύπτει: $Z_{eff} = 11 - 10 = 1$, ενώ για τα $3s^2$ ηλεκτρόνια του $_{12}Mg$: $Z_{eff} = 12 - 10 = 2$.

Το δραστικό πυρηνικό φορτίο είναι κατά προσέγγιση το φορτίο του πυρήνα μειωμένο κατά τον αριθμό των ηλεκτρονίων των εσωτερικών στιβάδων.

Γενικά, το δραστικό πυρηνικό φορτίο για τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας των στοιχείων μιας περιόδου του Περιοδικού Πίνακα αυξάνεται από αριστερά προς τα δεξιά.

2. Πώς μεταβάλλεται η ατομική ακτίνα στον Π.Π.;

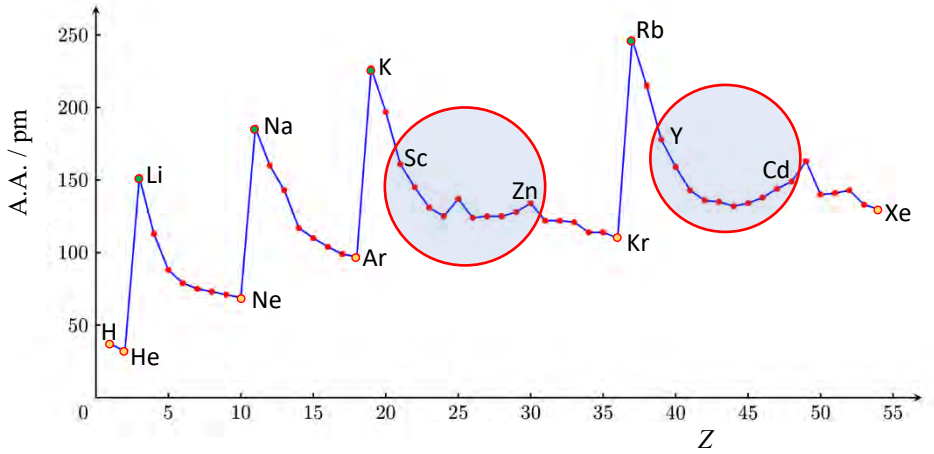
Η ατομική ακτίνα (Α.Α. ή r) είναι η ακτίνα ενός ατόμου αν το θεωρήσουμε ως σφαίρα τα όρια της οποίας είναι τα ηλεκτρόνια σθένους του ατόμου. Είναι δύσκολο να μετρηθεί, καθώς η πιθανότητα παρουσίας ενός ηλεκτρονίου (μαθηματικά) δε μηδενίζεται ποτέ και για το λόγο αυτό οι τιμές για τις ατομικές ακτίνες διαφέρουν ανάλογα με τη μέθοδο προσδιορισμού της. Πειραματικά, η ατομική ακτίνα ενός στοιχείου μπορεί να προσδιοριστεί ως το μισό της απόστασης μεταξύ δύο πυρήνων στο κρυσταλλικό πλέγμα του στοιχείου, όταν αυτό βρίσκεται σε στοιχειακή κατάσταση.



Σχήμα 1. *Η ατομική ακτίνα του Cl (r = 99 pm) υπολογίζεται ως το μισό της απόστασης μεταξύ των δύο πυρήνων στο μόριο του Cl_2 στο κρυσταλλικό του πλέγμα.*

Γενικά, η ατομική ακτίνα επηρεάζεται από τον αριθμό των στιβάδων αλλά και από το δραστικό πυρηνικό φορτίο (Z_{eff}) για τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας ενός ατόμου. Στο διάγραμμα που ακολουθεί εμφανίζονται οι ατομικές ακτίνες των στοιχείων του Περιοδικού Πίνακα (σε pm, πικόμετρα), σε σχέση με τον ατομικό αριθμό (για Z = 1-54).

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι προσδιορισμού της ατομικής ακτίνας, εμπειρικοί, πειραματικοί ή και θεωρητικοί. Συνήθως, η ατομική ακτίνα αντιστοιχεί στην ομοιοπολική ακτίνα στην περίπτωση των αμετάλλων και στην μεταλλική ακτίνα στην περίπτωση των μετάλλων.
Πάντως, με όποιον τρόπο και να οριστεί η ατομική ακτίνα ακολουθεί την ίδια τάση στον Περιοδικό Πίνακα.



Σχήμα 2. *Διάγραμμα της ατομικής ακτίνας (Α.Α.) των στοιχείων σε σχέση με τον ατομικό αριθμό (Z). Στους δύο κύκλους αντιστοιχούν τα στοιχεία μετάπτωσης της 4ης και της 5ης περιόδου.*

Παρατηρούμε ότι:

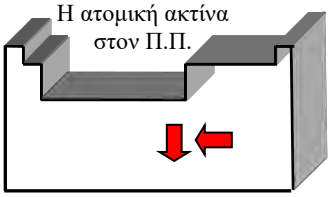
α) *Η ατομική ακτίνα αυξάνεται από πάνω προς τα κάτω σε μια ομάδα του Π.Π.*

Έστω, π.χ. τα στοιχεία $_3$Li, $_{11}$Na και $_{19}$K της 1ης ομάδας του Περιοδικού Πίνακα. Το δραστικό φορτίο σε όλα τα στοιχεία της ομάδας είναι περίπου το ίδιο και η αύξηση της ατομικής ακτίνας οφείλεται στην προσθήκη νέας στιβάδας από το ένα στοιχείο στο επόμενο, που έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η μέση απόσταση των ηλεκτρονίων της εξωτερικής στιβάδας και να μειώνεται η έλξη των ηλεκτρονίων αυτών από τον πυρήνα.

β) *Γενικά, κατά μήκος μιας περιόδου του Π.Π. η ατομική ακτίνα μειώνεται θεαματικά πηγαίνοντας από αριστερά προς τα δεξιά.*

Όσο πηγαίνουμε προς τα κάτω σε μία ομάδα του Περιοδικού Πίνακα, η αύξηση του πυρηνικού φορτίου εξουδετερώνεται από την αυξανόμενη προστασία από τα όλο και περισσότερα εσωτερικά ηλεκτρόνια, με αποτέλεσμα το δραστικό πυρηνικό φορτίο να μην μεταβάλλεται πολύ. Προστίθεται, όμως, μία επιπλέον στιβάδα.

Κατά μήκος μίας περιόδου ο αριθμός των στιβάδων μένει ο ίδιος και ίσος με τον αύξοντα αριθμό της περιόδου. Όμως, το δραστικό φορτίο του πυρήνα αυξάνεται από αριστερά προς τα δεξιά, οπότε η έλξη των ηλεκτρονίων της εξωτερικής στιβάδας από τον πυρήνα γίνεται όλο και πιο σημαντική, με αποτέλεσμα τη σταδιακή μείωση της ατομικής ακτίνας.



Οι ατομικές ακτίνες των στοιχείων μετάπτωσης. Σε μία σειρά στοιχείων μετάπτωσης, π.χ. της 4ης περιόδου, αρχικά η ατομική ακτίνα μειώνεται αλλά στη συνέχεια τα άτομα έχουν λίγο-πολύ το ίδιο μέγεθος. Μπορούμε να δώσουμε μία εξήγηση γι' αυτό;



Σε μία σειρά των στοιχείων μετάπτωσης, όπως έχουμε δει, τα επιπλέον ηλεκτρόνια εισάγονται σε εσωτερικές ηλεκτρονιακές στιβάδες τύπου d, όπου και προστατεύουν αποτελεσματικά τα εξωτερικά ηλεκτρόνια από την έλξη του πυρήνα. Έτσι, το δραστικό πυρηνικό φορτίο μεταβάλλεται ελάχιστα κατά μήκος μιας περιόδου.

Ας δούμε δύο στοιχεία μετάπτωσης της 4ης περιόδου, τον $_{26}$Fe και το $_{28}$Ni. Στα στοιχεία αυτά η εξωτερική στιβάδα έχει δομή $4s^2$, ενώ τα εσωτερικά ηλεκτρόνια είναι 24 και 26, αντίστοιχα. Έτσι, το Z_{eff} έχει μικρή διαφορά για τα δύο άτομα και η ατομική ακτίνα το ίδιο. Για παράδειγμα η ατομική ακτίνα του $_{26}$Fe είναι 124 pm ενώ του $_{28}$Ni είναι 125 pm.

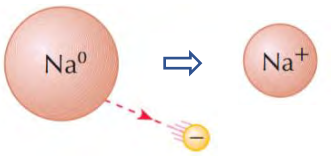
3. Πώς επηρεάζονται οι ακτίνες των ιόντων;

Το άτομο του $_{12}$Mg διαθέτει δύο ηλεκτρόνια στη στιβάδα Μ. Όταν αυτά τα χάσει και μετατραπεί σε κατιόν Mg^{2+} η εξωτερική στιβάδα είναι η L με αποτέλεσμα το μέγεθος του κατιόντος να είναι σημαντικά μικρότερο από αυτό του αντίστοιχου ατόμου.

Όταν το άτομο ενός στοιχείου αποβάλλει ηλεκτρόνιο-α σχηματίζοντας κατιόν ο αριθμός των ηλεκτρονίων που περιβάλλουν τον πυρήνα μειώνεται με αποτέλεσμα οι απώσεις μεταξύ τους να εξασθενούν. Επομένως:

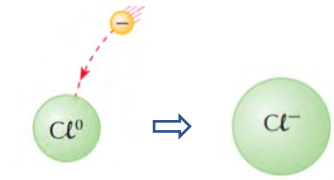
Τα κατιόντα είναι μικρότερα από τα άτομα από τα οποία προέρχονται.

Έτσι, π.χ. το Na^+ είναι μικρότερο από το Na, το Mg^{2+} μικρότερο από το Mg κτλ.



Όταν το άτομο ενός αμέταλλου προσλάβει ηλεκτρόνιο-α, σχηματίζοντας ανιόν, οι απώσεις μεταξύ των ηλεκτρονίων αυξάνονται, τα ηλεκτρόνια «διαχέονται» περισσότερο στο χώρο και η ατομική ακτίνα μεγαλώνει. Γενικά:

Τα ανιόντα είναι μεγαλύτερα σε μέγεθος από τα αντίστοιχα άτομα.



Ας δούμε και μία τελευταία περίπτωση σχετικά με τα σωματίδια: $_8O^{2-}$, $_9F^-$, $_{10}Ne$, $_{11}Na^+$ και $_{12}Mg^{2+}$. Τα σωματίδια αυτά χαρακτηρίζονται ως **ισοηλεκτρονιακά**, καθώς διαθέτουν τον ίδιο αριθμό ηλεκτρονίων (10) και επομένως έχουν την ίδια δομή ($1s^2\ 2s^2\ 2p^6$). Τα ηλεκτρόνια αυτά έλκονται όλο και ισχυρότερα από τον πυρήνα πηγαίνοντας από το $_8O^{2-}$ προς το $_{12}Mg^{2+}$, καθώς έτσι αυξάνεται το πυρηνικό φορτίο (Z). Δηλαδή, για το μέγεθος των παραπάνω σωματιδίων ισχύει: $_8O^{2-} > {}_9F^- > {}_{10}Ne > {}_{11}Na^+ > {}_{12}Mg^{2+}$. Γενικά:

Στα ισοηλεκτρονιακά άτομα και ιόντα, το μέγεθος αυξάνεται με τη μείωση του πυρηνικού φορτίου (Z).

4. Τι είναι η ενέργεια ιοντισμού;

Ενέργεια ιοντισμού (E_{i1}) είναι η ελάχιστη ενέργεια που πρέπει να απορροφήσει ένα ελεύθερο άτομο στη θεμελιώδη του κατάσταση και σε αέρια φάση, έτσι ώστε να αποσπαστεί πλήρως ένα ηλεκτρόνιο.

Η ενέργεια ιοντισμού μπορεί να προσδιοριστεί πειραματικά με τη μέτρηση της ελάχιστης ενέργειας των φωτονίων ($E_{\text{min}} = h \cdot \nu_{\text{min}}$) που απαιτείται για την απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου από ένα συγκεκριμένο άτομο.

$$Mg(g) \longrightarrow Mg^+(g) + e^-,\ E_{i1} = 738\ \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Η ενέργεια ιοντισμού ισούται με την ενθαλπία (ΔH) ιοντισμού (δες κεφάλαιο Θερμοχημείας).

Γενικά, η ενέργεια ιοντισμού δείχνει την τάση που έχει ένα άτομο να χάσει ηλεκτρόνιο και να μετατραπεί σε κατιόν. Όσο μικρότερη είναι η ενέργεια ιοντισμού, τόσο πιο εύκολα μετατρέπεται σε κατιόν και τόσο πιο έκδηλος είναι ο μεταλλικός χαρακτήρας. Π.χ.:

$$Na(g) \longrightarrow Na^+(g) + e^-,\ E_{i1} = 496\ \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$Si(g) \longrightarrow Si^+(g) + e^-,\ E_{i1} = 786{,}5\ \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Από τις εξισώσεις αυτές φαίνεται ότι η απόσπαση ηλεκτρονίου από το άτομο του Na είναι σημαντικά πιο εύκολη σε σχέση με το άτομο του Si.

Γενικά, οι παράμετροι που καθορίζουν την ενέργεια ιοντισμού είναι:

- **Η ατομική ακτίνα**. Όσο μεγαλύτερη είναι η ατομική ακτίνα, τόσο μικρότερη η ενέργεια ιοντισμού.
- **Το φορτίο του πυρήνα**. Με την αύξηση του φορτίου του πυρήνα, δηλαδή του ατομικού αριθμού Z, αυξάνεται η έλξη του πυρήνα στα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας και επομένως η ενέργεια ιοντισμού αυξάνεται.
- **Τα ενδιάμεσα ηλεκτρόνια**. Τα ηλεκτρόνια που μεσολαβούν μεταξύ του πυρήνα και των εξωτερικών ηλεκτρονίων απωθούν τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας με αποτέλεσμα τη μείωση της ενέργειας ιοντισμού.

Οι δύο τελευταίοι παράγοντες καθορίζουν το δραστικό πυρηνικό φορτίο (Z_{eff}).

5. Διαδοχικές ενέργειες ιοντισμού

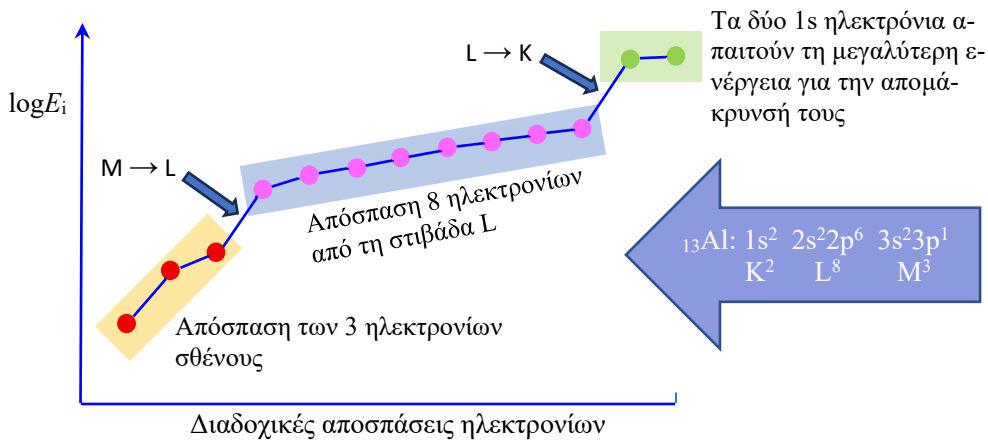
Ο ορισμός της ενέργειας ιοντισμού αφορά στην ενέργεια 1ου ιοντισμού (E_{i1}) και σχετίζεται με την απόσπαση ηλεκτρονίου από το ουδέτερο άτομο. Κατ' αναλογία, ενέργεια 2ου ιοντισμού E_{i2} λέγεται η ενέργεια που απαιτείται για απόσπαση 2ου ηλεκτρονίου από κατιόν με φορτίο +1, σε αέρια κατάσταση. Επιπλέον ενέργειες ιονισμού συμβολίζονται διαδοχικά ως E_{i3}, E_{i4} κτλ. Π.χ. για το άτομο του $_{13}$Al οι τέσσερις πρώτοι ιοντισμοί περιγράφονται με τις εξισώσεις που ακολουθούν.

$$Al(g) \longrightarrow Al^{+}(g) + e^{-},\ E_{i1} = 577\ kJ\cdot mol^{-1}$$
$$Al^{+}(g) \longrightarrow Al^{2+}(g) + e^{-},\ E_{i2} = 1816\ kJ\cdot mol^{-1}$$
$$Al^{2+}(g) \longrightarrow Al^{3+}(g) + e^{-},\ E_{i3} = 2881\ kJ\cdot mol^{-1}$$
$$Al^{3+}(g) \longrightarrow Al^{4+}(g) + e^{-},\ E_{i4} = 11.600\ kJ\cdot mol^{-1}$$

Γενικά για τις διαδοχικές ενέργειες ιοντισμού ισχύει: … $E_{i4} > E_{i3} > E_{i2} > E_{i1}$, καθώς η απόσπαση του επιπλέον ηλεκτρονίου από όλο και περισσότερο θετικά φορτισμένο κατιόν δυσχεραίνεται και επομένως απαιτείται μεγαλύτερη ενέργεια σε σχέση με την απόσπαση του αμέσως προηγούμενου ηλεκτρονίου. Παρατηρούμε επίσης ότι στο $_{13}$Al η E_{i4} έχει <u>πολύ μεγαλύτερη τιμή</u> από την E_{i3} καθώς το 4ο ηλεκτρόνιο αποσπάται από εσωτερική στιβάδα (την L), πολύ πιο κοντά στον πυρήνα ενώ παράλληλα με την απομάκρυνση του 4ου ηλεκτρονίου διασπάται η σταθερή δομή ευγενούς αερίου.

Η απότομη αύξηση στις διαδοχικές ενέργειες ιοντισμού φανερώνει τον αριθμό ηλεκτρονίων της εξωτερικής στιβάδας. Με άλλα λόγια, μετά τη διαδοχική απομάκρυνση των ηλεκτρονίων σθένους, η επόμενη ενέργεια ιοντισμού «εκτοξεύεται» καθώς το επόμενο ηλεκτρόνιο αποσπάται από εσωτερική στιβάδα διασπώντας τη σταθερή δομή ευγενούς αερίου. Το φαινόμενο αυτό είναι γενικό κυρίως για τα στοιχεία του s και του p τομέα του Π.Π.

Στο σχήμα που ακολουθεί εμφανίζονται οι λογάριθμοι των διαδοχικών ενεργειών ιοντισμού ($\log E_i$) για το άτομο του $_{13}$Al.



Σχήμα 3. *Οι λογάριθμοι των διαδοχικών ενεργειών ιοντισμού για το $_{13}$Al.*

6. Πώς μεταβάλλεται η ενέργεια ιοντισμού (E_{i1}) στον Περιοδικό Πίνακα;

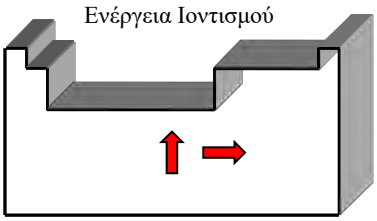
Η ενέργεια πρώτου ιοντισμού είναι μία από τις πιο χαρακτηριστικές και με αυστηρά καθορισμένες τιμές περιοδικές ιδιότητες των στοιχείων.

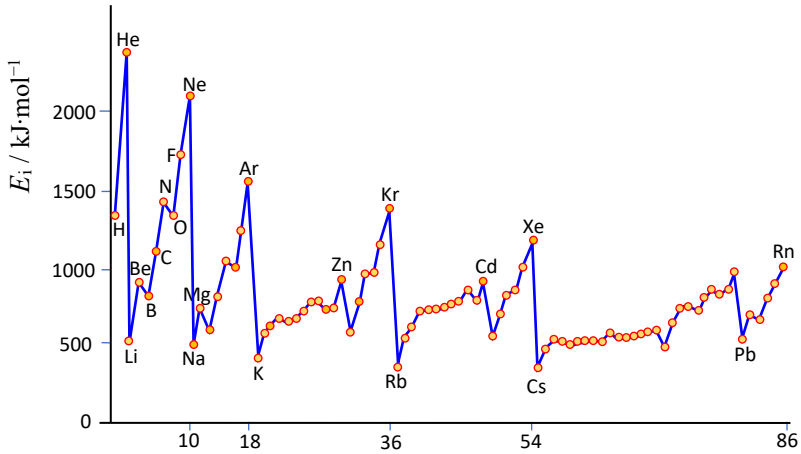
Γενικά:

Η ενέργεια ιοντισμού των ατόμων αυξάνεται από τα αριστερά προς τα δεξιά σε μία περίοδο του Περιοδικού Πίνακα και από τα κάτω προς τα πάνω σε μια ομάδα.

Έτσι, το Fr (φράγκιο 1η ομάδα, 7η περίοδος) παρουσιάζει τη χαμηλότερη ενέργεια ιοντισμού, ενώ το He (18η ομάδα, 1η περίοδος) την υψηλότερη.

Το διάγραμμα που ακολουθεί επιβεβαιώνει -με κάποιες εξαιρέσεις- το νόμο της περιοδικότητας στις τιμές της E_{i1} των στοιχείων του Περιοδικού Πίνακα.

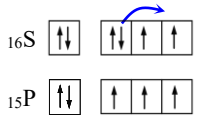




Σχήμα 4. *Διάγραμμα της ενέργειας (1ου) ιοντισμού σε συνάρτηση με τον ατομικό αριθμό (Z) για τα πρώτα 86 στοιχεία του Περιοδικού Πίνακα.*

Χαρακτηριστικό του διαγράμματος είναι οι υψηλές τιμές E_{i1} των ευγενών αερίων, λόγω της σταθερής ηλεκτρονιακής τους δομής. Παρατηρείται επίσης ότι τα αλκάλια (1η ομάδα του Περιοδικού Πίνακα, εκτός του υδρογόνου) εμφανίζουν ελάχιστα στις τιμές της ενέργειας ιοντισμού. Αυτό σημαίνει ότι στα μέταλλα αυτά είναι σχετικά εύκολη η απόσπαση ενός ηλεκτρονίου, ότι μετατρέπονται εύκολα σε κατιόντα και ότι παρουσιάζουν αυξημένο μεταλλικό χαρακτήρα.

Οι ενέργειες πρώτου ιοντισμού, E_{i1}, των $_{15}$P και $_{16}$S είναι, αντίστοιχα, 1012 και 1000 kJ·mol^{-1}. Δηλαδή, ο P έχει μεγαλύτερη E_{i1} από το S, ενώ θα περιμέναμε το αντίστροφο. Εδώ, ο λόγος είναι διαφορετικός σε σχέση με τη διπλανή εξαίρεση. Ας θυμηθούμε τις δομές των δύο στοιχείων στη στιβάδα M:



Στην περίπτωση του P όλα τα p τροχιακά έχουν την ίδια ενέργεια, οπότε όποιο και να αποσπαστεί θα είναι το ίδιο. Στην περίπτωση, όμως του S, έχουμε ένα ζεύγος ηλεκτρονίων σε 3p τροχιακό. Το ένα από τα δύο ηλεκτρόνια του ζεύγους είναι «εύκολο» να αποσπαστεί λόγω της αμοιβαίας άπωσης μεταξύ των ηλεκτρονίων. Αυτές, όμως, οι περιπτώσεις εκφεύγουν από τα πλαίσια της ύλης.

Ας δούμε μία ενδιαφέρουσα εξαίρεση. Οι ενέργειες πρώτου ιοντισμού, E_{i1}, των $_{12}$Mg και $_{13}$Al είναι, αντίστοιχα, 738 και 578 kJ·mol^{-1}. Δηλαδή, το Mg έχει μεγαλύτερη E_{i1} από το Al, ενώ θα περιμέναμε, σύμφωνα με τη θέση των στοιχείων στον Περιοδικό Πίνακα, το αντίστροφο. Γιατί; Εδώ θα καταλάβουμε καλύτερα τι ρόλο παίζουν οι υποστιβάδες. Τόσο το Mg, όσο και το Al χάνουν ηλεκτρόνιο από τη στιβάδα M ($n = 3$), αλλά το Mg χάνει ηλεκτρόνιο 3s, ενώ το Al χάνει ηλεκτρόνιο 3p και καθώς η υποστιβάδα 3p είναι υψηλότερα ενεργειακά από την υποστιβάδα 3s, το ηλεκτρόνιο από την 3p απομακρύνεται ευκολότερα.

Γενικά, τα μέταλλα έχουν χαμηλές ενέργειες ιοντισμού, ενώ αντίθετα τα αμέταλλα υψηλές ενέργειες ιοντισμού. Έτσι, τα μέταλλα έχουν την τάση να αποβάλλουν ηλεκτρόνια και να μετατρέπονται σε κατιόντα και για το λόγο αυτό τα μέταλλα χαρακτηρίζονται ως **ηλεκτροθετικά** στοιχεία. Από την άλλη μεριά, τα αμέταλλα στοιχεία έχουν την τάση να προσλαμβάνουν ηλεκτρόνια και να μετατρέπονται σε ανιόντα και έτσι χαρακτηρίζονται ως **ηλεκτραρνητικά** στοιχεία.

7. Πώς αποσπώνται ηλεκτρόνια από τα στοιχεία μετάπτωσης;

Ποια ηλεκτρόνια αποσπώνται πρώτα στα στοιχεία μετάπτωσης; Θα θυμηθούμε το παράδειγμα του $_{29}$Cu. Η ηλεκτρονιακή δομή του είναι $_{29}$Cu: [$_{18}$Ar] $3d^{10}$ $4s^1$, καθώς η d^{10} ηλεκτρονιακή δομή είναι ιδιαίτερα σταθερή.

Με απόσπαση ενός ηλεκτρονίου, το ιόν Cu^+ ενώ με απόσπαση δύο ηλεκτρονίων προκύπτει το ιόν Cu^{2+}:

Cu^+: [$_{18}$Ar] $3d^{10}$ $\qquad$ Cu^{2+}: [$_{18}$Ar] $3d^9$

Γενικά, τα *n*s ηλεκτρόνια αποσπώνται πριν από τα (*n*−1)d ή τα (*n*−2)f ηλεκτρόνια. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο οι συμβολισμοί για την ηλεκτρονιακή δομή γράφονται συνήθως κατά τη σειρά αυξανόμενου *n* και όχι σύμφωνα με τη σειρά πλήρωσης. Καθώς τα στοιχεία μετάπτωσης μπορούν εύκολα να χάσουν ηλεκτρόνια και από d υποστιβάδες διαθέτουν συνήθως πολλούς αριθμούς οξείδωσης (και επομένως σχηματίζουν πολλές ενώσεις), αν και ο πιο κοινός αριθμός οξείδωσης είναι ο +2 (αποβολή των δύο s ηλεκτρονίων).

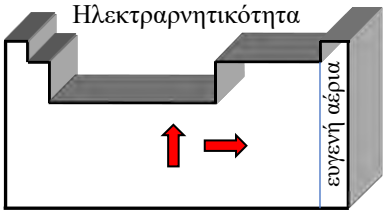
Θυμάστε τι είχαμε πει στη σειρά πλήρωσης των υποστιβάδων με ηλεκτρόνια; Αρχικά η 4s υποστιβάδα έχει μικρότερη ενέργεια από την 3d και για το λόγο αυτό συμπληρώνεται πρώτα. Στη συνέχεια, όμως, με την έναρξη της πλήρωσης της 3d υποστιβάδας, αυτή αποκτά μικρότερη ενέργεια. Για το λόγο αυτό, στην ηλεκτρονιακή δομή γράφουμε συνήθως την 4s υποστιβάδα μετά την 3d παρόλο που η σειρά πλήρωσης είναι η αντίστροφη.

8. Πώς μεταβάλλεται η ηλεκτραρνητικότητα στον Περιοδικό Πίνακα;

Το πιο ηλεκτραρνητικό στοιχείο είναι το $_9$F, ενώ το λιγότερο ηλεκτραρνητικό στοιχείο το $_{87}$Fr (φράγκιο). Οι ηλεκτραρνητικότητες των υπολοίπων στοιχείων κυμαίνονται μεταξύ των δύο αυτών ορίων. Στους κλασικούς πίνακες ηλεκτραρνητικότητας δεν συμπεριλαμβάνονται συνήθως τα ευγενή αέρια (He, Ne, Ar) αν και κάποια από αυτά (Kr, Xe) σχηματίζουν αρκετές ενώσεις.

Ως ηλεκτραρνητικότητα (χ) ορίζεται η ικανότητα έλξης με την οποία ένα άτομο έλκει δεσμικά ηλεκτρόνια προς τα μέρος του (δηλαδή ηλεκτρόνια που συμμετέχουν στο σχηματισμό χημικού δεσμού μεταξύ δύο ατόμων) μέσα στο μόριο μίας ένωσης. Κατά Pauling οι τιμές της ηλεκτραρνητικότητας κυμαίνονται από 0,8-4.

Παρατηρώντας την ηλεκτραρνητικότητα σε σχέση με τη θέση ενός στοιχείου στον Περιοδικό Πίνακα, βλέπουμε ότι σε μια περίοδο εμφανίζεται μία διαρκής αύξηση της ηλεκτραρνητικότητας από αριστερά προς τα δεξιά, δηλαδή από τα μέταλλα προς τα αμέταλλα στοιχεία. Επίσης, παρατηρώντας την ηλεκτραρνητικότητα μεταξύ στοιχείων της ίδιας ομάδας βλέπουμε ότι η ηλεκτραρνητικότητα αυξάνεται από κάτω προς τα πάνω, δηλαδή μειώνεται με αύξηση του ατομικού αριθμού Z:



Τα ευγενή αέρια Kr, Xe (και Rn) εμφανίζουν ηλεκτραρνητικότητα και μάλιστα αρκετά υψηλή. Σχηματίζουν μάλιστα αρκετές ενώσεις! Το γεγονός αυτό όμως εκφεύγει από τα πλαίσια αυτού του βιβλίου.

Οι σχετικές τιμές ηλεκτραρνητικότητας ενός στοιχείου μπορούν να χρησιμεύσουν στην πρόβλεψη:

- της δραστικότητας ενός στοιχείου (π.χ. μέταλλα με μικρή ηλεκτραρνητικότητα ή αμέταλλα με υψηλή ηλεκτραρνητικότητα θα είναι πολύ δραστικά στοιχεία).
- του τύπου του δεσμού (μεγάλη διαφορά ηλεκτραρνητικότητας μεταξύ δύο στοιχείων οδηγεί στο σχηματισμό ιοντικού δεσμού).
- της πολικότητας ενός ομοιοπολικού δεσμού A−B (η μεγαλύτερη διαφορά ηλεκτραρνητικότητας μεταξύ των στοιχείων A, B αυξάνει την πολικότητα του δεσμού A−B).

9. Πώς μεταβάλλονται οι ιδιότητες των στοιχείων στον Περιοδικό Πίνακα;

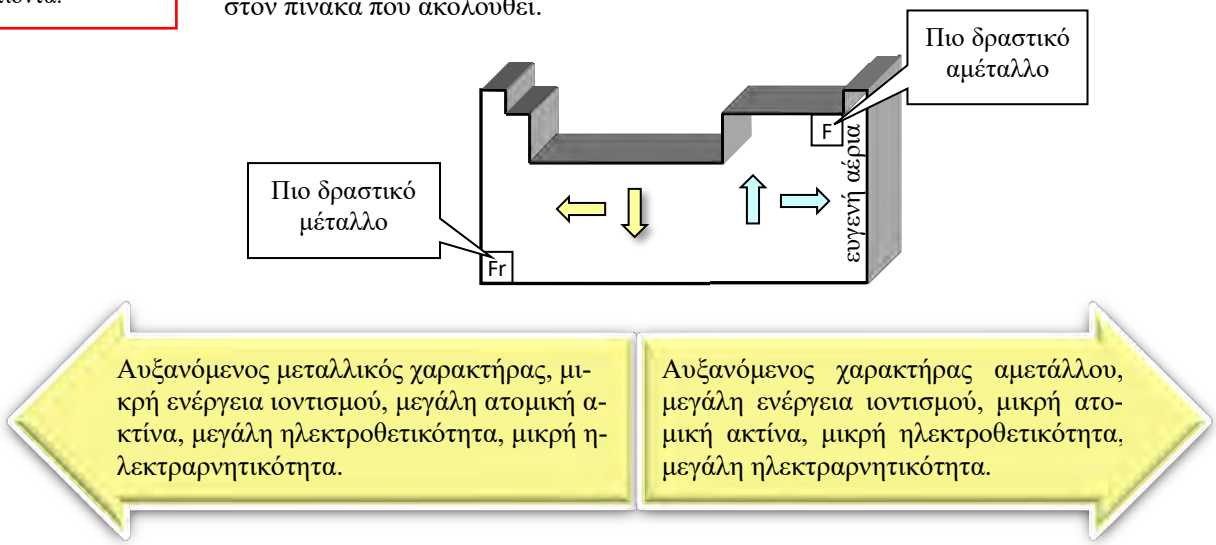
Τα περισσότερα μέταλλα είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας και του ηλεκτρισμού, μετατρέπονται εύκολα σε φύλλα και σύρματα, ενώ παρουσιάζουν σχετικά υψηλά σημεία τήξης. Αντίθετα, τα αμέταλλα δεν παρουσιάζουν τις παραπάνω ιδιότητες, ενώ αρκετά απ' αυτά είναι αέρια.

Τα ¾ περίπου των στοιχείων του Περιοδικού Πίνακα είναι μέταλλα και καταλαμβάνουν το μέσο και το αριστερό άκρο του. Τα αμέταλλα βρίσκονται στο δεξιό άκρο του Περιοδικού Πίνακα ενώ τα ευγενή αέρια είναι στη 18η ομάδα. Τα λεγόμενα μεταλλοειδή ή ημιμέταλλα (π.χ. το Ge, το Si, το As κτλ.) σχηματίζουν μία διαχωριστική διαγώνιο μεταξύ μετάλλων και αμετάλλων στο p τομέα και παρουσιάζουν κάποιες από τις ιδιότητες των μετάλλων και κάποιες ιδιότητες αμετάλλων.

Τα μέταλλα έχουν την τάση να εμφανίζονται σαν κατιόντα και μηδαμινή τάση να εμφανίζονται σαν ανιόντα.
Τα αμέταλλα έχουν την τάση να εμφανίζονται σαν ανιόντα και μηδαμινή τάση να εμφανίζονται σαν κατιόντα.

Ο μεταλλικός χαρακτήρας είναι ισχυρότερος για τα μέταλλα στο αριστερό μέρος του Περιοδικού Πίνακα και έχει την τάση να μειώνεται από τα αριστερά προς τα δεξιά σε μία δοσμένη περίοδο. Σε μία ομάδα του Περιοδικού Πίνακα ο μεταλλικός χαρακτήρας αυξάνεται προοδευτικά από πάνω προς τα κάτω. Ισχυρός μεταλλικός χαρακτήρας συνεπάγεται μικρή ενέργεια ιοντισμού, μικρή ηλεκτραρνητικότητα και μεγάλη ηλεκτροθετικότητα, δηλαδή μεγάλη τάση για αποβολή ηλεκτρονίων.

Η μείωση του μεταλλικού χαρακτήρα αντιστοιχεί στην αύξηση του μη μεταλλικού χαρακτήρα (αμέταλλα στοιχεία). Τα δραστικά αμέταλλα στοιχεία έχουν μεγάλη ενέργεια ιοντισμού και μεγάλη ηλεκτραρνητικότητα. Συνοπτικά όλες αυτές οι τάσεις εμφανίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.



10. Αιτιολογήσεις

Συγκρίσεις ακτίνων (ατομικών και ιοντικών)

α) Τα στοιχεία ανήκουν στην ίδια ομάδα του Περιοδικού Πίνακα. Αν με βάση την ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων στη θεμελιώδη κατάσταση προκύπτει ότι τα στοιχεία ανήκουν στην ίδια ομάδα, τότε όποιο είναι πιο κάτω θα έχει την μεγαλύτερη ατομική ακτίνα καθώς διαθέτει επιπλέον στιβάδες με ηλεκτρόνια.

β) Τα στοιχεία ανήκουν στην ίδια περίοδο του Περιοδικού Πίνακα. Πιστοποιούμε ότι ανήκουν στην ίδια περίοδο (με βάση την ηλεκτρονιακή τους δομή στη θεμελιώδη κατάσταση) και έτσι όποιο είναι πιο δεξιά θα έχει τη μικρότερη ατομική ακτίνα, καθώς προς τα δεξιά αυξάνεται το δραστικό πυρηνικό φορτίο και άρα και η ισχύς των ελκτικών δυνάμεων του πυρήνα στα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας.

Αν τα στοιχεία δεν ανήκουν όλα στην ίδια περίοδο ή στην ίδια ομάδα, τότε με βάση την ηλεκτρονιακή τους δομή σημειώνουμε τη θέση τους στον Περιοδικού Πίνακα (ομάδα, περίοδος) και όποιο είναι πιο πάνω και πιο δεξιά θα έχει τη μικρότερη ατομική ακτίνα.

Στην περίπτωση σωματιδίων (ατόμων, ανιόντων ή κατιόντων) που είναι ισοηλεκτρονιακά (ίδιος αριθμός ηλεκτρονίων), τότε όποιο έχει το μεγαλύτερο πυρηνικό φορτίο (Z) θα ασκεί ισχυρότερες έλξεις στα εξωτερικά του ηλεκτρόνια και επομένως το μέγεθος του σωματιδίου θα είναι μικρότερο.

Συγκρίσεις ενεργειών ιοντισμού (E_{i1})

α) Τα στοιχεία ανήκουν στην ίδια ομάδα του Περιοδικού Πίνακα. Προσδιορίζουμε τη θέση των στοιχείων με βάση την ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων στη θεμελιώδη κατάσταση και αν προκύπτει ότι τα στοιχεία ανήκουν στην ίδια ομάδα, τότε όποιο είναι πιο πάνω θα έχει την μεγαλύτερη ενέργεια ιοντισμού. Όσο πάμε προς τα πάνω σε μία ομάδα του Π.Π. μειώνεται ο αριθμός των ενδιάμεσων ηλεκτρονίων καθώς και η ατομική ακτίνα του ατόμου με αποτέλεσμα να είναι δυσκολότερη η απόσπαση ενός ηλεκτρονίου.

β) Τα στοιχεία ανήκουν στην ίδια περίοδο του Περιοδικού Πίνακα. Προσδιορίζουμε τη θέση των στοιχείων με βάση την ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων στη θεμελιώδη κατάσταση και αν προκύπτει ότι τα στοιχεία ανήκουν στην ίδια περίοδο τότε όποιο είναι πιο δεξιά θα έχει τη μεγαλύτερη ενέργεια ιοντισμού. Όσο πάμε προς τα δεξιά αυξάνεται το δραστικό πυρηνικό φορτίο άρα και η έλξη του πυρήνα στα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας με αποτέλεσμα η απόσπαση ενός ηλεκτρονίου να απαιτεί μεγαλύτερη ενέργεια.

Αν τα στοιχεία δεν ανήκουν όλα στην ίδια περίοδο ή στην ίδια ομάδα, τότε με βάση την ηλεκτρονιακή τους δομή σημειώνουμε τη θέση τους στον Περιοδικού Πίνακα (ομάδα, περίοδος) και όποιο είναι πιο πάνω και πιο δεξιά θα έχει τη μεγαλύτερη τιμή της E_{i1}.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

1. Να εξετάσετε την ισχύ των προτάσεων που ακολουθούν.

α) Το άτομο του στοιχείου $_{Z}X$ έχει πάντοτε μεγαλύτερη ατομική ακτίνα από το άτομο του στοιχείου $_{Z+1}Y$.

β) Για τις ενέργειες ιοντισμού του $_{8}O$ και του $_{16}S$, ισχύει: $E_i(O) > E_i(S)$.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Η πρόταση είναι γενικά λανθασμένη. Αν τα δύο στοιχεία ανήκουν στην ίδια περίοδο, το στοιχείο που βρίσκεται προς τα αριστερά θα έχει μεγαλύτερη ατομική ακτίνα, καθώς η ατομική ακτίνα αυξάνεται από δεξιά προς τα αριστερά στην ίδια περίοδο. Αν όμως το στοιχείο X είναι ευγενές αέριο (18η ομάδα) το στοιχείο Y θα ανήκει στην 1η ομάδα της επόμενης περιόδου με αποτέλεσμα να παρουσιάζει μεγαλύτερη ατομική ακτίνα.

β) Η πρόταση είναι σωστή. Με βάση την ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων των δύο στοιχείων στη θεμελιώδη τους κατάσταση προκύπτει ότι τα δύο στοιχεία ανήκουν στη 16η ομάδα του Περιοδικού Πίνακα, το O στη 2η περίοδο και το S στην 3η περίοδο. Η ενέργεια ιοντισμού αυξάνεται προς τα πάνω στην ίδια ομάδα και επομένως το O διαθέτει μεγαλύτερη ενέργεια ιοντισμού από το S. Αυτό συμβαίνει γιατί το άτομο του S έχει περισσότερα ενδιάμεσα ηλεκτρόνια και μεγαλύτερη ατομική ακτίνα με αποτέλεσμα η απόσπαση του ηλεκτρονίου να είναι ευχερέστερη.

2. Να υπολογιστεί η ενέργεια ιοντισμού του υδρογόνου σε $kJ \cdot mol^{-1}$**. Δίνεται ο αριθμός του Avogadro:** $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$**.**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Για ένα άτομο υδρογόνου η ενέργεια ιοντισμού είναι η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για να αποκτήσει το ηλεκτρόνιό του ενέργεια ίση με το μηδέν και επομένως να αποσπαστεί από το άτομο. Καθώς η ενέργεια της στιβάδας Κ είναι ίση με $-2{,}18 \cdot 10^{-18}$ J, η ενέργεια ιοντισμού για ένα άτομο του υδρογόνου θα είναι $2{,}18 \cdot 10^{-18}$ J = $2{,}18 \cdot 10^{-21}$ kJ/άτομο. Επομένως, για 1 mol ατόμων υδρογόνου που αντιστοιχεί σε $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ άτομα υδρογόνου, η ενέργεια ιοντισμού θα είναι:

$$E_i(H) = 2{,}18 \cdot 10^{-21} \text{ kJ/άτομο} \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23} \text{ άτομα/mol} \approx 1312 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

3. Για το άτομο του $_{13}Al$ **οι τιμές των** E_{i1}, E_{i2} **και** E_{i3} **έχουν τιμές αντίστοιχα ίσες με** 577, 1.816 **και** 2.881 $kJ \cdot mol^{-1}$**.**

α) Να γράψετε τις εξισώσεις που αντιστοιχούν στους τρεις πρώτους ιοντισμούς του $_{13}Al$ **αναφέροντας και τη φυσική κατάσταση.**

β) Γιατί για τις διαδοχικές ενέργειες ιοντισμού ισχύει: $E_{i1} < E_{i2} < E_{i3} <$ **… ;**

γ) Η τιμή της E_{i4} **είναι ίση με** 11.600 $kJ \cdot mol^{-1}$ **και παρουσιάζει απότομη αύξηση σε σχέση με την αμέσως προηγούμενή της** E_{i3}**. Να εξηγήσετε το φαινόμενο αυτό.**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α)

$Al(g) \rightarrow Al^+(g) + e^-$	$E_{i1} = 577 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
$Al^+(g) \rightarrow Al^{2+}(g) + e^-$	$E_{i2} = 1.816 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
$Al^{2+}(g) \rightarrow Al^{3+}(g) + e^-$	$E_{i3} = 2.881 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

β) Η απόσπαση ενός ηλεκτρονίου από ένα ιόν με φορτίο +2 είναι προφανώς πιο δύσκολη από ότι η απόσπαση ενός ηλεκτρονίου από ένα ιόν με φορτίο +1 και αυτή με τη σειρά της πιο δύσκολη από ότι η απόσπαση ενός ηλεκτρονίου από ένα ουδέτερο άτομο. Όσο δυσκολότερη είναι, όμως, η απόσπαση του ηλεκτρονίου, τόσο μεγαλύτερη ενέργεια απαιτεί και συνεπώς θα ισχύει: $E_{i1} < E_{i2} < E_{i3}$ …

γ) Η απόσπαση του 4ου ηλεκτρονίου από το άτομο του Al είναι σημαντικά πιο δύσκολη από την απόσπαση του 3ου ηλεκτρονίου, καθώς το Al^{3+} παρουσιάζει δομή ευγενούς αερίου ($_{13}Al$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^1$, Al^{3+}: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$). Επίσης, η απόσπαση του 4ου ηλεκτρονίου αυτού γίνεται από την προηγούμενη στιβάδα, την L, ενώ η απόσπαση των προηγούμενων τριών ηλεκτρονίων ήταν από τη στιβάδα Μ. Επομένως, η E_{i4} είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τη E_{i3}.

4. Να συγκρίνετε τις ενέργειες ιοντισμού των στοιχείων $_6C$ **και** $_9F$**. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.** [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

$_6C$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$ 14η ομάδα, 2η περίοδος, $_9F$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^5$ (17η ομάδα, 2η περίοδος). Τα στοιχεία ανήκουν στην ίδια περίοδο και επομένως ο C έχει μικρότερη ενέργεια πρώτου ιοντισμού. Πράγματι, όσο πηγαίνουμε προς τα δεξιά στην ίδια περίοδο αυξάνεται το δραστικό πυρηνικό φορτίο (Z_{eff}) και επομένως αυξάνεται η έλξη στα ηλεκτρόνια σθένους με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ενέργεια ιοντισμού.

5. Δίνονται τα άτομα των στοιχείων: $_{19}K$, $_{12}Mg$, $_{11}Na$, $_{10}Ne$ **και** $_{14}Si$.

α) Να ταξινομήσετε τα ηλεκτρόνια των στοιχείων αυτών σε στιβάδες και σε υποστιβάδες και να εντοπίσετε την ομάδα και την περίοδο που ανήκει το καθένα.

β) Να ταξινομήσετε τα άτομα αυτά κατά σειρά αυξανόμενης E_{i1}**.**

γ) Ποιο από τα παραπάνω στοιχεία είναι το πιο ηλεκτροθετικό;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) $_{19}K$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1$ ($K^2\ L^8\ M^8\ N^1$), 4η περίοδος, 1η ομάδα

$_{12}Mg$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2$ ($K^2\ L^8\ M^2$), 3η περίοδος, 2η ομάδα

$_{11}Na$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$ ($K^2\ L^8\ M^1$), 3η περίοδος, 1η ομάδα

$_{10}Ne$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$ ($K^2\ L^8$), 2η περίοδος, 18η ομάδα

$_{14}Si$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^2$ ($K^2\ L^8\ M^4$), 3η περίοδος, 14η ομάδα.

β) Για την ενέργεια ιοντισμού (E_{i1}) των στοιχείων της 3ης περιόδου ισχύει: Na < Mg < Si. Το Ne έχει μεγαλύτερη ενέργεια ιοντισμού από το ευγενές αέριο της 3ης περιόδου, ενώ το K έχει μικρότερη ενέργεια ιοντισμού από το Na που ανήκει στην ίδια ομάδα. Επομένως: K < Na < Mg < Si < Ne.

Μην ξεχνιόμαστε! Η ενέργεια ιοντισμού αυξάνεται προς τα δεξιά και προς τα πάνω στον Περιοδικό Πίνακα.

γ) Το πιο ηλεκτροθετικό από τα παραπάνω στοιχεία είναι το K (η ηλεκτροθετικότητα αυξάνεται προς τα αριστερά σε μία περίοδο του Περιοδικού Πίνακα και προς τα κάτω σε μία ομάδα).

6. Να συγκρίνετε το μέγεθος των εξής ανιόντων, κατιόντων και ουδέτερων ατόμων: $_{16}S^{2-}$, $_{17}Cl^-$, $_{18}Ar$, $_{19}K^+$, $_{20}Ca^{2+}$**.**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Τα παραπάνω σωματίδια είναι ισοηλεκτρονιακά με 18 ηλεκτρόνια το καθένα και ηλεκτρονιακή δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$. Στα ισοηλεκτρονιακά σωματίδια το μέγεθος μειώνεται με την αύξηση του πυρηνικού φορτίου (Z) καθώς τα ηλεκτρόνια δέχονται ισχυρότερες έλξεις από τον πυρήνα. Επομένως:

Το «κουμπί» της άσκησης είναι να δει κανείς ότι όλα τα σωματίδια είναι ισοηλεκτρονιακά.

$$Ca^{2+} < K^+ < Ar < Cl^- < S^{2-}$$

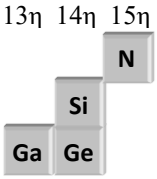
7. Τα άτομα των στοιχείων N, Si, Ga **και** Ge **του** p **τομέα έχουν δομή εξωτερικής στιβάδας,** $2s^2\ 2p^3$, $3s^2\ 3p^2$, $4s^2\ 4p^1$ και $4s^2\ 4p^2$**, αντίστοιχα.**

α) Να ταξινομηθούν τα στοιχεία αυτά κατ' αύξουσα ατομική ακτίνα.

β) Ποιο είναι το σταθερότερο ανιόν που μπορεί να σχηματίσει το στοιχείο N**;**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Με βάση την ηλεκτρονιακή δομή της εξωτερικής στιβάδας συμπεραίνουμε ότι τα στοιχεία N, Si, Ga και Ge ανήκουν, αντίστοιχα, στην 2η περίοδο και 15η ομάδα, στην 3η περίοδο και 14η ομάδα, στην 4η περίοδο και 13η ομάδα και τέλος στην 4η περίοδο και 14η ομάδα. Γνωρίζοντας ότι η ενέργεια ιοντισμού αυξάνεται από αριστερά προς τα δεξιά σε μία περίοδο και από τα κάτω προς τα πάνω σε μία ομάδα συμπεραίνουμε ότι η σειρά με την οποία αυξάνεται η ατομική ακτίνα θα είναι ακριβώς η αντίστροφη: N, Si, Ge, Ga.



β) Το σταθερότερο ανιόν θα πρέπει να έχει δομή ευγενούς αερίου. Επομένως, καθώς είναι ηλεκτραρνητικό στοιχείο θα πρέπει να προσλάβει τρία ηλεκτρόνια: N^{3-}.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

Όλα τα θέματα αναφέρονται στη θεμελιώδη κατάσταση των ατόμων, εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά.

5.1. Στο διάγραμμα της ατομικής ακτίνας των στοιχείων σε συνάρτηση του ατομικού αριθμού (Z) παρατηρείται ότι:
Α) τα ευγενή αέρια βρίσκονται στα ελάχιστα και τα αλογόνα στα μέγιστα
Β) τα αλκάλια βρίσκονται στα μέγιστα και τα ευγενή αέρια στα ελάχιστα
Γ) τα ευγενή αέρια βρίσκονται στα μέγιστα και τα αλογόνα στα ελάχιστα
Δ) τα στοιχεία μετάπτωσης βρίσκονται στα μέγιστα και τα αλογόνα στα ελάχιστα

5.2. Ο πρώτος ιοντισμός του ατόμου του Mg περιγράφεται με την εξίσωση:
Α) $Mg(g) \rightarrow Mg^+(g)$ Β) $Mg(g) \rightarrow Mg^+(g) + 2e^-$
Γ) $Mg^+(g) \rightarrow Mg^{2+}(g) + e^-$ Δ) $Mg(g) \rightarrow Mg^+(g) + e^-$

5.3. Από ποια τροχιακά αποσπώνται διαδοχικά τα 5 πρώτα ηλεκτρόνια του $_{13}Al$ αρχίζοντας από αυτό που αποσπάται πρώτο;
Α) 3p, 3s, 3s, 2p, 2p Β) 1s, 1s, 2s, 2s, 2p
Γ) 3p, 3s, 2p, 2s, 1s Δ) 1s, 2s, 2p, 3s, 3p

5.4. Σχετικά με τα αλκάλια και τις αλκαλικές γαίες της ίδιας περιόδου, τι από τα παρακάτω ισχύει;
Α) Τα αλκάλια έχουν μεγαλύτερη τιμή E_{i1}
Β) Οι αλκαλικές γαίες έχουν μεγαλύτερη τιμή E_{i2}
Γ) Τα αλκάλια έχουν μικρότερη ατομική ακτίνα
Δ) Τα αλκάλια έχουν αριθμό οξείδωσης +1 ενώ οι αλκαλικές γαίες έχουν αριθμό οξείδωσης +2

5.5. **i.** Ποιο από τα παρακάτω άτομα έχει τη μικρότερη E_{i1};
Α) το $_4Be$ Β) το $_{11}Na$ Γ) το $_{19}K$ Δ) το $_{20}Ca$
ii. Για ποιο από τα παρακάτω άτομα απαιτείται μικρότερη ενέργεια για την απόσπαση ενός ηλεκτρονίου;
Α) $_3Li$ Β) $_{11}Na$ Γ) $_{12}Mg$ Δ) $_{18}Ar$

5.6. Σε ποια από τις παρακάτω σειρές στοιχείων οι ατομικές ακτίνες τους είναι παρόμοιες;
Α) $_{11}Na$, $_{19}K$, $_{37}Rb$, $_{55}Cs$ Β) $_{11}Na$, $_{12}Mg$, $_{13}Al$, $_{14}Si$
Γ) $_{26}Fe$, $_{27}Co$, $_{28}Ni$, $_{29}Cu$ Δ) $_9F$, $_{17}Cl$, $_{35}Br$, $_{53}I$

5.7. Σχετικά τα σωματίδια $_{12}Mg$, $_{16}S$, $_{12}Mg^{2+}$ και $_{16}S^{2-}$, ποια από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι η σωστή;
Α) Το ιόν S^{2-} είναι μεγαλύτερο από το άτομο του S
Β) Το ιόν S^{2-} και το άτομο του S έχουν το ίδιο μέγεθος
Γ) Το ιόν Mg^{2+} είναι μεγαλύτερο από το άτομο του Mg
Δ) Το ιόν Mg^{2+} και το άτομο του Mg έχουν το ίδιο μέγεθος

5.8. Ποια από τις παρακάτω δομές στη θεμελιώδη κατάσταση ανήκει σε άτομο με τη μεγαλύτερη E_{i1};
Α) $3s^2\ 3p^1$ Β) $3s^2\ 3p^2$ Γ) $3s^2\ 3p^3$ Δ) $4s^2\ 4p^3$

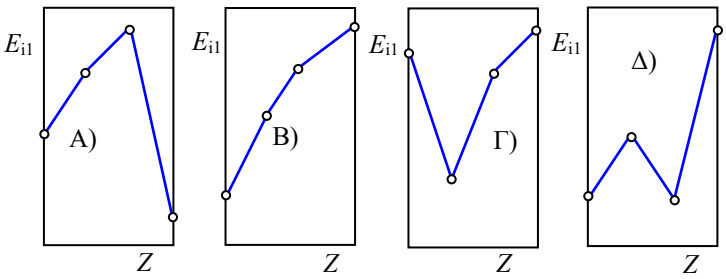
5.9. Οι τρεις πρώτες ενέργειες ιοντισμού του Al είναι E_{i1} = 580 kJ·mol^{-1}, E_{i2} = 1820 kJ·mol^{-1} και E_{i3} = 2740 kJ·mol^{-1}. Με βάση τα δεδομένα αυτά, ποια ενέργεια απαιτείται για το σχηματισμό του ιόντος $Al^{3+}(g)$ από Al(g);
Α) 5140 kJ·mol^{-1} Β) 2400 kJ·mol^{-1}
Γ) 2740 kJ·mol^{-1} Δ) 580 kJ·mol^{-1}

5.10. Ποιο από τα στοιχεία $_{13}$Α, $_{16}$Β, $_{19}$Γ, $_{21}$Δ είναι το πιο ηλεκτροθετικό;
Α) Το Α Β) Το Β Γ) Το Γ Δ) Το Δ

5.11. Αν θεωρήσουμε ότι οι ιοντικές ακτίνες (r) του K^+ και του F^- είναι περίπου ίσες, τότε για τις ατομικές ακτίνες του ατόμου του K (r_K) και του ατόμου του F (r_F) θα ισχύει:
Α) $r_K > r > r_F$ Β) $r_K < r < r_F$
Γ) $r > r_K > r_F$ Δ) $r_K < r_F < r$

5.12. Το στοιχείο της 3ης περιόδου του Περιοδικού Πίνακα με τη μεγαλύτερη ατομική ακτίνα έχει ηλεκτρονιακή δομή:
Α) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$ Β) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2$
Γ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^1$ Δ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2$

5.13. Έστω τα στοιχεία με ατομικούς αριθμούς Z = 8-11. Ποιο από τα παρακάτω διαγράμματα παριστάνει την ενέργεια πρώτου ιοντισμού (E_{i1}) των στοιχείων αυτών σε σχέση με τον ατομικό τους αριθμό;



5.14. Οι 6 πρώτες ενέργειες ιοντισμού (σε kJ·mol^{-1}) για ένα στοιχείο της 3ης περιόδου του Περιοδικού Πίνακα δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

E_{i1}	E_{i2}	E_{i3}	E_{i4}	E_{i5}	E_{i6}
789	1577	3232	4356	16.091	19.785

Ποιο μπορεί να είναι το στοιχείο αυτό;
Το $_{13}Al$ Β) Το $_{14}Si$ Γ) Ο $_{15}P$ Δ) Το $_{16}S$

5.15. Για το $_{11}Na$ η ενέργεια 1ου ιοντισμού είναι E_{i1} = 496 kJ·mol^{-1} και η ατομική του ακτίνα είναι 180 pm. Ποιες μπορεί να είναι οι αντίστοιχες τιμές για το άτομο του $_{12}Mg$;
Α) 738 kJ·mol^{-1} και 200 pm Β) 738 kJ·mol^{-1} και 150 pm
Γ) 290 kJ·mol^{-1} και 150 pm Δ) 290 kJ·mol^{-1} και 200 pm

5.16. Για το $_{12}Mg$ δίνονται οι ενέργειες ιοντισμού, E_{i1} = 738 kJ·mol^{-1}, E_{i3} = 7733 kJ·mol^{-1}, E_{i4} = 11.000 kJ·mol^{-1}. Ποια μπορεί να είναι η τιμή της E_{i2} του Mg;
Α) 1451 kJ·mol^{-1} Β) 6544 kJ·mol^{-1}
Γ) 7500 kJ·mol^{-1} Δ) 8943 kJ·mol^{-1}

5.17. Ποια είναι η σωστή σειρά κατά μειούμενη ακτίνα των σωματιδίων $_9F^-$, $_{10}Ne$ και $_{11}Na^+$;
Α) $F^- > Ne > Na^+$ Β) $Ne > Na^+ > F^-$
Γ) $Na^+ > F^- > Ne$ Δ) $F^- > Na^+ > Ne$

5.18. **Πρόκληση!** Η ενέργεια ιοντισμού (E_{i1}) για το $_{16}S$ είναι 999 kJ·mol^{-1}, ενώ η E_{i1} για το $_{15}P$ είναι 1012 kJ·mol^{-1}. Πώς θα μπορούσαν να ερμηνευτούν τα δεδομένα αυτά;
Α) Παραβιάζεται ο κανόνας του Hund
Β) Οι ενέργειες ιοντισμού μειώνονται από τα δεξιά προς τα αριστερά σε μία περίοδο του Περιοδικού Πίνακα
Γ) Η ημισυμπληρωμένη δομή p^3 είναι πιο σταθερή από μία ηλεκτρονιακή δομή με ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο
Δ) Οι ενέργειες ιοντισμού μειώνονται από κάτω προς τα πάνω σε μία ομάδα του Περιοδικού Πίνακα

5.19. Ποια είναι τα τυπικά χαρακτηριστικά των ηλεκτροθετικών στοιχείων (μετάλλων);
Α) Μικρή ενέργεια ιοντισμού και μεγάλη ατομική ακτίνα
Β) Μικρή ενέργεια ιοντισμού και μικρή ατομική ακτίνα
Γ) Μεγάλη ενέργεια ιοντισμού και μεγάλη ατομική ακτίνα
Δ) Μεγάλη ενέργεια ιοντισμού και μικρή ατομική ακτίνα

5.20. Να εξηγήσετε αν οι προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές (Σ) ή λανθασμένες (Λ).
α) Η ενέργεια που απαιτείται για την απομάκρυνση του ηλεκτρονίου ενός ατόμου υδρογόνου σε διεγερμένη κατάσταση είναι μικρότερη από την ενέργεια ιοντισμού του.
β) Η ενέργεια πρώτου ιοντισμού του ατόμου ενός στοιχείου με ατομικό αριθμό Z είναι πάντα μικρότερη από την ενέργεια πρώτου ιοντισμού του ατόμου ενός άλλου στοιχείου με ατομικό αριθμό $(Z + 1)$.
γ) Στην ομάδα των αλογόνων η ατομική ακτίνα αυξάνεται από πάνω προς τα κάτω. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2025]
δ) Το στοιχείο Χ με δομή εξωτερικής στιβάδας $3s^1$ έχει μικρότερη ενέργεια πρώτου ιοντισμού από αυτή του στοιχείου Υ με δομή εξωτερικής στιβάδας $3s^2\ 3p^6$.
ε) Τα αμέταλλα έχουν μικρότερες ατομικές ακτίνες από τα μέταλλα που ανήκουν στην ίδια περίοδο του Π.Π.
στ) Στα στοιχεία μεταπτώσεως της ίδιας περιόδου, η αύξηση του ατομικού αριθμού συνοδεύεται από μικρές διαφορές στην ατομική ακτίνα καθώς τα επιπλέον ηλεκτρόνια συμπληρώνουν εσωτερικές στιβάδες d.

5.21. Να εξηγήσετε αν οι προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές ή όχι.
α) Η E_{i1} του $_{37}Rb$ είναι μικρότερη από την E_{i1} του $_{11}Na$.
β) Το στοιχείο με $Z = 87$ είναι το πιο δραστικό μέταλλο και έχει τη μεγαλύτερη ατομική ακτίνα από όλα τα στοιχεία του Περιοδικού Πίνακα.
γ) Το στοιχείο με ατομικό αριθμό $Z = 36$ έχει πολύ μεγάλη E_{i1}, μικρότερη πάντως από την E_{i1} του στοιχείου με $Z = 2$.
δ) Η E_{i2} του $_3Li$ είναι μεγαλύτερη της αντίστοιχης του $_4Be$.
ε) Από τα ισοηλεκτρονιακά σωματίδια, O^{2-}, F^-, Ne και Na^+ το μικρότερο μέγεθος έχει το Na^+.
στ) Η ενέργεια που απαιτείται για τη μετάβαση του ηλεκτρονίου του ατόμου του υδρογόνου από την ενεργειακή στάθμη Κ στην στάθμη L αντιστοιχεί στα ¾ της ενέργειας που απαιτείται για τον πλήρη ιοντισμό του.

5.22. Να γράψετε τον ορισμό της ενέργειας ιοντισμού (E_{i1}) και να αναφέρετε τις παραμέτρους που την καθορίζουν.

5.23. α) Σε ποιο από τα παρακάτω ζεύγη τα δύο σωματίδια μπορεί να έχουν παραπλήσιο μέγεθος;
i. $_3Li$ και $_{11}Na$ ii. $_{11}Na$ και $_{12}Mg$
iii. $_{25}Mn$ και $_{26}Fe$ iv. $_{26}Fe^{2+}$ και $_{26}Fe^{3+}$
β) Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

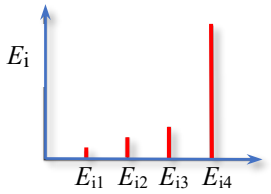
5.24. Δίνονται τα στοιχεία $_{20}Ca$ και $_{16}S$.
α) Να γίνει η ηλεκτρονιακή δόμηση σε υποστιβάδες των παραπάνω στοιχείων.
β) Ποιο από τα παραπάνω στοιχεία έχει τη μεγαλύτερη ενέργεια 3ου ιοντισμού; Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

5.25. Οι ενέργειες πρώτου ιοντισμού (E_{i1}) των στοιχείων $_8O$, $_9F$ και $_{10}Ne$ έχουν τιμές αντίστοιχα ίσες με 1314, 1681 και 2081 (σε kJ·mol^{-1}).
α) Ποια από τις παρακάτω μπορεί να είναι η τιμή της E_{i1} για το στοιχείο $_{11}Na$, σε kJ·mol^{-1};
i. 2367 ii. 1713 iii. 1572 iv. 496
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

5.26. Δίνονται τα σωματίδια, $_{12}Mg^{2+}$, $_9F^-$, $_{11}Na^+$ και $_{10}Ne$.
α) Ποιο από τα σωματίδια σε αέρια φάση απαιτεί τη μεγαλύτερη ενέργεια για την απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου;
i. $_{12}Mg^{2+}$ ii. $_9F^-$ iii. $_{11}Na^+$ iv. $_{10}Ne$
β) Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

5.27. Οι τέσσερις ενέργειες ιοντισμού του $_4Be$ είναι κατά σειρά (σε kJ·mol^{-1}) διαδοχικά: $E_{i1} = 899{,}5$, $E_{i2} = 1757{,}1$, $E_{i3} = 14.848{,}7$ και $E_{i4} = 21006{,}6$.
α) Ποια από τις παρακάτω τιμές σε kJ·mol^{-1} αντιστοιχεί στην ενέργεια του ηλεκτρονίου του Be^{3+} στη θεμελιώδη κατάσταση;
1. 21006,6 2. −21006,6 3. −899,5
4. 14.848,7 5. 1757,1 6. $-(E_{i1} + E_{i2} + E_{i3})$
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

5.28. Στο διάγραμμα εμφανίζονται οι 4 πρώτες διαδοχικές ενέργειες ιοντισμού για το άτομο στοιχείου της 3ης περιόδου του Π.Π.



α) Ποια είναι η δομή του ατόμου στη θεμελιώδη κατάσταση;
Α) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2$
Β) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^3$
Γ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^1$ Δ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1\ 3p^2$
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

5.29. Στον πίνακα που ακολουθεί εμφανίζονται οι τιμές των διαδοχικών ενεργειών ιοντισμού σε kJ·mol^{-1} των στοιχείων Α, Β, Γ, Δ και Ε με διαδοχικούς ατομικούς αριθμούς. Ποιο στοιχείο μπορεί να ανήκει στη 2η ομάδα του Περιοδικού Πίνακα; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

	E_{i1}	E_{i2}	E_{i3}	E_{i4}
Α.	1681	3374	6051	8408
Β.	2081	3952	6122	9370
Γ.	496	4563	6913	9544
Δ.	738	1451	7733	10.541
Ε.	578	1817	2745	11.578

5.30. Στον πίνακα που ακολουθεί εμφανίζονται οι τιμές των E_{i1} και E_{i2} των στοιχείων $_3$Li, $_{11}$Na και $_{12}$Mg (σε kJ·mol^{-1}).

	E_{i1}	E_{i2}
$_3$Li	520	7298
$_{11}$Na	496	4562
$_{12}$Mg	738	1451

α) Να εξηγήσετε γιατί ισχύει: E_{i1}(Li) > E_{i1}(Na).
β) i. Ποιο από τα παραπάνω στοιχεία σχηματίζει πιο εύκολα κατιόν με φορτίο +1;
ii. Ποιο από τα στοιχεία σχηματίζει πιο εύκολα κατιόν +2;
Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας.
γ) Να εξηγήσετε γιατί το Mg έχει τη μικρότερη τιμή της E_{i2} σε σχέση με τα άλλα δύο στοιχεία.

5.31. Δίνονται τα χημικά στοιχεία: $_{15}$P, $_{20}$Ca, $_{33}$As και $_{38}$Sr.
α) Να γραφούν οι ηλεκτρονιακές δομές των 4 στοιχείων.
β) Να συγκριθούν τα στοιχεία της ίδιας περιόδου ως προς το μέγεθος και να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.
γ) Να συγκριθούν τα στοιχεία της ίδιας ομάδας ως προς την ενέργεια πρώτου ιοντισμού (E_{i1}) και να αιτιολογήσετε την απάντησή σας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

5.32. Έστω τα στοιχεία της 3ης περιόδου του Περιοδικού Πίνακα. Ποιος ο ατομικός αριθμός του στοιχείου που:
α) Έχει τη μικρότερη ατομική ακτίνα.
β) Είναι το πιο ηλεκτραρνητικό.
γ) Είναι το πιο δραστικό μέταλλο.
δ) Σχηματίζει οξείδιο του τύπου ΧΟ με υψηλό σημείο τήξης.

5.33. Ποια από τις ενέργειες ιοντισμού είναι μεγαλύτερη;
i. Η ενέργεια 1ου ιοντισμού του $_{11}$Na(g)
ii. Η ενέργεια 2ου ιοντισμού του $_{12}$Mg(g)
iii. Η ενέργεια 3ου ιοντισμού του $_{13}$Al(g)
iv. Η ενέργεια 4ου ιοντισμού του $_{14}$Si(g)
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

5.34. α) Να γίνει ηλεκτρονιακή δόμηση σε υποστιβάδες των $_8$O, $_{15}$P^{3-}, $_{16}$S, $_{16}$S^{2-}.
β) Να κατατάξετε τα σωματίδια κατά αυξανόμενο μέγεθος . Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

5.35. α) Να γράψετε την ηλεκτρονιακή δομή του ατόμου του $_{21}$Sc στη θεμελιώδη κατάσταση και να σημειώσετε τη θέση του στοιχείου στον Π.Π. (ομάδα, περίοδος, τομέας).
β) Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι τιμές των 4 πρώτων διαδοχικών ενεργειών ιοντισμού του Sc, σε kJ·mol^{-1}.

	E_{i1}	E_{i2}	E_{i3}	E_{i4}
$_{21}$Sc	633	1235	2389	7091

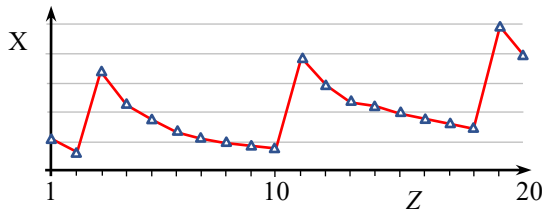
Να εξηγήσετε τη μεγάλη διαφορά που παρατηρείται στις τιμές των E_{i3} και E_{i4}.

5.36. Να ταξινομήσετε τα άτομα που ακολουθούν κατά σειρά αυξανόμενης ατομικής ακτίνας: $_6$C, $_9$F, $_{11}$Na, $_{13}$Al. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

5.37. Το στοιχείο Μ έχει ατομική ακτίνα 197 pm ενώ η ιοντική ακτίνα του πιο σταθερού ιόντος του είναι 100 pm.
α) Με βάση τα δεδομένα αυτά προκύπτει ότι το στοιχείο Μ:
i. είναι ηλεκτραρνητικό στοιχείο
ii. είναι ηλεκτροθετικό στοιχείο
iii. έχει μία από τις μεγαλύτερες ενέργειες πρώτου ιοντισμού της περιόδου του
iv. έχει μικρότερη ατομική ακτίνα της περιόδου του
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

5.38. Τα στοιχεία Χ, Υ και Ζ έχουν τις παρακάτω δομές:
Χ: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$ Υ: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2$
Ζ: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1$
Οι ενέργειες πρώτου ιοντισμού των παραπάνω στοιχείων είναι (με τυχαία σειρά) 419, 738 και 1521 kJ·mol^{-1} και οι ατομικές τους ακτίνες 160, 94 και 220 pm.
α) Να αντιστοιχήσετε τα στοιχεία Χ, Υ και Ζ με τις τιμές των ενεργειών ιοντισμού και τις ατομικές ακτίνες.
β) Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας.

5.39. Στο παρακάτω διάγραμμα εμφανίζεται μία περιοδική ιδιότητα (Χ) ως συνάρτηση του ατομικού αριθμού (Z) για τα 20 πρώτα στοιχεία του Περιοδικού Πίνακα.



α) Πώς μεταβάλλεται (αυξάνεται, μειώνεται) η περιοδική αυτή ιδιότητα σε μία περίοδο του Π.Π. από αριστερά προς τα δεξιά; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.
β) Πώς μεταβάλλεται (αυξάνεται ή μειώνεται) η περιοδική αυτή ιδιότητα σε μία ομάδα του Π.Π. από κάτω προς τα πάνω; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.
γ) Σε ποια περιοδική ιδιότητα αναφέρεται το διάγραμμα;
1. Ενέργεια (πρώτου) ιοντισμού 2. Ηλεκτραρνητικότητα
3. Ατομική ακτίνα 4. Σχετική ατομική μάζα
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

5.40. Ο φωσφόρος (Ρ) είναι στοιχείο της 3ης περιόδου του Περιοδικού Πίνακα το άτομο του οποίου διαθέτει τρία μονήρη ηλεκτρόνια στη θεμελιώδη κατάσταση. Να συγκρίνετε το μέγεθος του πιο σταθερού ιόντος του Ρ με το άτομο του $_{18}$Ar (μικρότερο, μεγαλύτερο, ίσο). Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

5.41. Δίνονται οι ενέργειες 1ου ιοντισμού (E_{i1}) και 2ου ιοντισμού (E_{i2}) σε kJ·mol^{-1}, για τα στοιχεία $_3$Li και $_4$Be.

	E_{i1}	E_{i2}
$_3$Li	520	7298
$_4$Be	899	1757

Να εξηγήσετε:
α) Γιατί το Be έχει μεγαλύτερη E_{i1} σε σχέση με το Li.
β) Γιατί το Li έχει μεγαλύτερη E_{i2} σε σχέση με το Be.

5.42. Δίνονται τα στοιχεία $_7$N και $_5$B.
α) Να γράψετε τις εξισώσεις που αντιστοιχούν στον 4ο ιοντισμό του N και στον 2ο ιοντισμό του B.
β) Ποια η σχέση μεταξύ της Ei_4(N) και της Ei_2(B);
1. Ei_4(N) = Ei_2(B) 2. Ei_4(N) > Ei_2(B) 3. Ei_4(N) < Ei_2(B)
4. Δεν μπορεί να εξαχθεί ασφαλές συμπέρασμα
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

Για καλούς… λύτες

5.43. Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται οι διαδοχικές ενέργειες ιοντισμού E_{i5} - E_{i9} σε kJ·mol^{-1} ενός στοιχείου (X) του Περιοδικού Πίνακα με Z < 21.

E_{i5}	E_{i6}	E_{i7}	E_{i8}	E_{i9}
7004	8496	27.107	31.719	36.621

α) Με βάση τα δεδομένα αυτά, τι από τα παρακάτω ισχύει;
i. Το στοιχείο (X) ανήκει στη 2η περίοδο
ii. Το στοιχείο (X) είναι το πιο ηλεκτροθετικό στοιχείο της περιόδου του
iii. Το 4ο και το 5ο ηλεκτρόνιο της ηλεκτρονιακής δομής απομακρύνονται από διαφορετικές υποστιβάδες
iv. Το στοιχείο (X) έχει τη μικρότερη ατομική ακτίνα από όλα τα στοιχεία της περιόδου του
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

5.44. Να συγκρίνετε:
α) Το μέγεθος του ατόμου $_2$He με το μέγεθος του ιόντος $_3$Li$^+$.
β) Την ενέργεια πρώτου ιοντισμού του $_2$He με την ενέργεια δεύτερου ιοντισμού του $_3$Li.
Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας.

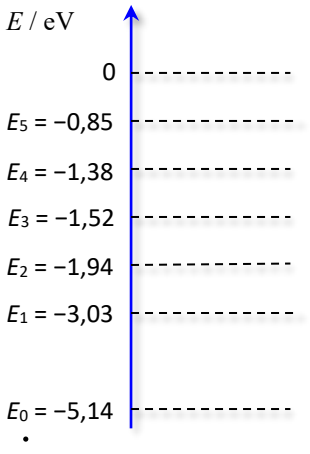
5.45. α) Να γραφούν οι ηλεκτρονιακές δομές των ατόμων των χημικών στοιχείων Χ, Ψ και Ω στη θεμελιώδη κατάσταση, αν είναι γνωστό ότι αυτά ανήκουν στην 3η περίοδο του Περιοδικού Πίνακα και ισχύουν τα παρακάτω:
i. Το στοιχείο Χ ανήκει στον τομέα p και έχει 3 μονήρη ηλεκτρόνια σε θεμελιώδη κατάσταση.
ii. Το στοιχείο Ψ είναι το πιο ηλεκτραρνητικό στοιχείο της περιόδου.
iii. Το στοιχείο Ω έχει τη μεγαλύτερη ατομική ακτίνα από τα χημικά στοιχεία της περιόδου.
β) Να κατατάξετε κατά αύξουσα ενέργεια πρώτου ιοντισμού E_{i1} τα χημικά στοιχεία Χ, Ψ και Ω. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2026]

5.46. Δίνονται τα στοιχεία: $_9$F, $_{11}$Na, $_{13}$Al, $_{15}$P, $_{17}$Cl και $_{19}$K.
α) Να αντιστοιχήσετε τα στοιχεία με τις τιμές των E_{i1} στον πίνακα που ακολουθεί.

	Στοιχεία		E_{i1} / kJ·mol^{-1}
Α.	F	1.	578
Β.	Na	2.	419
Γ.	Al	3.	496
Δ.	P	4.	1012
Ε.	Cl	5.	1251
ΣΤ.	K	6.	1681

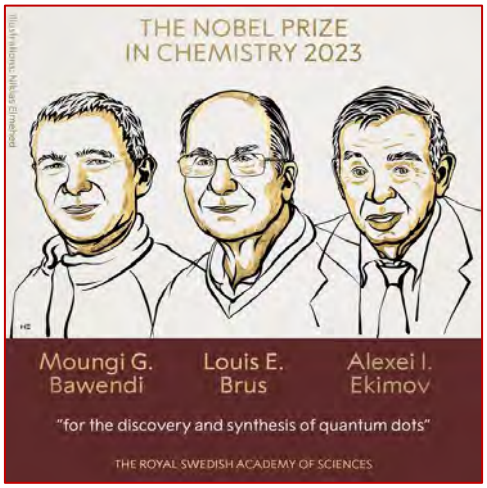
β) Ένα από τα παραπάνω στοιχεία ανήκει στην 3η περίοδο και έχει E_{i2} = 4562 kJ·mol^{-1} και E_{i3} = 6910 kJ·mol^{-1}. Ποιο μπορεί να είναι το στοιχείο αυτό;
γ) Ποιο από τα παραπάνω στοιχεία θα έχει τη μεγαλύτερη ατομική ακτίνα και ποιο τη μικρότερη; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.
δ) Να συγκρίνετε τις ιοντικές ακτίνες των K$^+$ και Cl$^-$.

5.47. **Πρόκληση! Πρόκληση!** Το απλουστευμένο διάγραμμα των ενεργειών του ηλεκτρονίου σθένους του ατόμου του $_{11}$Na δίνεται στο διπλανό σχήμα (1 eV = 1,6·10^{-19} J).



α) Να γράψετε την ηλεκτρονιακή δομή ενός ατόμου Na στη θεμελιώδη του κατάσταση. Ποια η ενέργεια (σε eV) της κατάστασης αυτής, σύμφωνα με το διάγραμμα;
β) i. Ποιες από τις ενέργειες που εμφανίζονται στο διπλανό σχήμα αντιστοιχούν σε διεγερμένες καταστάσεις του ηλεκτρονίου σθένους ενός ατόμου Na;
ii. Ποια η πιθανή ηλεκτρονιακή δομή για ένα άτομο Na που διαθέτει ενέργεια ίση με −3,03 eV;
γ) Οι λυχνίες Na χρησιμοποιούνται για το φωτισμό οδικών σηράγγων, παράγοντας ένα έντονο κίτρινο φωτισμό. Στις λυχνίες αυτές τα άτομα Na διεγείρονται από δέσμη ηλεκτρονίων που διατρέχει το σωλήνα της λυχνίας. Ο κίτρινος φωτισμός προκύπτει από τη μετάπτωση ενός ηλεκτρονίου από την πρώτη διεγερμένη του κατάσταση στη θεμελιώδη. i. Ποια η ενέργεια του φωτονίου (σε eV) και ii. ποιο το μήκος κύματος λ που παράγεται κατά τη μετάπτωση αυτή; Δίνονται: h = 6,62·10^{-34} J·s και c = 3·10^8 m·s^{-1}.
δ) Ένα άτομο Na που βρίσκεται στην κατάσταση E_1 απορροφά ένα φωτόνιο ενέργειας 1,09 eV.
i. Τι αποτέλεσμα θα έχει η απορρόφηση αυτή; ii. Ποια η ηλεκτρονιακή δομή της νέας αυτής κατάστασης του ατόμου του Na;
ε) i. Ποια η τιμή της ενέργειας πρώτου ιοντισμού σε eV για το άτομο του Na με βάση το παραπάνω διάγραμμα; ii. Να συγκρίνετε την ενέργεια αυτή με την ενέργεια ιοντισμού ενός ατόμου Mg (Z = 12).

Χημεία και… τέρατα: «Θεέ μου, τι κάνω εδώ;»

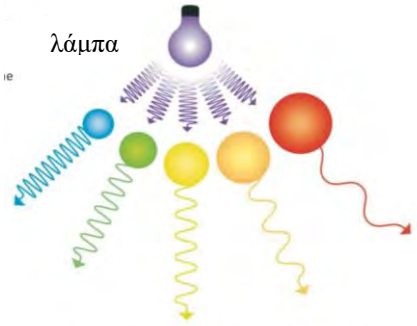


Στις αρχές της δεκαετίας του 1980, ο Alexei Ekimov κατάφερε να δημιουργήσει κβαντικά εφέ σε έγχρωμο γυαλί. Το χρώμα προήλθε από νανοσωματίδια χλωριούχου χαλκού (I) και ο Ekimov έδειξε ότι το μέγεθος των σωματιδίων επηρέαζε το χρώμα του γυαλιού μέσω κβαντικών επιδράσεων. Λίγα χρόνια αργότερα, ο Louis Brus απέδειξε ότι οι κβαντικές επιδράσεις εξαρτώνται από το μέγεθος των σωματιδίων ενώ το 1993, ο Moungi Bawendi έφερε επανάσταση στη χημική παραγωγή κβαντικών κουκκίδων υψηλής ποιότητας που ήταν απαραίτητη για να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές. Τα σωματίδια αυτά έχουν μοναδικές ιδιότητες και τώρα διαχέουν το φως τους από τις οθόνες τηλεόρασης OLED και τις λάμπες LED. Καταλύουν χημικές αντιδράσεις και το διαυγές φως τους μπορεί να φωτίσει τον καρκινικό ιστό για έναν χειρουργό.

Έτσι. το 2023 η Βασιλική Σουηδική Ακαδημία Επιστημών απονέμει το Νόμπελ Χημείας στους:

- ✓ Moungi G. Bawendi (ετών 62): Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, ΗΠΑ,
- ✓ Louis E. Brus (ετών 80): Πανεπιστήμιο Columbia, Νέα Υόρκη, ΗΠΑ,
- ✓ Alexei I. Ekimov (ετών 78): Nanocrystals Technology Inc., Νέα Υόρκη, ΗΠΑ,

«για την ανακάλυψη και τη σύνθεση των κβαντικών τελειών».



Οι κβαντικές κουκκίδες απορροφούν το φως και το επανεκπέμπουν σε άλλο μήκος κύματος. Το χρώμα τους εξαρτάται από μέγεθός τους.

Ο καθηγητής του MIT χημικός Moungi Bawendi, Αμερικανός γεννημένος στο Παρίσι με Τυνησιακή καταγωγή, ως προπτυχιακός φοιτητής κόπηκε στην πρώτη του εξέταση στη χημεία. Ο Bawendi διέπρεψε στις επιστήμες σε όλο το λύκειο αλλά στο Πανεπιστήμιο του Χάρβαρντ προσγειώθηκε απότομα.

«Ήμουν συνηθισμένος να μην χρειάζεται να μελετώ για εξετάσεις. Κοίταξα την πρώτη ερώτηση και δεν μπορούσα να την καταλάβω, και τη δεύτερη ερώτηση δεν μπορούσα να την καταλάβω». Στο τέλος σημείωσε 20/100 το χαμηλότερο βαθμό σε ολόκληρη την τάξη του. «Και σκέφτηκα: Θεέ μου, αυτό είναι το τέλος μου, τι κάνω εδώ;». Αν και λάτρευε τη χημεία, συνειδητοποίησε ότι δεν είχε μάθει την τέχνη της προετοιμασίας για εξετάσεις, κάτι που γρήγορα άρχισε να το διορθώνει…

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 5

Στις παρακάτω ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής 1 - 13 να σημειώσετε απλώς τη σωστή απάντηση.

1. Στη θεμελιώδη κατάσταση το άτομο του $_{11}$Na έχει ηλεκτρονιακή δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$. Ποιο ηλεκτρόνιο έχει τη μεγαλύτερη προστασία και ποιο τη μικρότερη προστασία έναντι της έλξης του πυρήνα;
Α) Τη μεγαλύτερη προστασία τα ηλεκτρόνια 1s και τη μικρότερη το ηλεκτρόνιο 3s
Β) Τη μεγαλύτερη προστασία το ηλεκτρόνιο 3s και τη μικρότερη τα ηλεκτρόνια 1s
Γ) Τη μεγαλύτερη προστασία το ηλεκτρόνιο 3s και τη μικρότερη τα ηλεκτρόνια 2s
Δ) Τη μεγαλύτερη προστασία τα ηλεκτρόνια 1s και τη μικρότερη τα ηλεκτρόνια 2s

2. Από τα επόμενα στοιχεία τη μικρότερη ατομική ακτίνα έχει το στοιχείο: [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]
Α) $_6$C Β) $_8$O Γ) $_9$F Δ) $_{17}$Cl

3. Η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για την απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου από το ιόν $_3Li^{2+}(g)$ αντιστοιχεί στην:
Α) ενέργεια 1ου και 2ου ιοντισμού του Li ($E_{i1} + E_{i2}$)
Β) ενέργεια 1ου ιοντισμού (E_{i1}) του Li
Γ) ενέργεια 2ου ιοντισμού (E_{i2}) του Li
Δ) ενέργεια 3ου ιοντισμού (E_{i3}) του Li

4. Ποιο από τα άτομα που ακολουθούν σχηματίζει ιόν με δομή ευγενούς αερίου με το μεγαλύτερο μέγεθος;
Α) $_{15}$P Β) $_{16}$S Γ) $_{19}$K Δ) $_{20}$Ca

5. Για τα άτομα των στοιχείων της 3ης περιόδου από αριστερά προς τα δεξιά, παρατηρούμε:
Α) αύξηση της ατομικής ακτίνας και αύξηση της ενέργειας ιοντισμού
Β) αύξηση της ατομικής ακτίνας και μείωση της ενέργειας ιοντισμού
Γ) μείωση της ατομικής ακτίνας και αύξηση της ενέργειας ιοντισμού
Δ) μείωση της ατομικής ακτίνας και μείωση της ενέργειας ιοντισμού

6. Μεγαλύτερη ατομική ακτίνα έχει το άτομο που στη θεμελιώδη κατάσταση έχει την ηλεκτρονιακή δομή:
Α) $1s^2\ 2s^1$
Β) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2$
Γ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$
Δ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$ [ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2023]

7. Η ενέργεια 10ου ιοντισμού του $_{15}$P είναι ίση με 40.950 kJ. Σε ποια χημική εξίσωση αντιστοιχεί η διαδικασία αυτή;
Α) $P^{9+}(g) \rightarrow P^{10+}(g) + e^-$, $E_{i10} = 40.950$ kJ
Β) $P^{9+}(g) \rightarrow P^{10+}(g) + e^-$, $E_{i9} = 40.950$ kJ
Γ) $P^{10+}(g) \rightarrow P^{11+}(g) + e^-$, $E_{i10} = 40.950$ kJ
Δ) $P^{10+}(g) \rightarrow P^{11+}(g) + e^-$, $E_{i10} = -40.950$ kJ

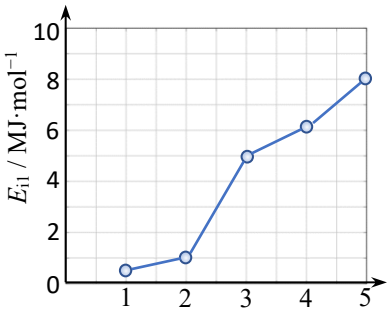
8. Ποιο από τα παρακάτω σωματίδια σε αέρια φάση και στη θεμελιώδη κατάσταση απαιτεί λιγότερη ενέργεια για την απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου;
Α) $_3$Li Β) $_{11}$Na Γ) $_{18}$Ar Δ) $_{11}Na^+$

9. Αν η 2η ενέργεια ιοντισμού του στοιχείου $_{12}$Mg είναι $E_{i2} = 1451\ kJ\cdot mol^{-1}$, τότε η 2η ενέργεια ιοντισμού του στοιχείου $_{11}$Na μπορεί να είναι:
Α) $4563\ kJ\cdot mol^{-1}$ Β) $725\ kJ\cdot mol^{-1}$
Γ) $1350\ kJ\cdot mol^{-1}$ Δ) $1451\ kJ\cdot mol^{-1}$ [Π.Μ.Δ.Χ.]

10. Ποια από τις ακόλουθες ηλεκτρονιακές δομές αντιστοιχεί σε άτομο στοιχείου με μεγαλύτερη τιμή ενέργειας (1ου) ιοντισμού από τον $_6$C;
Α) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^2$ Β) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2$
Γ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^1$ Δ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$

11. Οι πρώτες 8 διαδοχικές ενέργειες ιοντισμού σε $kJ\cdot mol^{-1}$ ενός στοιχείου της 3ης περιόδου του Περιοδικού Πίνακα είναι κατά σειρά οι εξής:
1012 1903 2912 4957 6274 21.269 25.398 29.855
Ποια η ηλεκτρονιακή δομή του ατόμου του στοιχείου στη θεμελιώδη κατάσταση;
Α) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^3$
Β) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^4$
Γ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$
Δ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^2$

12. Οι πέντε διαδοχικές ενέργειες ιοντισμού (σε $MJ\cdot mol^{-1}$) του ατόμου ενός στοιχείου εμφανίζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Σύμφωνα με το διάγραμμα αυτό, ποιο από τα παρακάτω μπορεί να είναι το στοιχείο;
Α) $_{13}$Al Β) $_{20}$Ca Γ) $_5$B Δ) $_6$C

13. Ένα στοιχείο έχει ισχυρότερο μεταλλικό χαρακτήρα (πιο ηλεκτροθετικό στοιχείο), όταν έχει:
Α) μεγαλύτερη ατομική ακτίνα
Β) μικρότερη ατομική ακτίνα
Γ) μεγαλύτερη ηλεκτραρνητικότητα
Δ) μεγαλύτερη τιμή της E_{i1}

14. Δίνονται τα στοιχεία $_{11}$Na και $_{12}$Mg.
α) Να γίνει κατανομή των ηλεκτρονίων των ατόμων των στοιχείων Na και Mg σε υποστοιβάδες.
β) Να συγκριθούν οι ενέργειες πρώτου ιοντισμού των $_{11}$Na και $_{12}$Mg, αιτιολογώντας την απάντησή σας.
γ) Να συγκριθούν οι ενέργειες δεύτερου ιοντισμού του $_{11}$Na και τρίτου ιοντισμού του $_{12}$Mg, αιτιολογώντας την απάντησή σας.
[ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2026]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

15. Στο σχήμα εμφανίζονται τα σχετικά μεγέθη των ισοηλεκτρονιακών ιόντων O^{2-}, F^-, Na^+ και Mg^{2+} που διαθέτουν όλα από δέκα ηλεκτρόνια.
α) Τι από τα παρακάτω θα ισχύει για το μέγεθος του ατόμου του $_{10}$Ne;
i. Θα είναι μεταξύ του O^{2-} και του F^- ii. Θα είναι μεταξύ του F^- και του Na^+
iii.Θα είναι μεταξύ του Na^+ και του Mg^{2+} iv. Δεν μπορούμε να το συγκρίνουμε
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.



.....

.....

.....

.....

16. Για τα στοιχεία Α, Β, Γ με ατομικούς αριθμούς Z, Z+1, Z+2, αντίστοιχα, δίνονται οι ακόλουθες ενέργειες ιοντισμού σε kJ·mol^{-1}.

Στοιχείο	E_{i1}	E_{i2}	E_{i3}
Α	2081	3952	6122
Β	496	4562	6910
Γ	738	1451	7733

α) Σε ποια ομάδα του Περιοδικού Πίνακα ανήκει το στοιχείο Β;
β) Να αιτιολογήσετε γιατί η E_{i2} του Β είναι μεγαλύτερη από την E_{i2} του Γ.
γ) Να κατατάξετε τα στοιχεία Α, Β, Γ κατά αύξουσα ατομική ακτίνα. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

.....

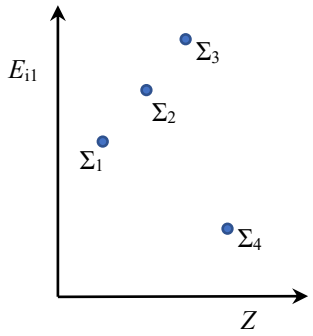
.....

.....

.....

.....

17. Δίνονται τα στοιχεία Χ, Ψ με ατομικούς αριθμούς 18 και 19, αντίστοιχα.
α) Να βρείτε την ηλεκτρονιακή δομή σε υποστιβάδες των δύο στοιχείων στη θεμελιώδη τους κατάσταση.
β) Να προσδιορίσετε σε ποιον τομέα, σε ποια περίοδο και σε ποια ομάδα του Περιοδικού Πίνακα βρίσκεται κάθε ένα από τα δύο στοιχεία.
γ) Στο διπλανό σχήμα αποτυπώνεται η ενέργεια πρώτου ιοντισμού (E_{i1}) τεσσάρων διαδοχικών χημικών στοιχείων σε συνάρτηση με τον ατομικό τους αριθμό (Z). Οι ατομικοί αριθμοί των στοιχείων Σ_1, Σ_2, Σ_3, Σ_4 μπορεί να είναι, αντίστοιχα:
i. 17, 18, 19, 20 ii. 16, 17, 18, 19 iii. 18, 19, 20, 21
Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση. Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2024]



18. Ο παρακάτω πίνακας αναπαριστά ένα μέρος του Περιοδικού Πίνακα στο οποίο σημειώνονται μερικά στοιχεία με τα σύμβολά τους.

														F		
Na	Mg															
								Co	Ni					Br		

α) Να εξηγήσετε για ποιο από τα παραπάνω στοιχεία είναι πιο δύσκολο να δημιουργηθεί το κατιόν του με φορτίο +1.
β) Δίνονται τρία ζεύγη ατομικών ακτίνων σε Å: i. (1,86, 1,60), ii. (1,25, 1,24) και iii. (1,14, 0,73). Να αντιστοιχήσετε κάθε ζεύγος ακτίνων στα ζεύγη των στοιχείων (Na, Mg), (Co, Ni) και (Br, F). Να εξηγήσετε την απάντησή σας.
γ) Για τα ζεύγη (Co, Ni) και (Br, F) να εξηγήσετε αν τα δύο στοιχεία κάθε ζεύγους έχουν παρόμοιες ή διαφορετικές χημικές ιδιότητες μεταξύ τους.
δ) Να γράψετε την ηλεκτρονιακή δομή του κατιόντος Co^{3+}. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]



ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΑ (1)
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑΚΗ ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΑΤΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ

Θέμα Α

Για τις παρακάτω ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής Α1 - Α5 να γράψετε τον αριθμό της ερώτησης και δίπλα το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση.

Α1. Σχετικά με το ατομικό πρότυπο του Bohr για το άτομο του υδρογόνου, ποια από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι λανθασμένη;

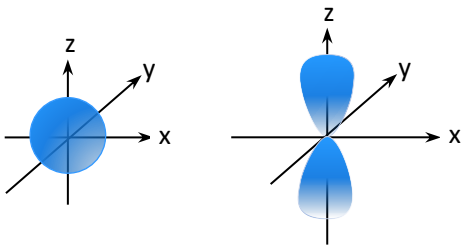
Α) Η ενέργεια του ηλεκτρονίου αυξάνεται όσο αυξάνεται η τιμή του κύριου κβαντικού αριθμού

Β) Σύμφωνα με τη μηχανική συνθήκη, το ηλεκτρόνιο κινείται γύρω από τον πυρήνα σε ορισμένες μόνο επιτρεπόμενες κυκλικές τροχιές καθορισμένης ενέργειας, με άλλα λόγια η ενέργεια του ηλεκτρονίου είναι κβαντισμένη

Γ) Σύμφωνα με την οπτική συνθήκη, το ηλεκτρόνιο εκπέμπει ενέργεια υπό μορφή ακτινοβολίας, μόνον όταν μεταπηδήσει από τροχιά μεγαλύτερης ενέργειας E_i σε τροχιά μικρότερης ενέργειας E_f

Δ) Η διαφορά ενέργειας μεταξύ της στιβάδας Κ και της στιβάδας L είναι μικρότερη από τη διαφορά ενέργειας μεταξύ της L και της M

Α2. Στο διπλανό σχήμα εμφανίζονται δύο ατομικά τροχιακά ενός ατόμου υδρογόνου της ίδιας ενέργειας. Τα ατομικά αυτά τροχιακά:



Α) έχουν την ίδια τιμή του n και του ℓ

Β) έχουν την ίδια τιμή του ℓ και του m_ℓ

Γ) ανήκουν στην ίδια υποστιβάδα

Δ) ανήκουν στην ίδια στιβάδα

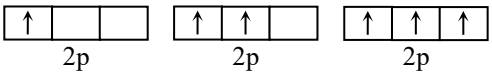
Α3. Ποιος είναι ο μικρότερος ατομικός αριθμός (Z) ενός στοιχείου που έχει στη θεμελιώδη του κατάσταση ένα μόνο ζεύγος ηλεκτρονίων σε p υποστιβάδα;

Α) 4 Β) 8 Γ) 6 Δ) 9

Α4. Ποια από στις παρακάτω ηλεκτρονιακές δομές εξωτερικής στιβάδας αντιστοιχεί σε άτομο με τη μεγαλύτερη ενέργεια πρώτου ιοντισμού σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα;

Α) $2s^2\ 2p^1$ Β) $2s^2\ 2p^4$ Γ) $3s^2\ 3p^3$ Δ) $2s^2$

Α5. Τα ηλεκτρόνια των ατόμων $_5$B, $_6$C και $_7$N καταλαμβάνουν την υποστιβάδα 2p κατά την παρακάτω σειρά:



Ποιος κανόνας ή αρχή της ηλεκτρονιακής δόμησης υπαγορεύει την πλήρωση της υποστιβάδας 2p με την παραπάνω σειρά;

Α) Ο κανόνας του Hund Β) Η απαγορευτική αρχή του Pauli

Γ) Η αρχή της ελάχιστης ενέργειας Δ) Η αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg

Θέμα Β

Β1. *Να χαρακτηρίσετε τις προτάσεις που ακολουθούν ως σωστές ή λανθασμένες.*
α) Ο κύριος κβαντικός αριθμός (n) είναι ενδεικτικός της έλξης πυρήνα - ηλεκτρονίου.
β) Όλα τα στοιχεία που έχουν 2 ηλεκτρόνια στην εξωτερική στιβάδα ανήκουν στη 2η (ΙΙΑ) ομάδα του Περιοδικού Πίνακα.
γ) Το Al_2O_3 είναι επαμφοτερίζον οξείδιο.
δ) Από τα στοιχεία $_{13}Al$, $_{16}S$, $_{17}Cl$ και $_{20}Ca$ το πιο ηλεκτροθετικό στοιχείο είναι το $_{20}Ca$.
ε) Στην κβαντομηχανική εικόνα για το άτομο του υδρογόνου, το ψ^2 εκφράζει την πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο σε στοιχειώδη περιοχή (ΔV) του χώρου γύρω από τον πυρήνα, ενώ το $-e\psi^2$ εκφράζει την κατανομή ή την πυκνότητα του ηλεκτρονιακού νέφους στο χώρο γύρω από τον πυρήνα.

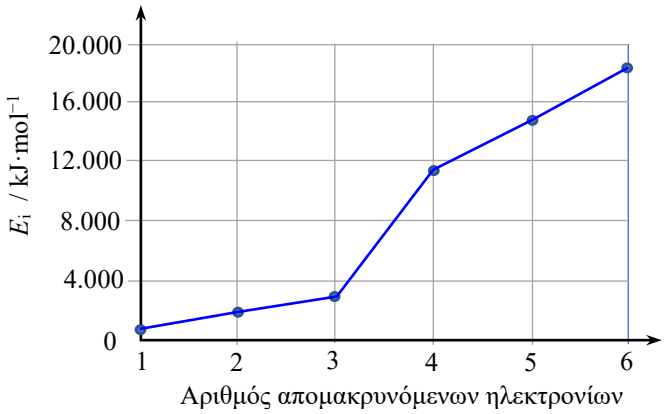
Β2. Το ηλεκτρόνιο ενός ατόμου υδρογόνου, σε διεγερμένη κατάσταση, έχει ενέργεια:

$$E = -\frac{2{,}18 \cdot 10^{-18}}{16} \ (J)$$

α) Σε ποιες υποστιβάδες μπορεί να βρίσκεται το ηλεκτρόνιο αν είναι επίσης γνωστό ότι έχει $m_\ell = 2$; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.
β) Πόσα φωτόνια διαφορετικών ενεργειών μπορούν να παραχθούν κατά την αποδιέγερση ηλεκτρονίων με την παραπάνω ενέργεια (μετάβαση στη θεμελιώδη κατάσταση είτε απευθείας είτε μέσω ενδιάμεσων στιβάδων); Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

Β3. Να θεωρήσετε την 3η περίοδο του Περιοδικού Πίνακα.
α) Πόσα στοιχεία διαθέτει η περίοδος αυτή;
β) Να γράψετε τις ηλεκτρονιακές δομές (σε υποστιβάδες) του αλκαλίου και του αλογόνου της 3ης περιόδου, στη θεμελιώδη κατάσταση.
γ) Ποιος ο ατομικός αριθμός (Z) του στοιχείου της 3ης περιόδου το άτομο του οποίου διαθέτει τα περισσότερα μονήρη ηλεκτρόνια στη θεμελιώδη κατάσταση;
δ) Να προσδιορίσετε τον ατομικό αριθμό (Z) του στοιχείου της 3ης περιόδου με τη μεγαλύτερη ατομική ακτίνα και του στοιχείου με τη μεγαλύτερη τιμή της E_{i1}.
Σε όλες τις περιπτώσεις να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας.

Β4. Στο διάγραμμα που ακολουθεί εμφανίζονται οι πρώτες 6 ενέργειες ιοντισμού του ατόμου ενός στοιχείου της 3ης περιόδου του Περιοδικού Πίνακα.



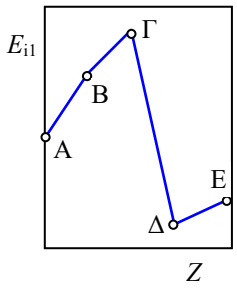
α) Το στοιχείο αυτό:
i. έχει ηλεκτρονιακή δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$ ii. διαθέτει ένα μονήρες ηλεκτρόνιο
iii. διαθέτει 6 ηλεκτρόνια σθένους iv. ανήκει στη 14η (IVA) ομάδα του Περιοδικού Πίνακα
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

Θέμα Γ

Γ1. Ένα άτομο διαθέτει 2 μονήρη ηλεκτρόνια στη στιβάδα Μ στη θεμελιώδη κατάσταση. Να προσδιορίσετε τους δυνατούς ατομικούς του αριθμούς.

Γ2. Ένα ηλεκτρόνιο ενός ατόμου του στοιχείου Χ ανήκει στη στιβάδα σθένους του και χαρακτηρίζεται από τους κβαντικούς αριθμούς: 0, +1/2, 1 και 3 (με τυχαία σειρά).
α) Ποιος κβαντικός αριθμός αντιστοιχεί σε κάθε τιμή;
β) Το άτομο του στοιχείου, στη θεμελιώδη κατάσταση, έχει στη στιβάδα σθένους άλλα τρία ηλεκτρόνια που έχουν την ίδια ενέργεια με το ηλεκτρόνιο που διαθέτει την παραπάνω τετράδα κβαντικών αριθμών.
i. Ποιος είναι ο ατομικός αριθμός του στοιχείου Χ;
ii. Ποιος ο ατομικός αριθμός του σεληνίου (Se) αν ξέρουμε ότι βρίσκεται στον Περιοδικό Πίνακα ακριβώς κάτω από το στοιχείο Χ;
iii. Να συγκρίνετε τις ατομικές ακτίνες του στοιχείου Χ με την ατομική ακτίνα του Se.
Σε όλες τις περιπτώσεις να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας.

Γ3. Οι ενέργειες πρώτου ιοντισμού 5 στοιχείων με διαδοχικούς ατομικούς αριθμούς (Z) εμφανίζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



α) Για τα στοιχεία αυτά, ποια από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι η σωστή;
i. Τα στοιχεία Α, Β, Γ και Δ ανήκουν στην ίδια περίοδο
ii. Τα στοιχεία Α, Β και Γ ανήκουν στην ίδια ομάδα
iii. Από τα 5 αυτά στοιχεία το Δ έχει τη μεγαλύτερη ατομική ακτίνα
iv. Από τα 5 αυτά στοιχεία το Ε έχει τη μεγαλύτερη ατομική ακτίνα
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

Θέμα Δ

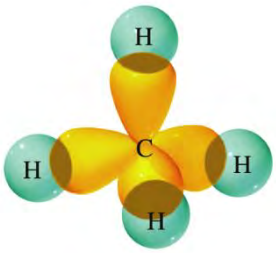
Δ1. Στο απόσπασμα του Περιοδικού Πίνακα που ακολουθεί εμφανίζονται 5 στοιχεία που ανήκουν στις περιόδους 2, 3 και 4 και στις ομάδες 14η (IVA), 15η (VA) και 16η (VIA).

	14	15	16
2η			O
3η			S
4η	Ge	As	Se

α) i. Σε ποιο τομέα του Περιοδικού Πίνακα ανήκουν τα στοιχεία αυτά;
ii. Ποιο ή ποια από τα στοιχεία αυτά διαθέτουν συμπληρωμένη υποστιβάδα τύπου d;
β) i. Να γραφεί η ηλεκτρονιακή δομή της εξωτερικής στιβάδας όλων των παραπάνω στοιχείων.
ii. Ποιο από τα στοιχεία αυτά έχει το μεγαλύτερο αριθμό μονήρων ηλεκτρονίων;
γ) Ποιο από τα στοιχεία αυτά εμφανίζει τη μεγαλύτερη ατομική ακτίνα και ποιο τη μεγαλύτερη ενέργεια ιοντισμού;

δ) Ποιο από τα στοιχεία σχηματίζει με το $_{12}Mg$ ένωση με τον περισσότερο ιοντικό χαρακτήρα; Ποιος ο τύπος της ένωσης αυτής;

Δ2. Το δισθενές κατιόν X^{2+} του ατόμου ενός στοιχείου Χ έχει ηλεκτρονιακή δομή στη θεμελιώδη κατάσταση: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$.
α) Ποιος είναι ο ατομικός αριθμός του στοιχείου Χ; Ποια η θέση του στοιχείου Χ στον Περιοδικό Πίνακα (ομάδα, περίοδος, τομέας);
β) Το μονοσθενές κατιόν Y^+ έχει ηλεκτρονιακή δομή επίσης $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$ στη θεμελιώδη του κατάσταση.
i. Να συγκρίνετε την ιοντική ακτίνα του κατιόντος X^{2+} με την ιοντική ακτίνα του κατιόντος Y^+.
ii. Να συγκρίνετε τις ατομικές ακτίνες των στοιχείων Χ και Υ.
Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας.



6 Θεωρία Δεσμού Σθένους - Υβριδισμός

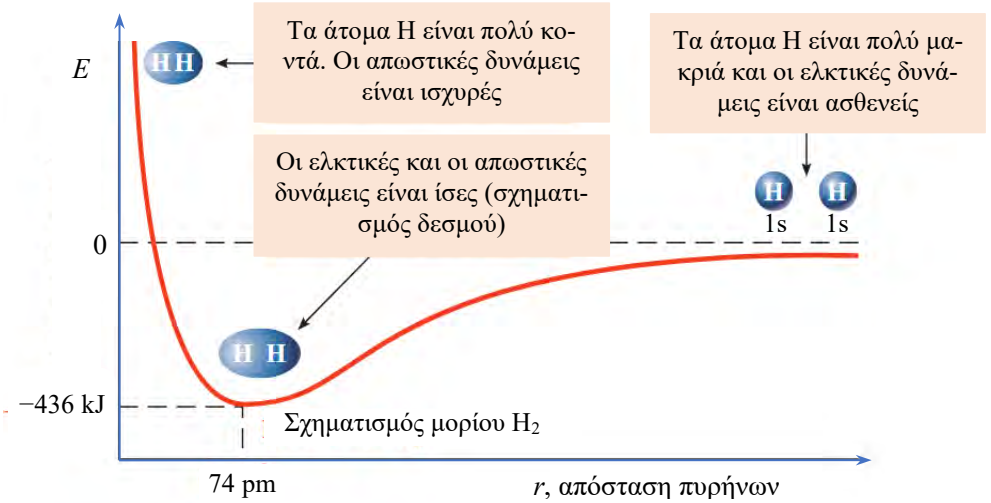
ΘΕΜΑΤΑ ΘΕΩΡΙΑΣ

1. Η Θεωρία Δεσμού Σθένους

Οι χημικοί δεσμοί περιγράφουν τον τρόπο με το οποίο σχηματίζονται οι χημικές ενώσεις. Μία πρώτη περιγραφή των χημικών δεσμών δίνουν οι ηλεκτρονιακοί τύποι κατά Lewis που στηρίζονται στον κανόνα της οκτάδας σύμφωνα με τον οποίο τα άτομα παραχωρούν, προσλαμβάνουν ή συνεισφέρουν ηλεκτρόνια για την απόκτηση σταθερής δομής ευγενούς αερίου. Με βάση τις αρχές της κβαντομηχανικής αναπτύχθηκαν δύο μοντέλα για την περιγραφή των χημικών δεσμών, η θεωρία δεσμού σθένους και η θεωρία των μοριακών τροχιακών. Εδώ θα εστιαστούμε στη θεωρία δεσμού σθένους.

Η Θεωρία Δεσμού Σθένους (valence bond theory) προτάθηκε από τους Heitler και London για την εξήγηση του χημικού δεσμού με βάση την κβαντομηχανική. Η θεωρία αυτή αναπτύχθηκε περισσότερο από τους Pauling και Slater.

Ας φανταστούμε δύο άτομα Η να πλησιάζουν μεταξύ τους με σκοπό το σχηματισμό ενός μορίου H_2. Τα άτομα αυτά διαθέτουν από ένα ηλεκτρόνιο σε τροχιακό 1s. Με τη συνεχή προσέγγιση των δύο ατόμων Η τα 1s τροχιακά αρχίζουν να αλληλεπικαλύπτονται με αποτέλεσμα τη σταθεροποίηση του συστήματος, τη μείωση δηλαδή της ενέργειάς του. Όλα αυτά μέχρι τα δύο άτομα να πλησιάσουν σε μία ορισμένη απόσταση μεταξύ τους, οπότε περαιτέρω μείωση της απόστασης οδηγεί σε απότομη αποσταθεροποίηση (αύξηση της ενέργειας) του συστήματος, καθώς η άπωση μεταξύ των δύο πυρήνων αυξάνεται απότομα και υπερνικά τις ελκτικές δυνάμεις μεταξύ πυρήνων και ηλεκτρονίων:



Σχήμα 1. *Η ενέργεια του συστήματος δύο ατόμων υδρογόνου ως συνάρτηση της απόστασης (r) των πυρήνων τους.*

Το μήκος του δεσμού Η–Η είναι 0,74 Å ή 74 pm.

Η απόσταση μεταξύ των δύο πυρήνων των ατόμων που αντιστοιχεί στην ελάχιστη ενέργεια του συστήματος ονομάζεται **μήκος δεσμού**.

Γενικά, σύμφωνα με τη θεωρία δεσμού σθένους, ο σχηματισμός ομοιοπολικού δεσμού ανάμεσα σε δύο άτομα προϋποθέτει την επικάλυψη δύο ατομικών τροχιακών της στιβάδας σθένους των ατόμων που το καθένα περιέχει μονήρες ηλεκτρόνιο με αντίθετα spin.

Με την επικάλυψη αυτή σχηματίζεται ένα κοινό ζεύγος ηλεκτρονίων με αντιπαράλληλα spin. Η έλξη του ζεύγους αυτού από τους δύο πυρήνες υπερνικά τις απωστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται παράλληλα μεταξύ των πυρήνων και μεταξύ των ηλεκτρονίων, οπότε τα άτομα συγκρατούνται ενωμένα μεταξύ τους με το λεγόμενο ομοιοπολικό δεσμό.

Η θεωρία του δεσμού σθένους είναι μία κβαντομηχανική περιγραφή της κατανομής των ηλεκτρονίων στους χημικούς δεσμούς.

Η ισχύς του (ομοιοπολικού) δεσμού αυξάνεται με την αύξηση του βαθμού επικάλυψης των ατομικών τροχιακών των δύο ατόμων που συνδέονται.

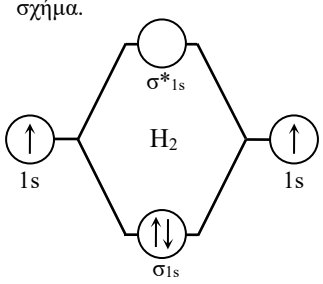
2. Η θεωρία των μοριακών τροχιακών

Η θεωρία των μοριακών τροχιακών ξεκινά με την παραδοχή ότι τα ηλεκτρόνια ενός μορίου δεν εντοπίζονται στην περιοχή γύρω από ένα πυρήνα, αλλά είναι αποκεντρωμένα και μπορούν να βρίσκονται σε όλα τα σημεία του χώρου γύρω από τους πυρήνες των ατόμων που συνδέονται, με διαφορετική πιθανότητα.

Τα ηλεκτρόνια που αντιστοιχούν στους δεσμούς δεν βρίσκονται πλέον σε ατομικά τροχιακά που ανήκουν στα άτομα αλλά σε μοριακά τροχιακά, που επεκτείνονται σε όλο το μόριο.

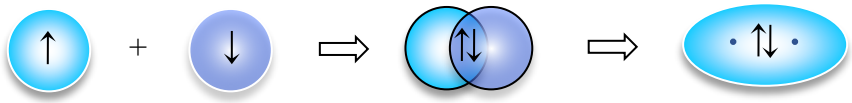
Όπως και τα ατομικά τροχιακά, τα μοριακά τροχιακά αντιστοιχούν σε συναρτήσεις που συσχετίζονται με την πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου σε στοιχειώδη περιοχή του χώρου, διαθέτουν δε πολλά από τα χαρακτηριστικά των ατομικών τροχιακών. Τα μοριακά τροχιακά καταλαμβάνουν συγκεκριμένες ενεργειακές στάθμες, οπτικοποιούνται δε με επιφάνειες, που περικλείουν μεγάλη πιθανότητα εύρεσης των ηλεκτρονίων του δεσμού.

Τα μοριακά τροχιακά προκύπτουν με συνδυασμό δύο ατομικών τροχιακών των ατόμων που συνδέονται. Προκύπτουν έτσι ισάριθμα μοριακά τροχιακά, ένα δεσμικό (σχετικά χαμηλής ενέργειας) και ένα αντιδεσμικό (σχετικά υψηλής ενέργειας), που το καθένα συμπληρώνεται με δύο το πολύ ηλεκτρόνια, όπως και στα ατομικά τροχιακά. Έτσι, π.χ. με συνδυασμό δύο 1s ατομικών τροχιακών δύο ατόμων Η (που διαθέτουν από ένα ηλεκτρόνιο) προκύπτουν δύο μοριακά τροχιακά για το μόριο του H_2, ένα δεσμικό (πλήρες) και ένα αντιδεσμικό (κενό), όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



3. Δεσμοί σ (σίγμα)

Σύμφωνα με τη θεωρία δεσμού σθένους, περιγράψαμε τον απλό ομοιοπολικό δεσμό στο μόριο του H_2 με την επικάλυψη δύο 1s ατομικών τροχιακών. Η επικάλυψη αυτή οδηγεί στο σχηματισμό ηλεκτρονιακού νέφους, με κυλινδρική συμμετρία, που περιβάλλει και τους δύο πυρήνες. Ο δεσμός που σχηματίζεται κατά τον τρόπο αυτό χαρακτηρίζεται ως σ δεσμός:



Γενικότερα, ένας δεσμός τύπου σ προκύπτει με αξονική επικάλυψη μεταξύ ατομικών τροχιακών s - s, s - p και p - p, ώστε να εξασφαλιστεί η μεγαλύτερη δυνατή επικάλυψη:



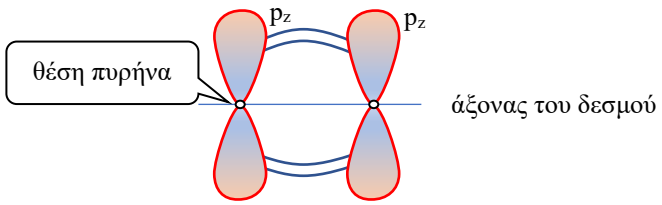
Χαρακτηριστικό των σ δεσμών είναι το ότι η επικάλυψη των τροχιακών είναι αξονική, δηλαδή οι άξονες συμμετρίας των τροχιακών ταυτίζονται με τον άξονα που ορίζει ο σχηματιζόμενος δεσμός.

Στους σ δεσμούς παρουσιάζεται μέγιστη ηλεκτρονιακή πυκνότητα στο χώρο μεταξύ των πυρήνων των ατόμων που συνδέονται.

Επειδή τα s τροχιακά παρουσιάζουν σφαιρική συμμετρία μπορούν να σχηματίσουν όταν συνδυαστούν μόνο σ δεσμούς και όχι π δεσμούς που θα εξεταστούν στη συνέχεια.

4. Δεσμοί π (πι)

Υπάρχει, όμως, και ένας άλλος τρόπος επικάλυψης των p ατομικών τροχιακών: πλευρικά. Η επικάλυψη αυτή είναι μειωμένη σε σχέση με την αξονική και σχηματίζεται όταν οι άξονες των p τροχιακών είναι παράλληλοι:



Ο δεσμός που σχηματίζεται με πλευρική (παράλληλη) επικάλυψη δύο p τροχιακών λέγεται π δεσμός και εμφανίζει μέγιστη ηλεκτρονιακή πυκνότητα πάνω και κάτω από τον άξονα του δεσμού, ενώ ο άξονας που συνδέει τους δύο πυρήνες των ατόμων βρίσκεται σε επιφάνεια με μηδενική πιθανότητα παρουσίας του ηλεκτρονίου (κομβική επιφάνεια).

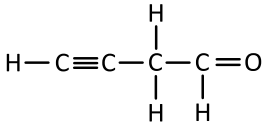
Κατά το σχηματισμού ενός σ δεσμού ή ενός π δεσμού το σύστημα σταθεροποιείται ενεργειακά. Όμως, κατά τον σχηματισμό του π δεσμού η επικάλυψη είναι μικρότερη και επομένως ο π δεσμός είναι ασθενέστερος από τον σ δεσμό.

Όλοι οι απλοί δεσμοί είναι πάντα σ δεσμοί. Ο διπλός ομοιοπολικός δεσμός αποτελείται από ένα σ δεσμό και ένα π δεσμό, ενώ στην περίπτωση τριπλού ομοιοπολικού δεσμού, ο ένας είναι σ δεσμός και οι άλλοι δύο είναι π δεσμοί. Με άλλα λόγια, μεταξύ δύο ατόμων δεν υπάρχει π δεσμός χωρίς την ύπαρξη και σ δεσμού.

Ο π δεσμός είναι μεν ασθενέστερος από τον σ δεσμό (λόγω μικρότερης επικάλυψης), όμως συνολικά ο διπλός δεσμός είναι ισχυρότερος από τον απλό δεσμό, ενώ ο τριπλός δεσμός είναι ισχυρότερος και από τους δύο. Και αυτό γιατί ο διπλός δεσμός απαιτεί τη διάσπαση και του σ δεσμού και του π δεσμού, ενώ στην περίπτωση του τριπλού δεσμού απαιτείται η διάσπαση δύο π δεσμών και ενός σ δεσμού.

5. Μεθοδολογία: Εύρεση του αριθμού των σ και π δεσμών από το μοριακό τύπο

Ο αριθμός των σ και των π δεσμών ενός οργανικού μορίου προκύπτει από το συντακτικό της ένωσης, θεωρώντας ότι οι απλοί δεσμοί είναι σ, οι διπλοί αποτελούνται από έναν σ και έναν π δεσμό, ενώ οι τριπλοί δεσμοί από έναν σ και δύο π δεσμούς. Για παράδειγμα, η 3-βουτινάλη έχει 8 σ και 3 π δεσμούς:



Στην περίπτωση άκυκλης ένωσης για την οποία είναι γνωστός μόνο ο μοριακός της τύπος, μπορούμε να ακολουθήσουμε την παρακάτω μεθοδολογία.

α) Πολλαπλασιάζουμε τον αριθμό των ατόμων C επί 4, τον αριθμό των ατόμων H επί 1, τον αριθμό των ατόμων O επί 2 και τον αριθμό των ατόμων N επί 3. Διαιρώντας το άθροισμα με το 2 προκύπτουν οι συνολικοί δεσμοί σ και π της ένωσης.

β) Για τον αριθμό των σ δεσμών προσθέτουμε όλα τα άτομα της ένωσης και αφαιρούμε 1. Οι π δεσμοί προκύπτουν με αφαίρεση των σ δεσμών από τους συνολικούς.
Π.χ. για ένωση με μοριακό τύπο C_4H_4O έχουμε:

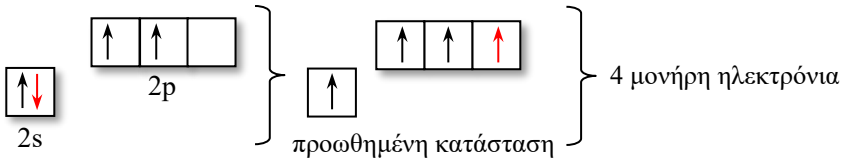
$(4\cdot4 + 1\cdot4 + 2\cdot1)/2 = 11$ συνολικά δεσμοί
$(4 + 4 + 1) - 1 = 8$ σ δεσμοί
$11 - 8 = 3$ π δεσμοί

6. Υβριδισμός γενικά - Υβριδισμός sp^3: Τετραεδρική γεωμετρία

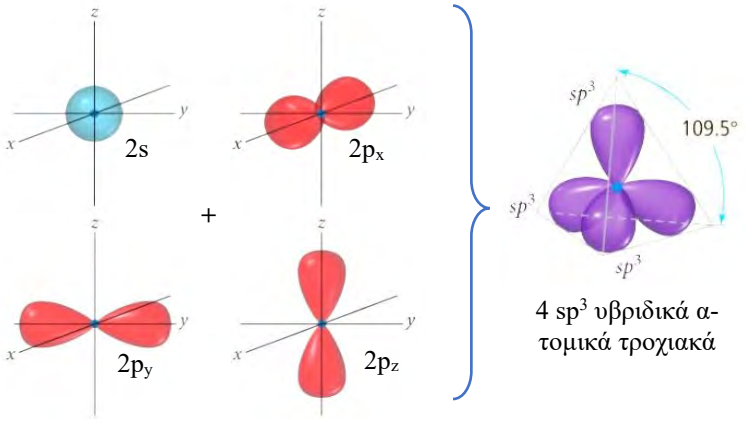
Για την εξήγηση των ομοιοπολικών δεσμών που δεν μπορούν να ερμηνευτούν με απλή επικάλυψη ατομικών τροχιακών προτάθηκε το 1931 από τον «μεγάλο» Linus Pauling η θεωρία του υβριδισμού. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, ατομικά τροχιακά διαφορετικού τύπου αλλά παραπλήσιας ενέργειας συνδυάζονται προς δημιουργία νέων ισάριθμων (υβριδικών) τροχιακών ισοδύναμων μεταξύ τους ως προς την ενέργεια και το σχήμα.

Υβριδισμός είναι ο γραμμικός συνδυασμός (πρόσθεση ή αφαίρεση) ατομικών τροχιακών (διαφορετικού τύπου) προς δημιουργία νέων ισότιμων ατομικών (υβριδικών) τροχιακών.

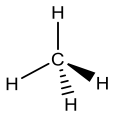
Φαίνεται λίγο περίπλοκο και έτσι θα θεωρήσουμε ως παράδειγμα το μόριο του CH_4. Στην περίπτωση αυτή, στο άτομο του C δημιουργείται αρχικά μία προωθημένη κατάσταση με μετάβαση ενός εκ των δύο ηλεκτρόνιων 2s στο κενό τροχιακό 2p (δομή $2s^1\ 2p_x^1\ 2p_y^1\ 2p_z^1$):



Η ενέργεια που απαιτείται για την διέγερση του ατόμου του C αντισταθμίζεται κατά τον σχηματισμό των χημικών δεσμών. Στη συνέχεια τα τέσσερα ατομικά τροχιακά του C (ένα s και τρία p) συνδυάζονται δημιουργώντας τέσσερα ισότιμα ατομικά τροχιακά, που το καθένα περιέχει ένα μονήρες ηλεκτρόνιο, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 2. *Σχηματισμός των sp^3 υβριδικών τροχιακών.*

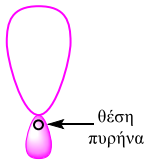


Ξέρουμε ήδη, ότι το μόριο του μεθανίου (CH_4) είναι τετραεδρικό και το άτομο του C, που βρίσκεται στο κέντρο ενός κανονικού τετραέδρου, ενώνεται με τα τέσσερα άτομα H, που βρίσκονται στις κορυφές του, με αντίστοιχους απλούς ομοιοπολικούς δεσμούς. Το άτομο, όμως, του C έχει δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$. Πώς μπορεί να ερμηνευτεί το γεγονός ότι οι τέσσερις δεσμοί C–H είναι ισότιμοι μεταξύ τους (π.χ. έχουν την ίδια ακριβώς απόσταση και την ίδια ακριβώς γεωμετρία);

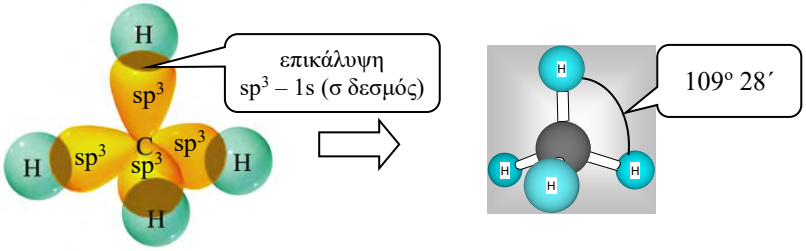
Στον υβριδισμό η ενέργεια που απαιτείται για την προώθηση του ηλεκτρονίου από τροχιακό 2s σε τροχιακό 2p «αποζημιώνεται» με την ενέργεια που ελευθερώνεται κατά το σχηματισμό των δεσμών.

Τα τέσσερα αυτά ατομικά υβριδικά τροχιακά του C χαρακτηρίζονται ως sp^3 και έχουν όμοιο σχήμα, την ίδια ενέργεια και τετραεδρική διάταξη ώστε να προκύπτει η μέγιστη δυνατή απόσταση μεταξύ των 4 μονήρων ηλεκτρονίων.

Στην πραγματικότητα ένα sp^3 υβριδικό τροχιακό (αλλά και τα sp^2 και sp που θα δούμε στη συνέχεια) δεν αποτελούνται από ένα λοβό αλλά από δύο, ένα μεγαλύτερο και ένα μικρότερο, αντιδιαμετρικά. Μάλιστα σε αντίθεση με τα αμιγή p τροχιακά στα οποία ο πυρήνας βρίσκεται στην κομβική επιφάνεια, στα υβριδικά τροχιακά ο πυρήνας βρίσκεται στο μικρότερο λοβό.



Οι τέσσερις δεσμοί C–H στο CH_4 εξηγούνται με την επικάλυψη καθενός sp^3 υβριδικού τροχιακού του C με ένα τροχιακό 1s του H. Το σχήμα που προκύπτει είναι πάλι τετραεδρικό. Έτσι, το άτομο C σχηματίζει τέσσερις ισότιμους σ δεσμούς:



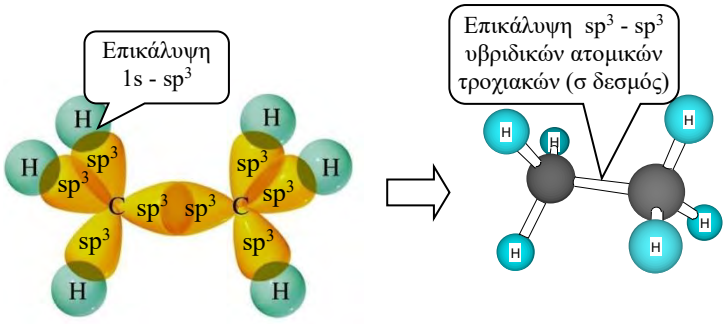
Σχήμα 3. *Επικαλύψεις sp^3 - s στο μόριο του CH_4.*

Ο υβριδισμός δεν είναι ένα «φαινόμενο» που παθαίνει ο C όταν ενώνεται, αλλά μια μαθηματική επεξεργασία που γίνεται στις κυματοσυναρτήσεις για να εξηγηθεί εκ των υστέρων η συμπεριφορά του ατόμου του C (ή και άλλων στοιχείων) όταν σχηματίζει ενώσεις.

Καθώς η επικάλυψη με τη συμμετοχή υβριδικών τροχιακών γίνεται μέσω του μεγαλύτερου λοβού τους, ο βαθμός επικάλυψης των υβριδικών τροχιακών με τα ατομικά τροχιακά ενός άλλου ατόμου είναι μεγαλύτερος και αυτό οδηγεί σε ισχυρότερους δεσμούς.

Στο μόριο του CH_3CH_3 η κατάσταση είναι ανάλογη με αυτή στο CH_4. Καθένα από τα δύο άτομα C διαθέτει τέσσερα υβριδικά ατομικά τροχιακά sp^3. Ο σ δεσμός C–C δημιουργείται με επικάλυψη sp^3 - sp^3, ενώ οι σ δεσμοί C–H δημιουργούνται με επικάλυψη sp^3 - 1s. Κάθε άτομο C ενώνεται τετραεδρικά με ένα άλλο άτομο C και τρία άτομα H:

Το σημαντικό στην περίπτωση του απλού δεσμού $CH_3–CH_3$ είναι ότι επιτρέπεται η περιστροφή των δύο $–CH_3$ γύρω από τον άξονα του δεσμού C–C, διατηρώντας το δεσμό, αλλά αλλάζοντας τις σχετικές θέσεις των δεσμών C–H.
Κατά την περιστροφή αυτή ο σ δεσμός μένει ανεπηρέαστος, καθώς η επικάλυψη μεταξύ των τροχιακών των δύο ατόμων C δεν μεταβάλλεται.

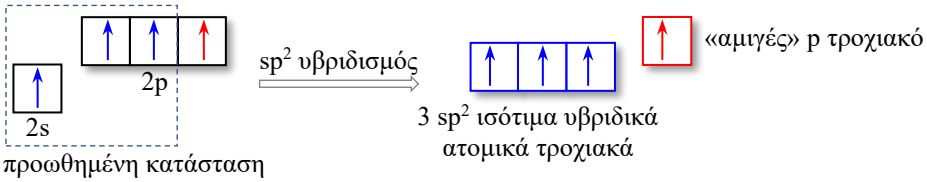


Σχήμα 4. *Οι επικαλύψεις υβριδικών τροχιακών στο μόριο του CH_3CH_3.*

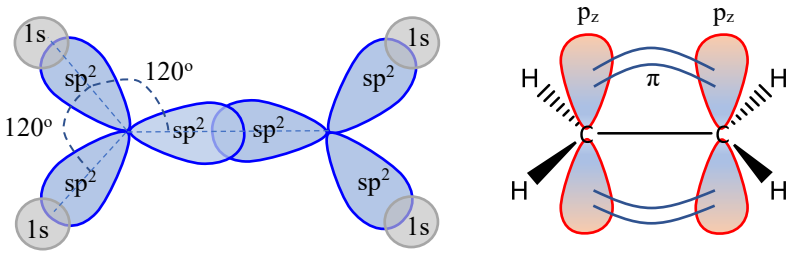
7. Υβριδισμός sp^2: Επίπεδη τριγωνική γεωμετρία

Ας χρησιμοποιήσουμε ως παράδειγμα το μόριο του αιθενίου ($CH_2=CH_2$). Πώς εξηγεί η θεωρία του υβριδισμού τη γεωμετρία και το είδος των δεσμών στην ένωση αυτή;

Όπως και στον υβριδισμό sp^3, αρχικά στη στιβάδα σθένους του C δημιουργείται η προωθημένη κατάσταση $1s^2\ 2s^1\ 2p^3$. Όμως, ο π δεσμός εξηγείται με πλευρική επικάλυψη «αμιγών» p τροχιακών που πρέπει να μείνουν έξω από τη διαδικασία του υβριδισμού. Στο μαθηματικό «μίξερ» επομένως του υβριδισμού μπαίνουν το ένα s και δύο από τα τρία p τροχιακά, δημιουργώντας τρία όμοια υβριδικά ατομικά τροχιακά του C, που χαρακτηρίζονται ως sp^2. Τα sp^2 τροχιακά εμφανίζουν επίπεδη τριγωνική γεωμετρία, ενώ το «αμιγές» p τροχιακό είναι κάθετο στο επίπεδο των τριών υβριδικών τροχιακών sp^2.



Οι σ δεσμοί C–H σχηματίζονται με επικάλυψη του τύπου sp^2 - 1s, ενώ ο σ δεσμός C–C με επικάλυψη sp^2 - sp^2. Ο π δεσμός σχηματίζεται με πλευρική (παράλληλη) επικάλυψη των δύο p ατομικών τροχιακών του άνθρακα, που είχαν μείνει έξω από το «παιχνίδι» του υβριδισμού:

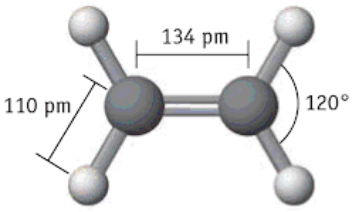


Σχήμα 5. *Ο σχηματισμός των σ δεσμών και του π δεσμού στο μόριο του $CH_2=CH_2$.*

Χαρακτηριστικό είναι το ότι τα έξι άτομα που απαρτίζουν το μόριο του αιθενίου βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο και ότι όλες οι γωνίες δεσμών είναι περίπου 120° (δες το διπλανό σχήμα).

Σε αντίθεση με ότι συμβαίνει στο αιθάνιο (ελεύθερη περιστροφή γύρω από το δεσμό C–C), η περιστροφή γύρω από το διπλό δεσμό C=C δεν είναι εφικτή, καθώς θα είχε ως αποτέλεσμα τη μειωμένη επικάλυψη των 2p τροχιακών των δύο ατόμων C και τελικά τη διάσπαση του π δεσμού.

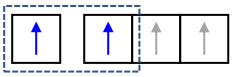
Ο π δεσμός είναι ασθενέστερος σε σχέση με τον σ δεσμό και αυτό εξηγεί πολλές ιδιότητες των αλκενίων, π.χ. τις αντιδράσεις προσθήκης.



8. Υβριδισμός sp: Γραμμική γεωμετρία

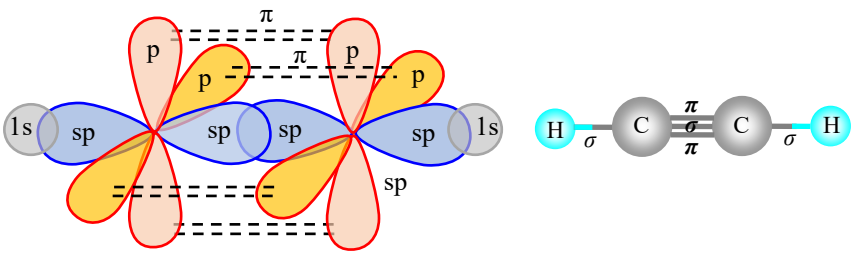
Ας δούμε πώς εξηγούνται με τη θεωρία του υβριδισμού οι δεσμοί στο αιθίνιο (CH≡CH). Αρχικά επέρχεται πάλι η προωθημένη κατάσταση $2s^1\ 2p^3$. Οι π δεσμοί εξηγούνται με πλευρική επικάλυψη «αμιγών» p τροχιακών που για το λόγο αυτό μένουν έξω από τον υβριδισμό. Στο «μίξερ» επομένως του υβριδισμού μπαίνουν δύο ατομικά τροχιακά του C, ένα s και ένα p, δημιουργώντας δύο ισότιμα υβριδικά ατομικά τροχιακά που χαρακτηρίζονται ως sp. Τα τροχιακά αυτά εμφανίζουν ευθύγραμμη γεωμετρία ενώ τα δύο «αμιγή» p τροχιακά είναι κάθετα στον άξονα του δεσμού και κάθετα μεταξύ τους.

Προωθημένη κατάσταση:



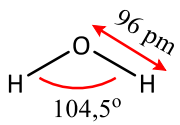
2 ισότιμα sp υβριδικά ατομικά τροχιακά.

Οι δεσμοί C–H σχηματίζονται με επικάλυψη sp - 1s, ενώ ο σ δεσμός C–C με επικάλυψη sp - sp. Τέλος, οι δύο π δεσμοί εξηγούνται με πλευρική (παράλληλη) επικάλυψη των ατομικών τροχιακών του C, που είχαν μείνει έξω από το «παιχνίδι» του υβριδισμού:



Σχήμα 6. *Ο τριπλός δεσμός στο ακετυλένιο (αιθίνιο) αποτελείται από ένα σ δεσμό και δύο π δεσμούς. Οι δύο δεσμοί C–H είναι σ.*

Πειραματικά μπορούμε να συμπεράνουμε την ύπαρξη του διπλού ή του τριπλού δεσμού C–C από το μήκος του δεσμού. Έτσι, το μήκος του δεσμού C–C στο $CH_2=CH_2$ είναι 134 pm, ενώ το αντίστοιχο μήκος στην περίπτωση του CH_3CH_3 είναι σημαντικά μεγαλύτερο (154 pm). Τέλος, ο δεσμός C–C στην περίπτωση του CH≡CH έχει το μικρότερο μήκος (120 pm).



Εκτός από τον υβριδισμό μεταξύ s και p ατομικών τροχιακών υπάρχει η δυνατότητα συμμετοχής και d ατομικών τροχιακών. Έτσι, π.χ. με το συνδυασμό ενός d, ενός s και δύο p ατομικών τροχιακών προκύπτουν 4 υβριδικά τροχιακά dsp^2.

Η θεώρηση του υβριδισμού sp εξηγεί τους δεσμούς και σε κάποιες ανόργανες ενώσεις (δες λυμένα παραδείγματα) με βάση και τη θεωρία δεσμού σθένους.

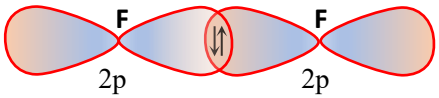
Η θεωρία του υβριδισμού μπορεί να εφαρμοστεί και σε άλλα άτομα, π.χ. άτομα O, άτομα N κτλ. Έτσι, στο H_2O το άτομο O εμφανίζει υβριδισμό sp^3 και αυτό δικαιολογεί το γεγονός ότι η γωνία H–O–H είναι περίπου 105°, κοντά στη γωνία 109,5° που αντιστοιχεί στην τετραεδρική γεωμετρία. Όλα αυτά, όμως, είναι έξω από τα πλαίσια αυτού του βιβλίου.

Παραδείγματα ερωτήσεων και ασκήσεων

1. Να εξηγηθούν οι δεσμοί στα μόρια που ακολουθούν, με βάση τη θεωρία του δεσμού σθένους: α) F_2**, β)** HF**, γ)** O_2 **και δ)** N_2**.**
Ατομικοί αριθμοί, F:9, H:1, O:8, N:7.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

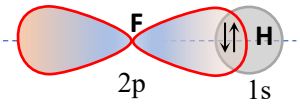
α) Το $_9F$ έχει δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^5$ με ένα μονήρες ηλεκτρόνιο σε p τροχιακό. Δύο τέτοια ατομικά τροχιακά που ανήκουν σε δύο άτομα F επικαλύπτονται αξονικά σχηματίζοντας έναν απλό ομοιοπολικό δεσμό F–F τύπου σ:



επικάλυψη p - p: σ δεσμός

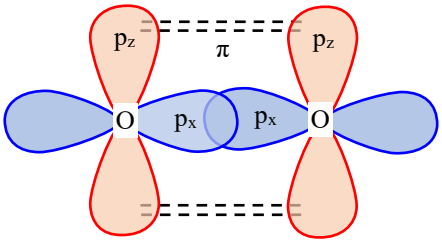
Σημείωση: Η επικάλυψη θα πρέπει να είναι υποχρεωτικά αξονική γιατί δεν μπορεί να γίνει π δεσμός χωρίς να υπάρχει σ δεσμός.

β) Το άτομο του F διαθέτει ένα ημισυμπληρωμένο ατομικό τροχιακό 2p, ενώ το άτομο του H ένα ημισυμπληρωμένο ατομικό τροχιακό 1s. Η (αξονική) επικάλυψη των δύο αυτών τροχικών εξηγεί το σ δεσμό H–F:



επικάλυψη s - p: σ δεσμός

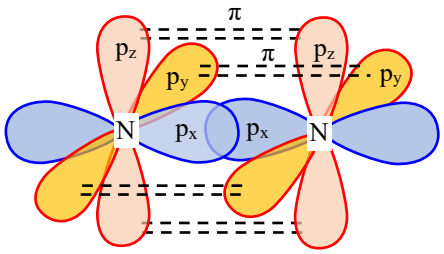
γ) Το άτομο του $_8O$ έχει ηλεκτρονιακή δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$, διαθέτει επομένως δύο μονήρη ηλεκτρόνια σε τροχιακά τύπου p. Τα ημισυμπληρωμένα τροχιακά τύπου p είναι όπως γνωρίζουμε κάθετα μεταξύ τους και μπορούν να επικαλυφθούν αξονικά σχηματίζοντας το σ δεσμό και πλευρικά σχηματίζοντας τον π δεσμό. Τελικά σχηματίζεται ένας διπλός ομοιοπολικός δεσμός (O=O) που αποτελείται από ένα σ δεσμό και έναν π δεσμό:



δύο επικαλύψεις, μία αξονική (σ δεσμός) και μία πλευρική (π δεσμός)

δ) Το άτομο του $_7N$ έχει δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^3$ και διαθέτει επομένως τρία μονήρη ηλεκτρόνια σε p τροχιακά τα οποία είναι ανά δύο κάθετα μεταξύ τους.

Ένα από τροχιακά αυτά μπορεί να επικαλυφθεί αξονικά με ένα τροχιακό p του άλλου ατόμου N σχηματίζοντας το σ δεσμό μεταξύ των δύο ατόμων N. Τα δύο άλλα τροχιακά επικαλύπτονται πλευρικά σχηματίζοντας δύο π δεσμούς. Τελικά σχηματίζεται ένας τριπλός δεσμός (N≡N) που αποτελείται από ένα σ και δύο π δεσμούς:



2. Να αναφέρετε τρεις διαφορές μεταξύ των υβριδικών τροχιακών και των ατομικών τροχιακών από τα οποία προέκυψαν. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Τα υβριδικά τροχιακά αποτελούν γραμμικό συνδυασμό των ατομικών τροχιακών από τα οποία προέκυψαν, ενώ τα ατομικά τροχιακά προκύπτουν από τη λύση της εξίσωσης του Schrödinger για το άτομο του H και προσεγγιστικά στην περίπτωση των πολυηλεκτρονιακών ατόμων.

β) Τα υβριδικά τροχιακά έχουν την ίδια ενέργεια ενώ τα ατομικά τροχιακά από τα οποία προήλθαν έχουν διαφορετικές ενέργειες μεταξύ τους.

γ) Τα υβριδικά τροχιακά, π.χ. τα τέσσερα sp^3 υβριδικά τροχιακά, έχουν όλα το ίδιο σχήμα ενώ τα ατομικά τροχιακά s και p από τα οποία προέκυψαν έχουν διαφορετικά σχήματα.

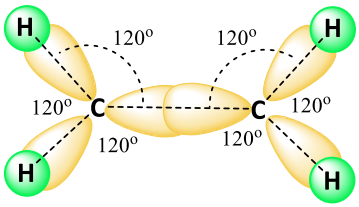
3. Ποιος θα ήταν ο μοριακός τύπος της ένωσης μεταξύ ενός ατόμου $_6$C και ατόμων $_1$H, με βάση την ηλεκτρονιακή τους δομή, στη θεμελιώδη κατάσταση; Να εξηγήσετε γιατί διαφέρει αυτός ο μοριακός τύπος από το μοριακό τύπο της αντίστοιχης ένωσης που απαντάται στη φύση. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Από τις ηλεκτρονιακές δομές των ατόμων των δύο στοιχείων, $_6$C: $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$ και $_1$H: $1s^1$, βλέπουμε ότι ο C διαθέτει δύο μονήρη ηλεκτρόνια σε p τροχιακά και κατά συνέπεια θα σχημάτιζε δύο σ ομοιοπολικούς δεσμούς με δύο άτομα H με επικάλυψη s - p (σύμφωνα με τη θεωρία δεσμού σθένους). Θα έπρεπε, επομένως, να προκύπτει ένωση του τύπου CH_2. Στην πραγματικότητα, ο C σχηματίζει με το H ένωση του τύπου CH_4 καθώς μετά την προωθημένη κατάσταση ($_6$C: $1s^2\ 2s^1\ 2p^3$) συνδυάζονται ένα s και τρία p τροχιακά και προκύπτουν 4 sp^3 υβριδικά ατομικά τροχιακά του C με τετραεδρική διάταξη. Τα τέσσερα αυτά υβριδικά τροχιακά επικαλύπτονται με τα 1s τροχιακά τεσσάρων ατόμων H με αποτέλεσμα το σχηματισμό 4 σ δεσμών με επικαλύψεις sp^3 - s.

4. Στο διπλανό σχήμα εμφανίζονται οι επικαλύψεις των υβριδικών τροχιακών των ατόμων C ($Z = 6$) **με άτομα** C **ή με άτομα** H ($Z = 1$) **που εξηγούν κάποιους δεσμούς στο επίπεδο μόριο ενός υδρογονάνθρακα.**

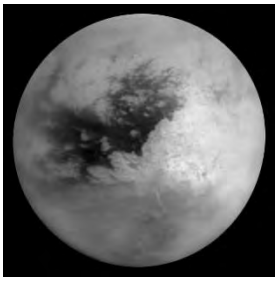
α) Ποια από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι η σωστή;



1. Όλες οι επικαλύψεις που εμφανίζονται στο σχήμα οδηγούν στο σχηματισμό σ δεσμών.
2. Στο μόριο του υδρογονάνθρακα δεν υπάρχει π δεσμός.
3. Ο συνολικός αριθμός των σ δεσμών στην ένωση είναι τέσσερις.
4. Τα δύο άτομα C εμφανίζουν υβριδισμό sp^3**.**
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

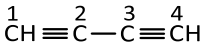
ΑΠΑΝΤΗΣΗ
α) Σωστή επιλογή η 1.

β) Για να είναι επίπεδο το μόριο του υδρογονάνθρακα θα πρέπει τα δύο άτομα άνθρακα να εμφανίζουν υβριδισμό sp^2 (επίπεδη τριγωνική γεωμετρία, γωνίες μεταξύ υβριδικών τροχιακών 120°). Κάθε άτομο άνθρακα διαθέτει τρία sp^2 υβριδικά τροχιακά με τα οποία εξηγεί τους σ δεσμούς που σχηματίζει: έναν σ δεσμό C − C και δύο σ δεσμούς C − H. Συνολικά σχηματίζονται 5 σ δεσμοί, 4 σ δεσμοί C – H και ένας σ δεσμός C − C. Παράλληλα, μεταξύ των ατόμων άνθρακα σχηματίζεται και ένας π δεσμός με πλευρική επικάλυψη p – p ατομικών τροχιακών.



Στην ατμόσφαιρα του Τιτάνα κυριαρχεί το άζωτο καθώς και υδρογονάνθρακες που του δίνουν μια θολή πορτοκαλί απόχρωση.

5. Το διακετυλένιο ή 1,3-βουταδιίνιο είναι αέριος, εύφλεκτος υδρογονάνθρακας που ανιχνεύθηκε στην ατμόσφαιρα του Τιτάνα, τον μεγαλύτερο από τους δορυφόρους του πλανήτη Κρόνου. Το μόριό του έχει τύπο:



α) Πόσους σ και πόσους π δεσμούς διαθέτει το μόριο αυτό;
β) Τι είδους υβριδισμό παρουσιάζουν τα τέσσερα άτομα άνθρακα στο μόριο του υδρογονάνθρακα; Τι είδους επικάλυψη εξηγεί τον απλό δεσμό C(2)−C(3) **και τι είδους επικάλυψη τους δύο δεσμούς** C−H**;**
γ) Να προβλέψετε τη γεωμετρία του μορίου.

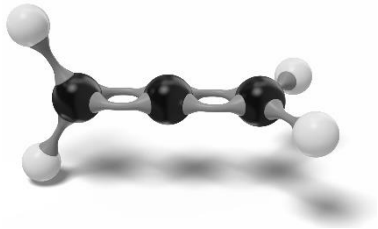
ΑΠΑΝΤΗΣΗ
α) Κάθε τριπλός δεσμός αποτελείται από ένα σ και δύο π δεσμούς. Επομένως, το μόριο εμφανίζει συνολικά 5 σ και 4 π δεσμούς.

β) Όλα τα άτομα C συμμετέχουν σε τριπλό δεσμό και επομένως εμφανίζουν όλα sp υβριδισμό. Επομένως, ο σ δεσμός μεταξύ των ατόμων C(2) και C(3) εξηγείται με επικάλυψη sp – sp ενώ οι δύο δεσμού C − H με επικάλυψη sp - s.

γ) Ο υβριδισμός sp παρουσιάζει γραμμική γεωμετρία και αφού όλα τα άτομα C έχουν sp υβριδισμό το μόριο θα είναι γραμμικό (όλα τα άτομα C και τα δύο άτομα H θα είναι σε μία ευθεία):



6. Θεωρούμε το μόριο του προπαδιενίου, $CH_2=C=CH_2$**.**



α) Στο μόριο αυτό το κεντρικό άτομο άνθρακα εμφανίζει υβριδισμό:

1. sp **2.** sp^2 **3.** sp^3 **4.** sp^3d

Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

β) Τι είδους επικαλύψεις εξηγούν τους σ δεσμούς που σχηματίζει το μεσαίο άτομο C **με τα δύο ακραία άτομα** C**;**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Επιλογή 1. Στο προπαδιένιο τα δύο ακραία άτομα C σχηματίζουν από ένα π δεσμό και τρεις σ δεσμούς. Διαθέτουν επομένως υβριδισμό sp^2. Από την άλλη μεριά το κεντρικό άτομο C είναι το μοναδικό που σχηματίζει 2 π δεσμούς και δύο σ δεσμούς με τα άλλα δύο άτομα C. Διαθέτει επομένως υβριδισμό sp.

β) Με βάση τα προηγούμενα προκύπτει ότι οι σ δεσμοί μεταξύ του κεντρικού ατόμου C και των δύο ακραίων σχηματίζονται με επικαλύψεις sp^2 - sp.

7. Το βινυλακετυλένιο έχει συντακτικό τύπο: $CH_2=CH-C\equiv CH$.

α) Στο μόριο της ένωσης αυτής, τι από τα παρακάτω ισχύει;

1. Όλα τα άτομα C **της ένωσης είναι στην ίδια ευθεία**

2. Όλα τα άτομα C **της ένωσης ανήκουν στο ίδιο επίπεδο**

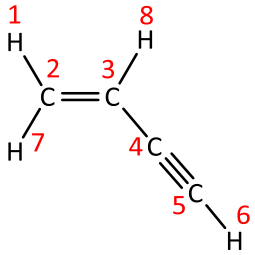
3. Υπάρχουν δύο άτομα C **με υβριδισμό** sp^2**, ένα άτομο** C **με υβριδισμό** sp^3 **και ένα άλλο με υβριδισμό** sp

4. Όλα τα άτομα C **της ένωσης παρουσιάζουν τον ίδιο τύπο υβριδισμού**

β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

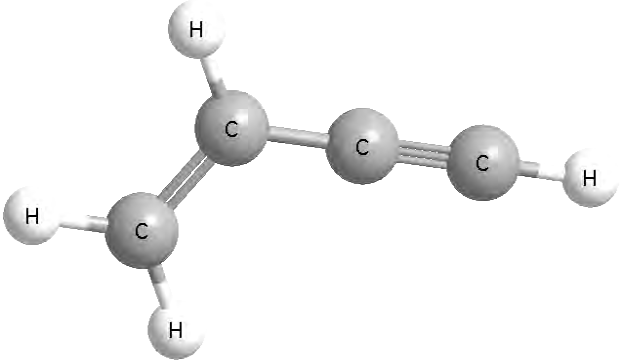
ΑΠΑΝΤΗΣΗ

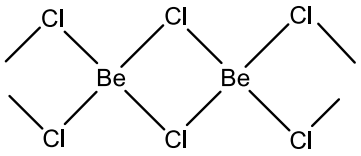
α) Σωστή είναι η επιλογή 2.



β) Αριθμούμε αυθαίρετα όλα τα άτομα C και τα άτομα H της ένωσης, όπως φαίνεται στο διπλανό συντακτικό τύπο.

Όταν ένα άτομο C έχει υβριδισμό sp^2 παρουσιάζει επίπεδη τριγωνική γεωμετρία και επομένως τα άτομα H(1), C(2), C(3), C(4), H(7) και H(8) ανήκουν στο ίδιο επίπεδο. Επίσης, καθώς τα άτομα άνθρακα C(4) και C(5) έχουν υβριδισμό sp θα παρουσιάζουν γραμμική γεωμετρία, οπότε τα άτομα C(3), C(4), C(5) και H(7) θα είναι σε ευθεία διάταξη. Τελικά, όλα τα άτομα C της ένωσης, C(2), C(3), C(4) και C(5) ανήκουν στο ίδιο επίπεδο, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.





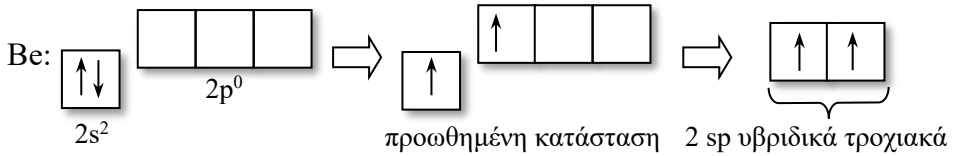
Το χλωριούχο βηρύλλιο, $BeCl_2$, είναι στερεή ουσία αποτελούμενη από μακριές αλυσίδες ατόμων Be και Cl, με τα άτομα Cl σε θέσεις γεφυρών. Όμως, σε αέρια κατάσταση το χλωριούχο βηρύλλιο αποτελείται από μόρια $BeCl_2$.

Το BeF_2 παρουσιάζει έλλειμμα οκτάδας στο κεντρικό άτομο. Έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι οι δύο δεσμοί στο BeF_2 είναι ισότιμοι μεταξύ τους.

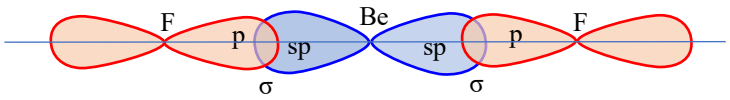
8. Το φθοριούχο βηρύλλιο, BeF_2, είναι λευκό στερεό με σημείο τήξης 1169 °C και στην αέρια φάση αποτελείται από γραμμικά μόρια. Να εξηγήσετε με βάση τη θεωρία του υβριδισμού γιατί τα μόρια του $BeF_2(g)$ είναι γραμμικά και διαθέτουν δύο ισότιμους απλούς ομοιοπολικούς δεσμούς. Τι είδους επικαλύψεις εξηγούν τους δύο δεσμούς Be − F; Για το Be, $Z = 4$, ενώ για το F, $Z = 9$.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Οι ηλεκτρονιακές δομές των ατόμων των δύο στοιχείων είναι: Be: $1s^2\ 2s^2$, F: $1s^2\ 2s^2\ 2p^5$. Με βάση τις δομές αυτές προκύπτει ότι το Be δεν διαθέτει μονήρες ηλεκτρόνιο και επομένως δεν μπορεί να σχηματίσει ομοιοπολικό δεσμό. Προωθούμε, λοιπόν, ένα ηλεκτρόνιό του σε τροχιακό 2p και προκύπτει η προωθημένη κατάσταση: $1s^2\ 2s^1\ 2p^1$.



Τα δύο ηλεκτρόνια σθένους της προωθημένης κατάστασης συνδυάζονται και σχηματίζονται δύο υβριδικά ατομικά τροχιακά τύπου sp με ευθύγραμμη γεωμετρία (όπως στην περίπτωση του τριπλού δεσμού C−C). Τα δύο αυτά sp υβριδικά τροχιακά του Be επικαλύπτονται με τα δύο p τροχιακά των ατόμων του F σχηματίζοντας δύο σ δεσμούς:

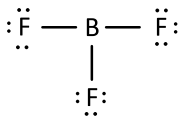


Το BF_3 είναι αέριο με σημείο βρασμού −100 °C. Αποτελείται από μη πολικά μόρια στα οποία το B παρουσιάζει έλλειμμα οκτάδας. Έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι οι τρεις δεσμοί στο B−F είναι ισότιμοι μεταξύ τους και η γωνία του δεσμού F−B−F είναι 120°.

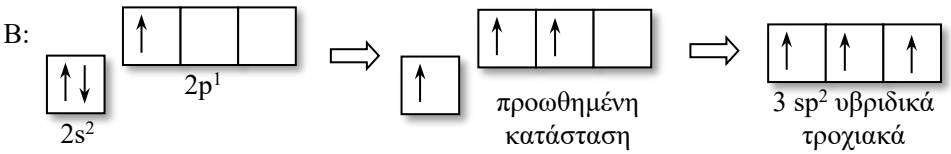
9. Να εξηγήσετε με βάση τη θεωρία του υβριδισμού γιατί το μόριο του BF_3 (φθοριούχο βόριο) παρουσιάζει επίπεδη τριγωνική γεωμετρία με τρεις ισότιμους απλούς ομοιοπολικούς δεσμούς B − F. Τι είδους επικαλύψεις συμβαίνουν;
Για το B, $Z = 5$, ενώ για το F, $Z = 9$.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Στο BF_3 σχηματίζονται τρεις απλοί ομοιοπολικοί δεσμοί και μάλιστα το κεντρικό άτομο του B δεν συμπληρώνει οκτάδα στην εξωτερική του στιβάδα (έλλειμμα οκτάδας):

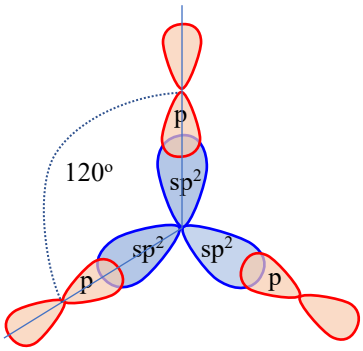


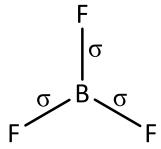
Η ηλεκτρονιακή δομή του $_5B$ είναι: $1s^2\ 2s^2\ 2p^1$, ενώ του F: $1s^2\ 2s^2\ 2p^5$. Η προωθημένη κατάσταση για το άτομο του B:



Τα τρία ατομικά τροχιακά (ένα s και δύο p) του B συνδυάζονται σχηματίζοντας τρία ισότιμα sp^2 υβριδικά ατομικά τροχιακά, με επίπεδη τριγωνική διάταξη.

Τα τρία sp^2 υβριδικά τροχιακά του B επικαλύπτονται αξονικά με τα τρία p τροχιακά των ατόμων του F σχηματίζοντας 3 σ δεσμούς:





Προσέξτε ότι υβριδισμός sp^2 δεν σημαίνει υποχρεωτικά ύπαρξη διπλού δεσμού, σημαίνει όμως πάντα επίπεδη τριγωνική γεωμετρία.

10. Μία οργανική ένωση έχει μοριακό τύπο C_4H_8O.

α) Πόσους σ και πόσους π δεσμούς διαθέτει η οργανική αυτή ένωση;

β) Αν ξέρουμε ότι ο μοριακός αυτός τύπος αντιστοιχεί σε κορεσμένη μονοσθενή κετόνη:

i. Να αναφέρετε το είδος του υβριδισμού που παρουσιάζει καθένα από τα τέσσερα άτομα C.

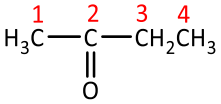
ii. Να σημειώσετε το είδος των επικαλύψεων που εξηγούν όλους τους σ δεσμούς μεταξύ των ατόμων C.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Υπολογίζουμε αρχικά τον συνολικό αριθμό των δεσμών στην ένωση ως εξής: Τα τέσσερα άτομα C σχηματίζουν από τέσσερις δεσμούς, 16 δεσμοί συνολικά. Τα 8 άτομα H σχηματίζουν από έναν δεσμό, οπότε 8 δεσμοί. Τέλος το ένα άτομο O σχηματίζει δύο δεσμούς. Έτσι, συνολικά 16 + 8 + 2 = 26. Καθώς όμως με αυτόν τον τρόπο κάθε δεσμός έχει λογαριαστεί δύο φορές, ο συνολικός αριθμός των δεσμών στην ένωση θα είναι 26:2 = 13.

Προσδιορίζουμε στη συνέχεια τον αριθμό των σ δεσμών προσθέτοντας όλα τα άτομα που διαθέτει η ένωση αφαιρώντας 1: 4 + 8 + 1 – 1 = 12 σ δεσμοί. Επομένως, η ένωση έχει 13 − 12 = 1 π δεσμό.

β) i. Ο συντακτικός τύπος της ένωσης είναι ο εξής:



Από το συντακτικό αυτό τύπο προκύπτει ότι ο C(1) παρουσιάζει υβριδισμό sp^3, ο C(2) υβριδισμό sp^2, ο C(3) υβριδισμό sp^3 και ο C(4) υβριδισμό sp^3.

ii. Ο σ δεσμός μεταξύ των ατόμων άνθρακα C(1) και C(2) εξηγείται με επικάλυψη sp^3 - sp^2 υβριδικών τροχιακών, ο δεσμός C(2) - C(3) εξηγείται με επικάλυψη sp^2 - sp^3 και ο δεσμός C(3) - C(4) με επικάλυψη sp^3 - sp^3.

11. Αλκένιο έχει μοριακό τύπο $C_{25}H_{50}$.

α) Πόσοι π δεσμοί και πόσοι σ υπάρχουν στο αλκένιο;

β) Με προσθήκη H_2 παρουσία Ni ως καταλύτη, το αλκένιο μετασχηματίζεται σε αλκάνιο. Σε πόσα άτομα C του αλκενίου άλλαξε ο τύπος του υβριδισμού με το μετασχηματισμό του σε αλκάνιο;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Στα αλκένια δύο άτομα άνθρακα σχηματίζουν διπλό δεσμό C = C ενώ όλοι οι υπόλοιποι δεσμού C − C είναι απλοί. Ο διπλός δεσμός αποτελείται από έναν σ και έναν π δεσμό και επομένως το αλκένιο διαθέτει έναν π δεσμό. Επειδή τα άτομα C στο αλκένιο σχηματίζουν ανθρακική αλυσίδα, τα 25 άτομα C διαθέτουν 24 σ δεσμούς C − C. Παράλληλα τα 50 άτομα υδρογόνου σχηματίζουν ισάριθμους σ δεσμούς C − H. Τελικά, το σύνολο των σ δεσμών στο αλκένιο θα είναι: 24 + 50 = 74.

β) Στο αλκένιο δύο άτομα C συνδέονται μεταξύ τους με διπλό δεσμό C = C και επομένως διαθέτουν υβριδισμό sp^2. Με το μετασχηματισμό του αλκενίου σε αλκάνιο ο διπλός δεσμός μετατρέπεται σε απλό δεσμό C − C και επομένως τα δύο αυτά άτομα άνθρακα αποκτούν υβριδισμό sp^3 (όπως και τα υπόλοιπα άτομα άνθρακα).

12. Αλκίνιο Α **έχει εννέα** σ **και δύο** π **δεσμούς.**

α) Ποιος είναι ο μοριακός τύπος του αλκινίου Α**;**

β) Ποιοι οι δυνατοί συντακτικοί τύποι του αλκινίου; Σε ποιο ισομερές όλα τα άτομα C **είναι στην ίδια ευθεία;**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Ο γενικός μοριακός των αλκινίων είναι C_vH_{2v-2}. Στην ένωση αυτή υπάρχουν (ν − 1) σ δεσμοί C − C και (2ν − 2) σ δεσμοί C − H, συνολικά (3ν − 3) σ δεσμοί. Επομένως, θα ισχύει: 3ν − 3 = 9, ν = 4. Άρα, το αλκίνιο έχει μοριακό τύπο: C_4H_6.

β) Στον παραπάνω μοριακό τύπο αντιστοιχούν δύο ισομερή αλκίνια:

$CH_3CH_2C{\equiv}CH$ 1-βουτίνιο

$CH_3C{\equiv}CCH_3$ 2-βουτίνιο

Στο 2-βουτίνιο όλα τα άτομα C είναι στην ίδια ευθεία καθώς τα δύο μεσαία άτομα C παρουσιάζουν υβριδισμό sp (ευθύγραμμη γραμμική γεωμετρία).

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

Οι σχετικές ατομικές μάζες των βασικών στοιχείων δίνονται στο τέλος του βιβλίου.

6.1. Ποια από τις παρακάτω θεωρίες δεν χρησιμοποιεί την κβαντομηχανική για την περιγραφή του ομοιοπολικού δεσμού;
Α) Ο κανόνας της οκτάδας
Β) Η θεωρία δεσμού σθένους
Γ) Η θεωρία των μοριακών τροχιακών
Δ) Η θεωρία του υβριδισμού

6.2. Κατά τη συνεχή προσέγγιση δύο ατόμων Η προς σχηματισμό ενός μορίου H_2, η ενέργεια του συστήματος:
Α) αυξάνεται συνεχώς
Β) μειώνεται συνεχώς
Γ) γίνεται ελάχιστη σε μία συγκεκριμένη απόσταση των δύο πυρήνων
Δ) γίνεται μέγιστη σε μία συγκεκριμένη απόσταση των δύο πυρήνων

6.3. Ένας σ δεσμός σχηματίζεται με επικάλυψη:
Α) αποκλειστικά του τύπου s - s
Β) αποκλειστικά του τύπου s - p
Γ) s - s ή s - p ή με αξονική επικάλυψη του τύπου p - p
Δ) του τύπου p - p, πλευρικά

6.4. Ο δεσμός π (πι) προκύπτει με πλευρική επικάλυψη τροχιακών του τύπου:
Α) s – s Β) sp^3 – p Γ) p – p Δ) sp^2 - s
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

6.5. Ποια από τις παρακάτω προτάσεις είναι η σωστή σχετικά με την ισχύ του σ και του π δεσμού στο δεσμό C=C;
Α) Ο σ δεσμός έχει μεγαλύτερη ισχύ από τον π δεσμό
Β) Ο σ δεσμός έχει μικρότερη ισχύ από τον π δεσμό
Γ) Έχουν την ίδια ισχύ
Δ) Η ισχύς του σ δεσμού είναι ακριβώς η μισή σε σχέση με τον π δεσμό

6.6. Σύμφωνα με τη θεωρία δεσμού σθένους στο μόριο του O_2 σχηματίζονται (για το Ο, $Z = 8$):
Α) δύο σ δεσμοί με αξονικές επικαλύψεις
Β) δύο π δεσμοί με πλευρική επικάλυψη
Γ) ένας σ δεσμός και ένας π δεσμός
Δ) δύο σ δεσμοί και ένας π δεσμός

6.7. Η ένωση που περιλαμβάνει 6σ και 2π δεσμούς είναι η:
Α) CH_3CH_3 Β) $CH_2{=}CH_2$ Γ) $CH{\equiv}CH$ Δ) $CH_3C{\equiv}CH$
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

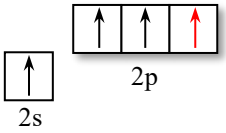
6.8. Στα μόρια των οργανικών ενώσεων:
Α) περιέχονται μόνο σ δεσμοί
Β) περιέχονται μόνο π δεσμοί
Γ) περιέχονται μόνο σ ή μόνο π δεσμοί
Δ) περιέχονται μόνο σ δεσμοί ή σ και π δεσμοί

6.9. Όταν συνδυαστούν με τη μέθοδο του υβριδισμού ένα s ατομικό τροχιακό, τρία p ατομικά τροχιακά και δύο d ατομικά τροχιακά:
Α) προκύπτουν τρία spd υβριδικά τροχιακά
Β) προκύπτουν έξι ατομικά τροχιακά της ίδιας ενέργειας
Γ) προκύπτουν τρία d^2sp^3 υβριδικά τροχιακά
Δ) δεν μπορούν να προκύψουν υβριδικά τροχιακά καθώς τα τροχιακά s, p και d δεν έχουν την ίδια ενέργεια

6.10. Σε ποιο από τα παρακάτω μόρια εμφανίζονται π δεσμοί;
Α) Cl_2 Β) HCl Γ) H_2O Δ) C_2H_2

6.11. Τι είδους δεσμούς σχηματίζει ένα άτομο άνθρακα με υβριδισμό sp^2;
Α) Τέσσερις σ δεσμούς
Β) Δύο δεσμούς σ και δύο δεσμούς π
Γ) Τρείς δεσμούς σ και ένα δεσμό π
Δ) Ένα δεσμό σ και τρεις δεσμούς π

6.12. Η διπλανή δομή της εξωτερικής στιβάδας για ένα άτομο $_6C$ χαρακτηρίζεται ως:



Α) αδύνατη καθώς παραβιάζει την απαγορευτική αρχή του Pauli
Β) θεμελιώδης κατάσταση καθώς υπακούει στις αρχές της ηλεκτρονιακής δόμησης
Γ) προωθημένη (διεγερμένη) κατάσταση
Δ) υβριδική κατάσταση

6.13. Πόσους σ δεσμούς μεταξύ ατόμων άνθρακα σχηματίζει ένα αλκένιο, C_vH_{2v};
Α) $2v$, $v \geq 1$ Β) $2v - 1$, $v \geq 2$
Γ) $2v + 1$, $v \geq 1$ Δ) $v - 1$, $v \geq 2$

6.14. Οι γωνίες μεταξύ δύο υβριδικών τροχιακών sp, μεταξύ δύο υβριδικών τροχιακών sp^2 και μεταξύ δύο υβριδικών τροχιακών sp^3 είναι, αντίστοιχα;
Α) 180°, 120° και 109,5° Β) 90°, 180° και 109,5°
Γ) 180°, 90° και 109,5° Δ) 180°, 120° και 90°

6.15. Στο σχήμα που ακολουθεί εμφανίζονται οι επικαλύψεις των υβριδικών τροχιακών του ενός ατόμου C ($Z = 6$) με το άλλο άτομο C ή το άτομο Η ($Z = 1$) που εξηγούν κάποιους δεσμούς στο γραμμικό μόριο ενός υδρογονάνθρακα με τύπο C_2H_2.



Με βάση τις πληροφορίες αυτές συμπεραίνουμε ότι:
Α) το μόριο του υδρογονάνθρακα διαθέτει επιπλέον δύο π δεσμούς που δεν εμφανίζονται στο σχήμα
Β) οι επικαλύψεις που εμφανίζονται στο σχήμα είναι πλευρικές
Γ) ο συνολικός αριθμός των σ δεσμών στην ένωση είναι πέντε
Δ) τα δύο άτομα C εμφανίζουν υβριδισμό sp^2

6.16. Ποια η δομή της προωθημένης κατάστασης που αντιστοιχεί σε άτομο $_4Be$ που θα υποστεί sp υβριδισμό;
Α) $1s^2\ 2s^2$ Β) $1s^2\ 2s^1\ 2p^1$ Γ) $1s^1\ 2s^2\ 2p^1$ Δ) $1s^1\ 2p^3$

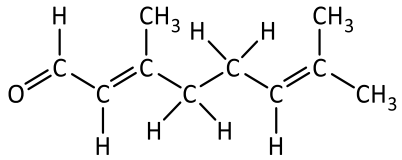
6.17. Τι είδους υβριδισμό εμφανίζουν τα άτομα C της ένωσης $CH_2{=}CH{-}C{\equiv}CH$ (από αριστερά προς τα δεξιά);
Α) sp^3, sp^2, sp^3, sp Β) sp, sp^3, sp^2, sp
Γ) sp^2, sp^2, sp, sp Δ) sp^3, sp^3, sp^3, sp

6.18. Δίνονται οι ενώσεις βουτανόνη και βουτανικό οξύ.



i. Στο μόριο της βουτανόνης υπάρχουν:
Α) μόνο σ δεσμοί Β) 9 σ και 4 π δεσμοί
Γ) 13 σ δεσμοί Δ) 12 σ και 1 π δεσμός
ii. Στο μόριο του βουτανικού οξέος υπάρχουν:
Α) 13 σ δεσμοί και ένας π δεσμός
Β) 9 σ και 4 π δεσμοί
Γ) 12 σ δεσμοί και ένας π δεσμός
Δ) 10 σ και 3 π δεσμοί

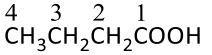
6.19. Η κιτράλη είναι οργανική ένωση με ισχυρή μυρωδιά λεμονιού και αντιμικροβιακές ιδιότητες. Χρησιμοποιείται στην αρωματοποΐα και στη βιομηχανία τροφίμων. Η ονομασία της κατά IUPAC είναι 3,7-διμεθυλο-2,6-οκταδιενάλη και διαθέτει τον εξής συντακτικό τύπο:



Πόσα άτομα C της κιτράλης παρουσιάζουν υβριδισμό sp^2;
Α) 5 Β) 4 Γ) 6 Δ) 0

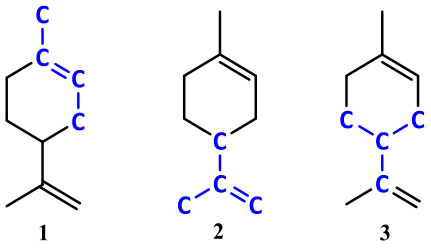
6.20. Με την επίδραση, H_2 παρουσία Ni, το $CH_3CH{=}CH_2$ μετασχηματίζεται σε $CH_3CH_2CH_3$. Με το μετασχηματισμό αυτό:
Α) όλα τα άτομα C στο $CH_3CH_2CH_3$ παρουσιάζουν υβριδισμό sp^3
Β) τα άτομα C στο $CH_3CH_2CH_3$ αποκτούν υβριδισμό κατά σειρά: sp^3, sp^2 και sp^3
Γ) τα άτομα C στο $CH_3CH_2CH_3$ αποκτούν υβριδισμό κατά σειρά: sp^2, sp^3 και sp^2
Δ) δεν αλλάζει ο υβριδισμός σε κανένα άτομο C

6.21. Ο σ δεσμός μεταξύ των C(1) και C(2) στην ένωση,



σχηματίζεται με επικάλυψη υβριδικών τροχιακών:
Α) sp^2 - sp^3 Β) sp - sp^3 Γ) sp - sp Δ) sp^2 - sp^2
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

6.22. Σε ποιον από τους παρακάτω ανθρακικούς σκελετούς όλα τα σημειωμένα άτομα C ανήκουν στο ίδιο επίπεδο;



1 2 3

Α) Σε κανέναν Β) Στο σκελετό 3
Γ) Στο σκελετό 2 Δ) Στον σκελετό 1 και στο σκελετό 2

6.23. Να χαρακτηρίσετε τις προτάσεις που ακολουθούν ως σωστές (Σ) ή λανθασμένες (Λ). Να αιτιολογήσετε τις επιλογές σας.
α) Το σύστημα δύο ατόμων υδρογόνου έχει τη μέγιστη δυνατή ενέργεια όταν η απόσταση μεταξύ των πυρήνων είναι ίση με το μήκος του δεσμού.
β) Ο δεσμός σ είναι ισχυρότερος από το δεσμό π, καθώς στην πρώτη περίπτωση επιτυγχάνεται μεγαλύτερη επικάλυψη.
γ) Τα p τροχιακά συμμετέχουν αποκλειστικά στο σχηματισμό π (πι) δεσμών.

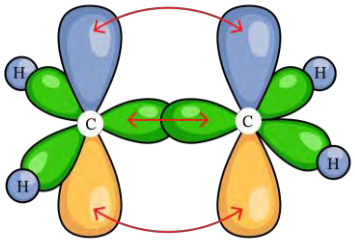
6.24. Να χαρακτηρίσετε τις προτάσεις που ακολουθούν ως σωστές (Σ) ή λανθασμένες (Λ). Να αιτιολογήσετε τις επιλογές σας.
α) Όταν οι πυρήνες δύο ατόμων υδρογόνου είναι σε απόσταση ίση με το μήκος του δεσμού H−H η ενέργεια του συστήματος παρουσιάζει ελάχιστο.
β) Τα υβριδικά τροχιακά έχουν την ίδια ενέργεια, την ίδια μορφή και τον ίδιο προσανατολισμό με τα ατομικά τροχιακά από τα οποία προκύπτουν.
γ) Στο μόριο του αιθυλενίου ($CH_2{=}CH_2$) τα δύο άτομα C συνδέονται μεταξύ τους με ένα σ δεσμό του τύπου sp^2 - sp^2 και ένα π δεσμό. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]
δ) Στην ένωση $CH_2{=}CHCH{=}CH_2$ όλα τα άτομα C έχουν τον ίδιο τύπο υβριδισμού.
ε) Το μόριο του CO_2 είναι γραμμικό μόριο (O=C=O) και επομένως το άτομο C εμφανίζει υβριδισμό sp^2.
στ) Ο διπλός δεσμός περιέχει πάντα ένα σ και ένα π δεσμό.
ζ) Ο τριπλός δεσμός αποτελείται πάντα από έναν σ και δύο π δεσμούς.
η) Η προπανάλη (CH_3CH_2CHO) είναι κορεσμένη ένωση και άρα τα άτομά της συνδέονται μόνο με δεσμούς σ.

6.25. Σχετικά με τα μόρια: CH_3CH_3, $CH_2{=}CH_2$ και $CH{\equiv}CH$, ποιες από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές;
α) Σε όλες τις περιπτώσεις οι δεσμοί μεταξύ των ατόμων C είναι απλοί ομοιοπολικοί δεσμοί.
β) Και τα 3 μόρια σχηματίζουν μόνο σ δεσμούς.
γ) Στο μόριο του αιθανίου όλα τα άτομα C και H είναι στο ίδιο επίπεδο.
δ) Τα τρία μόρια έχουν διαφορετική γεωμετρία.
ε) Τα άτομα C εμφανίζουν τον ίδιο τύπο υβριδισμού και στα τρία παραπάνω μόρια.
στ) Και στα τρία μόρια εμφανίζονται π δεσμοί.

ζ) Και στα τρία μόρια σχηματίζεται σ δεσμός μεταξύ των δύο ατόμων άνθρακα.
η) Όλα τα μόρια εμφανίζονται γραμμικά.
θ) Ο διπλός δεσμός C = C στο CH_2=CH_2 αποτελείται από ένα σ και ένα π δεσμό.
ι) Σε όλες τις περιπτώσεις οι δεσμοί C−H είναι τύπου σ.
κ) Σε αλκένιο του τύπου $C_{50}H_{100}$ υπάρχουν 149 σ δεσμοί.

6.26. Για τα μόρια του H_2, του F_2 και του HF να χαρακτηρίσετε τις προτάσεις που ακολουθούν ως σωστές ή όχι. Να αιτιολογήσετε τις επιλογές σας. Για το F, $Z = 9$.
α) Και στις 3 περιπτώσεις σχηματίζεται απλός δεσμός.
β) Και στις 3 περιπτώσεις, ο δεσμός χαρακτηρίζεται ως σ.
γ) Στην περίπτωση του F_2 σχηματίζεται π δεσμός με επικάλυψη δύο 2p ατομικών τροχιακών των δύο ατόμων F.
δ) Στην περίπτωση του HF σχηματίζεται π δεσμός λόγω της συμμετοχής του p ατομικού τροχιακού του F.
ε) Και στις 3 περιπτώσεις η πυκνότητα του ηλεκτρονιακού νέφους είναι μεγαλύτερη μεταξύ των πυρήνων, δείχνοντας ότι τα δεσμικά ηλεκτρόνια έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να βρεθούν στην περιοχή αυτή.

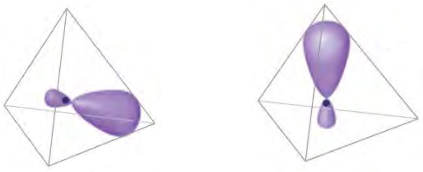
6.27. Στο σχήμα που ακολουθεί εμφανίζονται οι επικαλύψεις που εξηγούν όλους τους δεσμούς στο επίπεδο μόριο ενός υδρογονάνθρακα.



α) Με βάση το σχήμα αυτό προκύπτει ότι:
1. το μόριο σχηματίζει έξι σ δεσμούς
2. η οργανική ένωση είναι κορεσμένη (αλκάνιο)
3. σχηματίζεται μόνο ένας δεσμός με επικάλυψη sp^2 - sp^2
4. τα δύο άτομα C εμφανίζουν υβριδισμό sp^3
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας. Να αναφέρετε όλα τα είδη των επικαλύψεων που εξηγούν το σχηματισμό του μορίου.

6.28. Για το μόριο του προπενίου, ποια-ες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές; Να αιτιολογήσετε τις επιλογές σας.
α) Εμφανίζονται μόνο απλοί δεσμοί.
β) Εμφανίζονται μόνο σ δεσμοί.
γ) Εμφανίζονται 8 σ δεσμοί και ένας π δεσμός.
δ) Όλα τα άτομα είναι στο ίδιο επίπεδο.
ε) Δεν υπάρχει άτομο με υβριδισμό sp^3.

6.29. Να χαρακτηριστούν οι προτάσεις που ακολουθούν ως σωστές ή λανθασμένες. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας μόνο για την περίπτωση λανθασμένων προτάσεων.
α) Η απόσταση μεταξύ των πυρήνων δύο ατόμων που πλησιάζουν και στην οποία επιτυγχάνεται η ελάχιστη ενέργεια ονομάζεται μήκος δεσμού.
β) Μεταξύ του ηλεκτρονίου 1s του $_1H$ και $2p_z$ του $_9F$ δημιουργείται σ δεσμός, ο οποίος χαρακτηρίζεται από μέγιστη ηλεκτρονιακή πυκνότητα πάνω και κάτω από τον άξονα του δεσμού.
γ) Για το σχηματισμό του μορίου του υδρογόνου συνδυάζονται δύο 1s ατομικά τροχιακά και προκύπτει ένα μόνο μοριακό τροχιακό (δεσμικό).
δ) Τα υβριδικά τροχιακά έχουν σχήμα ζεύγους ομοαξονικών λοβών ίσου μεγέθους.
ε) Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζονται τα δύο από τα τρία sp^2 υβριδικά τροχιακά ενός ατόμου C.



στ) Τα υβριδικά τροχιακά είναι αριθμητικά ίσα με τα συνδυαζόμενα ατομικά τροχιακά και διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την ενέργεια, τη μορφή και τον προσανατολισμό τους.
ζ) Το μόριο του $BeF_2(g)$ έχει ευθύγραμμη διάταξη.
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2024]

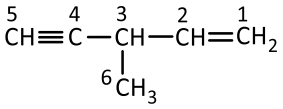
6.30. Να συμπληρωθούν τα κενά στις προτάσεις που ακολουθούν:
α) Η απόσταση μεταξύ των …… δύο ατόμων που πλησιάζουν και στην οποία επιτυγχάνεται η …… ενέργεια ονομάζεται μήκος δεσμού.
β) Ο δεσμός σ προκύπτει με ……. επικάλυψη …….. τροχιακών.
γ) Αν τα δύο p τροχιακά δεν επικαλύπτονται αξονικά, αλλά ……, τότε προκύπτει …… δεσμός.
δ) Δύο ατομικά …….. που προκύπτουν από τη συγχώνευση ενός ατομικού τροχιακού s και ενός ατομικού τροχιακού p ονομάζονται …… τροχιακά sp, είναι ισότιμα μεταξύ τους και σχηματίζουν γωνία …….
ε) Δεσμοί σ προκύπτουν με επικαλύψεις s - s, s - p και ……. ατομικών τροχιακών κατά τον …… που συνδέει τους ……. των δύο συνδεόμενων ατόμων. Κατ' αυτή τη διεύθυνση εξασφαλίζεται η μεγαλύτερη δυνατή ……
στ) Οι π δεσμοί προκύπτουν με ……. επικαλύψεις p - p ατομικών τροχιακών (των οποίων οι άξονες είναι ……..) και είναι ……. των σ.
ζ) Υβριδισμός είναι ο …….. συνδυασμός (πρόσθεση ή αφαίρεση) …… τροχιακών προς δημιουργία νέων …….. ατομικών τροχιακών (υβριδικών τροχιακών).
η) Στα μόρια των ……. υφίστανται μόνο σ δεσμοί του τύπου s - sp^3 ανάμεσα στα άτομα C και στα άτομα H και σ δεσμοί του τύπου sp^3 - sp^3 ανάμεσα σε γειτονικά άτομα C.

6.31. Να περιγράψετε το σχηματισμό των παρακάτω μορίων με βάση τη θεωρία δεσμού σθένους. Να σημειώσετε το χαρακτήρα των δεσμών (σ και π) καθώς και τι είδους τροχιακά επικαλύπτονται σε κάθε περίπτωση.
α) HF. β) F_2. γ) O_2.
Δίνονται οι ατομικοί αριθμοί, H:1, F:9, O:8.

6.32. α) Με βάση τη θεωρία δεσμού σθένους να αναφέρετε τέσσερις διαφορές ανάμεσα στους σ και τους π δεσμούς.
β) Να αναφέρετε τρεις ομοιότητες και δύο διαφορές ανάμεσα στη θεωρία δεσμού σθένους και στη θεωρία των μοριακών τροχιακών.

6.33. Πόσοι σ και πόσοι π δεσμοί υπάρχουν στον άκυκλο υδρογονάνθρακα του τύπου $C_{50}H_{100}$;

6.34. Δίνεται η ένωση με τον παρακάτω συντακτικό τύπο.



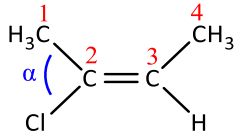
α) Πόσοι δεσμοί σ (σίγμα) και πόσοι δεσμοί π (πι) υπάρχουν στην ένωση;
β) Να σημειώσετε:
i. Το είδος των υβριδικών τροχιακών σε κάθε άτομο C της ένωσης.
ii. Το είδος των επικαλύψεων στους δεσμούς C(2)−C(3) και C(3)−C(4).

6.35. Οι δεσμοί N−N στα μόρια, $H_2N{-}NH_2$, FN=NF και N_2, έχουν μήκη 145, 125 και 110 pm, αντίστοιχα.
α) Να χαρακτηρίσετε όλους τους δεσμούς στα παραπάνω μόρια ως σ ή π.
β) Να εξηγήσετε τις διαφορές στα μήκη των δεσμών N−N.
Δίνονται οι ατομικοί αριθμοί, N:7, H:1, F:9.

6.36. Να καθορίσετε τα είδη των επικαλύψεων που εξηγούν τους ομοιοπολικούς δεσμούς στα παρακάτω μόρια.
α) Cl_2
β) HCl
γ) BeF_2
δ) BF_3
Ατομικοί αριθμοί, H:1, Be:4, B:5, F:9, Cl:17.

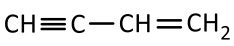
6.37. Το β-οκιμένιο είναι ένας υδρογονάνθρακας με ευχάριστη οσμή που περιέχεται στα φύλλα ορισμένων φυτών. Έχει μοριακό τύπο $C_{10}H_{16}$ και με πλήρη υδρογόνωση σχηματίζει αλκάνιο με τύπο $C_{10}H_{22}$.
α) Αν είναι επιπλέον γνωστό ότι το β-οκιμένιο διαθέτει μόνο απλούς και διπλούς δεσμούς μεταξύ των ατόμων C, ποιος ο μέγιστος αριθμός ατόμων C με υβριδισμό sp^2 που μπορεί να διαθέτει η ένωση αυτή;
1. οκτώ 2. έξι 3. τέσσερα 4. τρία
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

6.38. Έστω το οργανικό μόριο που ακολουθεί.



α) Πόσοι σ και πόσοι π δεσμοί υπάρχουν στο οργανικό αυτό μόριο;
β) Τι είδους υβριδισμό έχουν τα τέσσερα άτομα C της ένωσης;
γ) i. Ποιο το είδος των επικαλύψεων που εξηγούν το διπλό δεσμό C=C στο μόριο της ένωσης;
ii. Ποιο είδος επικάλυψης εξηγεί το δεσμό C(2) − Cl;
δ) Ποια είναι κατά προσέγγιση η τιμή της γωνίας α του μορίου που φαίνεται στο σχήμα;
Για το Cl, $Z = 17$.

6.39. Το βινυλακετυλένιο είναι οργανική ένωση με τύπο:

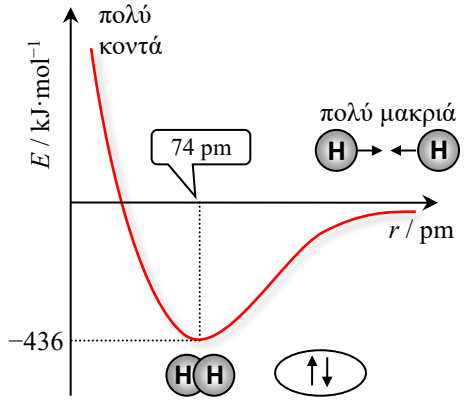


α) Πόσοι σ και πόσοι π δεσμοί υπάρχουν στην ένωση αυτή;
β) Τι υβριδισμό παρουσιάζουν τα τέσσερα άτομα άνθρακα του μορίου;
γ) Να προβλέψετε τις κατά προσέγγιση γωνίες δεσμών γύρω από κάθε άτομο άνθρακα.

6.40. Άκυκλος υδρογονάνθρακας με ευθύγραμμη ανθρακική αλυσίδα διαθέτει τέσσερα άτομα C, δύο από τα οποία παρουσιάζουν υβριδισμό sp^3 και τα άλλα δύο υβριδισμό sp^2.
α) Με βάση τις πληροφορίες αυτές συμπεραίνουμε ότι ο παραπάνω υδρογονάνθρακας:
1. διαθέτει δύο διπλούς δεσμούς στο μόριό του
2. έχει μοριακό τύπο C_4H_6
3. έχει έναν π δεσμό στο μόριό του
4. Έχει 7 σ και δύο π στο μόριό του
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

6.41. Στο μόριο ενός αλκενίου (Α) εμφανίζονται 11 σ δεσμοί.
α) Ποιος είναι ο μοριακός τύπος του αλκενίου Α;
β) Ποια συντακτικά ισομερή αντιστοιχούν στον παραπάνω μοριακό τύπο του αλκενίου; Σε ποια ισομερή όλα τα άτομα C ανήκουν υποχρεωτικά στο ίδιο επίπεδο;

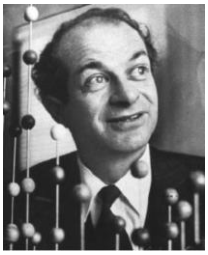
6.42. Στο διάγραμμα που ακολουθεί περιγράφεται ο σχηματισμός του μορίου του H_2, σύμφωνα με τη θεωρία δεσμού σθένους. Να γίνει πλήρης σχολιασμός του.



6.43. Άκυκλη κετόνη του τύπου $C_vH_{2v}O$ περιέχει στο μόριό της συνολικά 12 σ δεσμούς. Ποιος ο συντακτικός τύπος της κετόνης;

Χημεία και… τέρατα: «Ένα αστέρι γεννιέται»(★)

Το ημερολόγιο έγραφε 28 Φεβρουαρίου 1901 όταν στο Πόρτλαντ του Όρεγκον (ΗΠΑ) γεννήθηκε το πρώτο παιδί του φαρμακοποιού Herman Pauling και της Lucy Darling. Ήταν ο Linus Carl Pauling (Λάινους Καρλ Πόλινγκ) που έμελλε να γίνει ο πιο επιτυχημένος και σίγουρα ο πιο επιδραστικός χημικός του 20ού αιώνα. Διορατικός, πολυπράγμονας, ιδεολόγος, ένας πραγματικός «σταρ» της Χημείας και όχι μόνο.



Linus Carl Pauling (1901-1994).
Πηγή: L. Pauling is in the public domain.

Στη δεκαετία του 1930 ο Pauling χρησιμοποίησε νέες μαθηματικές θεωρίες για να εκφράσει τις αρχές του χημικού δεσμού με τη χρήση της κβαντικής θεωρίας, όπως για παράδειγμα στη θεωρία του δεσμού σθένους και του υβριδισμού. Το 1939 δημοσίευσε το βιβλίο «The Nature of the Chemical Bond», ένα από τα πιο σημαντικά βιβλία Χημείας που έχουν ποτέ εκδοθεί. Από το 1935 το ενδιαφέρον του στράφηκε σε βιολογικά θέματα, όπως η δομή των πρωτεϊνών. Το 1949 αυτός και η ομάδα του κατάφερε να βρει τη μοριακή βάση της δρεπανοκυτταρικής αναιμίας και η δημοσίευση της σχετικής εργασίας θεωρείται η απαρχή της μοριακής ιατρικής. Συνέχισε την εργασία του στις πρωτεΐνες και στις αρχές της δεκαετίας του 1950 προσδιόρισε τη δομή της α-έλικας. Ήταν μάλιστα πολύ κοντά στην ανακάλυψη της δομής διπλής έλικας του DNA αλλά τον πρόλαβαν ο James Watson και ο James Crick το 1953. Ανέπτυξε πολλές ιδέες, θεωρίες και έννοιες που είναι και σήμερα πολύ σημαντικές για την κατανόηση της Χημείας, όπως η ηλεκτραρνητικότητα, η θεωρία δεσμού σθένους και το φαινόμενο του συντονισμού. Όπως έλεγε και ο ίδιος «ο καλύτερος τρόπος να έχεις μία καλή ιδέα είναι να έχεις πολλές ιδέες»…

Προς το τέλος της ζωή του ασχολήθηκε και με τη βιταμίνη C και ανέπτυξε μεθόδους προσδιορισμού της σε φρούτα και φαρμακευτικά σκευάσματα. Είχε μάλιστα την πεποίθηση ότι υψηλές δόσεις βιταμίνης C προλαμβάνουν ασθένειες, μεταξύ άλλων και το κοινό κρυολόγημα, μία θεωρία που βρίσκεται ακόμη υπό έρευνα.

Οι εργασίες του στο χημικό δεσμό, στην κρυσταλλογραφία ακτίνων Χ, στην Κβαντική Χημεία και σε άλλους τομείς είχαν τεράστια επίδραση στη Χημεία, στη Φυσική και στη Βιολογία. Ήταν το μόνο πρόσωπο που έλαβε δύο αποκλειστικά βραβεία Νόμπελ, Χημείας το 1954 και Ειρήνης 1962. Το πρώτο το κέρδισε για την συνεισφορά του στην έρευνα γύρω από την Κβαντική Χημεία και την Μοριακή Βιολογία. Το δεύτερο το κέρδισε γιατί πρωτοστάτησε στο κίνημα κατά της χρήσης πυρηνικών όπλων αλλά και στο αντιπολεμικό κίνημα γενικότερα. Μάλιστα, αν κάποιος μπορούσε να πάρει και τρίτο βραβείο Νόμπελ σε άλλο τομέα (Ιατρικής) θα ήταν μόνο αυτός.

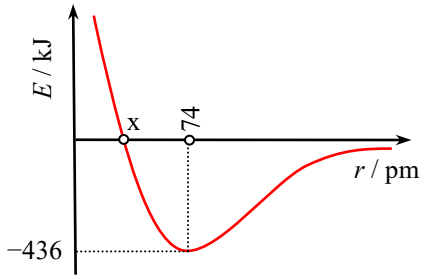
Πέθανε το 1994 στην Καλιφόρνια έχοντας κατασκευάσει έναν πραγματικό επιστημονικό μύθο που ελάχιστοι επιστήμονες έχουν καταφέρει...

(★)***A Star Is Born:*** Αμερικανική μουσική δραματική ταινία γυρισμένη τέσσερις φορές, το 1937, το 1954, το 1976 και το 2018. Στην ταινία του 1976 πρωταγωνιστούσαν η Barbra Streisand και ο Kris Kristofferson ενώ στην ταινία του 2018 πρωταγωνιστούσαν ο Bradley Cooper και η Lady Gaga.

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 6

Στις παρακάτω ερωτήσεις 1-15 να σημειώσετε απλώς τη σωστή απάντηση.

1. Δύο άτομα Η πλησιάζουν μεταξύ τους προς σχηματισμό του μορίου H_2. Η δυναμική ενέργεια (E) του συστήματος ως συνάρτηση της απόστασης r (σε πικόμετρα, pm) των δύο πυρήνων εμφανίζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Από το διάγραμμα αυτό, τι από τα παρακάτω προκύπτει;
Α) Με τη διάσπαση του δεσμού Η−Η ελευθερώνεται στο περιβάλλον ενέργεια ίση με 436 kJ·mol^{-1}
Β) Το μήκος του δεσμού Η−Η είναι ίσο με 74 pm
Γ) Για r = 74 pm αντιστοιχούν οι ισχυρότερες απωστικές δυνάμεις μεταξύ των δύο πυρήνων Η
Δ) Για r = x pm αντιστοιχεί η μικρότερη δυνατή επικάλυψη μεταξύ των 1s ατομικών τροχιακών των δύο ατόμων

2. Οι π δεσμοί προκύπτουν με:
Α) επικαλύψεις s - s ατομικών τροχιακών
Β) επικαλύψεις s - p ατομικών τροχιακών
Γ) επικαλύψεις p - p ατομικών τροχιακών κατά τον άξονα που συνδέει τους πυρήνες των δύο ατόμων
Δ) πλευρικές επικαλύψεις p - p ατομικών τροχιακών
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

3. Ο δεσμός π (πι):
Α) είναι ισχυρότερος από το σ δεσμό
Β) έχει μέγιστη ηλεκτρονιακή πυκνότητα στο χώρο πάνω και κάτω από τον άξονα του δεσμού
Γ) δημιουργείται με αξονική επικάλυψη μεταξύ δύο p τροχιακών
Δ) παρατηρείται κυρίως στα αλκάνια

4. Τα υβριδικά τροχιακά των ατόμων του C στο μόριο του HC≡CH έχουν διάταξη:
Α) τριγωνική Β) τετραεδρική
Γ) ευθύγραμμη Δ) κυκλική [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

5. Στο αιθανονιτρίλιο ($^1CH_3{}^2C{\equiv}N$) τα άτομα του άνθρακα ^1C, ^2C έχουν υβριδικά τροχιακά, αντίστοιχα:
Α) sp^2, sp^2 Β) sp^3, sp^2 Γ) sp^3, sp Δ) sp, sp^3
[ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2026]

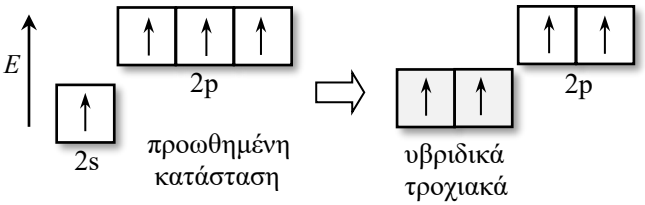
6. i. Στο μόριο του προπενίου $CH_3CH{=}CH_2$ υπάρχουν:
Α) 8σ και 1π ομοιοπολικοί δεσμοί
Β) 7σ και 2π ομοιοπολικοί δεσμοί
Γ) 6σ και 1π ομοιοπολικοί δεσμοί
Δ) 6σ και 2π ομοιοπολικοί δεσμοί [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2025]

ii. Το μόριο της βουτανάλης ($CH_3CH_2CH_2CH{=}O$) διαθέτει:
Α) 10 σ και 3 π δεσμούς Β) 9 σ και 4 π δεσμούς
Γ) 13 σ δεσμούς Δ) 12 σ και 1 π δεσμούς
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

7. Σύμφωνα με τη θεωρία δεσμού σθένους στο μόριο του N_2 (για το Ν, Z = 7) σχηματίζονται:
Α) δύο σ δεσμοί με αξονικές επικαλύψεις
Β) δύο π δεσμοί με πλευρικές επικαλύψεις
Γ) ένας σ δεσμός και ένας π δεσμός
Δ) δύο σ δεσμοί και ένας π δεσμός

8. Σε ποια από τις ενώσεις που ακολουθούν τα άτομα του άνθρακα εμφανίζουν sp^2 υβριδισμό; [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]
Α) C_2H_6 Β) C_2H_4 Γ) C_2H_2 Δ) CH_4

9. Ποιο είδος υβριδισμού σε ένα άτομο $_6C$ περιγράφει το διάγραμμα που ακολουθεί;

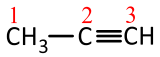


Α) sp^3 Β) sp^2 Γ) sp
Δ) Οποιονδήποτε υβριδισμό από τους τρεις

10. Η δομή της προωθημένης κατάστασης του ατόμου του $_6C$, σύμφωνα με τη θεωρία του υβριδισμού, είναι:
Α) $1s^2\ 2s^1\ 2p_x^1\ 2p_y^1\ 2p_z^1$
Β) $1s^2\ 2s^2\ 2p_x^1\ 2p_y^1$
Γ) $1s^2\ 2s^1\ 2p_x^1\ 2p_y^1$
Δ) διαφορετική, ανάλογα με το είδος του υβριδισμού

11. Σε ένα άτομο άνθρακα ο γραμμικός συνδυασμός ενός 2s ατομικού τροχιακού και δύο 2p ατομικών τροχιακών έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό:
Α) ενός sp^2 υβριδικού τροχιακού
Β) ενός σ δεσμού
Γ) 3 σ δεσμών με γωνίες δεσμών 109,5°
Δ) τριών ισότιμων υβριδικών τροχιακών

12. Στο προπίνιο,



τα άτομα του άνθρακα 1, 2, 3 έχουν υβριδικά τροχιακά, αντίστοιχα:
Α) sp^3, sp^2, sp^2 Β) sp^2, sp, sp^2
Γ) sp^3, sp, sp Δ) sp^2, sp^2, sp^3 [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2023]

13. Ποια ένωση έχει δεσμό σ που προκύπτει με επικάλυψη sp^2 - sp^2 υβριδικών τροχιακών; [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]
Α) CH_4 Β) CH_3CH_3 Γ) $CH_2{=}CH_2$ Δ) $CH{\equiv}CH$

14. Στο μόριο του $CH_2=CH_2$ τα δύο άτομα του C συνδέονται μεταξύ τους με:
Α) δύο δεσμούς σ του τύπου sp - s
Β) δύο δεσμούς σ του τύπου sp^2 - sp^2
Γ) ένα δεσμό σ τύπου sp^2 - sp^2 και ένα π δεσμό που προκύπτει με επικάλυψη p_z - p_z
Δ) ένα δεσμό σ τύπου sp – s και ένα δεσμό π που προκύπτει με επικάλυψη p_z - p_z [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

15. Στο μόριο ενός αλκενίου ποια τα είδη των δεσμών που σχηματίζει ένα άτομο C με υβριδισμό sp^2;
Α) 4 π δεσμούς Β) 2 π και 2 σ δεσμούς
Γ) 1 π και 3 σ δεσμούς Δ) 4 σ δεσμούς

---

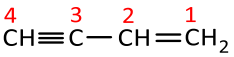
16. Να γράψετε πόσοι σ και πόσοι π δεσμοί υπάρχουν σε καθένα από τα παρακάτω μόρια:
α) C_2H_5Cl β) C_2H_4 γ) C_2H_2 [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

.....

.....

.....

17. Δίνεται η οργανική ένωση,



της οποίας τα άτομα C αριθμούνται από 1 έως 4, όπως φαίνεται παραπάνω.
α) Πόσοι δεσμοί σ (σίγμα) και πόσοι δεσμοί π (πι) υπάρχουν στην ένωση;
β) Μεταξύ ποιων ατόμων σχηματίζονται οι π δεσμοί;
γ) Να αναφέρετε τι είδος υβριδικά τροχιακά έχει κάθε άτομο C της ένωσης. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

18. Το μόριο ενός αλκινίου διαθέτει 12 σ δεσμούς.
α) i. Πόσους π δεσμούς διαθέτει το μόριο του αλκινίου;
ii. Ποιος είναι ο μοριακός τύπος του αλκινίου;
β) Ποιοι οι δυνατοί συντακτικοί τύποι του αλκινίου;

.....

.....

.....

.....

.....

.....



ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΑ (2)
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑΚΗ ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΑΤΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ
ΘΕΩΡΙΑ ΔΕΣΜΟΥ ΣΘΕΝΟΥΣ – ΥΒΡΙΔΙΣΜΟΣ

Θέμα Α

Για τις παρακάτω 8 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής να γράψετε τον αριθμό της ερώτησης και δίπλα το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση.

Α1. Κάθε στιβάδα με κύριο κβαντικό αριθμό n αποτελείται από:
Α) n^2 υποστιβάδες
Β) n υποστιβάδες
Γ) n τροχιακά
Δ) $2n$ τροχιακά

Α2. Το μήκος κύματος κατά de Broglie ενός σωματιδίου είναι:
Α) ανεξάρτητο από την κινητική του ενέργεια, K
Β) ανεξάρτητο από την ταχύτητά του, υ
Γ) ανάλογο με την ταχύτητά του και αντιστρόφως ανάλογο με τη μάζα του
Δ) αντιστρόφως ανάλογο με την ορμή του

Α3. Κατά την προσέγγιση δύο ατόμων υδρογόνου από μεγάλη απόσταση σε απόσταση ίση με το μήκος του δεσμού η επικάλυψη μεταξύ των δύο 1s ατομικών τροχιακών είναι:
Α) όλο και μικρότερη και εκλύεται ενέργεια
Β) όλο και μικρότερη και απορροφάται ενέργεια
Γ) όλο και μεγαλύτερη και απορροφάται ενέργεια
Δ) όλο και μεγαλύτερη και εκλύεται ενέργεια

Α4. Πόσα ηλεκτρόνια του ιόντος $_{30}Zn^{2+}$ στη θεμελιώδη του κατάσταση έχουν $m_\ell = -1$;
Α) 2 Β) 4 Γ) 6 Δ) 8

Α5. Στον Περιοδικό Πίνακα των στοιχείων, οι ηλεκτρονιακές υποστιβάδες που συμπληρώνονται διαδοχικά στη δεύτερη σειρά των στοιχείων μετάπτωσης (τα στοιχεία μετάπτωσης της 5ης περιόδου), τις λανθανίδες και τις ακτινίδες είναι, αντίστοιχα οι υποστιβάδες:

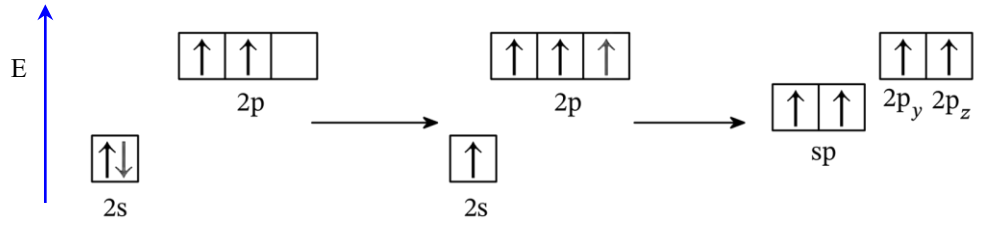
	2η σειρά στοιχείων μετάπτωσης	Λανθανίδες	Ακτινίδες
Α)	3d	5f	4f
Β)	4d	4f	5f
Γ)	4d	5d	6d
Δ)	5d	4f	5f

Α6. Η χημική εξίσωση που αντιστοιχεί στην ενέργεια πρώτου ιοντισμού για το στοιχείο βρώμιο είναι η εξής:
Α) $Br_2(g) + e^- \rightarrow Br_2^-(g)$ Β) $Br(g) \rightarrow Br^+(g) + e^-$
Γ) $Br(g) + e^- \rightarrow Br^-(g)$ Δ) $Br^+(g) + e^- \rightarrow Br(g)$

Α7. Θεωρείστε τα οξείδια μερικών στοιχείων τις 3ης περιόδου του Π.Π., Na_2O, MgO, Al_2O_3, P_4O_{10} και SO_3. Ποια από τις επιλογές Α, Β, Γ ή Δ αποδίδει τον όξινο (Ο), βασικό (Β) ή επαμφοτερίζοντα (Ε) χαρακτήρα των οξειδίων αυτών;

	Na_2O	MgO	Al_2O_3	P_4O_{10}	SO_3
Α)	Ο	Ο	Ε	Β	Β
Β)	Β	Β	Β	Ο	Ο
Γ)	Β	Β	Ε	Ο	Ο
Δ)	Β	Β	Ε	Ε	Ε

Α8. Στο διάγραμμα που ακολουθεί εμφανίζεται η διαδικασία υβριδισμού ενός ατόμου $_6C$ ξεκινώντας από τη θεμελιώδη κατάσταση της στιβάδας σθένους του.

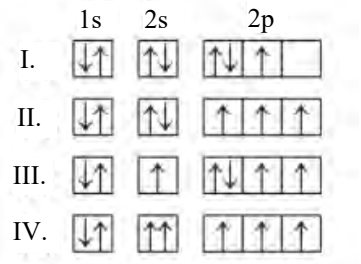


Για τη διαδικασία αυτή δίνονται οι προτάσεις που ακολουθούν.
I. Η ενδιάμεση κατάσταση του ατόμου C αναφέρεται ως προωθημένη κατάσταση.
II. Κατά τον υβριδισμό που περιγράφεται στο σχήμα παράγονται δύο υβριδικά τροχιακά με γραμμική γεωμετρία.
III. Κατά τον υβριδισμό που περιγράφεται στο σχήμα συνδυάστηκαν γραμμικά το ατομικό τροχιακό 2s του C και το τροχιακό $2p_x$ του C.
Ποια-ες από τις παραπάνω προτάσεις είναι σωστή-ές;
Α) Μόνο η πρόταση I Β) Μόνο οι προτάσεις I και II
Γ) Μόνο οι προτάσεις I και III Δ) Όλες οι προτάσεις είναι σωστές

Θέμα Β

Β1. Στο άτομο του υδρογόνου οι ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις $n = 2 \rightarrow n = 1$, $n = 3 \rightarrow n = 2$, $n = 4 \rightarrow n = 3$ και $n = 5 \rightarrow n = 4$ παράγουν ακτινοβολίες στην υπεριώδη περιοχή με μήκη κύματος (λ) 4051 nm, 1875 nm, 656 nm και 122 nm (με τυχαία σειρά).
α) Να αντιστοιχίσετε τις μεταπτώσεις με τα αντίστοιχα μήκη κύματος.
β) Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας. Δεν απαιτούνται υπολογισμοί.

Β2. Να θεωρήσετε τις ηλεκτρονιακές δομές I, II, III και IV που ακολουθούν.



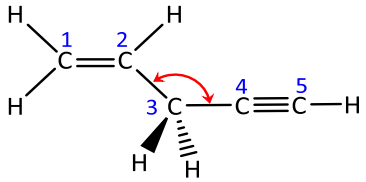
α) Ποια από τις ηλεκτρονιακές αυτές δομές είναι σύμφωνη με τις αρχές της ηλεκτρονιακής δόμησης;
β) Ποιον κανόνα ή αρχή παραβιάζουν οι τρεις άλλες ηλεκτρονιακές δομές;
Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας.

Β3. Το ιόν με φορτίο +2 ενός στοιχείου έχει δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^9$, στη θεμελιώδη κατάσταση.
α) Ποια η ηλεκτρονιακή δομή του ατόμου στη θεμελιώδη κατάσταση;
β) Σε ποια ομάδα, περίοδο και τομέα του Περιοδικού Πίνακα ανήκει στο στοιχείο;

Β4. Να γράψετε την ηλεκτρονιακή δομή, στη θεμελιώδη κατάσταση, των ατόμων των στοιχείων που ακολουθούν. Δεν απαιτούνται αιτιολογήσεις.
α) Το πρώτο μέλος των ευγενών αερίων.
β) Το στοιχείο του p τομέα με το μικρότερο ατομικό αριθμό.
γ) Το στοιχείο μετάπτωσης με το μικρότερο ατομικό αριθμό.
δ) Το τρίτο μέλος της ομάδας των αλογόνων.
ε) Το στοιχείο της 2ης περιόδου με το μεγαλύτερο αριθμό ασύζευκτων ηλεκτρονίων.
στ) Το αλκάλιο με τη μικρότερη ατομική ακτίνα.
ζ) Το στοιχείο της 4ης περιόδου του οποίου το δισθενές κατιόν διαθέτει 5 μονήρη ηλεκτρόνια.

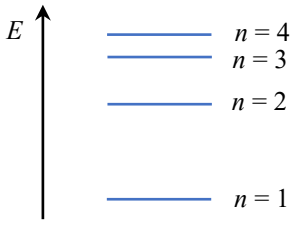
Θέμα Γ

Γ1. Δίνεται η παρακάτω οργανική ένωση.



α) Πόσοι δεσμοί σ (σίγμα) και πόσοι δεσμοί π (πι) υπάρχουν στην ένωση;
β) Μεταξύ ποιων ατόμων σχηματίζονται οι π δεσμοί;
γ) Ποιο το είδος των υβριδικών τροχιακών που παρουσιάζει κάθε άτομο C της ένωσης;
δ) Ποια είναι η τιμή της γωνίας που εμφανίζεται στο σχήμα;

Γ2. α) Ποιος είναι ο μέγιστος αριθμός των φασματικών γραμμών εκπομπής που προκύπτουν από ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις μεταξύ των 4 πρώτων ενεργειακών στιβάδων του ατόμου του υδρογόνου; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.



β) Το ηλεκτρόνιο ενός ατόμου υδρογόνου μεταπίπτει από τη στιβάδα N στη στιβάδα L και στη συνέχεια από την L στην K. Ποια η τιμή του λόγου λ_1/λ_2 των μηκών κύματος λ_1 και λ_2 των παραγόμενων φωτονίων κατά την πρώτη και τη δεύτερη μετάπτωση;

Γ3. Το άτομο ενός στοιχείου Α έχει στη θεμελιώδη κατάσταση 11 ηλεκτρόνια με μαγνητικό κβαντικό αριθμό ίσο με το μηδέν ($m_\ell = 0$). Να προσδιορίσετε τον ατομικό αριθμό του στοιχείου Α, καθώς και τη θέση του (τομέας, ομάδα, περίοδος) στον Περιοδικό Πίνακα, αιτιολογώντας την απάντησή σας.

Θέμα Δ

Δ1. Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται οι ατομικές ακτίνες 4 στοιχείων Α, Β, Γ και Δ που ανήκουν στην ίδια ομάδα του Περιοδικού Πίνακα, καθώς και οι ιοντικές ακτίνες των πιο σταθερών ιόντων τους.

Στοιχείο	Ατομική ακτίνα / pm	Ιοντική ακτίνα / pm
Α	160	65
Β	197	99
Γ	111	31
Δ	215	113

α) Να ταξινομήστε τα στοιχεία κατ' αυξανόμενο ατομικό αριθμό (Z).
β) Να ταξινομήσετε τα στοιχεία κατ' αυξανόμενη τιμή της ενέργειας πρώτου ιοντισμού.
γ) Να χαρακτηρίσετε τα στοιχεία ως ηλεκτροθετικά ή ηλεκτραρνητικά.
Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας.

Δ2. Μαθητής αντιγράφει από το Διαδίκτυο τις ενέργειες ιοντισμού E_{i1} και E_{i2} σε kJ·mol^{-1} των στοιχείων $_{11}$Na και $_{12}$Mg. Οι τιμές αναφέρονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Στοιχεία	E_{i1}	E_{i2}
$_{11}$Na	496	1451
$_{12}$Mg	738	4562

Δύο από τις τιμές μεταφέρθηκαν στον πίνακα σε λάθος θέση. Ποιες μπορεί να είναι οι τιμές αυτές; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

Δ3. Στον πίνακα που ακολουθεί εμφανίζονται οι τέσσερις πρώτες διαδοχικές ενέργειες ιοντισμού, σε kJ·mol^{-1} για το άτομο του $_{21}$Sc.

E_{i1}	E_{i2}	E_{i3}	E_{i4}
633	1235	2389	7091

α) Για την αιτιολόγηση της σημαντικής διαφοράς μεταξύ των τιμών E_{i3} και E_{i4} μπορούμε να πούμε ότι η απόσπαση του 4ου ηλεκτρονίου:
i. έχει ως αποτέλεσμα την απόκτηση δομής ευγενούς αερίου
ii. έχει ως αποτέλεσμα τη διάσπαση δομής ευγενούς αερίου
iii. πραγματοποιείται από εσωτερική στιβάδα σε σχέση με το 3ο ηλεκτρόνιο
iv. πραγματοποιείται από τροχιακό με μονήρες ηλεκτρόνιο
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

Δ4. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι ενέργειες πρώτου ιοντισμού (E_{i1}) και δεύτερου ιοντισμού (E_{i2}) σε kJ·mol^{-1} για τρία στοιχεία του Περιοδικού Πίνακα.

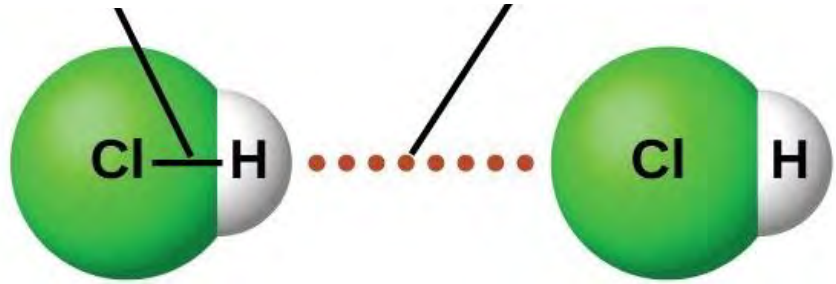
	$_3$Li	$_4$Be	$_5$B
E_{i1}	520	899	801
E_{i2}	7300	1757	2430

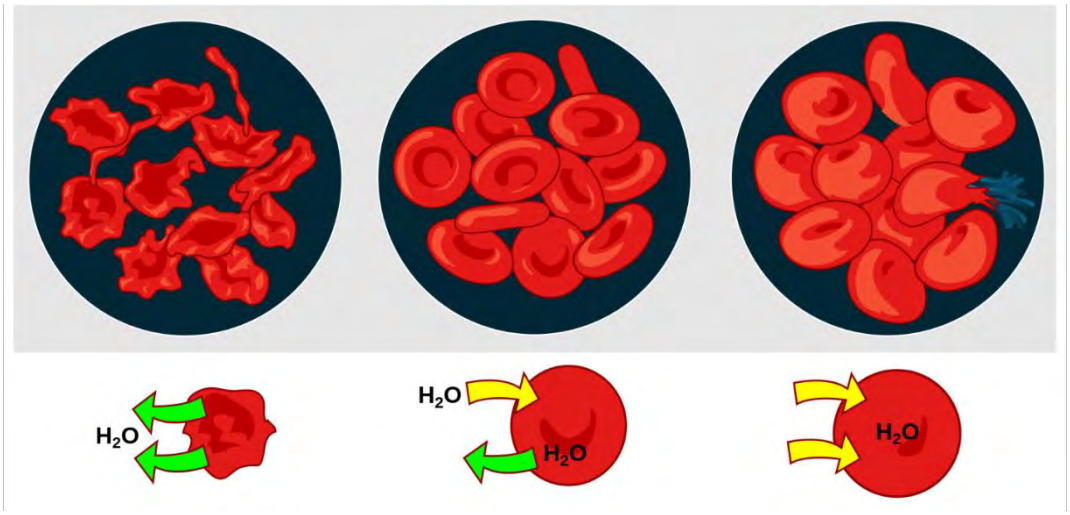
Να εξηγήσετε:
α) Γιατί η ενέργεια πρώτου ιοντισμού του $_4$Be είναι μεγαλύτερη από τις ενέργειες πρώτου ιοντισμού του $_3$Li και του $_5$B.
β) Γιατί η ενέργεια δεύτερου ιοντισμού του $_5$B είναι μικρότερη από την αντίστοιχη του $_3$Li αλλά μεγαλύτερη από την ενέργεια δεύτερου ιοντισμού του $_4$Be.

Διαμοριακές Δυνάμεις – Ώσμωση

Ενδομοριακή δύναμη
(ισχυρή)

Διαμοριακή δύναμη
(ασθενής)





«Πέρα από τη μοριακή χημεία που βασίζεται στον ομοιοπολικό δεσμό βρίσκεται η υπερμοριακή χημεία που προσπαθεί να εξηγήσει τους διαμοριακούς δεσμούς».
Jean-Marie Lehn, βραβείο Νόμπελ Χημείας 1987.



7 Διαμοριακές Δυνάμεις

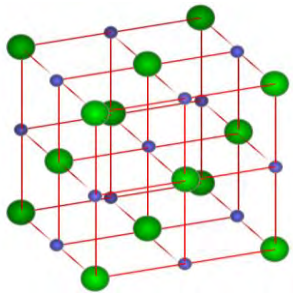
ΘΕΜΑΤΑ ΘΕΩΡΙΑΣ

1. Οι χημικοί δεσμοί

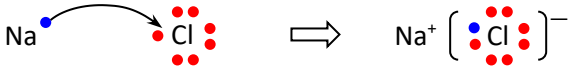
Οι χημικοί δεσμοί περιγράφουν τον τρόπο σύνδεσης των σωματιδίων που απαρτίζουν μία χημική ένωση και διακρίνονται στις εξής δύο βασικές κατηγορίες:
α) Στον ιοντικό ή ετεροπολικό δεσμό.
β) Στον ομοιοπολικό δεσμό, πολικό ή μη πολικό.

Κανόνας της οκτάδας: Τα άτομα έχουν την τάση να συμπληρώσουν τη στιβάδα σθένους τους με οκτώ ηλεκτρόνια (εκτός αν είναι η στιβάδα Κ, που συμπληρώνεται με δύο ηλεκτρόνια), ώστε να αποκτήσουν τη δομή ευγενούς αερίου.

Ο **ιοντικός (ετεροπολικός) δεσμός** προκύπτει με μεταφορά ηλεκτρονίων από ένα μέταλλο σε ένα αμέταλλο με στόχο την απόκτηση δομής ευγενούς αερίου (κανόνας της οκτάδας). Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό αντίθετα φορτισμένων ιόντων (κατιόντων και ανιόντων) που συνδέονται μεταξύ τους με ηλεκτροστατικές δυνάμεις (δυνάμεις Coulomb).


Κρυσταλλικό πλέγμα NaCl

Περίπτωση NaCl. Το Na είναι μέταλλο της 1ης ομάδας του Περιοδικού Πίνακα με ένα ηλεκτρόνιο στην εξωτερική στιβάδα, ενώ το Cl είναι αμέταλλο της 17ης ομάδας με επτά ηλεκτρόνια στην εξωτερική στιβάδα:



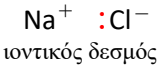
Ο δεσμός στην περίπτωση αυτή δεν αντιστοιχεί στο σχηματισμό μορίων καθόσον οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις δεν περιορίζονται μόνο μεταξύ ενός συγκεκριμένου ιόντος Na^+ και ενός ιόντος Cl^-, αλλά ασκούνται προς όλες τις κατευθύνσεις, σχηματίζοντας μία τρισδιάστατη επαναλαμβανόμενη διάταξη (ηλεκτρικά ουδέτερο κρυσταλλικό πλέγμα).



μη πολικός
ομοιοπολικός δεσμός



πολικός
ομοιοπολικός δεσμός



ιοντικός δεσμός

Το είδος του δεσμού καθορίζεται από τη διαφορά ηλεκτραρνητικότητας μεταξύ των δύο ατόμων που συνδέονται.

Ο **ομοιοπολικός δεσμός**, σε αντίθεση με τον ιοντικό δεσμό, οδηγεί στο σχηματισμό «ανεξάρτητων» σωματιδίων, των μορίων. Αυτό γίνεται με αμοιβαία συνεισφορά μονήρων (μοναχικών) ηλεκτρονίων μεταξύ αμετάλλων με στόχο και πάλι την απόκτηση δομής ευγενούς αερίου. Σχηματίζονται έτσι 1, 2 ή 3 κοινά ζεύγη ηλεκτρονίων μεταξύ των ατόμων (απλός, διπλός ή και τριπλός ομοιοπολικός δεσμός, αντίστοιχα):

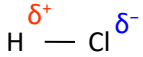




Στα μόρια των στοιχείων όπως το Cl_2 (το H_2, το O_2 κτλ.) τα δύο άτομα που το απαρτίζουν έχουν προφανώς την ίδια ηλεκτραρνητικότητα, με αποτέλεσμα το ηλεκτρονιακό νέφος να κατανέμεται ομοιόμορφα ανάμεσα στους πυρήνες των δύο ατόμων. Στην περίπτωση αυτή ο ομοιοπολικός δεσμός χαρακτηρίζεται ως μη πολικός ομοιοπολικός δεσμός.

Τα ηλεκτρόνια ενός δεσμού δεν παραμένουν σε σταθερή απόσταση από τους δύο πυρήνες, παρά μόνο κατά μέσο όρο. Για το λόγο αυτό είναι καλύτερος ο όρος ηλεκτρονιακό νέφος.

Στο μόριο του HCl, όμως, το κοινό ζεύγος ηλεκτρονίων είναι μετατοπισμένο προς την πλευρά του πιο ηλεκτραρνητικού ατόμου Cl, με αποτέλεσμα αυτό να εμφανίζει μικρή «περίσσεια» αρνητικού φορτίου που συμβολίζεται με δ^-. Αντίστοιχα, στο άτομο του H εμφανίζεται μικρή «περίσσεια» θετικού φορτίου (δ^+):



Ο ομοιοπολικός δεσμός σε τέτοιες περιπτώσεις χαρακτηρίζεται ως πολικός (ή πολωμένος) ομοιοπολικός δεσμός ενώ τα αντίστοιχα μόρια του HCl χαρακτηρίζονται ως δίπολα μόρια.

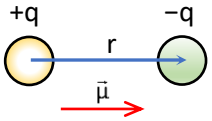
Ηλεκτραρνητικότητα (σύμβολο *EN* ή χ) προτάθηκε από τον Linus Pauling το 1932 και αποτελεί το μέτρο της ικανότητας ενός ατόμου να έλκει το κοινό ζεύγος ηλεκτρονίων όταν ενώνεται με άλλο άτομο. Το πιο ηλεκτραρνητικό στοιχείο είναι το **F**, ακολουθούμενο από το **O,** το **N** και το **Cl**. Με την εξαίρεση των ευγενών αερίων τα πιο ηλεκτραρνητικά στοιχεία βρίσκονται, γενικά, επάνω και δεξιά στο Περιοδικό Πίνακα.

2. Δίπολα μόρια - Διπολική ροπή

Το μόριο του HCl χαρακτηρίζεται, λοιπόν, ως ηλεκτρικό δίπολο καθώς σε αυτό εμφανίζεται ένα θετικό και ένα αρνητικό φορτίο με ίσα μέτρα, σε ορισμένη μεταξύ τους απόσταση *r*. Μέτρο της πολικότητας ενός μορίου αποτελεί η διπολική ροπή (μ), ένα διανυσματικό μέγεθος με φορά από το θετικό προς το αρνητικό κέντρο, το μέτρο του οποίου δίνεται από τη σχέση:

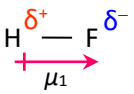
$$\mu = \delta \cdot r$$

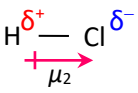
όπου δ το μερικό φορτίο (δ^+ ή δ^-) και *r* η απόσταση μεταξύ των δύο μερικών φορτίων (πόλων).



Ηλεκτρικό δίπολο. Η μονάδα της διπολικής ροπής στο SI είναι το C·m (Coulomb επί μέτρα). Η συνηθισμένη μονάδα διπολικής ροπής των μορίων είναι το 1 D (Debye) = $3{,}34 \cdot 10^{-30}$ C·m. Συμβατικά η φορά του διανύσματος της διπολικής ροπής είναι από το αρνητικό προς το θετικό φορτίο αν και στους χημικούς δεσμούς προτιμάται παραδοσιακά το αντίθετο διάνυσμα.

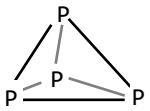
Θεωρούμε γενικότερα τα διατομικά μόρια, δηλαδή αυτά που αποτελούνται από δύο μόνο άτομα. Αν τα άτομα αυτά είναι τα ίδια (π.χ. στα μόρια ενός διατομικού στοιχείου), η ηλεκτραρνητικότητα θα είναι ίδια με αποτέλεσμα ο δεσμός να είναι μη πολικός, η διπολική ροπή να είναι μηδέν και το μόριο χαρακτηρίζεται μη πολικό (ή άπολο). Για παράδειγμα τα μόρια του O_2, του Cl_2 κτλ. χαρακτηρίζονται ως μη πολικά ($\mu = 0$). Αν όμως το διατομικό μόριο αποτελείται από διαφορετικά στοιχεία, με διαφορετική ηλεκτραρνητικότητα, τότε το μόριο χαρακτηρίζεται ως πολικό. Μάλιστα είναι τόσο περισσότερο πολικό, όσο η διαφορά ηλεκτραρνητικότητας μεταξύ των δύο ατόμων είναι μεγαλύτερη καθώς η διπολική ροπή στα διατομικά μόρια είναι κατά προσέγγιση ανάλογη με τη διαφορά ηλεκτραρνητικότητας ανάμεσα στα δύο άτομα που απαρτίζουν το δεσμό:





$\mu_2 < \mu_1$

Σε ένα πολυατομικό μόριο (τριατομικό, τετρατομικό κτλ.) εμφανίζονται περισσότεροι από ένας ομοιοπολικοί δεσμοί. Κάθε δεσμός (ανεξάρτητα αν είναι απλός, διπλός ή και τριπλός) παράγει μία επιμέρους διπολική ροπή. Η ολική διπολική ροπή καθορίζεται από το διανυσματικό άθροισμα όλων των επιμέρους διπολικών ροπών. Επομένως, στα πολυατομικά μόρια για την εμφάνιση ή όχι διπολικής ροπής $\mu_{ολ}$ παίζει ρόλο και η γεωμετρία του μορίου.



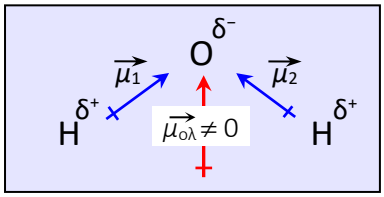
Το μόριο του τετραφωσφόρου (P_4) είναι ή όχι δίπολο μόριο;

Οι μετρήσεις της διπολικής ροπής στηρίζονται στον προσανατολισμό των πολικών μορίων σε ηλεκτρικό πεδίο.

CO_2	HI	H_2O
$\mu = 0$	$\mu = 0{,}38$ D	$\mu = 1{,}84$ D
άπολο μόριο	λίγο πολικό μόριο	πολικό μόριο

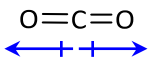
Παραδείγματα πολυατομικών μορίων

1) Το μόριο του νερού είναι ένα τριατομικό μη γραμμικό μόριο στο οποίο η γωνία Η−Ο−Η είναι περίπου 105°. Καθώς οι δεσμοί Ο−Η είναι πολικοί, οι δύο επιμέρους διπολικές ροπές δίνουν διανυσματικό άθροισμα $\mu_{ολ} \neq 0$, με αποτέλεσμα το μόριο να εμφανίζεται ως δίπολο:



Δε μπορείτε να ξέρετε τη γεωμετρία κάθε μορίου. Θα περιοριστείτε σε αυτά που θα αναφέρουμε!

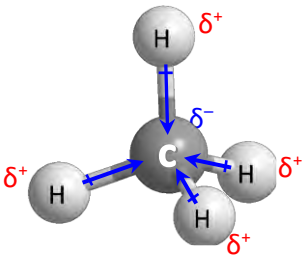
2) Αντίθετα με το μόριο του νερού, το μόριο του CO_2 έχει γραμμική γεωμετρία. Έτσι, αν και διαθέτει δύο (διπλούς) πολωμένους ομοιοπολικούς δεσμούς παρουσιάζει μηδενική διπολική ροπή καθώς οι δύο επιμέρους διπολικές αλληλοαναιρούνται. Επομένως το μόριο του CO_2 χαρακτηρίζεται ως μη δίπολο μόριο:



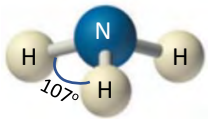
$\vec{\mu}_{ολ} = 0$

Η **διπολική ροπή** ενός μορίου εξαρτάται από τη διαφορά ηλεκτραρνητικότητας ανάμεσα στα άτομα του δεσμού καθώς και τη γεωμετρία του μορίου.
Έτσι, υπάρχουν μόρια, όπως του CO_2, που ενώ έχουν πολωμένους δεσμούς δεν εμφανίζουν διπολική ροπή καθώς οι επιμέρους διπολικές ροπές αλληλοαναιρούνται (δίνουν διανυσματικό άθροισμα ίσο με το 0).

3) Στο μεθάνιο (CH_4) υπάρχουν τέσσερις πολωμένοι ομοιοπολικοί δεσμοί C−H σε σχήμα τετραέδρου (ο C είναι λίγο πιο ηλεκτραρνητικός από το H), αλλά το μόριο εμφανίζεται άπολο καθώς, λόγω συμμετρίας του μορίου, η συνολική διπολική ροπή είναι μηδέν:



$\vec{\mu}_{ολ} = 0$

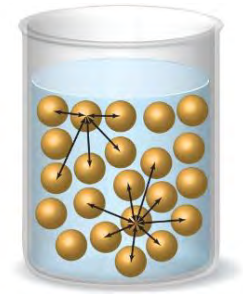


Η ερώτηση της ημέρας: Το μόριο της αμμωνίας (NH_3) είναι ή όχι δίπολο μόριο;

Γενικά, όλοι οι **υδρογονάνθρακες** (ενώσεις που αποτελούνται αποκλειστικά από C και H) είναι **μη πολικά** μόρια ή μόρια με πολύ μικρή διπολική ροπή.

Στιγμιαία δίπολα

Υπό την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται από το ένα ιόν ή από ένα μόνιμο δίπολο μόριο, το ηλεκτρονιακό νέφος ενός διπλανού μη μόνιμου διπόλου μορίου μπορεί να διαταραχθεί στιγμιαία με αποτέλεσμα την παροδική εμφάνιση (επαγόμενης) διπολικής ροπής. Η έκταση της διαταραχής εξαρτάται από το μέγεθος του ηλεκτρονιακού νέφους του μη διπόλου μορίου. Σε τέτοιες περιπτώσεις αναφερόμαστε σε στιγμιαία δίπολα στα οποία δεν εμφανίζεται μόνιμη διπολική ροπή ($\mu = 0$).



3. Διαμοριακές δυνάμεις

Οι χημικοί δεσμοί συγκρατούν τα άτομα σε ένα μόριο. Αλλά ποιες δυνάμεις συγκρατούν τα μόρια μεταξύ τους;

Ας παρακολουθήσουμε ένα υγρό σώμα σε ανοικτό δοχείο. Στην υγρή φάση θα πρέπει να υπάρχουν κάποιες δυνάμεις που συγκρατούν (περιορίζουν) τα μόρια κάτω από την επιφάνεια του υγρού. Οι δυνάμεις αυτές λέγονται διαμοριακές και απαιτούν ενέργεια (π.χ. θερμική) για τη διάσπασή τους.

Οι διαμοριακές δυνάμεις είναι ελκτικές δυνάμεις ηλεκτροστατικής φύσης που επενεργούν μεταξύ μορίων ή και μεταξύ διαφορετικών περιοχών ενός μεγαλομορίου (π.χ. μιας πρωτεΐνης). Οι δυνάμεις αυτές αντιμάχονται τη θερμική κίνηση των μορίων που τείνουν να απομακρύνουν τα μόρια μεταξύ τους και ο συνδυασμός τους καθορίζει τη φυσική κατάσταση του σώματος (στερεό, υγρό ή αέριο). Με την αύξηση της θερμοκρασίας τα μόρια του υγρού προσλαμβάνουν ενέργεια και μεταβαίνουν στην αέρια φάση (με το φαινόμενο της εξάτμισης) στην οποία τα μόρια αλληλοεπιδρούν πολύ λιγότερο μεταξύ τους.

Οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις ανήκουν στις ηλεκτρομαγνητικές.

Οι κλασικές διαμοριακές δυνάμεις ταξινομούνται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Δυνάμεις διασποράς ή δυνάμεις London
- Δυνάμεις διπόλου - διπόλου
- Δεσμός υδρογόνου

→ δυνάμεις van der Waals

ΙΣΧΥΣ



Johannes van der Waals (1837-1923). Ολλανδός φυσικός, βραβείο Νόμπελ Φυσικής το 1910. Το 1873 θεώρησε την ύπαρξη των διαμοριακών δυνάμεων για να εξηγήσει τις αποκλίσεις των πραγματικών αερίων από την καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων.

Οι δύο πρώτες από τις παραπάνω κατηγορίες διαμοριακών δυνάμεων (δυνάμεις διασποράς ή London και δυνάμεις διπόλου - διπόλου) αλλά και οι δυνάμεις διπόλου - μη διπόλου χαρακτηρίζονται ως **δυνάμεις van der Waals**, ενώ ο δεσμός υδρογόνου εντάσσεται σε ξεχωριστή κατηγορία λόγω της ισχύος του αλλά και της ειδικής του σημασίας.

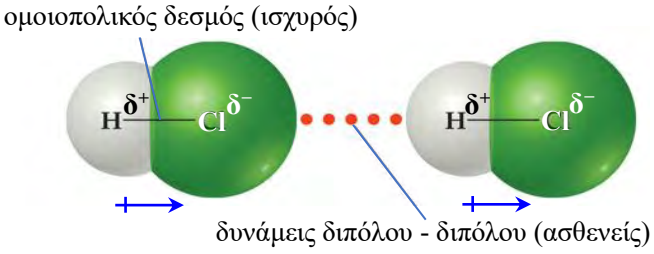
Η ισχύς των διαμοριακών δυνάμεων που εμφανίζονται σε ένα σώμα παίζουν σημαντικό ρόλο στις φυσικές του ιδιότητες, π.χ. στο σημείο βρασμού του, στο ιξώδες του (δυσκολία ροής του υγρού), στη διαλυτότητά του στους διαφόρους διαλύτες κτλ.

4. Δυνάμεις διπόλου - διπόλου

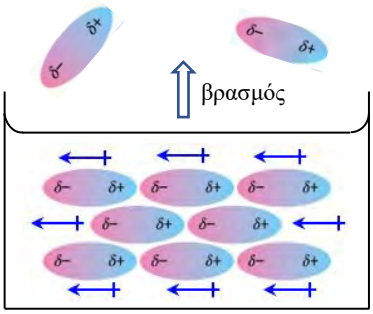
Όταν δύο <u>πολικά</u> μόρια πλησιάζουν αρκετά μεταξύ τους με κατάλληλο προσανατολισμό αναπτύσσεται μία ελκτική δύναμη ηλεκτροστατικής φύσης μεταξύ των ετερώνυμων φορτισμένων άκρων, του θετικού πόλου του ενός και του αρνητικού πόλου του άλλου. Έτσι το σύστημα των δύο μορίων αποκτά μικρότερη ενέργεια και άρα μεγαλύτερη σταθερότητα. Ας δούμε σχηματικά τις διαμοριακές δυνάμεις διπόλου - διπόλου για την περίπτωση του HCl (οι διαμοριακές δυνάμεις έχουν σημαντικά μικρότερη ισχύ από τον ομοιοπολικό δεσμό που αναπτύσσεται μεταξύ των ατόμων H και Cl στο ίδιο μόριο):

Ο διμεθυλαιθέρας (CH_3OCH_3) έχει μ = 1,3 D, M_r = 46 και σημείο βρασμού −25 °C. Στο αιθανονιτρίλιο (CH_3CN, M_r = 41) η διπολική ροπή είναι πιο μεγάλη (μ = 3,9 D), οι δυνάμεις διπόλου - διπόλου είναι ισχυρότερες και το σημείο βρασμού ανεβαίνει στους 82 °C.

Οι δυνάμεις διπόλου - διπόλου αναφέρονται και ως δυνάμεις Keesom προς τιμή του Ολλανδού φυσικού Willem Hendrik Keesom (1876-1956) που έκανε τη μαθηματική τους περιγραφή το 1921.

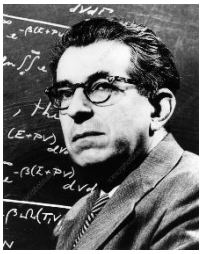


Ο ομοιοπολικός δεσμός είναι ενδομοριακός και αρκετά ισχυρός. Οι δυνάμεις διπόλου - διπόλου είναι διαμοριακές και αρκετά ασθενέστερες. Με τη μετάβαση από την υγρή στην αέρια φάση, οι διαμοριακοί δεσμοί εξασθενούν σημαντικά, ο ενδομοριακός (ομοιοπολικός) δεσμός, όμως, παραμένει άθικτος.



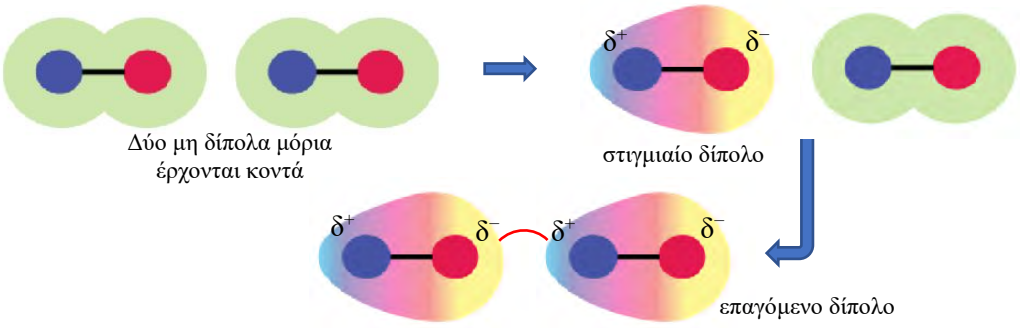
Οι διαμοριακές αυτές δυνάμεις στο μόριο του HCl χαρακτηρίζονται ως δυνάμεις διπόλου - διπόλου και η ισχύς τους εξαρτάται γενικά από τη διπολική ροπή (μ) του μορίου.

5. Δυνάμεις διασποράς ή δυνάμεις London

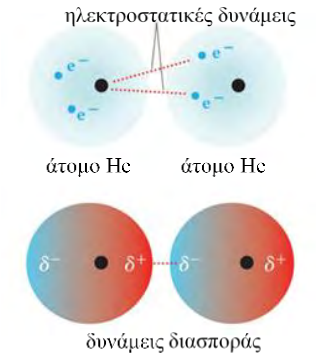


Fritz Wolfgang London. Γερμανός φυσικός, γεννημένος το 1900 στο Breslau που τώρα είναι στην Πολωνία. Μετανάστευσε στην Αμερική το 1939 και έγινε Αμερικανός πολίτης. Ασχολήθηκε με τη θεωρητική φυσική αλλά και με θέματα χημείας. Πέθανε στην Αμερική το 1954.

Μεταξύ μη διπόλων μορίων, στα οποία δεν εμφανίζεται διπολική ροπή, αναπτύσσονται ασθενείς διαμοριακές δυνάμεις που αναφέρονται ως δυνάμεις διασποράς ή London. Οι δυνάμεις αυτές εξηγούνται με τη θεωρία του **στιγμιαίου διπόλου**, δηλαδή την παροδική ανισοκατανομή του ηλεκτρονιακού νέφους ενός μη διπόλου μορίου προς το ένα άκρο του που έχει ως αποτέλεσμα τη μετατροπή ενός διπλανού μορίου σε (επαγόμενο) δίπολο. Η μετατόπιση αυτή του ηλεκτρονιακού νέφους στα μόρια μεταβάλλεται συνεχώς, αλλά αυτό γίνεται ταυτόχρονα και στα γειτονικά μόρια και η ελκτική δύναμη ανάμεσα στα μόρια συνολικά διατηρείται. Οι δυνάμεις διασποράς δεν έχουν συγκεκριμένη κατεύθυνση και εξηγούν την ύπαρξη της υγρής κατάστασης σε μη πολικές ενώσεις.



Σχήμα 1. *Σχηματισμός δυνάμεων διασποράς ανάμεσα με μη δίπολα μόρια.*



Ανισοκατανομή του ηλεκτρονιακού νέφους σε δύο άτομα He (στιγμιαία δίπολα) που οδηγεί στο σχηματισμό δυνάμεων διασποράς (London).

Οι δυνάμεις διασποράς ή London είναι οι πιο ασθενείς διαμοριακές δυνάμεις και εμφανίζονται ανεξάρτητα αν τα μόρια είναι δίπολα ή όχι καθώς σχετίζονται με τον αριθμό των ηλεκτρονίων τους. Εμφανίζονται όμως κατ' αποκλειστικότητα στις μη πολικές ενώσεις.

Εφαρμογή 1

Τα μόρια των διατομικών στοιχείων, π.χ. H_2, O_2, N_2, αλλά και τα άτομα των ευγενών αερίων (He, Ne, Ar κτλ.) υγροποιούνται πολύ δύσκολα. Πώς εξηγείται το γεγονός αυτό;

Όλα τα παραπάνω στοιχεία αποτελούνται από μη δίπολα μόρια ($\mu = 0$) και οι διαμοριακές τους δυνάμεις είναι αποκλειστικά δυνάμεις διασποράς ή London που είναι πολύ ασθενείς. Επομένως τα στοιχεία αυτά έχουν χαμηλά σημεία βρασμού και υγροποιούνται δύσκολα.

Η ισχύς των δυνάμεων διασποράς εξαρτάται από:

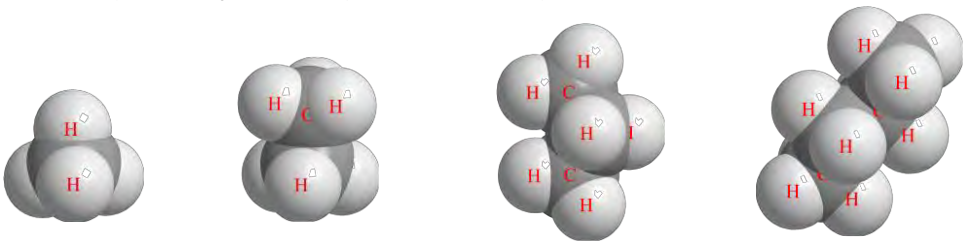
1) Τη σχετική μοριακή μάζα (M_r). Η δυνατότητα (ευκολία) σχηματισμού στιγμιαίου διπόλου σε μη δίπολα μόρια αυξάνεται με το μέγεθος του μορίου (αύξηση της σχετικής μοριακής μάζας, M_r) με αποτέλεσμα την αύξηση της ισχύος των δυνάμεων διασποράς και τελικά την αύξηση του σημείου βρασμού του στοιχείου ή της χημικής ένωσης. Π.χ.:

Αλογόνα	M_r	Σημεία βρασμού / °C
F_2	38	−188
Cl_2	71	−35
Br_2	160	+59
I_2	254	+184

Τα σημεία βρασμού εξαρτώνται από την πίεση. Συνήθως, θεωρούμε $p = 1$ atm.

Εφαρμογή 2

Δίνονται τα σημεία βρασμού του μεθανίου (CH_4), του αιθανίου (CH_3CH_3), του προπανίου ($CH_3CH_2CH_3$) και του βουτανίου ($CH_3CH_2CH_2CH_3$).



μεθάνιο
CH_4
σ.β. −161,5 °C

αιθάνιο
CH_3CH_3
σ.β. −88,6 °C

προπάνιο
$CH_3CH_2CH_3$
σ.β. −42,1 °C

βουτάνιο
$CH_3CH_2CH_2CH_3$
σ.β. −0,5 °C

Να εξηγήσετε τις σχετικές τιμές των σημείων βρασμού των παραπάνω υδρογονανθράκων.

Οι ενώσεις αυτές είναι υδρογονάνθρακες και άρα μη πολικές ενώσεις οπότε διαμοριακά εμφανίζονται αποκλειστικά δυνάμεις διασποράς. Από το CH_4 προς το $CH_3CH_2CH_2CH_3$ αυξάνεται η σχετική μοριακή μάζα (M_r) και επομένως αυξάνεται και η ισχύς των δυνάμεων αυτών με τελικό αποτέλεσμα την αύξηση του σημείου βρασμού των ενώσεων.

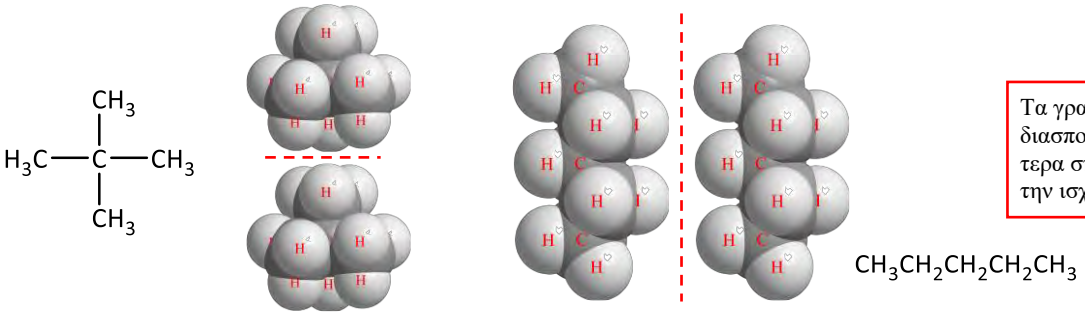
2) Από το σχήμα του μορίου. Ας δούμε ένα παράδειγμα. Το βουτάνιο έχει την ίδια μοριακή μάζα με το μεθυλοπροπάνιο (M_r = 58). Και οι δύο είναι μη πολικές ενώσεις και μεταξύ των μορίων τους εμφανίζονται αποκλειστικά δυνάμεις διασποράς. Τα σημεία βρασμού τους, όμως, διαφέρουν αισθητά (0 °C έναντι −12 °C). Γιατί;

$CH_3CH_2CH_2CH_3$
βουτάνιο (M_r = 58),

CH_3CHCH_3
$\quad\quad|$
$\quad\quad CH_3$
μεθυλοπροπάνιο (M_r = 58)

Γενικά, τα πιο «γραμμικά» μη πολικά μόρια (δηλαδή χωρίς ή με λιγότερες διακλαδώσεις στο συντακτικό τύπο) έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια «επαφής» μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται ισχυρότερες δυνάμεις διασποράς. Έτσι, οι αντίστοιχες ενώσεις παρουσιάζουν υψηλότερα σημεία βρασμού.

Ας δούμε και ένα άλλο παράδειγμα: το σημείο βρασμού του πεντανίου συγκριτικά με το σημείο βρασμού του ισομερούς του 2,2-διμεθυλοπροπανίου.



$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$

Τα γραμμικά μόρια οι δυνάμεις διασποράς δρουν σε περισσότερα σημεία αυξάνοντας έτσι την ισχύ τους.

Το πεντάνιο (δεξιά στο σχήμα) είναι ένα μάλλον γραμμικό μόριο, σε αντίθεση με το 2,2-διμεθυλοπροπάνιο (αριστερά στο σχήμα), το οποίο παρουσιάζεται μάλλον σφαιρικό. Και τα δύο μόρια έχουν την ίδια σχετική μοριακή μάζα (M_r = 72), όμως το πεντάνιο έχει μεγαλύτερο σημείο βρασμού (36 °C έναντι 9,5 °C), λόγω ισχυρότερων δυνάμεων διασποράς.

Αναφέρουμε ξανά ότι δυνάμεις διασποράς αναπτύσσονται και στην περίπτωση πολικών μορίων στα οποία όμως συνήθως υπερτερούν οι ισχυρότερες δυνάμεις διπόλου - διπόλου.

Το Cl_2 είναι μη πολικό μόριο ενώ το HCl είναι πολικό. Θα περιμέναμε, λοιπόν, το HCl να έχει μεγαλύτερο σ.β. από το Cl_2, πράγμα που δε συμβαίνει καθώς το HCl έχει σ.β.= −85 °C ενώ το Cl_2 έχει σ.β.= −35 °C. Το γεγονός αυτό εξηγείται από τη μεγάλη διαφορά στα μεγέθη των μορίων (M_r Cl_2 = 71, M_r HCl = 36,5) με αποτέλεσμα μεγάλες διαφορές στις δυνάμεις διασποράς οι οποίες και υπερκαλύπτουν τις δυνάμεις διπόλου - διπόλου!

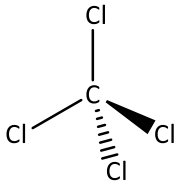
Εφαρμογή 3

Τα αέρια NO και O_2 έχουν παραπλήσιες μοριακές μάζες, αλλά παρουσιάζουν σημαντική διαφορά στα σημεία βρασμού τους (−152 °C έναντι −183 °C, αντίστοιχα). Να δώσετε μία εξήγηση για αυτή τη διαφορά.

Τα δύο μόρια έχουν παρόμοιες σχετικές μοριακές μάζες (32 και 30 αντίστοιχα), όμως το NO είναι πολικό μόριο, ενώ το O_2 μη πολικό. Επομένως, στο NO εμφανίζονται δυνάμεις διπόλου - διπόλου, ενώ στο O_2 εμφανίζονται οι αρκετά πιο ασθενείς δυνάμεις διασποράς, γι' αυτό και το τελευταίο έχει μικρότερο σημείο βρασμού.

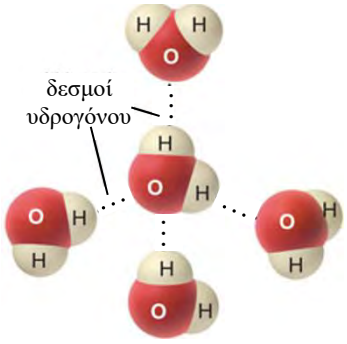
Εφαρμογή 4

Το $CHCl_3$ (χλωροφόρμιο) και ο CCl_4 (τετραχλωράνθρακας) είναι δύο υγρά σώματα με σχετικές μοριακές μάζες 118,5 και 156, αντίστοιχα. Τα σημεία βρασμού τους είναι 61 °C και 77 °C, αντίστοιχα. Να δώσετε μία εξήγηση για αυτή τη διαφορά.



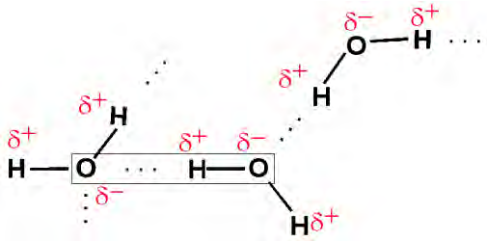
Το $CHCl_3$ είναι πολικό μόριο, λόγω της σημαντικής ηλεκτραρνητικότητας των ατόμων Cl και διαμοριακά αναπτύσσονται οι σχετικά ισχυρές δυνάμεις διπόλου - διπόλου. Από την άλλη πλευρά, το CCl_4 είναι ένα τετραεδρικό μη πολικό μόριο αν και διαθέτει τέσσερις πολωμένους ομοιοπολικούς δεσμούς, καθώς οι διπολικές ροπές αλληλοαναιρούνται (όπως π.χ. στο CH_4). Έτσι, μεταξύ των μορίων του να αναπτύσσονται δυνάμεις διασποράς που γενικά είναι ασθενέστερες. Γιατί, παρόλα αυτά έχει μεγαλύτερο σημείο βρασμού; Το CCl_4 έχει αρκετά μεγαλύτερη σχετική μοριακή μάζα με πολύ περισσότερα ηλεκτρόνια στο μόριό του. Ως αποτέλεσμα, οι δυνάμεις διασποράς παρουσιάζονται αυξημένες και υπερκαλύπτουν τη διαφορά σε σχέση με τις δυνάμεις διπόλου - διπόλου.

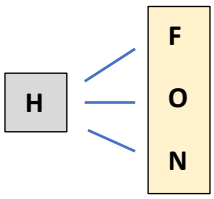
6. Δεσμός υδρογόνου



Δεσμοί υδρογόνου στο H_2O. Κάθε μόριο H_2O σχηματίζει το πολύ 4 δεσμούς υδρογόνου με διπλανά μόρια νερού.

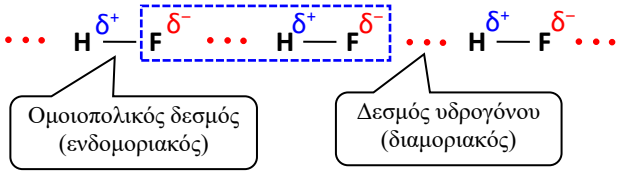
Οι αρκετές ιδιαιτερότητες στις ιδιότητες του H_2O οφείλονται βασικά στο είδος των διαμοριακών αλληλεπιδράσεων που εμφανίζει. Οι αλληλεπιδράσεις αυτές αναπτύσσονται μεταξύ του ατόμου Η ενός μορίου H_2O και του ατόμου Ο διπλανού μορίου H_2O, έχουν δε την ικανότητα να επεκτείνονται και σε περισσότερα μόρια σχηματίζοντας «δίκτυο». Ο διαμοριακός αυτός δεσμός ονομάζεται δεσμός υδρογόνου, είναι ηλεκτροστατικής φύσης και συμβολίζεται συνήθως με τρεις τελείες ανάμεσα στα μόρια H_2O που τον σχηματίζουν:





Ο (διαμοριακός) δεσμός υδρογόνου εμφανίζεται και σε άλλες περιπτώσεις, γενικότερα δε σε μόρια στα οποία άτομο Η είναι ομοιοπολικά ενωμένο με άτομο F, O ή N (ισχυρά ηλεκτραρνητικά άτομα με μικρό μέγεθος). Τα άτομα αυτά έλκουν σε σημαντικό βαθμό προς το μέρος του το κοινό ζεύγος ηλεκτρονίων του δεσμού και το $H^{\delta+}$ που προκύπτει συνδέεται διαμοριακά με δεσμό υδρογόνου με άλλο άτομο F, O ή N διπλανού μορίου.

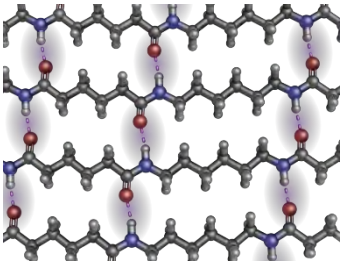
Έτσι, δεσμός υδρογόνου εμφανίζεται και στις περιπτώσεις του HF, της NH_3 κτλ.:



Οι πιο ισχυροί δεσμοί υδρογόνου αναπτύσσονται όταν τα δύο ηλεκτραρνητικά στοιχεία (F, O, N) και το H σχηματίζουν ευθεία γραμμή.

Απόδειξη της ύπαρξης των δεσμών υδρογόνου είναι τα αξιοσημείωτα υψηλά σημεία βρασμού που παρουσιάζουν οι ενώσεις στις οποίες εμφανίζεται. Καθώς οι διαμοριακές αυτές αλληλεπιδράσεις είναι σημαντικά ισχυρότερες από τις δυνάμεις διπόλου - διπόλου και τις δυνάμεις διασποράς απαιτείται σημαντική ενέργεια για τη διάσπασή τους και επομένως για τη μετατροπή της υγρής στην αέρια κατάσταση. Ας θεωρήσουμε, για παράδειγμα, το υδροφθόριο (HF) σε σχέση με τα άλλα υδραλογόνα (HCl, HBr, HI).

Υδραλογόνα	M_r	σ.β. / °C
HF	20	+19,5
HCl	36,5	−85
HBr	81	−67
HI	128	−35



Σχηματική αναπαράσταση των δεσμών υδρογόνου ανάμεσα στις πολυμερικές αλυσίδες του νάιλον (nylon).

Όλα τα προηγούμενα μόρια είναι πολικά. Από το HCl προς το HI παρατηρούνται φυσιολογικά όλο και μεγαλύτερα σημεία βρασμού, καθώς η σχετική μοριακή μάζα αυξάνεται. Το HF όμως αν και διαθέτει τη μικρότερη σχετική μοριακή μάζα παρουσιάζει το μεγαλύτερο σημείο βρασμού καθώς στην περίπτωση αυτή εμφανίζεται δεσμός υδρογόνου.

Ο δεσμός υδρογόνου είναι ένα χρήσιμο θεωρητικό «εργαλείο» που εξηγεί και άλλες χαρακτηριστικές φυσικοχημικές ιδιότητες διαφόρων ενώσεων. Μπορεί να εξηγήσει (μερικά τουλάχιστον) γιατί το HF είναι ασθενές οξύ (δεν ιοντίζεται πλήρως) ενώ τα άλλα υδραλογόνα (HCl, HBr, HI) είναι ισχυρά (ιοντίζονται πλήρως). Η μετατροπή ενός μορίου HF σε ιόντα (H^+ και F^-) απαιτεί αρχικά το «σπάσιμο» των δεσμών υδρογόνου με άλλα μόρια HF. Αυτό «κοστίζει» κάτι παραπάνω από ενεργειακή άποψη, πράγμα που δε συμβαίνει με τα μόρια HCl, HBr, HI στα οποία δεν εμφανίζεται δεσμός υδρογόνου.

Η Χημεία της… ζωής!



Οι δύο έλικες του DNA συνδέονται μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου (2 δεσμοί υδρογόνου μεταξύ αδενίνης και θυμίνης και 3 δεσμοί υδρογόνου μεταξύ κυτοσίνης και γουανίνης).

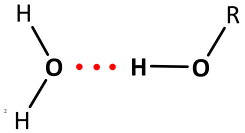
Μερικές συνέπειες του δεσμού υδρογόνου είναι και οι εξής: **α)** Το υψηλό σημείο βρασμού του νερού και το γεγονός ότι ο πάγος επιπλέει στο νερό. **β)** Οι αλκοόλες έχουν υψηλότερο σημείο βρασμού από τους ισομερείς τους αιθέρες, στους οποίους δεν εμφανίζεται δεσμός υδρογόνου. **γ)** Τα πρώτα μέλη των αλκοολών και των καρβοξυλικών οξέων έχουν μεγάλη διαλυτότητα στο νερό. **δ)** Η ιδιαίτερα σταθερή δομή των πρωτεϊνών και της διπλής έλικας του DNA. **ε)** Η μεγάλη αντοχή του νάιλον (nylon).

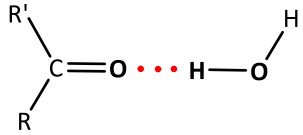
Εφαρμογή 5

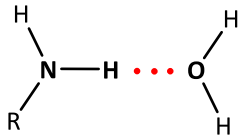
α) Το σημείο βρασμού της αιθανόλης, CH_3CH_2OH, είναι πολύ μεγαλύτερο από το σημείο βρασμού του διμεθυλαιθέρα, CH_3OCH_3 (78,2 °C, έναντι −24 °C), αν και οι δύο ενώσεις έχουν τον ίδιο μοριακό τύπο, C_2H_6O και άρα την ίδια σχετική μοριακή μάζα. Να εξηγηθεί η μεγάλη διαφορά στα σημεία βρασμού των δύο αυτών ενώσεων.
β) Να εξηγηθεί γιατί τόσο η CH_3CH_2OH όσο και ο CH_3OCH_3 διαλύονται στο νερό. Ποια από τις ενώσεις διαλύεται περισσότερο στο νερό;

Οι δεσμοί υδρογόνου εμφανίζουν συνήθως γραμμική γεωμετρία ή σχεδόν γραμμική γεωμετρία.

Οι δεσμοί υδρογόνου εμφανίζονται και μεταξύ διαφορετικών μορίων, όπως φαίνεται και στα παρακάτω παραδείγματα:



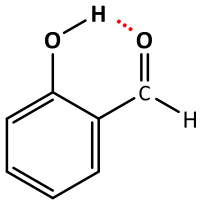






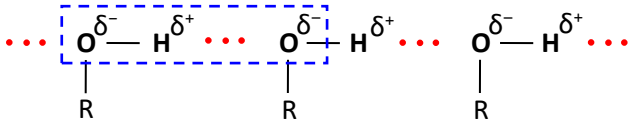
Η διαφανής δομή της αλβουμίνης (πρωτεΐνη) του αυγού έχει μετατραπεί σε λευκή λόγω της καταστροφής των δεσμών υδρογόνου με το τηγάνισμα.

Σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να σχηματιστεί δεσμός υδρογόνου και ενδομοριακά, όπως για παράδειγμα στην ένωση που ακολουθεί.

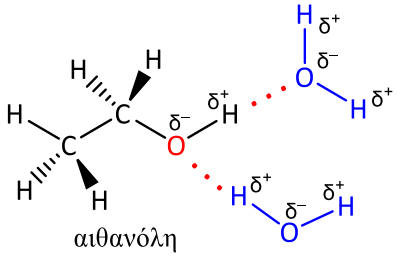


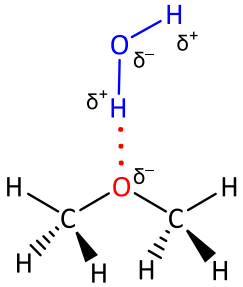
Ο ενδομοριακός δεσμός υδρογόνου έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του σημείου βρασμού της ένωσης καθώς και τη μείωση της διαλυτότητάς της στο νερό.

α) Στην περίπτωση της υγρής αιθανόλης έχουμε ενδομοριακά δεσμό O–H με αποτέλεσμα να εμφανίζεται διαμοριακά δεσμός υδρογόνου. Τέτοια περίπτωση δεν υπάρχει στον διμεθυλαιθέρα που δεν διαθέτει στο μόριό του δεσμό O–H και διαμοριακά εμφανίζει δυνάμεις διπόλου - διπόλου. Ως αποτέλεσμα, το σημείο βρασμού της αιθανόλης είναι πολύ μεγαλύτερο καθώς απαιτείται σημαντικό ποσό ενέργειας για τη διάσπαση των δεσμών υδρογόνου και τη μετάβαση από την υγρή στην αέρια φάση.



β) Η αιθανόλη και ο διμεθυλαιθέρας διαλύονται στο νερό γιατί σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου με τα μόρια νερού κάνοντας έτσι πιο εύκολη τη διάλυση. Ειδικά η αιθανόλη παρουσιάζει «άπειρη» διαλυτότητα στο νερό καθόσον είναι πιο πολική ένωση και έχει μεγαλύτερη δυνατότητα σχηματισμών υδρογόνου με τα μόρια του H_2O καθώς μπορεί να λειτουργήσει και ως δότης δεσμών υδρογόνου (μέσω του ατόμου του H) και ως δέκτης δεσμών υδρογόνου (μέσω του ατόμου του O). Αντίθετα, ο διμεθυλαιθέρας μπορεί να λειτουργήσει μόνο ως δέκτης δεσμών υδρογόνου (μέσω του ατόμου του O):


αιθανόλη


διμεθυλαιθέρας

Εφαρμογή 6

Τα μόρια των ενώσεων που ακολουθούν έχουν παρόμοιες σχετικές μοριακές μάζες και τα δύο πρώτα από αυτά έχουν και το ίδιο μήκος. Να εξηγήσετε τις διαφορές στα σημεία βρασμού των ενώσεων αυτών.

Ένωση	σ.β. / °C
$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$	36
$CH_3CH_2CH_2CH_2OH$	117
CH_3CHCH_2OH (με CH_3 διακλάδωση)	108

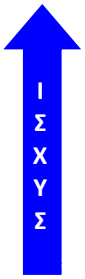
Το μεγαλύτερο σημείο βρασμού έχει η μεσαία ένωση (1-βουτανόλη), καθώς και «ευθύγραμμο» σχήμα έχει και σχηματίζει διαμοριακά δεσμό υδρογόνου. Δεσμό υδρογόνου σχηματίζει και η τελευταία ένωση (2-μεθυλο-1-προπανόλη), αλλά λόγω της διακλάδωσης σχηματίζει ασθενέστερες δυνάμεις διασποράς. Η πρώτη ένωση είναι υδρογονάνθρακας (μη πολική ένωση) και επομένως διαμοριακά σχηματίζει αποκλειστικά δυνάμεις διασποράς (London) που είναι ασθενείς και για το λόγο αυτό παρουσιάζει το μικρότερο σημείο βρασμού.

7. Σύγκριση της ισχύος των διαφόρων δεσμών – Παραδείγματα διαμοριακών δυνάμεων

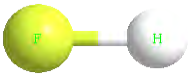
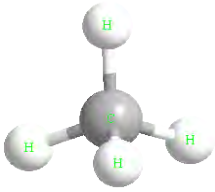
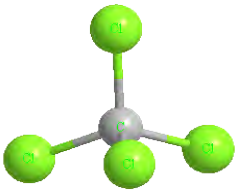
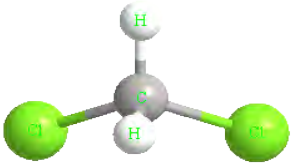
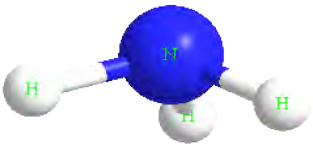
Η ισχύς κάποιου δεσμού (ενδομοριακού ή διαμοριακού) εμφανίζεται μέσω της ενέργειας που απαιτείται για τη διάσπασή του. Ακολουθεί ένας πίνακας σχετικής ισχύος των χημικών δεσμών και των διαμοριακών δυνάμεων (Πίνακας 1) καθώς και ένας πίνακας (Πίνακας 2) με παραδείγματα διαμοριακών δυνάμεων.

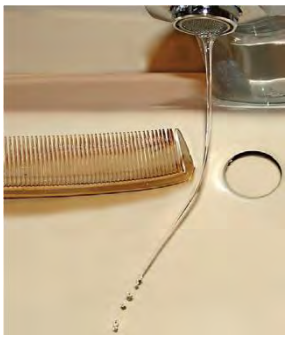
Πίνακας 1. *Σχετική ισχύς χημικών δεσμών και διαμοριακών δυνάμεων.*

Χημικοί δεσμοί	ιοντικός (ιόντος - ιόντος) ομοιοπολικός	$NaCl$, MgF_2 H–Cl, Cl–Cl
	ιόντος - διπόλου μορίου	$[Cu(H_2O)_6]^{2+}$
Διαμοριακοί δεσμοί	υδρογόνου	H–F ··· H–F
	διπόλου - διπόλου	H–Br - - - H–Br
	διασποράς (London)	Cl–Cl - - - Cl–Cl



Πίνακας 2. *Παραδείγματα διαμοριακών δυνάμεων.*

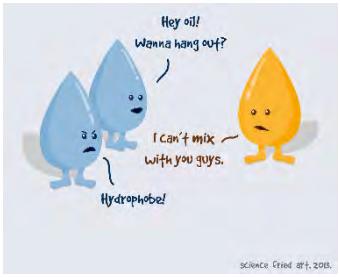
 Cl_2 $\mu = 0$ (μη δίπολο μόριο) δυνάμεις διασποράς	 HCl (HBr, HI) $\mu \neq 0$ (δίπολο μόριο) δυνάμεις διπόλου - διπόλου	 HF $\mu \neq 0$ (δίπολο μόριο) δεσμός υδρογόνου
 CO_2 $\mu = 0$ (μη δίπολο μόριο) δυνάμεις διασποράς	 CH_4 $\mu = 0$ (μη δίπολο μόριο) δυνάμεις διασποράς	 CCl_4 $\mu = 0$ (μη δίπολο μόριο) δυνάμεις διασποράς
 CH_2Cl_2 $\mu \neq 0$ (δίπολο μόριο) δυνάμεις διπόλου - διπόλου	 NH_3 $\mu \neq 0$ (δίπολο μόριο) δεσμός υδρογόνου	 H_2O $\mu \neq 0$ (δίπολο μόριο) δεσμός υδρογόνου



Πειραματική διαπίστωση των πολικών μορίων. Η φλέβα του νερού έλκεται από μία χτένα που έχει φορτιστεί ηλεκτρικά με τριβή σε μάλλινο ύφασμα.

8. Επίδραση των διαμοριακών δυνάμεων στις ιδιότητες της ύλης

Η θεώρηση των διαμοριακών δυνάμεων βοήθησε σημαντικά στην εξήγηση των διαφόρων ιδιοτήτων της ύλης. Αναφέρουμε στη συνέχεια δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα.





Η διαλυτότητα αυξάνεται με την αύξηση της ισχύος των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μορίων της διαλυμένης ουσίας και του διαλύτη σε σχέση με τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μορίων της διαλυμένης ουσίας και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μορίων του διαλύτη.

1) **Διαλυτότητα**. Το H_2O διαλύει πολύ εύκολα τις πολικές ενώσεις (π.χ. την αιθανόλη, CH_3CH_2OH), ή τις ιοντικές ενώσεις (π.χ. το NaCl) λόγω της πολικότητάς του αλλά και του μικρού μεγέθους των μορίων του. Δεν διαλύει, όμως, τις μη πολικές ενώσεις όπως το CH_4 ή το CCl_4. Αντίθετα, το εξάνιο που είναι μη πολική ένωση διαλύει το CH_4 ή τον CCl_4, αλλά δε μπορεί να διαλύσει πολικές ενώσεις, όπως το NaCl ή το νερό. Γενικά:

Οι πολικές ενώσεις διαλύονται καλύτερα σε πολικούς διαλύτες ενώ οι μη πολικές ενώσεις προτιμούν τους μη πολικούς διαλύτες («τα όμοια διαλύουν όμοια»).

Η διαλυτότητα αυξάνεται σημαντικά με τη δυνατότητα σχηματισμού δεσμού υδρογόνου καθώς έτσι τα μόρια της διαλυμένης ουσίας μπορούν να διεισδύσουν ανάμεσα στα μόρια του διαλύτη. Π.χ. οι κατώτερες αλκοόλες διαλύονται σε οποιαδήποτε αναλογία με το H_2O. Με την αύξηση της μη πολικής ανθρακικής αλυσίδας η διαλυτότητα μειώνεται συνεχώς και τελικά πρακτικά μηδενίζεται.

Με την αύξηση της ισχύος των διαμοριακών δυνάμεων το αέριο υγροποιείται πιο εύκολα καθώς παρουσιάζει μεγαλύτερο σημείο βρασμού.

2) **Σημείο βρασμού (ή ζέσης), σ.β.** Για ενώσεις με την ίδια ή παραπλήσια σχετική μοριακή μάζα (M_r) η αύξηση της ισχύος των διαμοριακών δυνάμεων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του σημείου βρασμού και την «πιο εύκολη» υγροποίηση της ένωσης. Π.χ. το σημείο βρασμού της CH_3CH_2OH είναι πολύ μεγαλύτερο του CH_3OCH_3. Τα δύο μόρια έχουν το ίδιο μοριακό τύπο (C_2H_6O) και άρα το ίδιο M_r αλλά στην πρώτη περίπτωση εμφανίζονται διαμοριακά δεσμοί υδρογόνου ενώ στη δεύτερη οι αρκετά ασθενέστερες διαμοριακές δυνάμεις διπόλου - διπόλου.

9. Δεσμοί ιόντος - διπόλου μορίου



Η αμμωνία αντιδρά με ιόντα Cu^{2+} σχηματίζοντας το σύμπλοκο ιόν $[Cu(NH_3)_6]^{2+}$ στο οποίο εμφανίζονται δυνάμεις ιόντος - διπόλου μορίου.

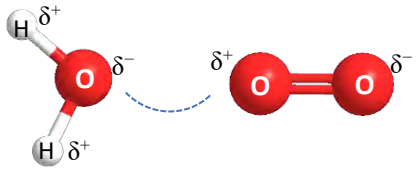
Το $Cu^{2+}(aq)$ σχηματίζει με τα πολικά μόρια νερού το σύμπλοκο ιόν $[Cu(H_2O)_6]^{2+}$ στο οποίο ο Cu^{2+} είναι ενωμένος με 6 μόρια H_2O, μέσω των ηλεκτραρνητικών ατόμων οξυγόνου. Τέτοιοι δεσμοί μεταξύ ενός ιόντος και ενός πολικού μορίου ονομάζονται ιόντος - διπόλου, η ισχύς τους είναι μεγαλύτερη από αυτή των δεσμών υδρογόνου, εξαρτάται δε από το μέγεθος και το φορτίο των ιόντων καθώς και από τη διπολική ροπή του μορίου.

10. Συμπληρωματικό θέμα: Δυνάμεις διπόλου - στιγμιαίου διπόλου (δυνάμεις Debye).

Ξέρουμε ότι το O_2 μπορεί να διαλυθεί στο νερό, π.χ. στο νερό της θάλασσας και είναι αυτό που προσλαμβάνουν οι θαλάσσιοι οργανισμοί. Όμως τα μόρια του O_2 (O=O) είναι μη δίπολα ενώ τα μόρια του H_2O είναι δίπολα. Τι είδους διαμοριακές δυνάμεις ασκούνται μεταξύ των μορίων του O_2 και του H_2O ώστε να διευκολυνθεί η διάλυση;

Το μέτρο της ευκολίας με την οποία η πυκνότητα του ηλεκτρονικού φορτίου διαταράσσεται σε ένα άτομο ή μόριο, υπό την επίδραση εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου αναφέρεται ως πολωσιμότητα.

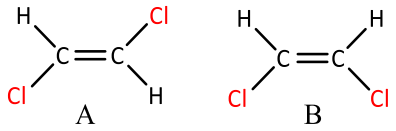
Όταν ένα μόριο O_2 (μη δίπολο μόριο) πλησιάσει ένα μόριο H_2O αναπτύσσεται μία διαταραχή στο ηλεκτρονιακό του νέφος ώστε να απομακρυνθεί σε σχέση με το άτομο O (δ^-) του H_2O. Παράγεται έτσι στιγμιαία μία μικρή διπολική ροπή (επαγόμενο δίπολο):



Με τη στιγμιαία αυτή δημιουργία διπόλου στο μόριο του O_2 αναπτύσσεται μία πολύ ασθενής αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο μορίων που χαρακτηρίζεται ως δύναμη διπόλου - στιγμιαίου διπόλου και ενσωματώνεται στις δυνάμεις van der Waals.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ

1. Το 1,2-διχλωροαιθένιο απαντάται σε δύο διαφορετικές στερεοχημικές επίπεδες μορφές, που αντιστοιχούν στους τύπους που ακολουθούν.



α) Ποιο από τα δύο μόρια εμφανίζει διπολική ροπή είναι δηλαδή πολικό;
1. Μόνο το μόριο A **2. Μόνο το μόριο** B **3. Και τα δύο 4. Κανένα από τα δύο**
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.
β) Οι δύο παραπάνω ενώσεις έχουν σημεία βρασμού 60,2 °C **και** 48,5 °C**. Ποια ένωση έχει ποιο σημείο βρασμού; Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.**

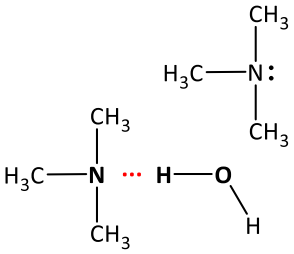
ΑΠΑΝΤΗΣΗ
α) Επιλογή 2. Στο μόριο B οι επιμέρους διπολικές ροπές από τους δεσμούς C − H (ο C είναι λίγο πιο ηλεκτραρνητικό στοιχείο από το H) δεν αλληλοαναιρούνται, όπως δεν αλληλοαναιρούνται και οι επιμέρους διπολικές ροπές από τους δύο δεσμούς C − Cl (το Cl είναι πιο ηλεκτραρνητικό από τον C). Έτσι το μόριο B εμφανίζει διπολική ροπή, είναι δηλαδή δίπολο. Αντίθετα, στο μόριο A οι επιμέρους διπολικές ροπές αλληλοαναιρούνται και δίνουν συνισταμένη μηδέν και επομένως δεν είναι δίπολο.



β) Στην ένωση A εμφανίζονται διαμοριακές δυνάμεις διασποράς (London) ενώ στην ένωση B και δυνάμεις διπόλου - διπόλου που είναι ισχυρότερες και επομένως η ένωση B θα έχει το υψηλότερο σημείο βρασμού (60,2 °C) και η ένωση A το χαμηλότερο (48,5 °C).

2. Το Br_2 **(**$M_r = 160$**) έχει σημείο βρασμού** 59 °C **ενώ το** HBr **(**$M_r = 81$**) έχει σημείο βρασμού** −67 °C**. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να εξηγηθούν καθώς:**
1. το HBr **είναι πολικό μόριο ενώ το** Br_2 **είναι μη πολικό μόριο**
2. το Br_2 **έχει πολύ μεγαλύτερη σχετική μοριακή μάζα σε σχέση με το** HBr
3. οι δυνάμεις διασποράς είναι ισχυρότερες από τις δυνάμεις διπόλου - διπόλου
4. στο HBr **εμφανίζονται δεσμοί υδρογόνου ενώ στο** Br_2 **όχι**
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

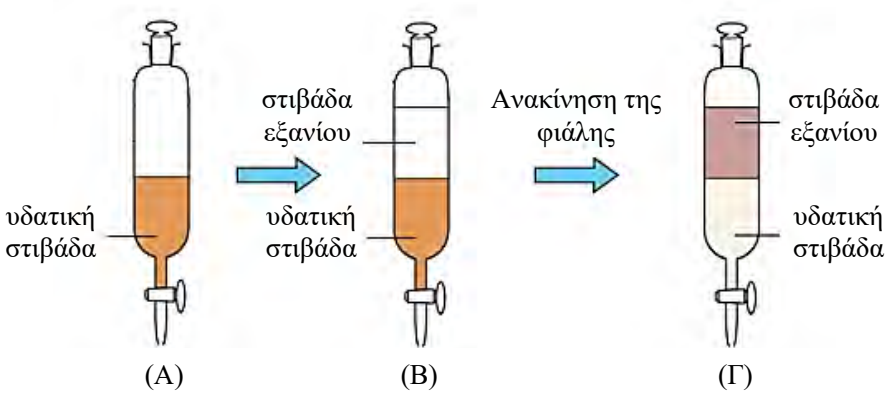
ΑΠΑΝΤΗΣΗ
Επιλογή 2. Το Br_2 είναι μη δίπολο μόριο καθώς είναι μόριο στοιχείου και επομένως διαμοριακά εμφανίζει αποκλειστικά δυνάμεις διασποράς (London) η ισχύς των οποίων αυξάνεται με την αύξηση της σχετικής μοριακής μάζας. Αντίθετα, το HBr είναι δίπολο μόριο καθώς το Br είναι πιο ηλεκτραρνητικό στοιχείο από το H, οπότε διαμοριακά εμφανίζει δυνάμεις διπόλου - διπόλου που είναι ισχυρότερες, γενικά, από τις δυνάμεις διασποράς. Προφανώς, για να παρουσιάζει το Br_2 υψηλότερο σημείο βρασμού θα πρέπει οι δυνάμεις διασποράς να είναι ισχυρότερες λόγω της σχεδόν διπλάσιας μοριακής μάζας υπερκαλύπτοντας τις κατά τα άλλα ισχυρότερες δυνάμεις διπόλου - διπόλου.



3. Ποια από τις παρακάτω ενώσεις δεν μπορεί να σχηματίσει δεσμούς υδρογόνου μεταξύ των μορίων της αλλά μπορεί να σχηματίσει δεσμούς υδρογόνου με το H_2O;
1. HF **2.** $(CH_3)_3N$ **3.** CH_3OH **4.** CH_3NH_2
Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
Επιλογή 2. Η ένωση αυτή έχει το διπλανό συντακτικό τύπο. Παρατηρούμε ότι στην ένωση αυτή δεν εμφανίζεται δεσμός ενός πολύ ηλεκτραρνητικού στοιχείου (F, O, N) με υδρογόνο, οπότε η ένωση αυτή δεν μπορεί να σχηματίσει διαμοριακά δεσμούς υδρογόνου. Μπορεί όμως να σχηματίσει δεσμούς Η με το H_2O της μορφής: **N ⋯ H − O** – H.

4. Στη διαχωριστική φιάλη (Α) του σχήματος που ακολουθεί βρίσκεται υδατικό διάλυμα που περιέχει ποσότητες NaCl(aq) **και** I_2(aq) **ως διαλυμένες ουσίες. Το διάλυμα παρουσιάζει καστανοκόκκινο χρώμα λόγω του διαλυμένου ιωδίου.**



Στη φιάλη αυτή προσθέτουμε εξάνιο ($CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$) **χωρίς να ανακινήσουμε. Παρατηρούμε ότι σχηματίζονται δύο στιβάδες, η υδατική (η αποκάτω) και η στιβάδα του εξανίου (η αποπάνω) όπως φαίνεται στη φιάλη** (Β).
α) Να εξηγήσετε γιατί το νερό και το εξάνιο δεν αναμιγνύονται και γιατί το εξάνιο είναι στην αποπάνω στιβάδα.
β) Ανακινούμε έντονα το μίγμα και στη συνέχεια αφήνουμε σε ηρεμία. Παρατηρούμε ότι η υδατική στιβάδα αποχρωματίζεται και το χρώμα μεταφέρεται στη στιβάδα του εξανίου (φιάλη Γ**). Να εξηγήσετε γιατί.**
γ) Να εξηγήσετε σε ποια στιβάδα βρίσκεται το NaCl **στη φιάλη** Γ.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
α) Το εξάνιο είναι υδρογονάνθρακας και επομένως μη πολική ουσία ενώ το νερό είναι πολική ουσία. Επομένως, καθώς «τα όμοια διαλύουν όμοια» τα υγρά αυτά δεν αναμιγνύονται. Όταν δύο υγρά δεν αναμιγνύονται, το υγρό με τη μικρότερη πυκνότητα (ρ) θα είναι η επάνω στιβάδα.

β) Το I_2 είναι μη πολική ουσία και διαλύεται πολύ καλύτερα στο εξάνιο που είναι μη πολικός διαλύτης. Επομένως, το I_2 με την ανακίνηση μεταφέρεται στη στιβάδα του εξανίου η οποία με τον τρόπο αυτό χρωματίζεται.

γ) Το NaCl είναι ιοντική ένωση (Na^+Cl^-) και επομένως διαλύεται στο νερό που είναι πολικός διαλύτης σχηματίζονται δυνάμεις ιόντος - διπόλου μορίου. Έτσι το NaCl παραμένει στην υδατική στιβάδα της φιάλης Γ.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

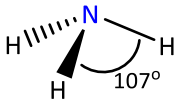
7.1. Οι δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ των μορίων του HCl χαρακτηρίζονται ως:
Α) ενδομοριακές Β) διαμοριακές
Γ) ομοιοπολικές Δ) ιοντικές

7.2. Ένα διατομικό μόριο είναι δίπολο όταν:
Α) αποτελείται από άτομα διαφορετικού στοιχείου
Β) αποτελείται από άτομα του ίδιου στοιχείου
Γ) τα άτομά του συνδέονται με απλό ομοιοπολικό δεσμό
Δ) σε καμία από τις παραπάνω περιπτώσεις.

7.3. Η διπολική ροπή (μ) του H_2O οφείλεται στο ότι:
Α) οι δύο ομοιοπολικοί δεσμοί H−O είναι πολωμένοι
Β) το μόριό του δεν είναι ευθύγραμμο
Γ) και στους δύο παραπάνω λόγους
Δ) το μόριό του είναι ηλεκτρικά ουδέτερο

7.4. Το μόριο του CO_2 δεν είναι δίπολο διότι:
Α) οι χημικοί δεσμοί C=O δεν είναι πολωμένοι
Β) το μόριο είναι ηλεκτρικά ουδέτερο
Γ) το μόριο είναι γραμμικό και οι επιμέρους διπολικές ροπές αλληλοαναιρούνται
Δ) η διπολική ροπή του δεσμού C=O είναι μηδέν

7.5. Το μόριο της NH_3:



Α) διαθέτει τρεις μη πολωμένους ομοιοπολικούς δεσμούς
Β) δεν είναι δίπολο γιατί οι τρεις διπολικές ροπές από τους δεσμούς N−H αλληλοαναιρούνται
Γ) είναι δίπολο μόριο
Δ) έχει διπολική ροπή ίση με το μηδέν

7.6. Ποιο από τα παρακάτω μόρια δεν είναι δίπολο μόριο;
Α) Το HCl Β) Το HF Γ) Το H_2O Δ) Το CO_2

7.7. Ποιες από τις ενώσεις που ακολουθούν αποτελούνται από δίπολα μόρια: CH_4, CH_3F, CH_2F_2, CHF_3 και CF_4.
Α) Το CH_3F, το CH_2F_2 και το CHF_3
Β) Το CH_4 και το CF_4
Γ) Το CH_2F_2 και το CF_4
Δ) Το CH_3F, το CH_2F_2, το CHF_3 και το CF_4

7.8. Ποια είναι η σωστή σειρά ισχύος για τον ομοιοπολικό δεσμό, το δεσμό υδρογόνου και τις δυνάμεις van der Waals;
Α) δυνάμεις van der Waals > δεσμός υδρογόνου > ομοιοπολικός δεσμός
Β) δεσμός υδρογόνου > ομοιοπολικός δεσμός > δυνάμεις van der Waals
Γ) ομοιοπολικός δεσμός > δυνάμεις van der Waals > δεσμός υδρογόνου
Δ) ομοιοπολικός δεσμός > δεσμός υδρογόνου > δυνάμεις van der Waals

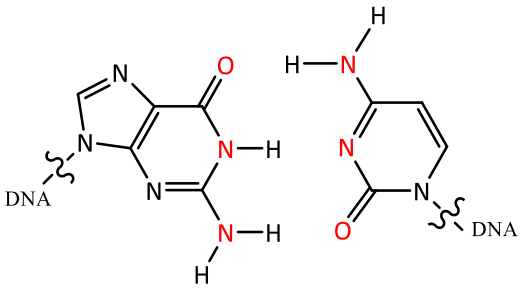
7.9. Ποιο το είδος των διαμοριακών αλληλεπιδράσεων που εμφανίζονται στο $F_2(\ell)$;
Α) Δυνάμεις διασποράς ή London
Β) Δυνάμεις διπόλου - διπόλου
Γ) Ομοιοπολικός δεσμός
Δ) Δεσμός υδρογόνου

7.10. Ισχυρότερες δυνάμεις διασποράς (London) αναπτύσσονται μεταξύ των μορίων του:
Α) πεντανίου Β) διμεθυλοπροπανίου
Γ) προπανίου Δ) αιθανίου

7.11. Οι ισχυρότερες διαμοριακές δυνάμεις στο HCl χαρακτηρίζονται ως:
Α) δυνάμεις διπόλου - διπόλου Β) δυνάμεις διασποράς
Γ) δεσμοί υδρογόνου Δ) δυνάμεις London

7.12. Οι ισχυρότερες διαμοριακές δυνάμεις μεταξύ των μορίων ενός υδραλογόνου HX (HX: HF, HCl, HBr, HI) είναι:
Α) δεσμοί υδρογόνου
Β) δυνάμεις διασποράς ή London
Γ) δυνάμεις διπόλου - ιόντος
Δ) δυνάμεις διπόλου - διπόλου ή δεσμοί υδρογόνου, ανάλογα με το είδος του HX

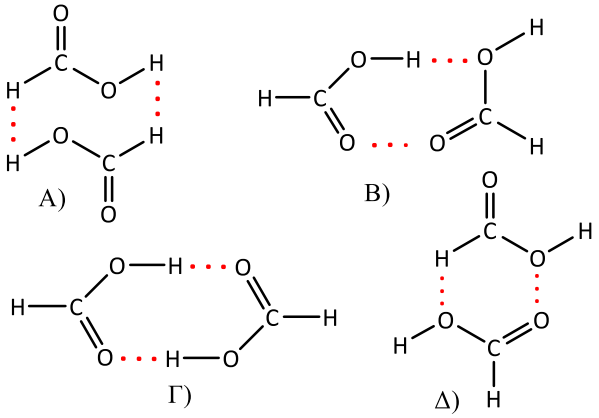
7.13. Πόσοι δεσμοί υδρογόνου μπορούν να δημιουργηθούν ανάμεσα στις δύο αυτές βάσεις της έλικας του DNA;



Α) 3 Β) 2 Γ) 1 Δ) κανένας

7.14. Δεσμοί υδρογόνου αναπτύσσονται μεταξύ των μορίων:
Α) CH_4 Β) Cl_2 Γ) HCl Δ) CH_3OH
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

7.15. Ποια από τις παρακάτω επιλογές παριστάνει σωστά τους δεσμούς υδρογόνου ανάμεσα σε δύο μόρια HCOOH;



7.16. Ποιες διαμοριακές αλληλεπιδράσεις εμφανίζονται μεταξύ των μορίων του $CH_3COOCH_2CH_3$;
Α) Δυνάμεις διπόλου - διπόλου και δυνάμεις διασποράς
Β) Αποκλειστικά δυνάμεις διπόλου - διπόλου
Γ) Αποκλειστικά δυνάμεις διασποράς (London)
Δ) Δυνάμεις διασποράς (London) και δεσμοί υδρογόνου

7.17. Σε ποια από τις ενώσεις που ακολουθούν ο δεσμός υδρογόνου παίζει σημαντικό ρόλο στις φυσικές της ιδιότητες;
Α) CH_4 Β) $H_2N{-}NH_2$ Γ) $(CH_3)_3N$ Δ) CH_3F

7.18. Ποιο το σύνολο των διαμοριακών δυνάμεων που εμφανίζονται στην ένωση $HOCH_2CH_2CH{=}O$;
Α) Δεσμός υδρογόνου, διασποράς
Β) Δεσμός υδρογόνου, διπόλου - διπόλου, διασποράς
Γ) Διασποράς, διπόλου - διπόλου
Δ) Δεσμός υδρογόνου, διπόλου - διπόλου

7.19. Ποια είναι η σειρά κατ' αυξανόμενα σημεία βρασμού για το N_2 ($M_r = 28$), το HF ($M_r = 20$) και το CO_2 ($M_r = 44$);
Α) CO_2, HF, N_2 Β) HF, CO_2, N_2
Γ) N_2, CO_2, HF Δ) CO_2, N_2, HF

7.20. Οι ενώσεις που ακολουθούν είναι αέριες στις συνηθισμένες συνθήκες. Ποια από τις ενώσεις αυτές προβλέπετε να υγροποιηθεί ευκολότερα;
Α) H_2S Β) Ne Γ) CH_4 Δ) NH_3

7.21. Το Br_2 και το ICl έχουν παρόμοιες σχετικές μοριακές μάζες (160 και 162, αντίστοιχα) αλλά διαφορετικά σημεία βρασμού (59 °C και 97 °C, αντίστοιχα). Τι από τα παρακάτω μπορεί να δικαιολογήσει τη διαφορά αυτή;
Α) Μεταξύ των μορίων Br_2 εμφανίζονται ισχυρότερες διαμοριακές δυνάμεις από ότι μεταξύ των μορίων του ICl
Β) Το ICl εμφανίζεται ιοντικός δεσμός ενώ στο Br_2 ομοιοπολικός
Γ) Στο ICl εμφανίζονται αποκλειστικά δυνάμεις διασποράς
Δ) Το ICl είναι δίπολο μόριο, ενώ το Br_2 όχι

7.22. Από τις ενώσεις CH_3CH_2OH και $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$:
Α) η CH_3CH_2OH έχει το υψηλότερο σημείο βρασμού
Β) η $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$ έχει μικρότερη διαλυτότητα στο H_2O
Γ) η CH_3CH_2OH έχει τη μικρότερη διαλυτότητα στο νερό
Δ) η CH_3CH_2OH εμφανίζει ισχυρότερες δυνάμεις διασποράς

7.23. Το σημείο βρασμού των ενώσεων $CH_3CH_2CH_2NH_2$, $CH_3CH_2NHCH_3$ και $(CH_3)_3N$ είναι αντίστοιχα, 49 °C, 37 °C και 3,5 °C. Ποιος είναι ο βασικός λόγος για τον οποίο η $(CH_3)_3N$ έχει το χαμηλότερο σημείο βρασμού;
Α) Στην ένωση $(CH_3)_3N$ οι επιμέρους διπολικές ροπές αλληλοαναιρούνται και το μόριο είναι μη πολικό
Β) Η $(CH_3)_3N$ έχει μικρότερη σχετική μοριακή μάζα
Γ) Η $(CH_3)_3N$ δεν έχει δυνατότητα σχηματισμού δεσμού υδρογόνου μεταξύ των μορίων της.
Δ) Η $(CH_3)_3N$ έχει σφαιρικό σχήμα και οι δυνάμεις διασποράς είναι ασθενέστερες

7.24. Σε θερμοκρασία δωματίου το F_2 είναι αέριο ($M_r = 38$, σ.β. −188 °C), ενώ το Br_2 είναι υγρό ($M_r = 160$, σ.β. 59 °C). Πού οφείλεται η διαφορά στα σ.β. των δύο αυτών αλογόνων;
Α) Οι διαμοριακές δυνάμεις στο Br_2 είναι πιο ασθενείς
Β) Ο ομοιοπολικός δεσμός στο Br_2 είναι πιο ισχυρός
Γ) Οι διαμοριακές δυνάμεις στο Br_2 είναι πιο ισχυρές
Δ) Ο ομοιοπολικός δεσμός στο Br_2 είναι πιο πολικός

7.25. Η έκφραση «τα όμοια διαλύουν όμοια» σημαίνει ότι:
Α) τα υγρά διαλύονται στα υγρά
Β) οι ομοιοπολικές ενώσεις διαλύονται η μία στην άλλη
Γ) οι πολικές ενώσεις διαλύονται σε πολικούς διαλύτες ενώ οι μη πολικές ενώσεις στους μη πολικούς διαλύτες
Δ) οι οργανικές ενώσεις διαλύονται σε οργανικούς διαλύτες

7.26. Ποια από τις παρακάτω ουσίες είναι αδιάλυτη στο H_2O;
Α) $CH_3CH_2CH_3$ Β) HCl Γ) CH_3CH_2OH Δ) HF

7.27. Μίγμα των υγρών CCl_4 και H_2O σχηματίζει δύο διακριτές στιβάδες (φάσεις). Πώς εξηγείται το γεγονός αυτό;
Α) Και οι δύο ουσίες είναι πολικές
Β) Και οι δύο ουσίες είναι μη πολικές
Γ) Ο CCl_4 είναι πολική ουσία ενώ το H_2O είναι μη πολική
Δ) Ο CCl_4 είναι μη πολική ουσία ενώ το H_2O είναι πολική

7.28. Σε ποιον από τους παρακάτω διαλύτες το ιώδιο (I_2) έχει την μικρότερη διαλυτότητα;
Α) στο επτάνιο (C_7H_{16}) Β) στο εξάνιο (C_6H_{14})
Γ) στον τετραχλωράνθρακα (CCl_4) Δ) στο νερό (H_2O)
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2026]

7.29. Να αντιστοιχήσετε την κάθε χημική ένωση της στήλης (Ι) με το σημείο βρασμού της που αναφέρεται στη στήλη (ΙΙ).

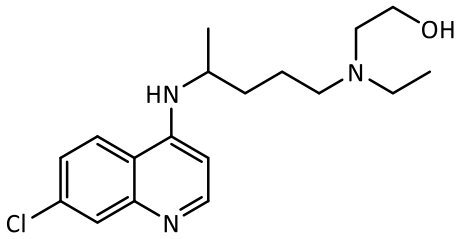
	(Ι)		(ΙΙ)
Α.	LiCl ($M_r = 42{,}5$)	α.	−67 °C
Β.	HCl ($M_r = 36{,}5$)	β.	19 °C
Γ.	H_2O ($M_r = 18$)	γ.	1382 °C
Δ.	HF ($M_r = 20$)	δ.	−85 °C
Ε.	HI ($M_r = 128$)	ε.	100 °C
Ζ.	HBr ($M_r = 81$)	ζ.	−35 °C

Το LiCl είναι η μοναδική ιοντική ένωση.

7.30. Να εξετάσετε την ισχύ των παρακάτω προτάσεων.
α) Όλα τα διατομικά μόρια είναι μη πολικά με $\mu = 0$.
β) Οι δεσμοί υδρογόνου είναι ισχυρότεροι από τους ομοιοπολικούς δεσμούς.
γ) Οι διαμοριακές δυνάμεις μεταξύ στιγμιαίων διπόλων ανήκουν στις δυνάμεις van der Waals.
δ) Σε ένα αέριο οι διαμοριακές δυνάμεις είναι ασθενέστερες σε σύγκριση με την υγρή του κατάσταση.
ε) Το HCl έχει μεγαλύτερη διπολική ροπή από το HBr, διότι το Cl είναι πιο ηλεκτραρνητικό από το Br. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]
στ) Τα κατώτερα μέλη των αλκοολών διαλύονται εύκολα στο νερό. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2024]
ζ) Μεταξύ των μορίων HI αναπτύσσονται δεσμοί υδρογόνου. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2025]

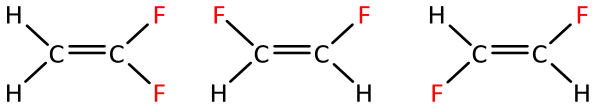
7.31. Διαθέτουμε δύο διαλύτες, το H_2O και τον CCl_4. Να εξηγήσετε σε ποιον διαλύτη μπορούν να διαλυθούν καλύτερα οι ακόλουθες χημικές ενώσεις:
α) KCl. β) C_6H_{14} (εξάνιο). γ) CH_3OH. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

7.32. Στον τύπο που ακολουθεί εμφανίζεται η υδροξυχλωροκίνη που έχει προταθεί ως φάρμακο για τον COVID-19. Στον συντακτικό αυτό τύπο έχουν παραληφθεί τα άτομα C και H που δεν χρειάζονται.



Πόσα άτομα της παραπάνω ένωσης μπορούν να συμμετέχουν σε δεσμούς υδρογόνου; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

7.33. Στον τύπο $C_2H_2F_2$ αντιστοιχούν τα παρακάτω επίπεδα μόρια. Ποιο-α από τα μόρια αυτά είναι μη πολικό-ά;



(1) (2) (3)

i. Μόνο τα μόρια 1 και 2 ii. Μόνο τα μόρια 2 και 3
iii. Μόνο τα μόρια 1 και 3 iv. Μόνο το μόριο 3
Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

7.34. Η αιθανόλη (CH_3CH_2OH) παρουσιάζει σημείο βρασμού, σ.β. = 78 °C ενώ η ισομερής της ένωση CH_3OCH_3 έχει σ.β. = −24 °C. Να εξηγήσετε τη μεγάλη αυτή διαφορά.

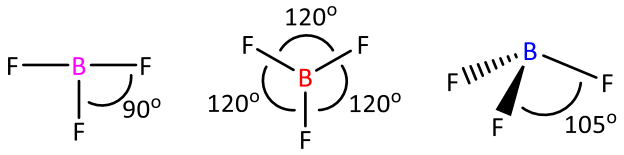
7.35. Η πυκνότητα (ρ) των υγρών εξαρτάται από τον όγκο των μορίων αλλά κυρίως από τις διαμοριακές δυνάμεις, καθώς τα διάκενα μεταξύ των μορίων είναι μικρότερα με την αύξηση της ισχύος των διαμοριακών δυνάμεων.
α) Με βάση το παραπάνω σκεπτικό να αντιστοιχήσετε τα παρακάτω υγρά της στήλης Ι με την πυκνότητά τους (ρ, στήλη ΙΙ) στην ίδια θερμοκρασία.

Στήλη (Ι): Ένωση	Στήλη (ΙΙ): ρ / g·mL^{-1}
Α. $HOCH_2CH_2CH_2CH_2OH$	1. 0,63
Β. $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$	2. 0,81
Γ. $CH_3CH_2CH_2CH_3$	3. 1,02

β) Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.
γ) Ένα από τα παραπάνω υγρά δεν διαλύεται στο νερό. Ποιο είναι αυτό; Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

7.36. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και ο διθειάνθρακας (CS_2) είναι ομοιοπολικές ενώσεις, των οποίων τα μόρια έχουν γραμμική διάταξη. Δίνονται οι συντακτικοί τύποι των μορίων:
Για το CO_2: O=C=O
Για το CS_2: S=C=S
Να εξηγήσετε ποια από τις παραπάνω δύο ενώσεις έχει το υψηλότερο σημείο βρασμού. Τα στοιχεία O και S είναι ηλεκτραρνητικότερα του C.
Δίνονται: A_r(C) = 12, A_r(O) = 16 και A_r(S) = 32.
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2025]

7.37. Το φθοριούχο βόριο (BF_3) είναι μη δίπολο μόριο.
α) Ποιο από τα παρακάτω σχήματα μπορεί να αντιστοιχεί στο μόριο αυτό; Τα δύο πρώτα μόρια είναι επίπεδα.



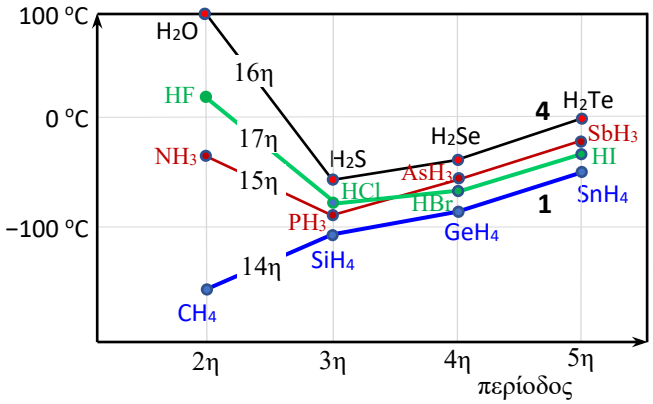
β) Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

7.38. Δίνονται οι σχετικές μοριακές μάζες και τα σημεία βρασμού (σ.β.) για το HCl και το Cl_2.

	M_r	σ.β. / °C
HCl	36,5	−85
Cl_2	71	−34

α) Να σημειώσετε το είδος των διαμοριακών δυνάμεων στο HCl και στο Cl_2. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.
β) Να εξηγήσετε γιατί το Cl_2 έχει υψηλότερο σ.β. από το HCl.

7.39. Στο διάγραμμα που ακολουθεί εμφανίζονται τα σημεία βρασμού των ενώσεων με υδρογόνο των περισσοτέρων στοιχείων της 14ης, 15ης, 16ης και 17ης ομάδας του Περιοδικού Πίνακα.



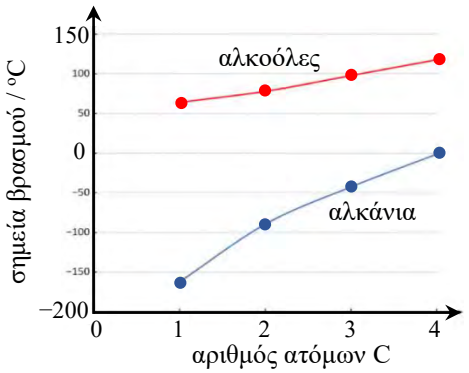
α) Σε ποιες από αυτές τις ενώσεις εμφανίζεται διαμοριακά δεσμός υδρογόνου; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.
β) Να εξηγήσετε τη μορφή της γραμμής (1). Όλα τα μόρια των ενώσεων με H της 14ης ομάδας του Περιοδικού Πίνακα έχουν τετραεδρική γεωμετρία.
γ) Να εξηγήσετε τη μορφή της γραμμής (4). Τα μόρια H_2O, H_2S, H_2Se και H_2Te είναι μη γραμμικά μόρια.

7.40. Να εξηγήσετε γιατί η 1-πεντανόλη έχει αρκετά υψηλότερο σημείο βρασμού (138 °C) σε σχέση με την ισομερή της 2,2-διμεθυλο-1-προπανόλη (113,5 °C).

7.41. α) Να ταξινομήσετε τις ενώσεις που ακολουθούν κατά σειρά αυξανόμενης διαλυτότητας στο H_2O: $CH_3CH_2CH_3$, $CH_3CH_2CH_2Cl$, $HOCH_2CH_2CH_2OH$ και $CH_3CH_2CH_2OH$.
β) Να εξηγήσετε τη μεγάλη διαλυτότητα της CH_3NH_2 στο H_2O.
γ) Να εξηγήσετε γιατί η CH_3CH_2OH αναμιγνύεται με το νερό σε οποιαδήποτε αναλογία ενώ η 1-οκτανόλη εμφανίζει πολύ μικρή διαλυτότητα στο νερό.

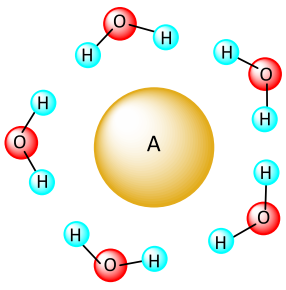
7.42. Τρία ισομερή αλκάνια Α, Β και Γ έχουν μοριακό τύπο C_5H_{12}. Το αλκάνιο Α έχει σημείο ζέσης 36 °C, το Β έχει σημείο ζέσης 28 °C και το Γ 9,5 °C.
α) Ποιοι οι συντακτικοί τύποι των αλκανίων Α, Β και Γ;
β) Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

7.43. Στο σχήμα που ακολουθεί εμφανίζονται τα σημεία βρασμού για τα 4 πρώτα μέλη των κορεσμένων μονοσθενών αλκοολών (μεθανόλη, αιθανόλη, 1-προπανόλη και 1-βουτανόλη) σε σύγκριση με τα σημεία βρασμού των 4 πρώτων αλκανίων (μεθάνιο, αιθάνιο, προπάνιο και βουτάνιο).



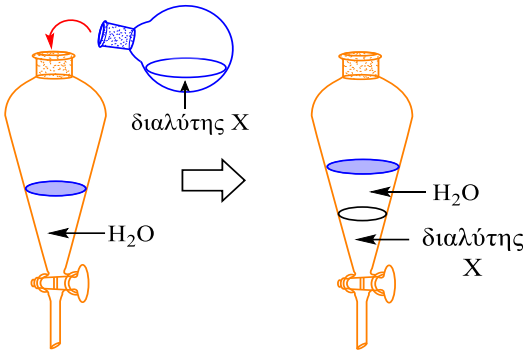
α) Να εξηγήσετε γιατί η μεθανόλη έχει πολύ υψηλότερο σημείο βρασμού από το μεθάνιο.
β) Να εξηγήσετε γιατί τα σημεία βρασμού τόσο των αλκοολών όσο και των αλκανίων αυξάνονται με την αύξηση του αριθμού των ατόμων C.
γ) Να συγκρίνετε τη διαλυτότητα της 1-προπανόλης και του βουτανίου στο νερό.

7.44. Στα υδατικά του διαλύματα το NaCl απαντάται με τη μορφή των εφυδατωμένων ιόντων του, $Na^+(aq)$ και $Cl^-(aq)$. Ένα από τα δύο αυτά ιόντα εμφανίζεται ως (Α) στο διπλανό σχήμα μαζί με περιβάλλοντα μόρια νερού.



α) Ποιο είναι το ιόν αυτό και τι είδους δυνάμεις σχηματίζει με τα μόρια του H_2O;
1. Na^+, δεσμό υδρογόνου
2. Na^+, ιόντος - διπόλου μορίου
3. Cl^-, δεσμό υδρογόνου
4. Cl^-, ιόντος - διπόλου μορίου
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

7.45. Με την προσθήκη ποσότητας του διαλύτη Χ από τη σφαιρική φιάλη στη διαχωριστική χοάνη που περιέχει ποσότητα H_2O σχηματίζονται δύο στιβάδες, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Ποιος από τους παρακάτω μπορεί να είναι ο διαλύτης Χ; Σε παρένθεση οι πυκνότητες των διαλυτών.
Α) CCl_4 (τετραχλωράνθρακας, $\rho = 1{,}59\ g \cdot mL^{-1}$)
Β) CH_3COCH_3 (προπανόνη, $\rho = 0{,}78\ g \cdot mL^{-1}$)
Γ) $CH_3(CH_2)_5CH_3$ (επτάνιο, $\rho = 0{,}68\ g \cdot mL^{-1}$)
Δ) $CH_3CH_2CH_2OH$ (1-προπανόλη, $\rho = 0{,}80\ g \cdot mL^{-1}$)
Να αιτιολογήστε την επιλογή σας. $\rho(H_2O) = 1\ g \cdot mL^{-1}$.

7.46. Στα μόρια του DNA περιέχονται οι εξής 4 οργανικές βάσεις: αδενίνη (Α), θυμίνη (Τ), κυτοσίνη (C) και γουανίνη (G). Η αδενίνη με την θυμίνη σχηματίζουν μεταξύ τους 2 δεσμούς υδρογόνου και ο αριθμός τους είναι ίσος, ενώ η κυτοσίνη με την γουανίνη σχηματίζουν μεταξύ τους 3 δεσμούς υδρογόνου και ο αριθμός τους είναι επίσης ίσος. Ένα μόριο DNA περιέχει 55.000 δεσμούς υδρογόνου και 5000 μόρια θυμίνης. Να προσδιοριστεί ο αριθμός των άλλων 3 βάσεων στο μόριο αυτό του DNA.

7.47. Μελετάμε την πολικότητα δύο υγρών διαλυτών που δεν αναμιγνύονται, του H_2O και του CCl_4. Για το σκοπό αυτό παίρνουμε πέντε δοκιμαστικούς σωλήνες τους οποίους διακρίνουμε με τα γράμματα Α-Ε. Σε κάποιους από τους σωλήνες αυτούς προσθέτουμε H_2O και στους υπόλοιπους CCl_4. Στους σωλήνες Α, Β και Γ προσθέτουμε NaCl(s) και στους σωλήνες Δ και Ε προσθέτουμε I_2(s) (σκοτεινόχρωμο στερεό). Αναδεύουμε καλά το περιεχόμενο όλων των σωλήνων και παρατηρούμε σχηματισμό (ομογενούς) διαλύματος μόνο στους σωλήνες Α, Γ και Ε.
α) Να εξηγήσετε ποιος διαλύτης περιέχεται σε καθένα από τους σωλήνες Α-Ε.
β) Στη συνέχεια αναμιγνύουμε το περιεχόμενο των σωλήνων Β και Δ, αναδεύουμε ισχυρά και αφήνουμε για λίγο το σύστημα να ηρεμήσει. Να εξηγήσετε τι θα παρατηρήσουμε.

Χημεία και… τέρατα: *«Ο Δαβίδ και ο Γολιάθ!»*

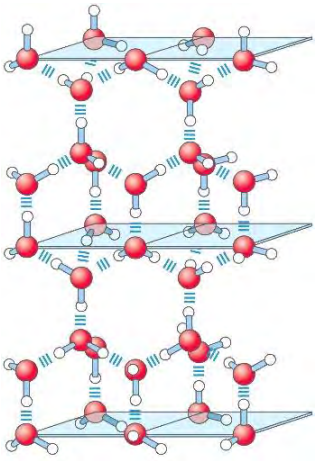
Έχετε ποτέ αναρωτηθεί γιατί το τεράστιο αυτό παγόβουνο της φωτογραφίας επιπλέει κάπου στις ακτές της Ανταρκτικής; Μα, γιατί έχει μικρότερη πυκνότητα από το νερό είναι η απλοϊκή απάντηση.



Και πραγματικά, η πυκνότητα του καθαρού νερού στους 0 °C είναι περίπου 1 g/mL (του θαλασσινού νερού είναι λίγο μεγαλύτερη), ενώ αυτή του πάγου επίσης στους 0 °C είναι 0,917 g/mL. Άρα, πραγματικά και άσχετα με τον τεράστιο όγκο του, το παγόβουνο επιπλέει γιατί έχει μικρότερη πυκνότητα από το υγρό νερό. Το ίδιο καταπληκτικό φαινόμενο μπορούμε να παρατηρήσουμε και σε ένα ποτήρι νερό που έχει παγάκια.

Το φαινόμενο αυτό είναι καταπληκτικό, γιατί η στερεή φάση έχει πάντα μεγαλύτερη πυκνότητα από την υγρή φάση, καθώς τα μόρια στη στερεή φάση είναι πιο κοντά, «πακετάρονται» δηλαδή καλύτερα. Η ερώτηση, λοιπόν, στην ουσία παραμένει ή καλύτερα μεταφέρεται σε μία άλλη: Γιατί ο πάγος έχει μικρότερη πυκνότητα από το νερό; Γιατί δηλαδή έχει μικρότερη μάζα στον ίδιο όγκο;

Μία άκαμπτη κρυσταλλική δομή, λόγω δεσμών υδρογόνου. Ο καθαρός πάγος έχει κανονική κρυσταλλική δομή στην οποία κάθε μόριο είναι συνδεδεμένο με τέσσερα γειτονικά μόρια μέσω δεσμών υδρογόνου. Τα μόρια αυτά του H_2O συνδέονται μέσω ενός ατόμου Ο και ενός ατόμου Η διπλανού μορίου. Κάθε άτομο Ο μπορεί να συμμετέχει σε δύο δεσμούς υδρογόνου, ενώ κάθε άτομο Η μόνο σε έναν. Έτσι, κάθε μόριο νερού μπορεί να σχηματίζει τέσσερις δεσμούς Η (δύο δεσμούς μέσω των δύο ατόμων Η που διαθέτει και δύο δεσμούς με το άτομο του Ο). Η μικρή πυκνότητα του πάγου σε σχέση με αυτή του νερού μπορεί να κατανοηθεί με βάση αυτούς τους δεσμούς υδρογόνου μεταξύ των μορίων H_2O.



Οι αλληλεπιδράσεις αυτές στα μόρια του υγρού νερού είναι τυχαίες με αποτέλεσμα τα μόρια του νερού στην υγρή φάση να έρχονται πιο κοντά. Όταν, όμως, το νερό παγώνει τα μόρια σχηματίζουν περισσότερους δεσμούς υδρογόνου, αλλά το γεγονός αυτό απαιτεί **μία περισσότερο «τακτοποιημένη» αλλά πιο «ανοικτή»** (με περισσότερα κενά ανάμεσα στα μόρια) δομή σε σχέση με αυτή που παρατηρείται στο υγρό νερό. Αν ο πάγος δεν είχε ανοικτή δομή –λόγω του πλέγματος δεσμών υδρογόνου– θα είχε πυκνότητα 1,8 g/mL!

Με άλλα λόγια, οι δεσμοί υδρογόνου υπάρχουν και σε υγρή κατάσταση, απλώς όχι σε τόσο μεγάλη έκταση, επιτρέποντας στα μόρια του νερού να είναι πιο «χαλαρά» και να πακετάρονται καλύτερα μεταξύ τους με αποτέλεσμα να έχουμε περισσότερη μάζα σε μικρότερο όγκο, δηλαδή μεγαλύτερη πυκνότητα!



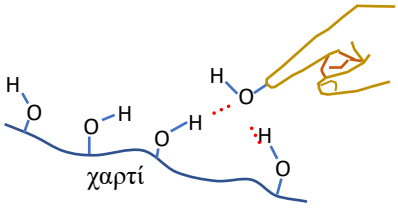
Η αύξηση της πυκνότητας του νερού συνεχίζεται με θέρμανση μέχρι τους 4 °C, καθώς συνεχίζονται οι «διασπάσεις» δεσμών υδρογόνου. Στη συνέχεια το νερό συμπεριφέρεται σαν κανονικό υγρό: Η πυκνότητά του μειώνεται καθώς ανεβαίνει η θερμοκρασία του!

Η μικρότερη πυκνότητα του πάγου επηρεάζει βαθιά τη ζωή στη Γη. Έτσι, λοιπόν, τα παγόβουνα επιπλέουν επιτρέποντας τα βάθη της λίμνης ή της θάλασσας να παραμένουν σε υγρή κατάσταση και τη ζωή να συνεχίζεται…

Γιατί, λοιπόν, το μπουκάλι με το νερό της διπλανής φωτογραφίας που έχουμε ξεχάσει στην κατάψυξη έχει «ξεχειλίσει» από πάγο; Μα, λόγω των δεσμών υδρογόνου που αναγκάζουν τον πάγο να πάρει μια πιο «ανοικτή» δομή σε σχέση με το νερό, αυξάνοντας τον όγκο μίας συγκεκριμένης μάζας!

Χημεία και… τέρατα: «Γιατί στο βρεγμένο δάκτυλο κολλάει ένα μικρό κομμάτι χαρτί;»

Το χαρτί περιέχει κυτταρίνη, ένα πολυσακχαρίτη που συγκροτεί τους φυτικούς ιστούς των φυτών και του ξύλου από το οποίο φτιάχνεται το χαρτί. Αποτελείται από χιλιάδες μόρια γλυκόζης που περιέχουν πολλούς δεσμούς −ΟΗ. Τα μόρια του H_2O στο δάκτυλο σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου με τις ομάδες −ΟΗ της κυτταρίνης με αποτέλεσμα να προσκολλάται σε αυτό.



ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 7

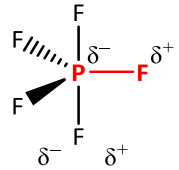
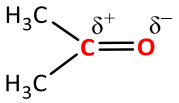
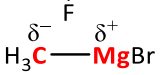
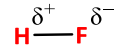
Στις παρακάτω ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής 1-17 να σημειώσετε απλώς τη σωστή απάντηση.

1. Ποιο από τα μόρια που ακολουθούν είναι το πιο πολικό;
Α) H_2 Β) HF Γ) HI Δ) F_2

2. Στο πίνακα που ακολουθεί εμφανίζονται οι ηλεκτραρνητικότητες διαφόρων στοιχείων.

H	C	O	P	F	Mg
2,2	2,6	3,4	2,2	4,0	1,3

Σε ποια από τις παρακάτω ενώσεις η πολικότητα των δεσμών των στοιχείων με έντονα γράμματα **δεν** είναι σωστή;

Α) 
Β) 
Γ) 
Δ) 

3. Ποια από τα παρακάτω είδη διαμοριακών δυνάμεων αναφέρονται ως δυνάμεις van der Waals;
Α) Οι δυνάμεις διπόλου - διπόλου και ο δεσμός υδρογόνου
Β) Οι δυνάμεις διπόλου - διπόλου και οι δυνάμεις διασποράς
Γ) Οι δυνάμεις διασποράς και ο δεσμός υδρογόνου
Δ) Οι δυνάμεις ιόντος - ιόντος και ο δεσμός υδρογόνου

4. Ποιο είδος διαμοριακών δυνάμεων στηρίζεται στη θεωρία του στιγμιαίου διπόλου;
Α) Δυνάμεις διασποράς Β) Ομοιοπολικός δεσμός
Γ) Δεσμός υδρογόνου Δ) Δυνάμεις διπόλου - διπόλου

5. Ποιο το είδος των διαμοριακών αλληλεπιδράσεων στο επτάνιο, $C_7H_{16}(\ell)$;
Α) Δυνάμεις London Β) Δυνάμεις διπόλου - διπόλου
Γ) Ομοιοπολικός δεσμός Δ) Δεσμός υδρογόνου

6. Ποιο το βασικό είδος των διαμοριακών αλληλεπιδράσεων που εμφανίζονται στο CHF_3;
Α) Δυνάμεις London Β) Δυνάμεις διπόλου - διπόλου
Γ) Ομοιοπολικός δεσμός Δ) Δεσμός υδρογόνου

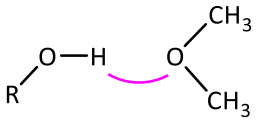
7. Τα στοιχεία O, S και Se ανήκουν στην 16η ομάδα του Περιοδικού Πίνακα (κατά σειρά από πάνω προς τα κάτω) και σχηματίζουν τις ενώσεις H_2O, H_2S και H_2Se. Από τις ενώσεις αυτές το H_2O έχει πολύ μεγαλύτερο σημείο βρασμού. Πώς εξηγείται το γεγονός αυτό;
Α) Το H_2O έχει τη μικρότερη μοριακή μάζα
Β) Οι ομοιοπολικοί δεσμοί H−O είναι κατά πολύ ισχυρότεροι από τους δεσμού H−S και H−Se
Γ) Το H_2O είναι λιγότερο πολικό μόριο από άλλα δύο
Δ) Στο H_2O εμφανίζεται δεσμός υδρογόνου

8. Το υδροχλώριο (HCl, M_r = 36,5) έχει διπολική ροπή μ = 1,03 D και σημείο βρασμού (σ.β.) 190 K. Επίσης, το υδροβρώμιο (HBr, M_r = 81) έχει διπολική ροπή μ = 0,8 D και σ.β. 206 K. Πώς εξηγείται το γεγονός ότι το HBr έχει μεγαλύτερο σ.β. σε σχέση με το HCl;
Α) Το HBr εμφανίζει ισχυρότερες δυνάμεις διασποράς
Β) Το HCl εμφανίζει ισχυρότερες δυνάμεις διασποράς
Γ) Το HBr είναι πιο πολικό μόριο σε σχέση με το HCl
Δ) Και στις δύο ενώσεις εμφανίζονται δεσμοί υδρογόνου

9. Ποιο είδος αλληλεπιδράσεων έχει τη μεγαλύτερη ισχύ;
Α) Οι δυνάμεις ιόντος - ιόντος
Β) Ο δεσμός υδρογόνου
Γ) Οι δυνάμεις διασποράς ή London
Δ) Οι δυνάμεις διπόλου - διπόλου

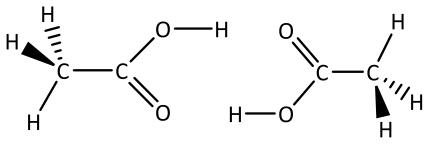
10. Από τα παρακάτω το μικρότερο σημείο βρασμού έχει:
Α) το H_2 Β) το NaCl
Γ) η CH_3CH_2OH Δ) το HCl [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

11. Ποιο είναι το βασικό είδος διαμοριακών δυνάμεων που αναπτύσσονται ανάμεσα στα δύο μόρια που ακολουθούν:



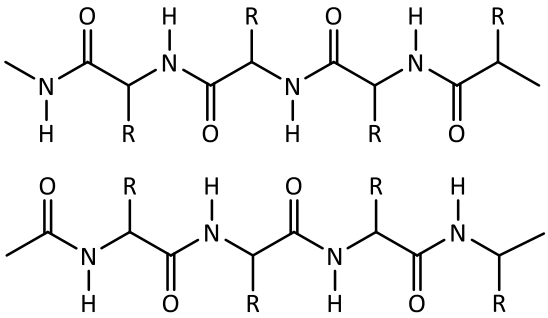
Α) Δυνάμεις διπόλου - διπόλου Β) Δυνάμεις διασποράς
Γ) Δυνάμεις van der Waals Δ) Δεσμός υδρογόνου

12. Ανάμεσα στα δύο μόρια CH_3COOH που ακολουθούν σχηματίζονται:



Α) δύο δεσμοί υδρογόνου
Β) ένας δεσμός υδρογόνου
Γ) μόνο δυνάμεις διασποράς και δυνάμεις διπόλου - διπόλου
Δ) μόνο δυνάμεις διπόλου - διπόλου

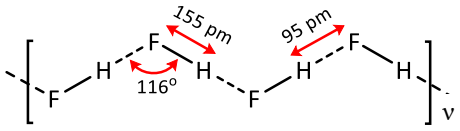
13. Στο σχήμα που ακολουθεί εμφανίζεται το τμήμα μιας πρωτεΐνης. Πόσοι δεσμοί υδρογόνου είναι δυνατόν να εμφανιστούν στο τμήμα αυτό της δομής;



Α) 4 Β) 3 Γ) 1 Δ) Κανένας

14. Το σύνολο των διαμοριακών δυνάμεων που αναπτύσσονται μεταξύ των μορίων της υγρής αμμωνίας, $NH_3(\ell)$, είναι οι ακόλουθες:
Α) Δυνάμεις διασποράς (London)
Β) Δυνάμεις διπόλου - διπόλου
Γ) Δεσμός υδρογόνου και δυνάμεις διασποράς (London)
Δ) Δεσμός υδρογόνου [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

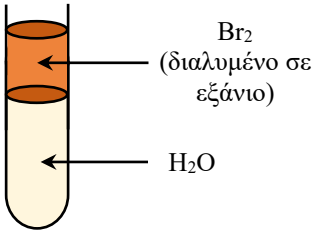
15. Στο στερεό HF σχηματίζονται αλυσίδες μορίων HF σχήματος ζιγκ-ζαγκ όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα:
Α) τα μόρια του HF συνδέονται μεταξύ τους με δυνάμεις διπόλου - διπόλου
Β) οι δεσμοί υδρογόνου F − H ··· F σχηματίζουν γωνία 180°
Γ) οι δεσμοί υδρογόνου έχουν μήκος 95 pm ($95 \cdot 10^{-12}$ m)
Δ) οι δεσμοί υδρογόνου είναι ισχυρότεροι από τους ομοιοπολικούς δεσμούς H − F

16. Ποιο το είδος των αλληλεπιδράσεων στο υγρό He;
Α) Δυνάμεις διασποράς ή London
Β) Δυνάμεις διπόλου - διπόλου
Γ) Δυνάμεις διπόλου - επαγομένου διπόλου
Δ) Δεν υπάρχουν αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ατόμων He γιατί το He είναι ευγενές αέριο

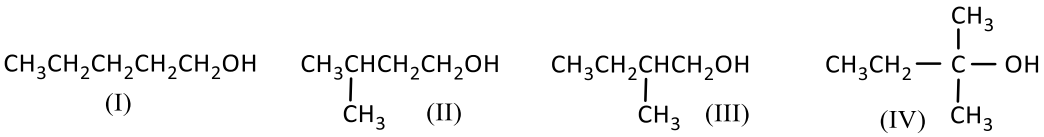
17. Ο δοκιμαστικός σωλήνας του σχήματος έχει δύο υγρές στιβάδες, μία υδατική και μία στιβάδα εξανίου. Στη στιβάδα του εξανίου (η επάνω στιβάδα) είναι διαλυμένο Br_2, ενώ στην υδατική στιβάδα είναι ελάχιστα διαλυμένο το Br_2.
Να εξηγήσετε:
α) Γιατί το εξάνιο και το H_2O σχηματίζουν δύο στιβάδες, δηλαδή δεν αναμιγνύονται.
β) Γιατί το Br_2 διαλύεται πολύ περισσότερο στο εξάνιο από ότι στο νερό.



.....

.....

18. α) Δίνονται οι ισομερείς αλκοόλες:



Ποια από τις παραπάνω ενώσεις αναμένεται να έχει μεγαλύτερο σημείο ζέσης (στην ίδια πίεση);
Α) Η (I) Β) Η (II) Γ) Η (III) Δ) Η (IV)
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

.....

.....

.....

β) Να αντιστοιχίσετε τις χημικές ουσίες της στήλης Α με τα σημεία ζέσεως της στήλης Β σε πίεση $P = 1$ atm.

Στήλη Α	Στήλη Β
CH_3OH	−253 °C
H_2	65 °C
CH_4	−162 °C

Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2023]

.....

.....

.....

19. Η αιθανάλη (CH_3CHO) έχει παραπλήσιο M_r με την αιθανόλη (CH_3CH_2OH) και μεγαλύτερη διπολική ροπή (2,7 D) έναντι της αιθανόλης (1,7 D).

α) Να εξηγήσετε γιατί η αιθανόλη παρουσιάζει σημαντικά μεγαλύτερο σημείο βρασμού (78,4 °C) σε σχέση με την αιθανάλη (20,2 °C).

β) Η αιθανάλη αναμιγνύεται σε κάθε αναλογία με το νερό. Να εξηγήσετε το φαινόμενο με βάση την ισχύ των διαμοριακών δυνάμεων. [ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2024]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

20. Δίνονται τα ακόλουθα ισομερή οκτάνια:

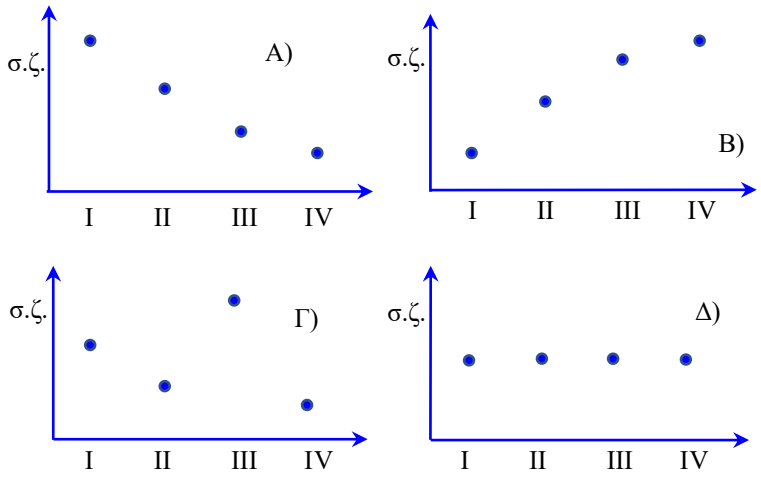
I. $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$

II. $CH_3CH(CH_3)CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$

III. $CH_3CH(CH_3)CH_2CH_2CH(CH_3)CH_3$

IV. $CH_3-C(CH_3)_2-C(CH_3)_2-CH_3$

Ποιο από τα ακόλουθα διαγράμματα Α - Δ αναπαριστά καλύτερα τα πειραματικά δεδομένα αναφορικά με το σημείο ζέσεως (σ.ζ.) των οκτανίων; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.



[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

.....

.....

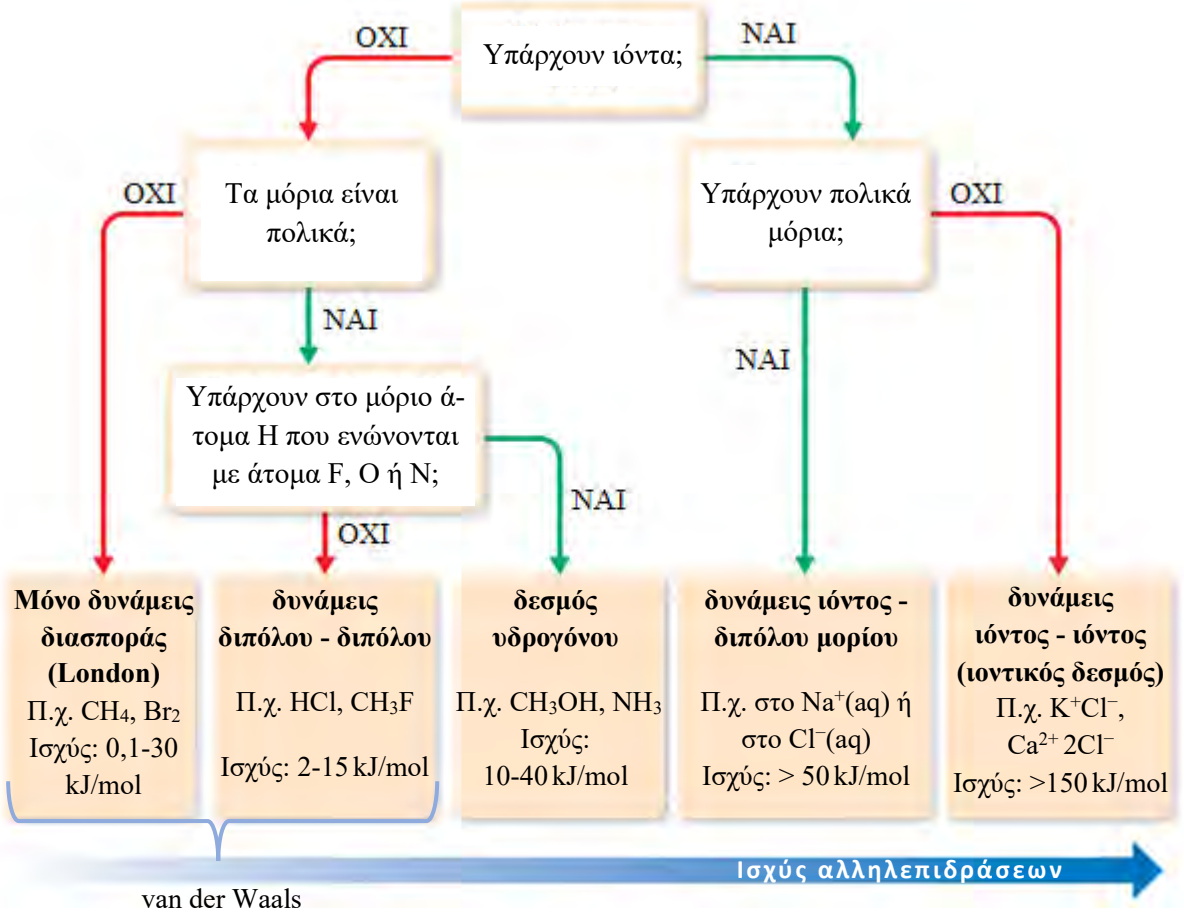
.....

.....

.....

.....

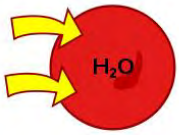
Κατάταξη και ισχύς διαμοριακών αλληλεπιδράσεων





Γελάσαμε και σήμερα…
Πηγή: www.reddit.com





8 Ώσμωση – Ωσμωτική Πίεση

ΘΕΜΑΤΑ ΘΕΩΡΙΑΣ

1. Εισαγωγικές έννοιες

Μοριακά και ιοντικά διαλύματα. Γενικά, τα διαλύματα διακρίνονται σε ιοντικά και μοριακά. Στα μοριακά διαλύματα η διαλυμένη ουσία βρίσκεται αποκλειστικά με τη μορφή των μορίων της, δηλαδή η διαδικασία της διάλυσης δεν επηρεάζει τη δομή της ένωσης. Έτσι, ένα μοριακό διάλυμα δεν εμφανίζει ηλεκτρική αγωγιμότητα, δηλαδή δεν επιτρέπει τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος καθώς δεν υπάρχουν σε αυτό φορτισμένα σωματίδια (ιόντα). Τέτοια διαλύματα είναι π.χ. τα υδατικά διαλύματα ζάχαρης ($C_{12}H_{22}O_{11}$), γλυκόζης ($C_6H_{12}O_6$), ουρίας (CH_4N_2O) και γενικά τα διαλύματα των μη ηλεκτρολυτών.

Τα διαλύματα μπορεί να είναι υδατικά αλλά και διαλύματα ουσιών σε άλλους διαλύτες (βενζόλιο, αιθανόλη, προπανόνη κτλ.).

Στα ιοντικά διαλύματα η διαλυμένη ουσία μετατρέπεται πλήρως ή μερικά σε ελεύθερα ιόντα, όπως είναι τα υδατικά διαλύματα των ηλεκτρολυτών δηλαδή των οξέων, των βάσεων και των αλάτων. Τα διαλύματα αυτά εμφανίζουν ηλεκτρική αγωγιμότητα που οφείλεται στα ελεύθερα ιόντα που εμφανίζονται στο διάλυμα:

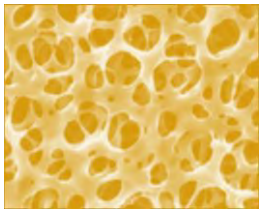
$$HCl(aq) \rightarrow H^+(aq) + Cl^-(aq)$$
$$NaOH(aq) \rightarrow Na^+(aq) + OH^-(aq)$$
$$NaCl(aq) \rightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq)$$

Σε κάποιες περιπτώσεις διαλυμάτων ο ηλεκτρολύτης δεν ευρίσκεται καθ' ολοκληρία με τη μορφή ιόντων αλλά συνυπάρχει και με τη μορφή των μορίων του (ασθενής ηλεκτρολύτης).

Προσθετικές ιδιότητες διαλυμάτων. Οι ιδιότητες των διαλυμάτων εξαρτώνται τις περισσότερες φορές από τη φύση (το είδος) της διαλυμένης ουσίας. Έτσι, με τη διάλυση ποσότητας ζάχαρης ή NaCl σε νερό προκύπτουν διαλύματα με διαφορετικές ιδιότητες, όπως για παράδειγμα διαφορετική αγωγιμότητα, διαφορετική πυκνότητα κτλ.

Παραδείγματα προσθετικών ιδιοτήτων είναι η ελάττωση της τάσης των ατμών του διαλύτη, η ανύψωση του σημείου βρασμού του διαλύτη, η ταπείνωση του σημείου πήξεως του διαλύτη και η ωσμωτική πίεση.

Όμως, κάποιες από τις ιδιότητες των διαλυμάτων είναι ανεξάρτητες από τη φύση της διαλυμένης ουσίας, εξαρτώνται δε αποκλειστικά από τον **αριθμό** των διαλυμένων σωματιδίων (μορίων ή ιόντων) σε ορισμένη ποσότητα διαλύματος. Αυτές οι ιδιότητες αναφέρονται ως προσθετικές ιδιότητες. Στο κεφάλαιο αυτό θα εστιαστούμε σε μία από τις προσθετικές ιδιότητες, την ωσμωτική πίεση.



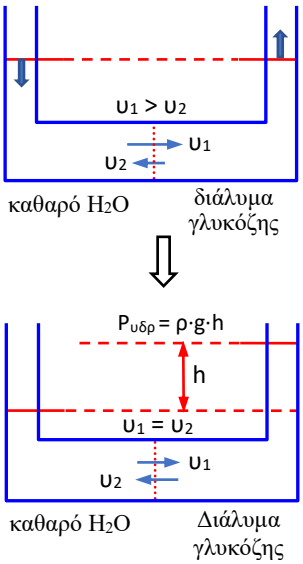
Αν και μας είναι βολικό να αποδίδουμε την εκλεκτική διαπερατότητα μιας ημιπερατής μεμβράνης αποκλειστικά στο μέγεθος των πόρων της, στην πραγματικότητα σχετίζεται και με την εκλεκτική παρεμπόδιση ηλεκτροχημικής κυρίως φύσης.

Ημιπερατές μεμβράνες. Οι ημιπερατές μεμβράνες είναι μεμβράνες με μικρούς πόρους (π.χ. μικρότεροι των 250 nm), που επιτρέπουν τη δίοδο των μορίων του διαλύτη όχι όμως και των μορίων ή των ιόντων της διαλυμένης ουσίας είναι δηλαδή κάτι σαν «μοριακά» κόσκινα. Πολλές βιολογικές μεμβράνες λειτουργούν ως ημιπερατές αλλά στην πράξη χρησιμοποιούνται ημιπερατές μεμβράνες κυρίως από συνθετικά υλικά, όπως ζελατίνη, ελαστικό κόμμι, κυτταρίνη και παράγωγά της κτλ.

2. Περιγραφή του φαινομένου της ώσμωσης

Θεωρούμε υδατικό διάλυμα γλυκόζης ($C_6H_{12}O_6$) συγκέντρωσης c_1 που διαχωρίζεται από καθαρό νερό μέσω αδιαπέραστου διαφράγματος. Αν αφαιρέσουμε το διάφραγμα θα σχηματιστεί τελικά διάλυμα γλυκόζης συγκέντρωσης $c_2 < c_1$. Επίσης, αν αναμίξουμε διάλυμα γλυκόζης συγκέντρωσης c_1 με άλλο διάλυμα γλυκόζης συγκέντρωσης $c_2 > c_1$ θα επέλθει εξίσωση των συγκεντρώσεων με το σχηματισμό διαλύματος ενδιάμεσης συγκέντρωσης c ($c_2 > c > c_1$).

Θεωρούμε τώρα ένα υδατικό διάλυμα γλυκόζης που φέρεται σε επαφή μέσω ημιπερατής μεμβράνης με καθαρό νερό. Η ημιπερατή μεμβράνη θα επιτρέπει τη δίοδο των μορίων νερού και προς τις δύο κατευθύνσεις αλλά όχι και τη δίοδο των μορίων της γλυκόζης. Αρχικά, η ταχύτητα ροής (υ_1) των μορίων του νερού από τον καθαρό διαλύτη προς το διάλυμα είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα ροής (υ_2) των μορίων του νερού από το διάλυμα προς τον καθαρό διαλύτη. Δηλαδή ισχύει $\upsilon_1 > \upsilon_2$. Έτσι, η στάθμη του διαλύματος της γλυκόζης ανέρχεται ενώ παράλληλα μειώνεται η συγκέντρωσή του. Το φαινόμενο θα συνεχιστεί με θεωρητικό στόχο να εξισωθούν οι συγκεντρώσεις στις δύο πλευρές της ημιπερατής μεμβράνης. Αυτό βέβαια δε μπορεί να συμβεί καθώς ο καθαρός διαλύτης δεν περιέχει διαλυμένη ουσία.



Με το πέρασμα του χρόνου, η ανύψωση της στάθμης του διαλύματος γίνεται όλο και πιο αργά και τελικά σταθεροποιείται σε ορισμένο ύψος (h) οπότε το φαινόμενο της ώσμωσης σταματά. Αυτό συμβαίνει γιατί η υδροστατική πίεση που δημιουργείται λόγω διαφοράς στάθμης (δες το διπλανό σχήμα), εξαναγκάζει τα μόρια του διαλύτη να εξέρχονται από το διάλυμα με την ίδια ταχύτητα με την οποία εισέρχονται. Δηλαδή, τελικά αποκαθίσταται δυναμική ισορροπία στην οποία ισχύει: $\upsilon_1 = \upsilon_2$.

Φυσικά, δεν παρατηρείται ώσμωση αν τα δύο διαλύματα έχουν ίδιες συγκεντρώσεις, δηλαδή ισχύει αρχικά: $c_1 = c_2$.

Η υδροστατική πίεση που αναπτύσσεται με την πάροδο του χρόνου σταματά την ώσμωση, δηλαδή γίνεται $\upsilon_1 = \upsilon_2$, προτού να εξισωθούν οι συγκεντρώσεις των δύο διαλυμάτων.

Έστω τώρα δύο διαλύματα γλυκόζης διαφορετικών συγκεντρώσεων c_1 και c_2 ($c_1 < c_2$) που διαχωρίζονται μέσω ημιπερατής μεμβράνης. Αρχικά η ταχύτητα μεταφοράς των μορίων του νερού μέσω της ημιπερατής μεμβράνης είναι μεγαλύτερη από το αραιότερο προς το πυκνότερο διάλυμα. Έτσι θα συμβεί ώσμωση από το διάλυμα συγκέντρωσης c_1 προς το διάλυμα συγκέντρωσης c_2 με αποτέλεσμα το δεύτερο διάλυμα να αυξάνει τον όγκο του σε βάρος του πρώτου. Το φαινόμενο θα συνεχιστεί μέχρι ότου να αποκατασταθεί ισορροπία, λόγω της υδροστατικής πίεσης, στην οποία ίση ποσότητα διαλύτη περνά διαμέσου της ημιπερατής μεμβράνης στη μονάδα του χρόνου προς τις δύο κατευθύνσεις ($\upsilon_1 = \upsilon_2$).

Ώσμωση ονομάζεται το φαινόμενο της διάχυσης περισσοτέρων μορίων διαλύτη (συνήθως H_2O), μέσω ημιπερατής μεμβράνης, από το διάλυμα της μικρότερης συγκέντρωσης (υποτονικό διάλυμα) προς το διάλυμα της μεγαλύτερης συγκέντρωσης (υπερτονικό διάλυμα). Το φαινόμενο εμφανίζεται τόσο στα μοριακά όσο και στα ιοντικά διαλύματα.

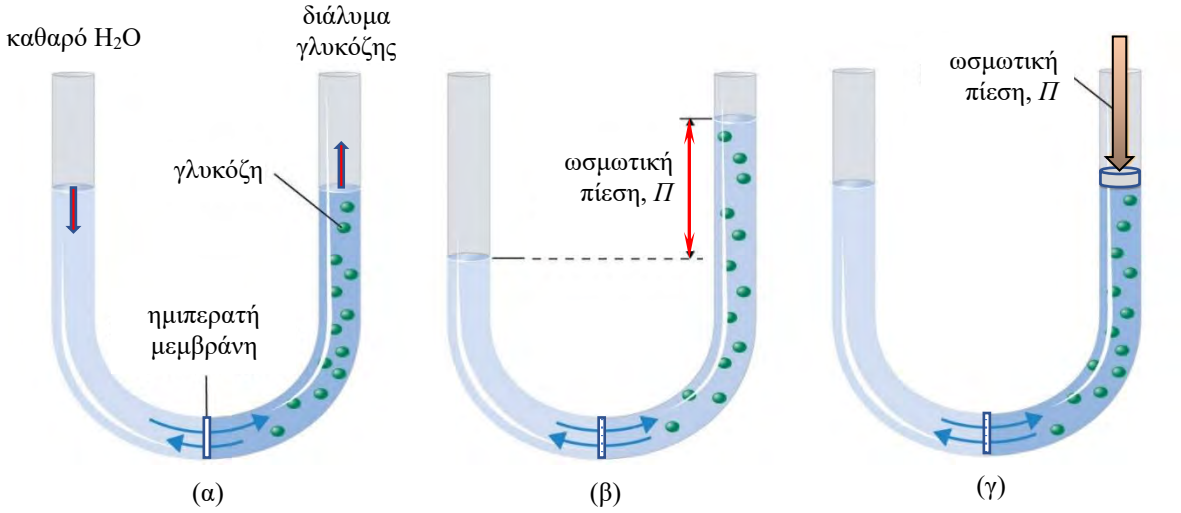
3. Ωσμωτική πίεση

Ας θεωρήσουμε πάλι την περίπτωση διαλύματος που διαχωρίζεται με ημιπερατή μεμβράνη από τον καθαρό του διαλύτη. Είδαμε ότι το φαινόμενο της ώσμωσης θα σταματήσει όταν η στάθμη της επιφάνειας του διαλύματος ανεβεί τόσο ώστε η υδροστατική πίεση που αναπτύσσεται λόγω της διαφοράς στάθμης να αναγκάζει τα μόρια του νερού να διέρχονται από τις δύο πλευρές της μεμβράνης με την ίδια ταχύτητα ($\upsilon_1 = \upsilon_2$).

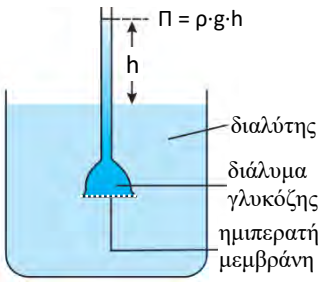
Το φαινόμενο της ώσμωσης μπορεί να σταματήσει από την αρχή αν στην επιφάνεια του διαλύματος ασκηθεί κατάλληλη εξωτερική πίεση τέτοια ώστε ακαριαία να ισχύει $\upsilon_1 = \upsilon_2$. Η εξωτερική αυτή πίεση αναφέρεται ως ωσμωτική πίεση και συμβολίζεται με το Π.

Ωσμωτική πίεση (Π) διαλύματος που διαχωρίζεται με ημιπερατή μεμβράνη απ' τον καθαρό του διαλύτη, ονομάζεται η κατάλληλη πίεση που πρέπει να ασκηθεί εξωτερικά στο διάλυμα, ώστε να εμποδιστεί το φαινόμενο της ώσμωσης, χωρίς μεταβολή στον όγκο του διαλύματος.

Η ωσμωτική πίεση είναι ίση με την υδροστατική πίεση ($P_{υδρ} = \rho \cdot g \cdot h$, όπου ρ η πυκνότητα του διαλύματος) που δημιουργείται από την ανύψωση της στάθμης του διαλύματος όταν το φαινόμενο έχει καταλήξει σε (δυναμική) ισορροπία.



Σχήμα 1. *(α) Διάλυμα γλυκόζης φέρεται σε επαφή μέσω ημιπερατής μεμβράνης με καθαρό διαλύτη (H_2O). Αρχίζει το φαινόμενο της ώσμωσης με αποτέλεσμα η στάθμη του διαλύματος της γλυκόζης αρχίζει προοδευτικά να ανέρχεται και η στάθμη του καθαρού νερού να κατέρχεται.*
(β) Λόγω υδροστατικής πίεσης αποκαθίσταται (δυναμική) ισορροπία στην οποία οι ταχύτητες ροής του H_2O διαμέσου της ημιπερατής μεμβράνης είναι ίσες ($\upsilon_1 = \upsilon_2$).
(γ) Η εφαρμογή κατάλληλης εξωτερικής πίεσης (ωσμωτική πίεση, Π) στο αρχικό διάλυμα της γλυκόζης αναγκάζει τα μόρια του νερού να διέρχονται από τις δύο πλευρές της μεμβράνης με την ίδια ταχύτητα ($\upsilon_1 = \upsilon_2$) χωρίς να εξελιχθεί το φαινόμενο της ώσμωσης. Πηγή εικόνας: https://chem.libretexts.org



Μία άλλη πειραματική διάταξη για τη μέτρηση της ωσμωτικής πίεσης ενός διαλύματος.

Μεταξύ δύο διαλυμάτων:

- **Ισοτονικά** ονομάζονται τα διαλύματα με την ίδια τιμή ωσμωτικής πίεσης σε ορισμένη θερμοκρασία. Όταν δύο ισοτονικά διαλύματα διαχωρίζονται με ημιπερατή μεμβράνη δεν συμβαίνει το φαινόμενο της ώσμωσης ($\upsilon_1 = \upsilon_2$).
- **Υποτονικό** ονομάζεται το διάλυμα που έχει τη μικρότερη τιμή ωσμωτικής πίεσης.
- **Υπερτονικό** ονομάζεται το διάλυμα που έχει τη μεγαλύτερη τιμή ωσμωτικής πίεσης.

Γενικά, η μεταφορά του διαλύτη γίνεται από το διάλυμα μικρότερης συγκέντρωσης (υποτονικό διάλυμα) προς το διάλυμα μεγαλύτερης συγκέντρωσης (υπερτονικό διάλυμα).

4. Από τι εξαρτάται η ωσμωτική πίεση διαλύματος - Νόμος van't Hoff

Με βάση πειραματικά αποτελέσματα ο van't Hoff διαπίστωσε ότι για την ωσμωτική πίεση στην περίπτωση αραιών μοριακών διαλυμάτων, ισχύει:

$$\Pi = c \cdot R \cdot T \quad \text{ή} \quad \Pi \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (\text{αφού } c = \frac{n}{V})$$

όπου:

Π η ωσμωτική πίεση του διαλύματος (σε atm), c η συγκέντρωσή του, T (= 273 + θ °C) η απόλυτη θερμοκρασία (σε K), V ο όγκος του διαλύματος (σε L), n ο αριθμός mol της διαλυμένης ουσίας και R η παγκόσμια σταθερά των ιδανικών αερίων.

Γενικά η ωσμωτική πίεση είναι μεγάλη, π.χ. για υδατικό διάλυμα καλαμοσάκχαρου (ή ζάχαρης, $C_{12}H_{22}O_{11}$) 1% w/v στους 15 °C είναι περίπου 0,7 atm. Η ωσμωτική πίεση του αίματος (7,65 atm) οφείλεται κατά κύριο λόγο στα διάφορα ανόργανα άλατα που βρίσκονται στο πλάσμα σημαντικότερο των οποίων είναι το NaCl.

- Η ωσμωτική πίεση (Π) σε ορισμένη θερμοκρασία εξαρτάται από τον αριθμό γραμμομορίων (και άρα των μορίων) του διαλυμένου σώματος σε ορισμένο όγκο διαλύματος και όχι από τη φύση τους. Επομένως είναι μια **προσθετική ιδιότητα**.
- Όταν ένα διάλυμα αραιώνεται, η συγκέντρωσή του ελαττώνεται και επομένως η ωσμωτική του πίεση ελαττώνεται επίσης. Το αντίθετο στη συμπύκνωση διαλύματος.
- Τα ιοντικά διαλύματα εμφανίζουν μεγαλύτερη ωσμωτική πίεση από τα μοριακά διαλύματα της ίδιας συγκέντρωσης και της ίδιας θερμοκρασίας καθόσον ο αριθμός των διαλυμένων σωματιδίων (ιόντων) είναι μεγαλύτερος.

Σε περιπτώσεις μοριακών διαλυμάτων Α και Β που διαχωρίζονται με ημιπερατή μεμβράνη η πίεση (P) που πρέπει να ασκηθεί στο υπερτονικό διάλυμα (έστω το Β) ώστε να μην εξελιχθεί η ώσμωση δίνεται από τη σχέση $P = \Pi_B - \Pi_A = \Delta c \cdot R \cdot T$, όπου Δc η διαφορά των συγκεντρώσεων των δύο διαλυμάτων.

5. Εφαρμογές της ώσμωσης

α) Εύρεση της σχετικής μοριακής μάζας (M_r) μεγαλομοριακών ενώσεων (π.χ. πρωτεϊνών, πολυμερών κτλ.) με τη μέθοδο της ωσμωμετρίας.

Ωσμωμετρία *ονομάζεται η μέθοδος προσδιορισμού της σχετικής μοριακής μάζας (M_r) με βάση τον πειραματικό προσδιορισμό της ωσμωτικής πίεσης, κάνοντας χρήση της εξίσωσης:*

$$\Pi \cdot V = n \cdot R \cdot T, \quad \Pi \cdot V = \frac{m}{M_r} \cdot R \cdot T, \quad M_r = \frac{m \cdot R \cdot T}{\Pi \cdot V}$$

Η ωσμωμετρία εφαρμόζεται με την προϋπόθεση ότι το διάλυμα είναι αραιό και μοριακό.

Με τον πολυμερισμό μιας ουσίας ελαττώνεται ο αριθμός των διακριτών σωματιδίων του διαλύματος, οπότε ελαττώνεται και η ωσμωτική πίεση.

Εφαρμογή 1

Η ινσουλίνη είναι ορμόνη που παράγεται στο πάγκρεας και παίζει πρωτεύοντα ρόλο στον μεταβολισμό των υδατανθράκων στον ανθρώπινο οργανισμό. Η ανθρώπινη ινσουλίνη αποτελείται από 51 αμινοξέα και έχει M_r = 5808. Το 1955 στο περιοδικό Nature δημοσιεύτηκε μία εργασία σύμφωνα με την οποία διάλυμα της ινσουλίνης σε οργανικό διαλύτη περιεκτικότητας 0,1% w/v παρουσιάζει ωσμωτική πίεση $\Pi = 4{,}1 \cdot 10^{-3}$ atm στους 27 °C. Ποια η τιμή της σχετικής μοριακής μάζας της ινσουλίνης που προσδιορίστηκε με βάση το παραπάνω πείραμα;

$R = 0{,}082$ L·atm·(mol·K)$^{-1}$.

Υπολογίζουμε τη σχετική μοριακή μάζα της ινσουλίνης (M_r), ωσμωμετρικά, θεωρώντας 100 mL από το διάλυμα:

$$M_r = \frac{m \cdot R \cdot T}{\Pi \cdot V} = \frac{0{,}1 \cdot 0{,}082 \cdot 300}{4{,}1 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}1} = 6000$$

β) Υπολογισμός της συγκέντρωσης ενός υδατικού διαλύματος ισοτονικού με το αίμα. Η διαδικασία χρησιμοποιείται για την παρασκευή ορών διαφόρων ουσιών, π.χ. γλυκόζης, βιταμίνης C, φυσιολογικού ορού (διάλυμα NaCl 0,9% w/v).

γ) Το φαινόμενο της ώσμωσης παίζει σημαντικό ρόλο και σε διάφορα βιολογικά φαινόμενα. Έτσι, αν ένα ερυθρό κύτταρο βυθιστεί σε ισοτονικό υδατικό διάλυμα σε σχέση με το ενδοκυτταρικό υγρό (π.χ. σε φυσιολογικό ορό) διατηρεί το μέγεθός του, καθώς ο αριθμός των εισερχομένων μορίων νερού ισούται με τον αριθμό των εξερχόμενων. Αν το κύτταρο βυθιστεί σε υπερτονικό διάλυμα (π.χ. σε πυκνό διάλυμα γλυκόζης), τότε το κύτταρο συρρικνώνεται καθώς εξέρχεται μεγαλύτερη ποσότητα νερού από αυτήν που εισέρχεται. Τέλος, αν το κύτταρο βυθιστεί σε υποτονικό διάλυμα (π.χ. σε καθαρό νερό), τότε διογκώνεται και τελικά σπάζει με αποτέλεσμα τη διάχυση της αιμοσφαιρίνης που περιέχουν στο νερό (αιμόλυση ερυθρών αιμοσφαιρίων).

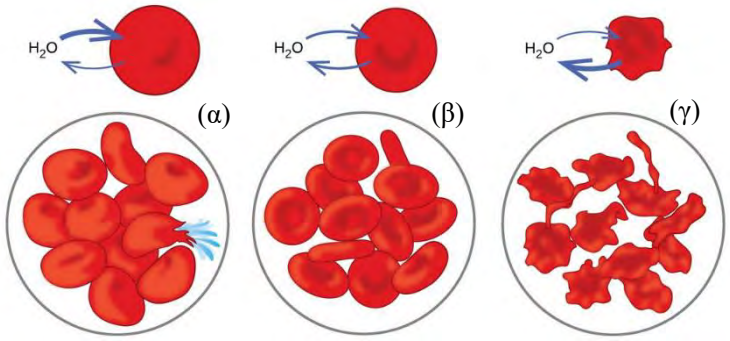
Η κυτταρική μεμβράνη παίζει το ρόλο ημιπερατής μεμβράνης επιτρέποντας τη δίοδο μορίων του νερού, όχι όμως και μορίων πρωτεϊνών ή άλλων μεγαλομορίων.

Όταν τα φυτικά κύτταρα βρεθούν σε υπερτονικό περιβάλλον εξέρχεται νερό διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης με αποτέλεσμα τη συρρίκνωση του κυττάρου και τελικά την αποκόλλησή του από το κυτταρικό τοίχωμα (πλασμόλυση).

Πώς εξηγείται η συντήρηση του κρέατος με την προσθήκη άλατος ή των φρούτων με την προσθήκη ζάχαρης; Λόγω του φαινομένου της ώσμωσης, τα τυχόν βακτήρια στην επιφάνεια των τροφίμων χάνουν συνεχώς νερό, συρρικνώνονται και τελικά πεθαίνουν.



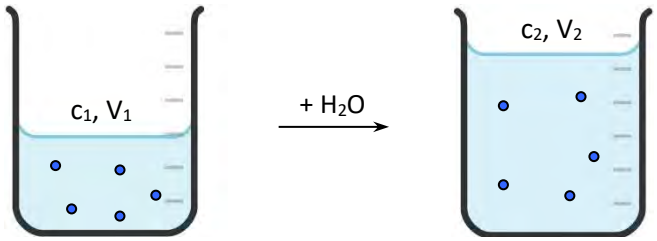
Ισοτονικό προϊόν ρινικής υγιεινής (διάλυμα NaCl 0,9 %w/v).



Σχήμα 2. *Ερυθρά αιμοσφαίρια σε (α) υποτονικό, (β) ισοτονικό και (γ) υπερτονικό υδατικό διάλυμα (Πηγή: LadyofHats/Wikimedia commons).*

6. Μεθοδολογία προβλημάτων στην ωσμωτική πίεση

Αραίωση διαλυμάτων. Έστω διάλυμα συγκέντρωσης c_1 και όγκου V_1 το οποίο αραιώνεται με την προσθήκη νερού και αποκτά συγκέντρωση c_2 και όγκο V_2:



Στην περίπτωση αυτή ισχύει η σχέση: $c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2$ (σχέση αραίωσης διαλυμάτων). Επίσης, αν V ο όγκος του νερού που προστέθηκε, θα ισχύει: $V_2 = V_1 + V$. Με την αραίωση η συγκέντρωση μειώνεται και επομένως μειώνεται και η ωσμωτική του πίεση.

Ανάμιξη διαλυμάτων της ίδιας διαλυμένης ουσίας. Έστω διάλυμα συγκέντρωσης c_1 και όγκου V_1 που αναμειγνύεται με άλλο διάλυμα της ίδιας διαλυμένης ουσίας συγκέντρωσης c_2 και όγκου V_2. Το τελικό διάλυμα έχει όγκο $V = V_1 + V_2$ και ισχύει:

$$c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 = c \cdot V$$

Μετατροπή της %w/v περιεκτικότητας σε συγκέντρωση (Molarity). Έστω διάλυμα ζάχαρης ($C_{12}H_{22}O_{11}$, $M_r = 342$) περιεκτικότητας 3,42% w/v.

Στα 100 mL διαλύματος 3,42 g $C_{12}H_{22}O_{11}$ ή 3,42/342 = 0,01 mol
Στα 1000 mL x = ; 0,1 mol·L^{-1} ή c = 0,1 M

Πολλές διαλυμένες ουσίες στο ίδιο διάλυμα. Αν οι διαλυμένες (μοριακές) ουσίες είναι πολλές, ο νόμος της ωσμωτικής πίεσης παίρνει τις μορφές:

$$\Pi = (c_1 + c_2 + c_3 + ...)\cdot R\cdot T \quad \text{και} \quad \Pi\cdot V = (n_1 + n_2 + n_3 + ...)\cdot R\cdot T$$

Διαλύματα ηλεκτρολυτών. Γράφουμε την εξίσωση διάστασης του ηλεκτρολύτη και υπολογίζουμε τη συνολική συγκέντρωση των ιόντων. Στη συνέχεια υπολογίζουμε την ωσμωτική πίεση του διαλύματος. Π.χ. σε διάλυμα $CaCl_2$(aq) συγκέντρωσης 0,1 M έχουμε:

$CaCl_2 \rightarrow Ca^{2+} + 2Cl^-$
0,1 M 0,1 M 0,2 M Συνολική συγκέντρωση ιόντων 0,3 M

Διαλύματα ηλεκτρολυτών. Στα διαλύματα ηλεκτρολυτών (οξέων, βάσεων, αλάτων) η ωσμωτική πίεση έχει μεγαλύτερη τιμή από εκείνη που προβλέπεται με βάση τη συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη. Ο van't Hoff πρότεινε την εισαγωγή στις εξισώσεις της ωσμωτικής πίεσης, ενός διορθωτικού συντελεστή i (συντελεστής van't Hoff): $\Pi = i\cdot c\cdot R\cdot T$, όπου i είναι κατά προσέγγιση ο συνολικός αριθμός των ιόντων που προκύπτουν με τη διάσταση του ηλεκτρολύτη. Π.χ.:
$NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$, i ≈ 2
$CaCl_2 \rightarrow Ca^{2+} + 2Cl^-$, i ≈ 3
Σε διαλύματα ασθενών ηλεκτρολυτών στα οποία ο ηλεκτρολύτης ιοντίζεται μερικά η τιμή της ωσμωτικής πίεσης είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη μοριακού διαλύματος της ίδιας συγκέντρωσης αλλά μικρότερη από την ωσμωτική πίεση διαλύματος ισχυρού ηλεκτρολύτη ίδιας συγκέντρωσης.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΣΚΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

1. Ποιο από τα επόμενα υδατικά μοριακά διαλύματα παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ωσμωτική πίεση στους 27 °C**;**
I. Διάλυμα γλυκόζης ($C_6H_{12}O_6$, M_r = 180**) περιεκτικότητας** 9% w/v**.**
II. Διάλυμα ουρίας (CH_4N_2O, M_r = 60**) περιεκτικότητας** 6% w/v**.**
III. Διάλυμα ζάχαρης ($C_{12}H_{22}O_{11}$, M_r = 342**) περιεκτικότητας** 17,1% w/v**.**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
Επειδή τα διαλύματα έχουν την ίδια θερμοκρασία, μεγαλύτερη ωσμωτική πίεση θα εμφανίζει αυτό που έχει τη μεγαλύτερη συγκέντρωση. Υπολογίζουμε τη συγκέντρωση του διαλύματος γλυκόζης:

Στα 100 mL διαλύματος υπάρχουν 9 g $C_6H_{12}O_6$ ή $\frac{9}{180} = 0{,}05$ mol
Στα 1000 mL x = ; 0,5 mol·L^{-1} (c = 0,5 M)

Με παρόμοιο τρόπο προκύπτει ότι το διάλυμα ουρίας έχει c = 1 M και το διάλυμα ζάχαρης έχει c = 0,5 M. Επομένως, το διάλυμα με τη μεγαλύτερη ωσμωτική πίεση θα είναι το διάλυμα της ουρίας καθώς έχει τη μεγαλύτερη συγκέντρωση.

2. Να εξηγήσετε αν οι προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές ή λανθασμένες.
α) Όταν έχουμε δύο μοριακά διαλύματα της ίδιας συγκέντρωσης που διαχωρίζονται με ημιπερατή μεμβράνη δεν διέρχονται μόρια νερού προς καμία κατεύθυνση.
β) Διάλυμα NaCl(aq) **παρουσιάζει μεγαλύτερη ωσμωτική πίεση σε σχέση με υδατικό διάλυμα γλυκόζης της ίδιας θερμοκρασίας και της ίδιας συγκέντρωσης (**c**).**
γ) Το φαινόμενο της ώσμωσης πραγματοποιείται μόνο όταν έρθουν σε επαφή μέσω ημιπερατής μεμβράνης ο καθαρός διαλύτης με διάλυμα μοριακής ουσίας.
δ) Αν σε διάλυμα γλυκόζης διαλυθεί επιπλέον ποσότητα γλυκόζης, χωρίς μεταβολή του όγκου και της θερμοκρασίας του, η ωσμωτική πίεση αυξάνεται.
ε) Αναμιγνύοντας ίσους όγκους δύο διαλυμάτων γλυκόζης με ωσμωτικές πιέσεις αντίστοιχα 2 atm **και** 4 atm **προκύπτει διάλυμα με ωσμωτική πίεση** 6 atm**.**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Λανθασμένη. Διέρχονται και προς τις δύο κατευθύνσεις, απλώς οι ταχύτητες διέλευσής τους είναι ίσες και για το λόγο αυτό δεν λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της ώσμωσης.

β) Σωστή. Το NaCl είναι ιοντική ένωση και στα υδατικά διαλύματα παρουσιάζει διάσταση στα ιόντα του ($NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$). Επομένως, η συνολική συγκέντρωση διαλυμένων σωματιδίων είναι μεγαλύτερη σε σχέση με το διάλυμα της γλυκόζης που είναι μοριακό (η ωσμωτική πίεση είναι προσθετική ιδιότητα).

γ) Λανθασμένη. Μπορεί να γίνει και με δύο διαλύματα διαφορετικής συγκέντρωσης.

δ) Σωστή. Με την προσθήκης επιπλέον ποσότητας γλυκόζης αυξάνεται η συγκέντρωση του διαλύματος. Από τη σχέση $\Pi = c \cdot R \cdot T$ προκύπτει ότι αυξάνεται και η ωσμωτική πίεση.

ε) Λανθασμένη. Για διαλύματα της ίδιας θερμοκρασίας, θα ισχύουν:

$$\Pi_1 = \frac{n_1}{V} \cdot R \cdot T,\ n_1 = \frac{\Pi_1 \cdot V}{R \cdot T}\ (1) \qquad \Pi_2 = \frac{n_2}{V} \cdot R \cdot T,\ n_2 = \frac{\Pi_2 \cdot V}{R \cdot T}\ (2) \qquad \Pi = \frac{n_1 + n_2}{2V} \cdot R \cdot T\ (3)$$

$$\Pi = \left(\frac{\Pi_1 + \Pi_2}{2RT} \right) \cdot RT = \frac{\Pi_1 + \Pi_2}{2} = \frac{4+2}{2} = 3\ \text{atm}$$

3. Διαθέτουμε τρία διαλύματα γλυκόζης Δ_1, Δ_2 και Δ_3 με συγκεντρώσεις 0,2 M, 0,3 M **και** 0,1 M**, αντίστοιχα. Τα τρία διαλύματα έχουν την ίδια θερμοκρασία.**
α) Τι θα συμβεί στη συγκέντρωση του διαλύματος Δ_1, αν το διάλυμα έρθει σε επαφή μέσω ημιπερατής μεμβράνης με το διάλυμα Δ_2 ή έρθει σε επαφή με το διάλυμα Δ_3;
β) Αν αναμίξουμε ίσους όγκους (V) των διαλυμάτων Δ_2 και Δ_3 θα προκύψει διάλυμα (Δ) που σε σχέση με το διάλυμα Δ_1 θα είναι: i. υποτονικό, ii. ισοτονικό ή iii. υπερτονικό; Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Αν φέρουμε σε επαφή μέσω ημιπερατής μεμβράνης τα διαλύματα Δ_1 και Δ_2 θα αυξηθεί ο όγκος του Δ_2 και θα μειωθεί αντίστοιχα ο όγκος του Δ_1. Έτσι, η συγκέντρωση του διαλύματος Δ_2 θα μειωθεί ενώ του Δ_1 θα αυξηθεί. Αν φέρουμε σε επαφή τα διαλύματα Δ_1 και Δ_3 θα αυξηθεί ο όγκος του Δ_1 (μείωση της συγκέντρωσή του) και θα μειωθεί αντίστοιχα ο όγκος του Δ_3 (αύξηση της συγκέντρωσή του).

β) Το διάλυμα Δ θα αποκτήσει συγκέντρωση (c) που θα δίνεται από τη σχέση:

$$c_2 \cdot V + c_3 \cdot V = c \cdot 2V \Rightarrow 0{,}3 \cdot V + 0{,}1 \cdot V = c \cdot 2V \Rightarrow c = 0{,}2\ \text{M}$$

Άρα, το διάλυμα Δ θα είναι ισοτονικό με το διάλυμα Δ_1.

4. Σε 1 L **διαλύματος ζάχαρης με ωσμωτική πίεση Π_1 =** 4 atm **στους** 27 °C **προσθέτουμε** 7 L H_2O **και παίρνουμε** 8 L **νέου διαλύματος. Ποια η τιμή της ωσμωτικής πίεσης του αραιωμένου διαλύματος στους** 27 °C**;**

ΛΥΣΗ

Εφαρμόζουμε το νόμο του van't Hoff για το αρχικό και το τελικό διάλυμα (αραιωμένο):

$$\Pi_1 = c_1 \cdot R \cdot T\ (1), \quad \Pi_2 = c_2 \cdot R \cdot T\ (2)$$

Λόγω αραίωσης ισχύει: $c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2$ (3)

Από την (1) τη (2) και την (3) προκύπτει τελικά: $\Pi_2 = \frac{\Pi_1 \cdot V_1}{V_2} = \frac{4 \cdot 1}{8} = 0{,}5 \text{ atm}$

5. **Σε** 2 L **διαλύματος γλυκόζης με ωσμωτική πίεση** $\Pi_1 = 2$ atm **προσθέτουμε** 3 L **διαλύματος γλυκόζης με ωσμωτική πίεση** $\Pi_2 = 4$ atm**. Ποια η τιμή της ωσμωτικής πίεσης του τελικού διαλύματος; Όλα τα διαλύματα είναι στην ίδια θερμοκρασία (**T**).**

ΛΥΣΗ

Για το πρώτο διάλυμα: $\Pi_1 = c_1 \cdot R \cdot T, \ c_1 = \frac{\Pi_1}{R \cdot T}$ (1)

Για το δεύτερο διάλυμα: $\Pi_2 = c_2 \cdot R \cdot T, \ c_2 = \frac{\Pi_2}{R \cdot T}$ (2)

Για το τελικό διάλυμα: $\Pi = c \cdot R \cdot T, \ c = \frac{\Pi}{R \cdot T}$ (3)

Από τη σχέση ανάμιξης διαλυμάτων: $c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 = c \cdot V$ (4)

Από τις σχέσεις (1) - (4) : $\Pi_1 \cdot V_1 + \Pi_2 \cdot V_2 = \Pi \cdot V$

Με αντικατάσταση έχουμε: $2 \cdot 2 + 3 \cdot 4 = \Pi \cdot 5$, $\Pi = 3{,}2$ atm.

6. **Μοριακό διάλυμα με περιεκτικότητα** 4,25% w/v στην **ουσία** A **είναι ισοτονικό με άλλο μοριακό διάλυμα ουρίας περιεκτικότητας** 10 g/L **της ίδιας θερμοκρασίας. Αν η σχετική μοριακή μάζα της ουρίας είναι** $M_r = 60$**, να προσδιορίσετε τη σχετική μοριακή μάζα της ουσίας** A**.**

ΛΥΣΗ

Στα 100 mL διαλύματος της A υπάρχουν 4,25 g A ή $\frac{42{,}5}{M_r}$ mol A

Στα 1000 mL (= 1 L) x = ; mol

Επομένως: $x = c_A = \frac{42{,}5}{M_r}$ (M)

Στο 1 L διαλύματος ουρίας υπάρχουν 10 g ή $\frac{10}{60}$ mol. Επομένως: $c_B = \frac{1}{6}$ M.

Για τις ωσμωτικές πιέσεις των διαλυμάτων ισχύουν: $\Pi_A = \frac{42{,}5}{M_r} \cdot R \cdot T$ και $\Pi_B = \frac{1}{6} \cdot R \cdot T$

Επειδή τα δύο διαλύματα είναι ισοτονικά θα ισχύει: $\Pi_A = \Pi_B$. Οπότε:

$$\frac{42{,}5}{M_r} \cdot R \cdot T = \frac{1}{6} \cdot R \cdot T, \ M_r = 255$$

7. 12 g **ένωσης** A **διαλύονται σε** H_2O **και προκύπτει μοριακό διάλυμα όγκου** 200 mL **με ωσμωτική πίεση** $\Pi_1 = 12{,}3$ atm**.**

α) Ποια η σχετική μοριακή μάζα της ένωσης A**;**

β) Ποιος ο όγκος του νερού που πρέπει να προστεθεί στο διάλυμα Δ_1 **ώστε το νέο διάλυμα που θα προκύψει να έχει** $\Pi_2 = 4{,}92$ atm**;**

Σε όλες τις περιπτώσεις $\theta = 27$ °C**.** $R = 0{,}082$ L·atm·mol^{-1}·K^{-1}**.**

ΛΥΣΗ

α) Από το νόμο του van't Hoff, έχουμε:

$$\Pi \cdot V = n \cdot R \cdot T,\ \ \Pi \cdot V = \frac{m}{M_r} \cdot R \cdot T,\ \ M_r = \frac{m \cdot R \cdot T}{\Pi \cdot V} = \frac{12 \cdot 0,082 \cdot 300}{12,3 \cdot 0,2} = 120$$

β) Η συγκέντρωση του αρχικού διαλύματος υπολογίζεται ως εξής:

$$n = \frac{m}{M_r} = \frac{12}{120} = 0,1\ \text{mol},\ c_1 = \frac{n}{V} = \frac{0,1}{0,2} = 0,5\ \text{M}$$

Η συγκέντρωση του τελικού διαλύματος υπολογίζεται από την ωσμωτική πίεση Π_2:

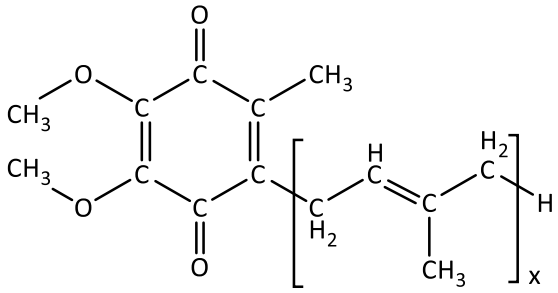
$$\Pi_2 = c_2 \cdot R \cdot T,\ \ c_2 = \frac{\Pi_2}{R \cdot T} = \frac{4,92}{0,082 \cdot 300} = 0,2\ \text{M}$$

Από τη σχέση αραίωσης των διαλυμάτων έχουμε: $c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2$.

$$V_2 = \frac{c_1 \cdot V_1}{c_2} = \frac{0,5 \cdot 0,2}{0,2} = 0,5\ \text{L}$$

Επομένως πρέπει να προστεθούν: 0,5 − 0,2 = 0,3 L = 300 mL νερού.

8. Η ένωση που ακολουθεί λειτουργεί στον ανθρώπινο οργανισμό ως βιταμίνη.



Η σχετική μοριακή μάζα της ένωσης μπορεί να γραφεί ως $M_r = 182 + 68x$**, όπου** x **ο αριθμός των επαναλαμβανόμενων μονάδων όπως εμφανίζεται στον παραπάνω συντακτικό τύπο.** 1,724 g **της ένωσης διαλύονται σε κατάλληλο διαλύτη και σχηματίζεται διάλυμα όγκου** 500 mL **θερμοκρασίας** 27 °C**. Η ωσμωτική πίεση του διαλύματος βρέθηκε ίση με** $9,84 \cdot 10^{-2}$ atm**. Να προσδιοριστεί η τιμή του** x**.** $R = 0,082\ \text{L·atm·mol}^{-1}\text{·K}^{-1}$**.**

ΛΥΣΗ

Από τον τύπο της ωσμωμετρίας υπολογίζουμε τη σχετική μοριακή μάζα της ένωσης.

$$M_r = \frac{m \cdot R \cdot T}{\Pi \cdot V} = \frac{1,724 \cdot 0,082 \cdot 300}{9,84 \cdot 10^{-2} \cdot 0,5} = 862$$

Ισχύει: $M_r = 182 + 68x = 862$, x = 10.

9. 34 g **μίγματος δύο μοριακών ουσιών** A **(**$M_r = 100$**) και** B **(**$M_r = 80$**) διαλύεται στο νερό και προκύπτει διάλυμα όγκου** 1 L **με ωσμωτική πίεση** $\Pi = 9,84$ atm **στους** 27 °C**. Ποιες οι μάζες των δύο συστατικών στο μίγμα;**
Δίνεται: $R = 0,082\ \text{L·atm/(mol·K)}$**.**

ΛΥΣΗ

Έστω x mol η ποσότητα της ουσίας Α και y mol η ποσότητα της Β στο μίγμα. Ισχύει:

$$100x + 80y = 34 \quad (1)$$

Επίσης, για την ωσμωτική πίεση του διαλύματος που προκύπτει θα ισχύει:

$$\Pi = (c_A + c_B)\cdot RT = \frac{x+y}{V}\cdot RT$$

Από τη σχέση αυτή με αντικατάσταση προκύπτει: $x + y = 0{,}4$ (2).

Με τη λύση του συστήματος των εξισώσεων (1) και (3) προκύπτει τελικά: x = 0,1 mol ή 10 g και y = 0,3 mol ή 24 g.

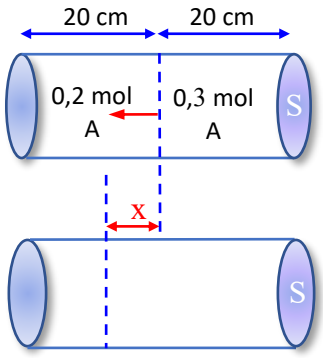
10. Οριζόντιο κυλινδρικό δοχείο όγκου 5 L **και μήκους** 40 cm **χωρίζεται ακριβώς στο μέσο με κινητή ημιπερατή μεμβράνη. Το αριστερό μέρος είναι γεμάτο με υδατικό διάλυμα που περιέχει** 0,2 mol **(μοριακής) ουσίας** Α **και το δεξιό με υδατικό διάλυμα που περιέχει** 0,3 mol **της ίδιας ουσίας** Α**.**

α) Προς τα που και πόσο θα κινηθεί η μεμβράνη και γιατί; Ποιοι θα είναι οι όγκοι των δύο διαλυμάτων στην ισορροπία;

β) Ποιες θα είναι οι συγκεντρώσεις των δύο διαλυμάτων όταν αποκατασταθεί ισορροπία και ποια θα είναι η ωσμωτική τους πίεση;

Τα δύο διαλύματα έχουν θερμοκρασία $\theta = 27$ °C**.** $R = 0{,}082$ L·atm·mol^{-1}·K^{-1}**.**

ΛΥΣΗ



α) Σύμφωνα με το φαινόμενο της ώσμωσης περισσότερα μόρια νερού περνούν από το διάλυμα με τη μικρότερη συγκέντρωση (υποτονικό διάλυμα) προς το διάλυμα με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση (υπερτονικό) και το φαινόμενο θα «σταματήσει», όταν εξισωθούν οι συγκεντρώσεις των διαλυμάτων στις δύο πλευρές της μεμβράνης. Για να συμβεί αυτό, η μεμβράνη, θα κινηθεί προς τα αριστερά ώστε το διάλυμα με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να αραιωθεί και ταυτόχρονα το διάλυμα με τη μικρότερη συγκέντρωση να συμπυκνωθεί.

Έστω ότι η διατομή του κυλίνδρου είναι S και ότι η μεμβράνη κινείται κατά x (σε cm) ώστε να επέλθει εξίσωση των συγκεντρώσεων. Στην τελική θέση θα έχουμε: $c_1 = c_2$, οπότε:

$$\frac{n_1}{V_1} = \frac{n_2}{V_2}, \quad n_1\cdot V_2 = n_2\cdot V_1, \quad 0{,}2\cdot(20 + x)\cdot S = 0{,}3\cdot(20 - x)\cdot S$$

Σημείωση: Το ίδιο ακριβώς θα γινόταν ακόμη και αν στα δύο δοχεία οι διαλυμένες ουσίες ήταν διαφορετικές, αρκεί να σχημάτιζαν μοριακά διαλύματα.

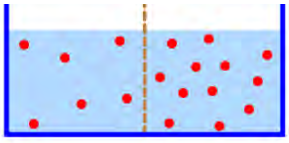
Λύνοντας την εξίσωση ως προς x προκύπτει: x = 4 cm. Επομένως το μήκος του κυλίνδρου που περιέχει το αριστερό διάλυμα θα είναι 16 cm και το μήκος του κυλίνδρου που περιέχει το δεξιό διάλυμα θα είναι 24 cm. Ο όγκος του αριστερού διαλύματος θα είναι: (16/40)·5 = 2 L και ο όγκος του διαλύματος στα δεξιά θα είναι (24/40)·5 = 3 L.

β) Στην ισορροπία ισχύει: $c_1 = c_2 = \frac{0{,}2}{2} = \frac{0{,}3}{3} = 0{,}1$ M. Η ωσμωτική πίεση των δύο διαλυμάτων υπολογίζεται από τη σχέση: $\Pi = c\cdot R\cdot T = 0{,}1\cdot 0{,}082\cdot 300 = 2{,}46$ atm.

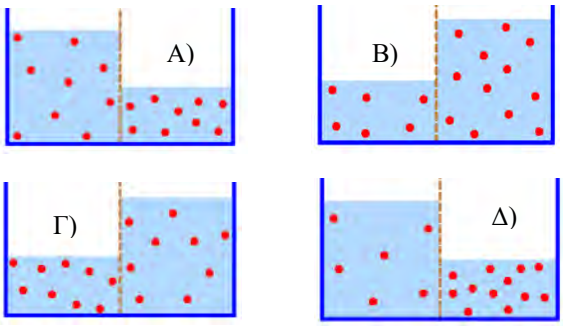
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΑΣΚΗΣΕΙΣ - ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

8.1. Η ημιπερατή μεμβράνη:
Α) επιτρέπει τη δίοδο μορίων νερού μόνο από το διάλυμα μεγαλύτερης προς το διάλυμα μικρότερης συγκέντρωσης
Β) επιτρέπει τη δίοδο μορίων νερού μόνο από το διάλυμα μικρότερης προς το διάλυμα μεγαλύτερης συγκέντρωσης
Γ) επιτρέπει τη δίοδο μορίων νερού μόνο από το υπερτονικό προς το υποτονικό διάλυμα
Δ) επιτρέπει τη δίοδο μορίων διαλύτη αλλά όχι και μορίων διαλυμένης ουσίας

8.2. Δύο μοριακά διαλύματα της ίδιας διαλυμένης ουσίας έχουν τον ίδιο όγκο αλλά διαφορετική συγκέντρωση. Τα διαλύματα διαχωρίζονται με ημιπερατή μεμβράνη, όπως φαίνεται στο σχήμα.



Ποιο από τα σχήματα που ακολουθεί παριστάνει σωστά το τελικό αποτέλεσμα του φαινομένου της ώσμωσης;

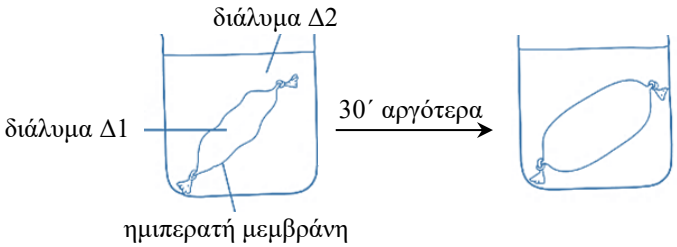


8.3. Τεχνητό κύτταρο περιβάλλεται από ημιπερατή μεμβράνη και περιέχει υδατικό διάλυμα σακχαρόζης 0,02 Μ, γλυκόζης 0,01 Μ και φρουκτόζης 0,06 Μ. Για τη διαπίστωση της λειτουργίας της ημιπερατής μεμβράνης το κύτταρο εισάγεται σε υδατικό διάλυμα που περιέχει σακχαρόζη 0,05 Μ, γλυκόζη 0,03 Μ και φρουκτόζη 0,01 Μ. Με την εξέλιξη του φαινομένου, τι από τα παρακάτω θα συμβεί;
Α) Το μέγεθος του τεχνητού κυττάρου δεν μεταβάλλεται
Β) Η ποσότητα της φρουκτόζης στο εσωτερικό του τεχνητού κυττάρου θα μειωθεί
Γ) Ποσότητα νερού θα εξέλθει από το κύτταρο
Δ) Η ποσότητα της γλυκόζης στο εσωτερικό του τεχνητού κυττάρου θα αυξηθεί

8.4. Από τα παρακάτω υδατικά διαλύματα μικρότερη τιμή ωσμωτικής πίεσης στους 25 °C έχει το διάλυμα:
Α) γλυκόζης ($C_6H_{12}O_6$) 0,4 Μ
Β) ζάχαρης ($C_{12}H_{22}O_{11}$) 0,3 Μ
Γ) χλωριούχου νατρίου (NaCl) 0,2 Μ
Δ) ουρίας (H_2NCONH_2) 0,5 Μ
[ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2024]

8.5. Υδατικό διάλυμα ζάχαρης παρουσιάζει ωσμωτική πίεση Π_1 σε θερμοκρασία θ_1 °C. Το διάλυμα αραιώνεται με νερό ενώ ταυτόχρονα η θερμοκρασία του διαλύματος αυξάνεται στους θ_2 °C. Με τις μεταβολές αυτές για την ωσμωτική πίεση (Π_2) του τελικού διαλύματος θα ισχύει:
Α) $\Pi_2 = \Pi_1$ Β) $\Pi_2 > \Pi_1$ Γ) $\Pi_2 < \Pi_1$
Δ) Δεν μπορούν να συγκριθούν χωρίς επιπλέον δεδομένα

8.6. Ένας μικρός ασκός με τοιχώματα από ελαστική ημιπερατή μεμβράνη περιέχει υδατικό διάλυμα (Δ1) γλυκόζης. Ο ασκός βυθίζεται σε ποτήρι που περιέχει υδατικό διάλυμα (Δ2) σακχαρόζης, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Παρατηρείται ότι μετά από 30΄ ο ασκός έχει διογκωθεί αισθητά. Ποιος είναι ο λόγος της διόγκωσης του ασκού;
Α) Το διάλυμα (Δ1) είναι υπερτονικό σε σχέση με το διάλυμα (Δ2)
Β) Το διάλυμα (Δ1) είναι υποτονικό σε σχέση με το διάλυμα (Δ2)
Γ) Το διάλυμα της γλυκόζης (Δ1) είναι ιοντικό διάλυμα
Δ) Το διάλυμα της σακχαρόζης (Δ2) περιέχει μεγαλύτερη ποσότητα διαλυμένης ουσίας

8.7. Διαθέτουμε τρία υδατικά διαλύματα σακχαρόζης (κοινή ζάχαρη) Α, Β και Γ με τον ίδιο όγκο και την ίδια θερμοκρασία (T). Οι συγκεντρώσεις c_1 = 0,1 Μ, c_2 = 0,2 Μ και c_3 = 0,3 Μ, αντίστοιχα. Τα τρία διαλύματα αναμιγνύονται και προκύπτει διάλυμα Δ θερμοκρασίας T το οποίο θα είναι:
Α) ισοτονικό σε σχέση με το διάλυμα Β
Β) υπερτονικό σε σχέση με το διάλυμα Γ
Γ) ισοτονικό με διάλυμα ζάχαρης 0,6 Μ θερμοκρασίας T
Δ) υποτονικό σε σχέση με το διάλυμα Α

8.8. Με την εισαγωγή φυτικών κυττάρων σε πυκνό διάλυμα NaCl(aq) παρατηρούμε στο μικροσκόπιο ότι τα κύτταρα συρρικνώνονται. Που μπορεί να οφείλεται αυτό;
Α) Η ωσμωτική πίεση στο εσωτερικό των φυτικών κυττάρων είναι μεγαλύτερη από την ωσμωτική πίεση του διαλύματος NaCl
Β) Το εσωτερικό των φυτικών κυττάρων είναι υποτονικό σε σχέση με το διάλυμα του NaCl
Γ) Το εσωτερικό των φυτικών κυττάρων είναι υπερτονικό σε σχέση με το διάλυμα του NaCl
Δ) Όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση του διαλύματος του NaCl τόσο μεγαλύτερη η ροή του νερού προς το εσωτερικό των φυτικών κυττάρων

8.9. Δύο υδατικά διαλύματα, ένα διάλυμα NaCl συγκέντρωσης c_1 και θερμοκρασίας T_1 και ένα διάλυμα γλυκόζης συγκέντρωσης c_2 και θερμοκρασίας T_2, θα είναι ισοτονικά αν:
Α) $\Pi_1 = \Pi_2$ Β) $c_1 = c_2$ Γ) $T_1 = T_2$ Δ) $c_1 \cdot T_1 = c_2 \cdot T_2$

8.10. Η ωσμωτική πίεση διαλύματος γλυκόζης 0,1 M όγκου 1 L που βρίσκεται σε θερμοκρασία 27 °C διπλασιάζεται αν:
Α) αυξήσουμε τη θερμοκρασία του διαλύματος στους 54 °C
Β) προσθέσουμε 0,1 mol ζάχαρης, χωρίς άλλη μεταβολή
Γ) του προσθέσουμε 1 L νερού
Δ) του προσθέσουμε 1 L διαλύματος γλυκόζης 0,1 M

8.11. Σε υδατικό διάλυμα μοριακής ουσίας όγκου 2 L με Π = 10 atm προσθέτουμε 8 L νερού υπό σταθερή θερμοκρασία. Η ωσμωτική πίεση του νέου διαλύματος θα:
Α) μείνει ίδια Β) πενταπλασιαστεί
Γ) γίνει ίση με 2 atm Δ) γίνει ίση με 2,5 atm

8.12. Δύο διαλύματα γλυκόζης με συγκεντρώσεις c και $2c$ έχουν ωσμωτικές πιέσεις Π_1 και Π_2, αντίστοιχα, και την ίδια θερμοκρασία (θ °C). Τα δύο διαλύματα αναμιγνύονται και προκύπτει νέο διάλυμα (Δ). Τι από τα παρακάτω ισχύει πάντα για την ωσμωτική πίεση (Π_3) του Δ στους θ °C;
Α) $\Pi_3 = 3\,\Pi_1$ Β) $\Pi_3 = 1{,}5\,\Pi_1$
Γ) $\Pi_2 < \Pi_3 < \Pi_1$ Δ) $\Pi_1 < \Pi_3 < \Pi_2$

8.13. Η ωσμωτική πίεση υδατικού διαλύματος $CaCl_2$ συγκέντρωσης c και θερμοκρασίας T δίνεται από τη σχέση: $\Pi = i \cdot c \cdot R \cdot T$. Στην περίπτωση αυτή ο συντελεστής i θα έχει τιμή:
Α) $i \approx 3$ Β) $i \approx 2$ Γ) $i \approx 1$ Δ) $i \approx 0$

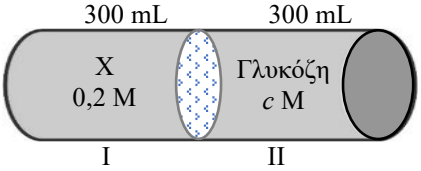
8.14. Υδατικό διάλυμα (Α) περιέχει γλυκόζη 0,1 M και έχει θερμοκρασία 25 °C, ενώ άλλο διάλυμα (Β) περιέχει ζάχαρη 0,1 M και έχει θερμοκρασία 50 °C. Για τις ωσμωτικές πιέσεις των δύο Α και Β θα ισχύει:
Α) $\Pi_A = \Pi_B$ Β) $\Pi_B = 2\Pi_A$ Γ) $\Pi_B > \Pi_A$
Δ) Δεν μπορούν να συγκριθούν

8.15. Ερυθρά κύτταρα βυθίζονται σε υπερτονικό διάλυμα σε σχέση με το ενδοκυττάριο υγρό. Τι θα συμβεί;
Α) Τα κύτταρα συρρικνώνονται, καθώς τα εισερχόμενα μόρια νερού στο κύτταρο είναι λιγότερα από τα εξερχόμενα
Β) Τα κύτταρα συρρικνώνονται, καθώς τα εξερχόμενα μόρια νερού στο κύτταρο είναι λιγότερα από τα εισερχόμενα
Γ) Τα κύτταρα διογκώνονται, καθώς τα εισερχόμενα μόρια νερού στο κύτταρο είναι λιγότερα από τα εξερχόμενα
Δ) Τα ερυθρά αιμοσφαίρια υφίστανται αιμόλυση

8.16. Να εξετάσετε την ισχύ των παρακάτω προτάσεων.
α) Αν αναμίξουμε δύο διαλύματα, ένα με ωσμωτική πίεση Π_1 και ένα άλλο με ωσμωτική πίεση Π_2, η ωσμωτική του διαλύματος που θα προκύψει θα είναι $\Pi = \Pi_1 + \Pi_2$, καθώς η ωσμωτική πίεση είναι προσθετική ιδιότητα.
β) Στο φαινόμενο της ώσμωσης ποσότητα διαλύτη μετατοπίζεται από το υπερτονικό προς το υποτονικό διάλυμα.
γ) Με την προσθήκη ποσότητας γλυκόζης σε διάλυμα φρουκτόζης χωρίς αλλαγή του όγκου και της θερμοκρασίας η ωσμωτική πίεση του διαλύματος δε μεταβάλλεται.
δ) Τα υδατικά διαλύματα των ιοντικών ουσιών δεν παρουσιάζουν το φαινόμενο της ώσμωσης.
ε) Η ωσμωτική πίεση διαλύματος NaCl 0,1 M είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την ωσμωτική πίεση διαλύματος γλυκόζης ($C_6H_{12}O_6$) 0,1 M στην ίδια θερμοκρασία.
στ) Το φαινόμενο της ώσμωσης εμφανίζεται αποκλειστικά στα υδατικά διαλύματα.
ζ) Τα ερυθρά αιμοσφαίρια όταν βρεθούν σε υπερτονικό περιβάλλον εμφανίζουν το φαινόμενο της αιμόλυσης.

8.17. Ασθενής παρουσίασε οίδημα (πρήξιμο) στον κερατοειδή χιτώνα του ματιού του. Ο οφθαλμίατρος του χορήγησε κολλύριο με αποστειρωμένο διάλυμα NaCl 5% w/v.
α) Για τη μείωση του πρηξίματος, σε σχέση με το κυτταρικό υγρό του ματιού το κολλύριο θα πρέπει να είναι διάλυμα:
1. υπερτονικό 2. ισοτονικό 3. υποτονικό
4. υποτονικό ή το πολύ ισοτονικό
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

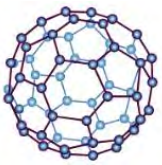
8.18. Στη συσκευή του σχήματος τα διαμερίσματα Ι και ΙΙ διαχωρίζονται με ημιπερατή μεμβράνη. Το διαμέρισμα Ι αρχικού όγκου 300 mL περιέχει διάλυμα μοριακής ουσίας (Χ) συγκέντρωσης 0,2 M. Το διαμέρισμα ΙΙ περιέχει διάλυμα γλυκόζης όγκου 300 mL και συγκέντρωσης c. Η συσκευή αυτή χρησιμοποιείται για την συμπύκνωση του διαλύματος της ουσίας (Χ) από την αρχική συγκέντρωση 0,2 M σε τελική συγκέντρωση 0,5 M.



Ποια από τις παρακάτω σχέσεις θα πρέπει να ισχύει για τη συγκέντρωση του διαλύματος της γλυκόζης (c) ώστε λόγω του φαινομένου της ώσμωσης να επιτυγχάνεται η συμπύκνωση του διαλύματος της ουσίας (Χ);
Α) $c = 0{,}2$ M Β) $c < 0{,}2$ M
Γ) $c > 0{,}2$ M Δ) $c = 0{,}5$ M

8.19. Διαθέτουμε δύο φιάλες με υδατικά διαλύματα, ένα διάλυμα γλυκόζης ($C_6H_{12}O_6$) και ένα διάλυμα σακχαρόζης ($C_{12}H_{22}O_{11}$), χωρίς να ξέρουμε σε ποια φιάλη περιέχεται ποιο διάλυμα. Τα δύο διαλύματα έχουν την ίδια περιεκτικότητα (π% w/v) και την ίδια θερμοκρασία.
α) Πως μπορούμε με μέτρηση της ωσμωτικής πίεσης (Π) να προσδιορίσουμε το περιεχόμενο κάθε φιάλης;
1. Το διάλυμα με την μεγαλύτερη ωσμωτική πίεση θα είναι το διάλυμα της γλυκόζης
2. Το διάλυμα με την μεγαλύτερη ωσμωτική πίεση θα είναι το διάλυμα της σακχαρόζης
3. Δεν μπορούμε γιατί δεν είναι γνωστές οι σχετικές μοριακές μάζες των δύο ουσιών
4. Δεν μπορούμε γιατί τα δύο διαλύματα έχουν την ίδια ωσμωτική πίεση
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

Προβλήματα



8.20. Τα φουλλερένια είναι μορφές άνθρακα στα οποία τα άτομα C σχηματίζουν δομές σαν μπάλες ποδοσφαίρου. Έχουν γενικό τύπο C_x (συνήθως, x = 60, 70 κτλ.). Ποσότητα ενός φουλλερένιου διαλύεται σε κατάλληλο οργανικό διαλύτη και προκύπτει διάλυμα 0,72% w/v με ωσμωτική πίεση $\Pi = 0{,}25$ atm. Να υπολογιστεί ο αριθμός των ατόμων C που απαρτίζουν το μόριο του φουλλερένιου.
Δίνεται: $R \cdot T = 25$ L·atm·mol^{-1}.

8.21. Υδατικό διάλυμα όγκου 100 mL περιέχει 0,167 g φαρμάκου και παρουσιάζει ωσμωτική πίεση $\Pi = 0{,}123$ atm σε θερμοκρασία 27 °C. Ποια είναι η σχετική μοριακή μάζα του φαρμάκου; $R = 0{,}082$ L·atm/mol·K.

8.22. Δύο υδατικά διαλύματα Α και Β είναι ισοτονικά και μοριακά. Το διάλυμα Α έχει θερμοκρασία 27 °C, ενώ το διάλυμα Β έχει θερμοκρασία 57 °C και συγκέντρωση 0,05 M. Ποια είναι η συγκέντρωση του διαλύματος Α;

8.23. 2,56 g θείου (S_x) διαλύονται σε διθειάνθρακα (CS_2) και σχηματίζεται διάλυμα όγκου 200 mL με ωσμωτική πίεση Π = 1,23 atm στους 27 °C. Να υπολογιστεί η σχετική μοριακή μάζα του θείου καθώς και η ατομικότητά του (x).
Δίνεται: R = 0,082 L·atm/(mol·K).

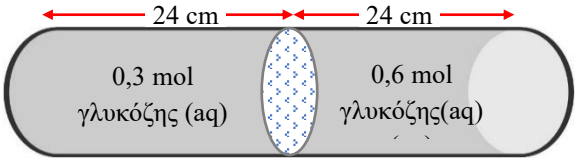
8.24. Πόσα mL νερού πρέπει να εξατμιστούν από 200 mL διαλύματος γλυκόζης (M_r = 180) περιεκτικότητας 0,9% w/v ώστε να προκύψει διάλυμα ισοτονικό με υδατικό διάλυμα ζάχαρης 0,1 M; Τα διαλύματα έχουν την ίδια θερμοκρασία.

8.25. Υδατικό διάλυμα γλυκόζης ($C_6H_{12}O_6$) έχει όγκο 500 mL και περιέχει 36 g γλυκόζης. Το διάλυμα παρουσιάζει ωσμωτική πίεση Π_1 = 5 atm. Ένα άλλο υδατικό διάλυμα γλυκόζης έχει την ίδια θερμοκρασία και παρουσιάζει ωσμωτική πίεση Π_2 = 1,25 atm. Ποια είναι η συγκέντρωση του δεύτερου διαλύματος;

8.26. Δείγμα αίματος έχει όγκο 1,55 L και ωσμωτική πίεση 8,2 atm στους 37 °C. Πόσα g γλυκόζης ($C_6H_{12}O_6$) περιέχει διάλυμα όγκου 1,55 L το οποίο είναι ισοτονικό με το δείγμα αίματος στους 37 °C; R = 0,082 L·atm/(mol·K).

8.27. Ποια είναι η ωσμωτική πίεση διαλύματος NaCl(aq) 0,0585% w/v στους $\theta = 27$ °C; $R = 0{,}082$ L·atm/mol·K.

8.28. Κλειστό οριζόντιο κυλινδρικό δοχείο έχει μήκος 48 cm και χωρίζεται στο μέσο του με κινητή ημιπερατή μεμβράνη όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Το αριστερό μέρος του κυλίνδρου πληρώνεται με υδατικό διάλυμα που περιέχει 0,3 mol γλυκόζης ενώ το δεξιό με υδατικό διάλυμα που περιέχει 0,6 mol γλυκόζης. Τα δύο διαλύματα έχουν την ίδια θερμοκρασία (T).
α) Προς ποια κατεύθυνση θα μετακινηθεί η κινητή ημιπερατή μεμβράνη με την εξέλιξη του φαινομένου της ώσμωσης; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.
β) Πόσα cm θα μετακινητή η ημιπερατή μεμβράνη μέχρι την αποκατάσταση της ισορροπίας της ώσμωσης;

8.29. Πολυμερές του τύπου $(C_2H_4)_v$ μάζας 1 g διαλύεται σε οργανικό διαλύτη και προκύπτει διάλυμα όγκου 82 mL με ωσμωτική πίεση $\Pi = 3{,}8$ mmHg στους 7 °C.
α) Ποια η μέση σχετική μοριακή μάζα του πολυμερούς;
β) Από πόσα μόρια μονομερούς αποτελείται κατά μέσο όρο το μόριο του πολυμερούς;
$R = 0{,}082$ L·atm/(mol·K). 1 atm = 760 mmHg.

8.30. Διάλυμα γλυκόζης (Δ_1) έχει όγκο 500 mL και ωσμωτική πίεση Π_1 = 4 atm. Άλλο διάλυμα γλυκόζης (Δ_2) έχει όγκο 1 L και ωσμωτική πίεση Π_2 = 10 atm.
α) Αν αναμίξουμε τα δύο διαλύματα προκύπτει νέο διάλυμα (Δ_3) όγκου 1,5 L. Ποια η ωσμωτική του πίεση;
β) Πόσα mL νερού πρέπει να προστεθούν σε όλη την ποσότητα του Δ_2 ώστε να προκύψει διάλυμα ισοτονικό με το Δ_1;
γ) Με ποια αναλογία όγκων πρέπει να αναμίξουμε τα διαλύματα Δ_1 και Δ_2, ώστε η ωσμωτική πίεση του διαλύματος (Δ_4) που θα προκύψει να είναι ίση με 6 atm;
Όλα τα διαλύματα έχουν $\theta = 27$ °C.

8.31. Παρασκεύασμα περιέχει 0,378 g μιας φαρμακευτικής ουσίας (Χ) και 0,342 g του σακχάρου λακτόζη (M_r = 342). Το παρασκεύασμα αυτό διαλύεται σε νερό σχηματίζοντας διάλυμα όγκου 100 mL με ωσμωτική πίεση $\Pi = 0{,}5$ atm και θερμοκρασία T. Να προσδιοριστεί η σχετική μοριακή μάζα (M_r) της ουσίας Χ. Δίνεται: $R \cdot T = 25$ (L·atm)/mol.

8.32. 6 g ουρίας (CH_4N_2O, M_r = 60) διαλύονται σε νερό και σχηματίζουν διάλυμα όγκου 500 mL. Επίσης, 54 g γλυκόζης ($C_6H_{12}O_6$, M_r = 180) διαλύονται σε νερό και σχηματίζουν άλλο διάλυμα όγκου 500 mL.
α) Ποιες οι ωσμωτικές πιέσεις των δύο διαλυμάτων;
β) Ποια η ωσμωτική πίεση του διαλύματος που προκύπτει με την ανάμιξη των δύο αυτών διαλυμάτων;
Όλα τα διαλύματα έχουν $\theta = 27$ °C. $R = 0{,}082$ L·atm/mol·K.

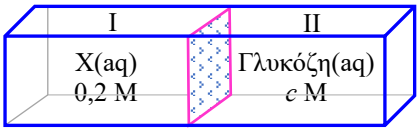
8.33. Η αιμοσφαιρίνη είναι πρωτεΐνη που περιέχει Fe και βρίσκεται στα ερυθρά αιμοσφαίρια. 0,256 g αιμοσφαιρίνης διαλύονται σε νερό σχηματίζοντας διάλυμα όγκου 20 mL με ωσμωτική πίεση $5 \cdot 10^{-3}$ atm σε θερμοκρασία T.
α) Να προσδιοριστεί το M_r της αιμοσφαιρίνης.
β) Η περιεκτικότητα της αιμοσφαιρίνης σε Fe βρέθηκε ίση με 0,35% w/w. Πόσα άτομα Fe περιέχονται σε κάθε μόριο αιμοσφαιρίνης;
Δίνεται: $R \cdot T = 25$ mol·atm/mol.

8.34. 85,5 g ζάχαρης ($C_{12}H_{22}O_{11}$, $M_r = 342$) διαλύονται στο νερό και σχηματίζεται διάλυμα όγκου 500 mL στους 27 °C.
α) Ποια η ωσμωτική πίεση του διαλύματος;
β) Το διάλυμα θερμαίνεται χωρίς μεταβολή όγκου, και η ζάχαρη διασπάται σε μίγμα γλυκόζης και φρουκτόζης, δύο σάκχαρα με τον ίδιο μοριακό τύπο ($C_6H_{12}O_6$):

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$$

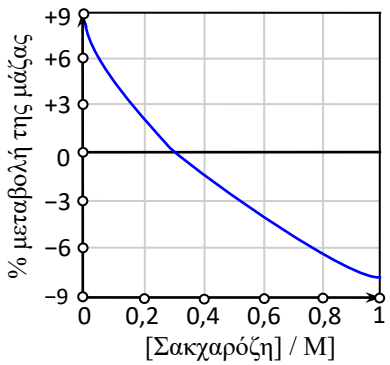
Τη χρονική στιγμή (t) πριν την ολοκλήρωση της αντίδρασης το διάλυμα ψύχεται στους 27 °C, οπότε η ωσμωτική πίεση βρέθηκε ίση με 18,45 atm. Ποιο ποσοστό της ζάχαρης έχει διασπαστεί μέχρι τη χρονική στιγμή t;
Δίνεται: $R = 0{,}082\ \text{L·atm·mol}^{-1}\text{·K}^{-1}$.

8.35. Το διαμέρισμα Ι του δοχείου του σχήματος περιέχει 300 mL υδατικού μοριακής διαλύματος βιοδραστικής ουσίας (Χ) συγκέντρωσης 0,2 Μ. Το διαμέρισμα ΙΙ περιέχει υδατικό διάλυμα γλυκόζης(aq) όγκου 300 mL και συγκέντρωσης c Μ. Τα δύο διαμερίσματα διαχωρίζονται με κινητή ημιπερατή μεμβράνη.



α) Προς ποια κατεύθυνση θα πρέπει να κινηθεί η ημιπερατή μεμβράνη ώστε το διάλυμα της ουσίας (Χ) να συμπυκνωθεί; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.
β) Ποια θα πρέπει να είναι η αρχική συγκέντρωση (c) του διαλύματος της γλυκόζης ώστε η τελική συγκέντρωση της ουσίας (Χ) στο διαμέρισμα Ι να γίνει ίση με 0,3 Μ; Να υπολογιστούν τελικοί οι όγκοι των δύο διαλυμάτων.

8.36. Σε ένα εργαστηριακό πείραμα ώσμωσης ανέφεροντα τα εξής: Σε καθέναν από 6 δοκιμαστικούς σωλήνες εισάγεται ένα από τα παρακάτω υγρά όγκου 10 mL.
− Καθαρό νερό
− Διάλυμα σακχαρόζης (κοινή ζάχαρη) 0,2 Μ
− Διάλυμα σακχαρόζης (κοινή ζάχαρη) 0,4 Μ
− Διάλυμα σακχαρόζης (κοινή ζάχαρη) 0,6 Μ
− Διάλυμα σακχαρόζης (κοινή ζάχαρη) 0,8 Μ
− Διάλυμα σακχαρόζης (κοινή ζάχαρη) 1,0 Μ
Στα διαλύματα αυτά βυθίζουμε δείγματα πατάτας μάζας 5 g ίδιου σχήματος. Μετά από 24 h τα δείγματα ζυγίζονται και υπολογίζεται η % μεταβολή μάζας σε καθένα από αυτά. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



α) Ποια η κατά προσέγγιση συγκέντρωση του διαλύματος σακχαρόζης που είναι ισοτονικό με τα δείγματα πατάτας;
i. 0,2 Μ ii. 0,3 Μ iii. 0,4 Μ iv. 1,0 Μ
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

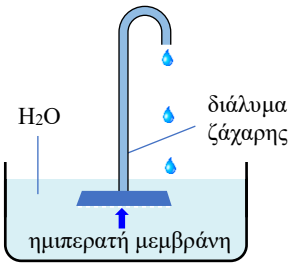
8.37. Σε οργανικούς διαλύτες τα μόρια του CH_3COOH (αιθανικό οξύ) έχουν την τάση να διμερίζονται σχηματίζοντας διαμοριακά δύο δεσμούς υδρογόνου.
α) Να σχεδιάσετε τους αναλυτικούς συντακτικούς τύπους δύο μορίων CH_3COOH και να εμφανίσετε τους δύο δεσμούς υδρογόνου που σχηματίζονται ανάμεσα στα μόρια αυτά.
β) Ποσότητα CH_3COOH μάζας 6 g διαλύεται σε βενζόλιο και σχηματίζεται διάλυμα όγκου 500 mL το οποίο παρουσιάζει ωσμωτική πίεση ίση με 2,46 atm στους 27 °C. Να εξηγήσετε με ποια μορφή (μονομερούς ή διμερούς) βρίσκονται τα μόρια του CH_3COOH στο παραπάνω διάλυμα.
$R = 0{,}082$ L·atm/mol·K.

8.38. Οι αμυλοδεξτρίνες είναι γραμμικά σάκχαρα που αποτελούνται από μόρια γλυκόζης ($M_r = 180$) ενωμένα μεταξύ τους ώστε να σχηματίζουν αλυσίδα. 4,068 g αμυλοδεξτρίνης διαλύονται σε νερό και σχηματίζεται διάλυμα όγκου 250 mL με ωσμωτική πίεση $\Pi = 0{,}1$ atm.
α) Ποια η σχετική μοριακή μάζα της αμυλοδεξτρίνης;
β) Από πόσα μόρια γλυκόζης αποτελείται το μόριο της αμυλοδεξτρίνης;
Για κάθε δεσμό που σχηματίζεται μεταξύ των γλυκοζιτικών μονάδων αποβάλλεται ένα μόριο H_2O. $R \cdot T = 25$ L·atm/mol.

8.39. Στερεό δείγμα γλυκόζης ($C_6H_{12}O_6$, $M_r = 180$) περιέχει και μικρή ποσότητα υγρασίας (H_2O). Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας του δείγματος σε υγρασία, 10 g από το δείγμα διαλύονται σε νερό σχηματίζοντας διάλυμα όγκου 250 mL το οποίο παρουσιάζει ωσμωτική πίεση $\Pi = 5{,}3$ atm. Να υπολογιστεί η %w/w περιεκτικότητα του στερεού δείγματος σε υγρασία. Δίνεται: $RT = 25$ (L·atm)/mol, όπου R η παγκόσμια σταθερά των αερίων και T η απόλυτη θερμοκρασία του διαλύματος.

8.40. Διαθέτουμε ποσότητες από δύο υγρά κορεσμένα μονοκαρβοξυλικά οξέα, το παλμιτικό οξύ και το αιθανικό οξύ (CH_3COOH). Το παλμιτικό οξύ είναι κορεσμένο κονοκαρβοξυλικό οξύ του τύπου $CH_3(CH_2)_xCOOH$, όπου x ο αριθμός των ομάδων $-CH_2-$.
α) i. Το παλμιτικό οξύ διαλύεται πολύ περισσότερο στον τετραχλωράνθρακα (CCl_4) από ότι στο νερό. Να εξηγήσετε αν η τιμή του x είναι μεγάλη (π.χ. x > 10) ή μικρή (x = 0 - 2).
ii. Το αιθανικό οξύ, αντίθετα, παρουσιάζει πολύ μεγάλη (άπειρη) διαλυτότητα στο νερό. Να εξηγήσετε γιατί.
β) Ποσότητα παλμιτικού οξέος μάζας 2,56 g διαλύεται σε κατάλληλο οργανικό διαλύτη σχηματίζοντας διάλυμα όγκου 200 mL στο οποίο το παλμιτικό οξύ βρίσκεται με τη μορφή των μορίων του. Το διάλυμα αυτό παρουσιάζει ωσμωτική πίεση $\Pi = 1{,}25$ atm. Να υπολογιστεί ο αριθμός των μεθυλενομάδων (x) στο μόριο του παλμιτικού οξέος.
Δίνεται: $R \cdot T = 25\ \text{L·atm·mol}^{-1}$ (R η παγκόσμια σταθερά των ιδανικών αερίων και T η απόλυτη θερμοκρασία του διαλύματος).

8.41. Πρόκληση! Στο σχήμα που ακολουθεί ο λεπτός σωλήνας σε σχήμα βρύσης περιέχει διάλυμα ζάχαρης και στο κάτω μέρος του διαχωρίζεται από το νερό της λεκάνης με ημιπερατή μεμβράνη.



Λόγω του φαινομένου της ώσμωσης η στάθμη του διαλύματος στο σωλήνα ανεβαίνει και από κάποια στιγμή και μετά στάζει το περιεχόμενό του στη λεκάνη. Το φαινόμενο εξελίσσεται για αρκετό χρονικό διάστημα αλλά κάποια στιγμή ο σωλήνας παύει να στάζει αν και στη λεκάνη περιέχεται ακόμη μεγάλη ποσότητα υγρού. Να εξηγήσετε γιατί το φαινόμενο σταματά μετά από κάποιο χρονικό διάστημα.

Χημεία και… τέρατα: «Κάποιος... δόκτωρ van't Hoff»

Οι πρώτες παρατηρήσεις για το φαινόμενο της ώσμωσης έγιναν το 1748 από τον Abbe Nollet, ο οποίος πήρε ένα κύλινδρο με κρασί και σκέπασε το στόμιό του με κύστη ζώου. Στη συνέχεια βύθισε τον κύλινδρο μέσα σε νερό και παρατήρησε ότι περνούσε νερό μέσα από την κύστη και έμπαινε στο κρασί. Έδωσε μάλιστα και κάποιο «σοβαρό» όνομα στο φαινόμενο με ελληνική ρίζα και έτσι ονομάστηκε ώσμωση (από το ελληνικό ωθώ). Το 1877 ο Pfeffer χρησιμοποίησε ειδική διάταξη γνωστή ως ωσμώμετρο του Pfeffer με ειδική ημιπερατή μεμβράνη για τις μετρήσεις της ωσμωτικής πίεσης. Τα πειράματα του Pfeffer έδωσαν αφορμή στον Ολλανδό χημικό Jacobus Henricus van't Hoff να ασχοληθεί με την ωσμωτική πίεση. Προσδιόρισε την εξίσωση: $\Pi \cdot V = n \cdot R \cdot T$ εισάγοντας στο δεύτερο μέλος της εξίσωσης έναν συντελεστή i με τον οποίο μπόρεσε να εξηγήσει ακριβέστερα τα φαινόμενα. Την ορθή ερμηνεία του παράγοντα i, δηλαδή ότι αποτελεί μέτρο της ιοντικής διάστασης, υπέδειξε ο Arrhenius με γράμμα του προς τον van't Hoff. Ο τελευταίος ασπάσθηκε την άποψη αυτή και δε δίστασε στην επόμενη εργασία του να εξάρει το ρόλο του Arrhenius.


Jacobus Henricus van't Hoff, (1852-1911)

Ο van't Hoff ασχολήθηκε και με την οργανική χημεία συμπεραίνοντας την τετραεδρική διάταξη των 4 ατόμων που συνδέονται με ένα άτομο C. Θεμελίωσε με τον τρόπο αυτό ένα σημαντικό κλάδα της Οργανικής Χημείας, τη στερεοχημεία. Δημοσίευσε τις έρευνές του στο βιβλίο του *La chimie dans l'espace, Η χημεία στο χώρο* (1874). Η θεωρία του κρίθηκε ως επαναστατική και δέχθηκε ισχυρή κριτική από το επιστημονικό κατεστημένο της εποχής. Ο Hermann Kolbe[(1)], συντάκτης του γερμανικού περιοδικού *Journal für praktische Chemie*, δήλωσε:

«Κάποιος δόκτωρ van't Hoff της Κτηνιατρικής Σχολής στην Ουτρέχτη δεν αρέσκεται προφανώς στην ακριβή χημική έρευνα. Θεώρησε πιο άνετο να καβαλήσει τον Πήγασο[(2)] (προφανώς δανεισμένο από την Κτηνιατρική Σχολή) και να διακηρύξει στη *«La chimie dans l'espace»* του για το πώς τα άτομα του φαίνονται να είναι διατεταγμένα στον χώρο, όταν τα βλέπει από τον «χημικό Παρνασσό» όπου έχει φθάσει με τολμηρή πτήση».

Εντάξει, το «τερμάτισε»... Ο van't Hoff τότε ήταν πράγματι λέκτορας χημείας και φυσικής στο Κτηνιατρικό Κολέγιο της Ουτρέχτης. Στη συνέχεια διορίσθηκε καθηγητής της χημείας, της ορυκτολογίας και της γεωλογίας στο Πανεπιστήμιο του Άμστερνταμ επί σχεδόν 18 χρόνια, προτού γίνει τελικώς ο πρόεδρος του Τμήματος Χημείας εκεί.

Οι θεωρίες του van't Hoff για την ώσμωση μαζί με τις εργασίες του στη Θερμοδυναμική και στη Χημική Κινητική που προηγήθηκαν, του απέφεραν το 1ο βραβείο Nobel Χημείας το 1901. Το 2021, ο αστεροειδής 34978 van 't Hoff, ονομάστηκε προς τιμή του εκτοξεύοντας τη φήμη του στο... διάστημα. Πηγή: Wikipedia "Jacobus Henricus van 't Hoff"

(1) Hermann Kolbe: Επιφανής Γερμανός χημικός και ακαδημαϊκός με μεγάλη συνεισφορά στην μοντέρνα Οργανική Χημεία. Ήταν συντάκτης στο γερμανικό περιοδικό *Journal für Praktische Chemie* και σφοδρός και πολλές φορές άδικος επικριτής πολλών σύγχρονων επιφανών χημικών της εποχής του.
(2) Άλογο της ελληνικής μυθολογίας.

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 8

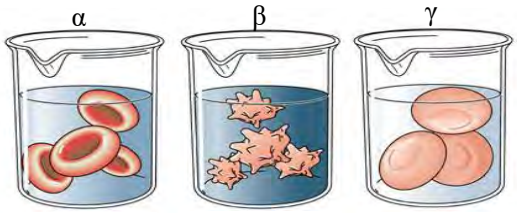
Στις παρακάτω ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής 1-7 να σημειώσετε απλώς τη σωστή απάντηση.

1. Δίνεται ένα υδατικό διάλυμα γλυκόζης 0,1 M. Ποια από τις ακόλουθες προτάσεις είναι ορθή;
Α) Αν το διάλυμα της γλυκόζης τεθεί σε συσκευή στην οποία διαχωρίζεται με ημιπερατή μεμβράνη από καθαρό H_2O, θα πρέπει να ασκηθεί εξωτερική πίεση σε αυτό, προκειμένου να μην παρατηρηθεί το φαινόμενο της ώσμωσης
Β) Το διάλυμα είναι ισοτονικό με διάλυμα NaCl 0,1 M
Γ) Δεν γίνεται να προσδιοριστεί το M_r της γλυκόζης με ωσμομετρία
Δ) Η ωσμωτική πίεση του διαλύματος είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

2. Από τα παρακάτω ζεύγη υδατικών μοριακών διαλυμάτων της ίδιας θερμοκρασίας, ισοτονικά μεταξύ τους είναι:
Α) υδατικό διάλυμα ζάχαρης 0,1 M - υδατικό διάλυμα φρουκτόζης 0,01 M
Β) υδατικό διάλυμα γλυκόζης 0,1 M - υδατικό διάλυμα φρουκτόζης 0,1 M
Γ) υδατικό διάλυμα γλυκόζης 0,1 M - υδατικό διάλυμα φρουκτόζης 0,2 M
Δ) υδατικό διάλυμα ζάχαρης 0,1 M - υδατικό διάλυμα φρουκτόζης 0,5 M [ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2023]

3. Δύο διαλύματα γλυκόζης ($C_6H_{12}O_6$) διαφορετικής περιεκτικότητας διαχωρίζονται με ημιπερατή μεμβράνη και εξελίσσεται το φαινόμενο της ώσμωσης το οποίο σε κάποια στιγμή σταματά λόγω υδροστατικής πίεσης. Μετά την παύση του φαινομένου και σε κάθε περίπτωση:
Α) σταματά η οποιαδήποτε διέλευση των μορίων νερού
Β) τα δύο διαλύματα αποκτούν την ίδια περιεκτικότητα
Γ) τα μόρια της γλυκόζης διέρχονται από τις δύο πλευρές της ημιπερατής μεμβράνης με την ίδια ταχύτητα
Δ) το υποτονικό διάλυμα έχει αποκτήσει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε σχέση με την αρχική του

4. Τα ερυθρά αιμοσφαίρια είναι τα κύτταρα του αίματος που είναι υπεύθυνα για τη μεταφορά του O_2 στους ιστούς. Στο σχήμα που ακολουθεί εμφανίζεται η μορφή των ερυθροκυττάρων σε τρία είδη διαλυμάτων α, β και γ.

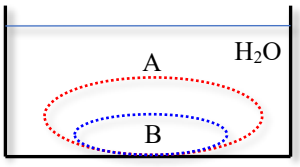


φυσιολογικά συρρικνωμένα διογκωμένα

Σε σχέση με το εσωτερικό των ερυθροκυττάρων για τα διαλύματα α, β και γ ισχύει:
Α) α: ισοτονικό, β: υπερτονικό, γ: υποτονικό
Β) α: υπερτονικό, β: ισοτονικό, γ: υποτονικό
Γ) α: υποτονικό, β: ισοτονικό, γ: υπερτονικό
Δ) α: ισοτονικό, β: υποτονικό, γ: υπερτονικό

5. Υδατικό διάλυμα NaCl 0,9% w/v είναι ισοτονικό με τα ερυθρά αιμοσφαίρια. Τι θα συμβεί στα ερυθρά αιμοσφαίρια αν βρεθούν σε υδατικό διάλυμα NaCl 9% w/v;
Α) Θα διογκωθούν Β) Θα συρρικνωθούν
Γ) Θα διογκωθούν και τελικά θα σκάσουν
Δ) Καμία μεταβολή καθώς θα βρεθούν σε υπερτονικό περιβάλλον

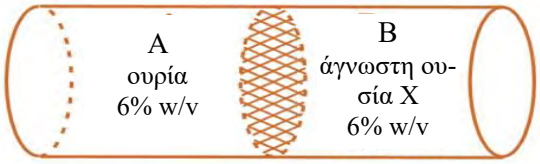
6. Σακούλα (Α) από ελαστική ημιπερατή μεμβράνη περιέχει υδατικό διάλυμα γλυκόζης 20% w/w και μέσα στη σακούλα αυτή βρίσκεται άλλη σακούλα (Β) από ελαστική ημιπερατή μεμβράνη με υδατικό διάλυμα γλυκόζης 30% w/w. Οι δύο σακούλες βρίσκονται σε δοχείο με καθαρό νερό. Τι θα συμβεί κατά την εξέλιξη του πειράματος;



Α) Μόνο η σακούλα Α θα αρχίσει να διογκώνεται
Β) Μόνο η σακούλα Β θα αρχίσει να διογκώνεται
Γ) Και οι δύο σακούλες θα αρχίσουν να διογκώνονται
Δ) Και οι δύο σακούλες θα αρχίσουν να συρρικνώνονται

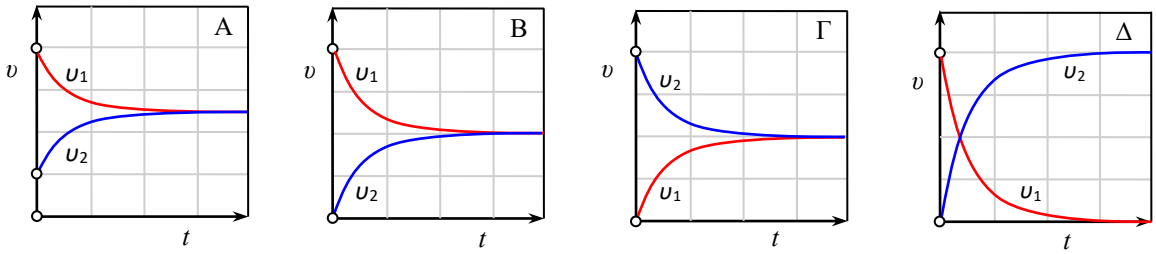
7. Διαθέτουμε δύο υδατικά διαλύματα με διαφορετικούς όγκους, ένα διάλυμα NaCl(aq) 0,1 M και ένα διάλυμα φρουκτόζης ($C_6H_{12}O_6$) 0,1 M. Αν τα δύο διαλύματα έχουν την ίδια θερμοκρασία, τι από τα παρακάτω ισχύει;
Α) Τα δύο διαλύματα είναι ισοτονικά
Β) Το διάλυμα NaCl έχει μεγαλύτερη ωσμωτική πίεση
Γ) Τα δύο διαλύματα έχουν την ίδια ωσμωτική πίεση
Δ) Το διάλυμα φρουκτόζης παρουσιάζει μεγαλύτερη ωσμωτική πίεση από το διάλυμα NaCl γιατί το M_r της φρουκτόζης είναι μεγαλύτερο από αυτό του NaCl

8. Στο σχήμα που ακολουθεί το οριζόντιο κυλινδρικό δοχείο χωρίζεται στο μέσο με κινητή ημιπερατή μεμβράνη.



Γεμίζουμε το τμήμα Α με υδατικό διάλυμα ουρίας ($M_r = 60$), περιεκτικότητας 6% w/v, και το τμήμα Β με υδατικό διάλυμα άγνωστης ουσίας Χ, περιεκτικότητας 6% w/v. Η ημιπερατή μεμβράνη κινείται από το τμήμα Β προς το τμήμα Α. Τα διαλύματα είναι μοριακά και βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία.
α) Ποια από τις παρακάτω ουσίες είναι δυνατόν να είναι η ουσία Χ, η οποία περιέχεται στο διάλυμα του τμήματος Β:
i. Μεθανάλη ($M_r = 30$) ii. Ουρία ($M_r = 60$)
iii. Γλυκόζη ($M_r = 180$)
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2026]

9. Διαθέτουμε υδατικό διάλυμα γλυκόζης με $c_1 = 0{,}1$ M (διάλυμα Δ_1) καθώς και ένα άλλο διάλυμα γλυκόζης με $c_2 = 0{,}2$ M ίσου όγκου με το προηγούμενο (διάλυμα Δ_2). Τη χρονική στιγμή $t = 0$ τα δύο διαλύματα εισάγονται σε δοχείο όπου διαχωρίζονται με ημιπερατή μεμβράνη και εξελίσσεται το φαινόμενο της ώσμωσης. Η ταχύτητα μετακίνησης των μορίων του νερού προς το υπερτονικό διάλυμα είναι υ_1 και προς το υποτονικό διάλυμα είναι υ_2. Ποιο από τα διαγράμματα που ακολουθούν αποδίδει καλύτερα τις ταχύτητες υ_1 και υ_2 από την έναρξη του φαινομένου μέχρι την αποκατάσταση της ισορροπίας της ώσμωσης; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.



Α) Το διάγραμμα Α Β) Το διάγραμμα Β Γ) Το διάγραμμα Γ Δ) Το διάγραμμα Δ

.....

.....

.....

.....

10. Διάλυμα $CaCl_2(aq)$ έχει συγκέντρωση 0,25 M. Να υπολογίσετε την ωσμωτική πίεση του διαλύματος. Στη θερμοκρασία του πειράματος ισχύει: $R \cdot T = 24$ L·atm·mol^{-1}. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2025]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

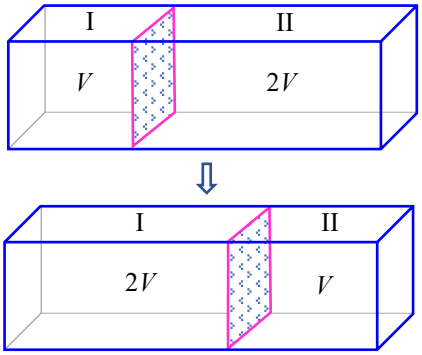
.....

.....

.....

.....

11. Σε ένα πείραμα χρησιμοποιείται το διαφανές δοχείο του διπλανού σχήματος που αποτελείται από τα διαμερίσματα Ι και ΙΙ με όγκους V και $2V$, αντίστοιχα και τα οποία διαχωρίζονται με κινητή ημιπερατή μεμβράνη. Κατά την έναρξη του πειράματος το διαμέρισμα Ι είναι γεμάτο με διάλυμα μοριακής ουσίας (Α) περιεκτικότητας π% w/v και το διαμέρισμα ΙΙ είναι γεμάτο με διάλυμα άλλης μοριακής ουσίας (Β) της ίδιας περιεκτικότητας π% w/v. Με την πάροδο ικανού χρόνου και λόγω του φαινομένου της ώσμωσης η μεμβράνη σταθεροποιείται τελικά σε μία άλλη θέση, ώστε το διαμέρισμα Ι να έχει όγκο $2V$ και το διαμέρισμα ΙΙ να έχει όγκο V.



α) Να εξηγήστε ποιο από τα διαμερίσματα Ι ή ΙΙ περιέχει το υπερτονικό διάλυμα κατά την έναρξη του πειράματος.

β) Να υπολογίσετε τον λόγο των σχετικών μοριακών μαζών, $M_r(B)/M_r(A)$, των ουσιών Α και Β.

Η θερμοκρασία είναι η ίδια σε όλες τις περιπτώσεις.

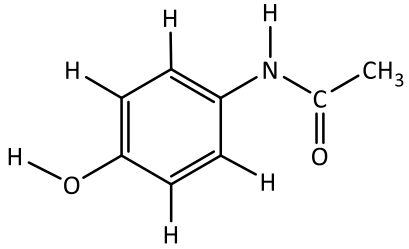


ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΑ (3)
ΔΙΑΜΟΡΙΑΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ - ΩΣΜΩΣΗ

Θέμα Α

Για τις παρακάτω ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής Α1-Α5 να γράψετε απλώς το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση (5 x 5 = 25 μόρια).

Α1. Η παρακεταμόλη είναι γνωστό αντιπυρετικό και αναλγητικό φάρμακο. Μάλιστα έχει προταθεί για τις παρενέργειες του εμβολιασμού για τον Covid-19. Ο συντακτικός τύπος του φαρμάκου είναι ο εξής:



Πόσα άτομα <u>υδρογόνου</u> της παρακεταμόλης μπορούν να μπορούν να λειτουργήσουν ως <u>δότες</u> δεσμών υδρογόνου;

Α) Κανένα Β) 1 Γ) 2 Δ) 6

Α2. Διάλυμα $Br_2(\ell)$ σε $CCl_4(\ell)$ χρησιμοποιείται για τη διάκριση των ακόρεστων από τις κορεσμένες οργανικές ενώσεις. Σε ένα τέτοιο διάλυμα μεταξύ των μορίων $Br_2(\ell)$ και $CCl_4(\ell)$:

Α) εμφανίζονται μόνο δυνάμεις διασποράς

Β) εμφανίζονται δυνάμεις διασποράς και δυνάμεις διπόλου - διπόλου

Γ) εμφανίζονται μόνο δυνάμεις διπόλου - διπόλου

Δ) δεν εμφανίζονται διαμοριακές δυνάμεις καθόσον είναι μεταξύ διαφορετικών μορίων

Α3. Οι σχετικές μοριακές μάζες των ενώσεων C_2H_6, CH_3OH και CH_3F είναι παρόμοιες. Ποια η ταξινόμηση κατά αυξανόμενη τιμή για τα σημεία βρασμού των ενώσεων αυτών;

Α) $C_2H_6 < CH_3OH < CH_3F$

Β) $CH_3F < CH_3OH < C_2H_6$

Γ) $CH_3OH < CH_3F < C_2H_6$

Δ) $C_2H_6 < CH_3F < CH_3OH$

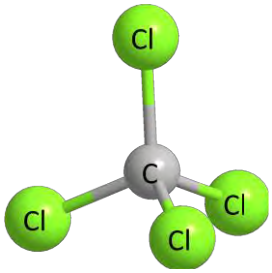
Α4. Αν το κύτταρο βυθιστεί σε ισοτονικό υδατικό διάλυμα σε σχέση με το ενδοκυτταρικό υγρό, τότε το κύτταρο:

Α) διογκώνεται

Β) διατηρεί το μέγεθός του

Γ) συρρικνώνεται

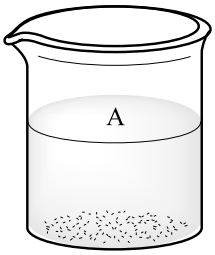
Δ) αφυδατώνεται [ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2026]



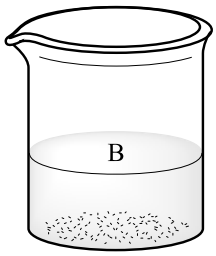
Α5. Στο σχήμα εμφανίζεται η δομή του μορίου του CCl_4. Σύμφωνα με τη δομή αυτή:
Α) το μόριο είναι πολικό λόγω των πολικών δεσμών $C^{\delta+} - Cl^{\delta-}$
Β) οι δεσμοί C − Cl είναι μη πολικοί καθώς το μόριο έχει $\mu = 0$
Γ) το μόριο είναι μη πολικό αν και οι δεσμοί C − Cl είναι πολικοί
Δ) μεταξύ των μορίων του CCl_4 εμφανίζονται δυνάμεις διπόλου - διπόλου

Θέμα Β

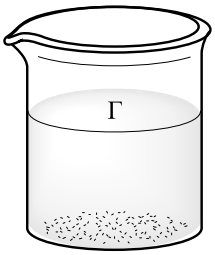
Β1. Ποιο από τα μοριακά διαλύματα Α, Β, Γ και Δ έχει τη μεγαλύτερη τιμή ωσμωτικής πίεσης (Π); Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας. Δεν απαιτούνται αναλυτικοί υπολογισμοί.



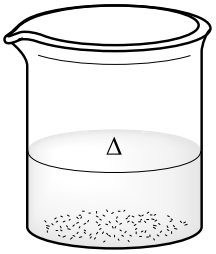
$C_6H_{12}O_6$ 0,3 M
V = 600 mL
θ = 27° C



$C_{12}H_{22}O_{11}$ 0,15 M
V = 300 mL
θ = 27° C



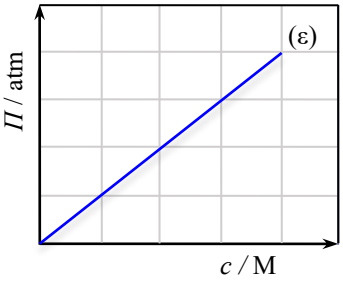
$C_6H_{12}O_6$ 0,2 M
$C_{12}H_{22}O_{11}$ 0,2 M
V = 600 mL, θ = 27° C



$C_{12}H_{22}O_{11}$ 0,15 M
V = 300 mL
θ = 57° C

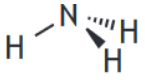
[5 μόρια]

Β2. Μετρήθηκε η ωσμωτική πίεση (Π) σε μία σειρά υδατικών διαλυμάτων γλυκόζης της ίδιας θερμοκρασίας (T) αλλά διαφορετικών συγκεντρώσεων (0-1 M). Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στο διπλανό διάγραμμα. Στο διάγραμμα αυτό η κλίση της ευθείας (ε) είναι ίση με 24,6 L·atm·mol^{-1}.

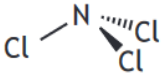


α) Ποια είναι η θερμοκρασία (T) των διαλυμάτων; R = 0,082 L·atm/mol·K.
Α) 300 K Β) 27 K Γ) 24,6°C Δ) (1/24,6)°C
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας. [5 μόρια]

Β3. Η γνωστή μυρωδιά χλωρίου στις πισίνες δεν οφείλεται στο Cl_2 αλλά σε ενώσεις που είναι γνωστές ως χλωραμίνες, όπως η σχετικά τοξική ουσία τριχλωραμίνη με το διπλανό τύπο. Προκύπτουν από την αντίδραση της NH_3 με τα υποχλωριώδη ιόντα (ClO^-) που προστίθενται στις πισίνες ως απολυμαντικό. Η τριχλωραμίνη είναι αδιάλυτη στο νερό και μετά το σχηματισμό της διαφεύγει στο περιβάλλον προκαλώντας τη χαρακτηριστική οσμή. Να εξηγήσετε τη διαφορά διαλυτότητας στο νερό της τριχλωραμίνης και της αμμωνίας. Το N και το Cl έχουν παρόμοια ηλεκτραρνητικότητα. [5 μόρια]



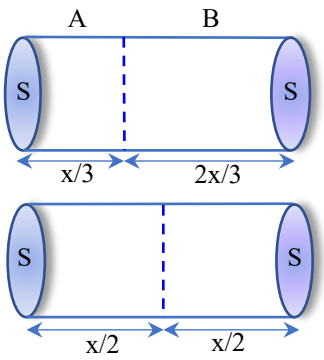
αμμωνία



τριχλωραμίνη

Β4. Παρασκευάσαμε τρία υδατικά διαλύματα ουρίας με συγκεντρώσεις αντίστοιχα 0,1 M (διάλυμα Α), 0,2 M (διάλυμα Β) και 0,4 M (διάλυμα Γ).
α) Πώς θα μεταβληθεί η συγκέντρωση του διαλύματος Β (αύξηση, μείωση, καμία μεταβολή), αν το διάλυμα Β έρθει σε επαφή μέσω ημιπερατής μεμβράνης:
i. Με το διάλυμα Α. ii. Με το διάλυμα Γ.
β) Αν αναμίξουμε τα διαλύματα Α και Γ με αναλογία όγκων 2:1, αντίστοιχα, θα προκύψει διάλυμα Δ το οποίο σε σχέση με το διάλυμα Β είναι:
1. υποτονικό 2. ισοτονικό 3. υπερτονικό
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας. Η θερμοκρασία όλων των διαλυμάτων είναι η ίδια.
[10 μόρια]

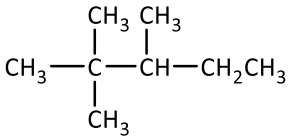
Θέμα Γ

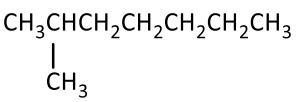


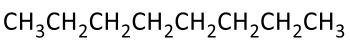
Γ1. Το κυλινδρικό δοχείο του διπλανού σχήματος έχει συνολικό όγκο $V = 30$ L και αποτελείται από τα διαμερίσματα Α και Β τα οποία διαχωρίζονται με κινητή ημιπερατή μεμβράνη. Το διαμέρισμα Α περιέχει διάλυμα γλυκόζης περιεκτικότητας 1,8 % w/v και το διαμέρισμα Β περιέχει διάλυμα φρουκτόζης περιεκτικότητας 1,8 % w/v.
α) Να εξηγήσετε γιατί η μεμβράνη είναι ακίνητη στην θέση που δείχνει το επάνω σχήμα.
β) Πόσα επιπλέον mol γλυκόζης πρέπει να διαλυθούν στο διάλυμα του διαμερίσματος Α ώστε η μεμβράνη να ισορροπήσει τελικά ακριβώς στη μέση του κυλίνδρου (όπως δείχνει το κάτω σχήμα);
Δίνονται:
- Όλα τα διαλύματα έχουν την ίδια θερμοκρασία.
- Η γλυκόζη και η φρουκτόζη είναι ισομερείς ουσίες με μοριακό τύπο $C_6H_{12}O_6$.
- Η βάση του κυλίνδρου έχει εμβαδόν S (όπως φαίνεται στο σχήμα).
- Σχετικές ατομικές μάζες, C:12, H:1, O:16. [9 μόρια]

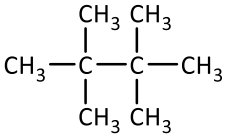
Γ2. Να χαρακτηρίσετε την πρόταση που ακολουθεί ως Σωστή (Σ) ή Λανθασμένη (Λ). Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.
«Η ωσμωτική πίεση διαλύματος όγκου 22,4 L και θερμοκρασίας 0 °C που περιέχει 1 mol γλυκόζης είναι ίση με 1 atm.» [5 μόρια]

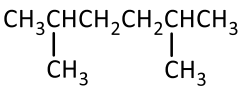
Γ3. Φοιτητής βρήκε και κατέγραψε τα σημεία βρασμού 5 ισομερών αλκανίων του τύπου C_8H_{18}. Ένα από τα σημεία βρασμού μεταφέρθηκε λάθος.
α) Σε ποιο αλκάνιο το σημείο βρασμού είναι λανθασμένο;

Α)  σ.β. 129 °C

Β)  σ.β. 116 °C

Γ)  σ.β. 126 °C

Δ)  σ.β. 107 °C

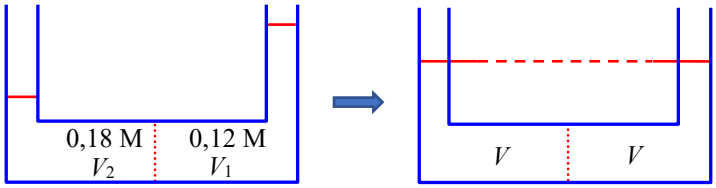
Ε)  σ.β. 109 °C

β) Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας. [6 μόρια]

Γ4. Δίνεται υδατικό διάλυμα NaCl 0,1 M και υδατικό διάλυμα γλυκόζης $C_6H_{12}O_6$ 0,1 M. Να συγκρίνετε τις ωσμωτικές πιέσεις των δύο διαλυμάτων, που βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]
[5 μόρια]

Θέμα Δ

Δ1. Δύο διαλύματα γλυκόζης διαφορετικών όγκων φέρονται σε επαφή μέσω ημιπερατής μεμβράνης. Το ένα διάλυμα έχει συγκέντρωση 0,12 M και όγκο V_1 ενώ το άλλο διάλυμα έχει συγκέντρωση 0,18 M και όγκο $V_2 < V_1$, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας τα δύο διαλύματα αποκτούν τον ίδιο όγκο (V) και είναι στην ίδια στάθμη.



Να υπολογιστεί ο λόγος των όγκων V_1/V_2. [8 μόρια]

Δ2. Στερεό δείγμα γλυκόζης ($C_6H_{12}O_6$, $M_r = 180$) περιέχει και μικρή ποσότητα υγρασίας (H_2O). Ποσότητα από το δείγμα μάζας 20 g διαλύεται σε νερό σχηματίζοντας διάλυμα όγκου 500 mL με $\Pi = 5{,}5$ atm. Να υπολογιστεί η %w/w περιεκτικότητα του στερεού δείγματος σε γλυκόζη. Δίνεται: $R \cdot T = 25$ (L·atm)/mol, όπου R η παγκόσμια σταθερά των αερίων και T η απόλυτη θερμοκρασία του διαλύματος. [7 μόρια]

Δ3. Ποσότητα μοριακής ένωσης Α με $M_r = 90$ αντιδρά πλήρως με τη στοιχειομετρική ποσότητα μοριακής ένωσης Β με $M_r = 46$, σύμφωνα με την εξίσωση,

$$A(aq) + \lambda B(aq) \longrightarrow \Gamma(aq) + \lambda H_2O,$$

όπου λ ακέραιος αριθμός.

Στο τέλος της αντίδρασης απομένει διάλυμα όγκου 200 mL που περιέχει 2,92 g της μοριακής ένωσης Γ. Το διάλυμα αυτό παρουσιάζει ωσμωτική πίεση $\Pi = 2{,}46$ atm σε θερμοκρασία 27 °C. Να υπολογιστούν:

α) Η σχετική μοριακή μάζα του προϊόντος Γ, ωσμωμετρικά.

β) Η τιμή του λ.

Δίνεται: $R = 0{,}082$ L·atm/mol·K. Για το H_2O, $M_r = 18$. [10 μόρια]

Θερμοχημεία





9 Θερμοχημεία

ΘΕΜΑΤΑ ΘΕΩΡΙΑΣ

1. Εξώθερμες και ενδόθερμες αντιδράσεις

Η διεξαγωγή μιας αντίδρασης μπορεί να συνοδεύεται με την απελευθέρωση ή την απορρόφηση διαφόρων μορφών ενέργειας. Προκύπτουν έτσι διάφοροι κλάδοι της φυσικοχημείας, όπως η **ηλεκτροχημεία**, η **φωτοχημεία** και η **θερμοχημεία**.

Κάθε χημική ουσία περιέχει ενέργεια, τη χημική ενέργεια, που οφείλεται στις ενδομοριακές δυνάμεις που συγκρατούν τα άτομα στο μόριο, στις διαμοριακές δυνάμεις, στην κίνηση των μορίων, των ατόμων, των ηλεκτρονίων κτλ. Στις διάφορες χημικές αντιδράσεις η χημική ενέργεια του συστήματος μεταβάλλεται με τελικό αποτέλεσμα την ανταλλαγή ενέργειας με το περιβάλλον. Με άλλα λόγια, τα στοιχεία και οι χημικές ενώσεις λειτουργούν ως «αποθήκες» ενέργειας και η συμμετοχή τους σε χημικές αντιδράσεις συνεπάγεται την αλληλομετατροπή της χημικής ενέργειας σε διάφορες άλλες μορφές ενέργειας, π.χ. θερμική, ηλεκτρική, φωτεινή κτλ. Η πιο συνηθισμένη μετατροπή είναι η αλληλομετατροπή της χημικής σε θερμική ενέργεια, που είναι και το αντικείμενο ενός ειδικού κλάδου, της Θερμοχημείας. Ας δούμε δύο παραδείγματα.

Παράδειγμα 1: Η καύση του βουτανίου αποδίδεται από τη χημική εξίσωση:

$$C_4H_{10}(g) + \frac{13}{2}O_2(g) \rightarrow 4CO_2(g) + 5H_2O(g)$$

Εξήγηση των ενεργειακών μεταβολών σε μία αντίδραση. Μία αντίδραση περιλαμβάνει τη μετατροπή των αντιδρώντων σε προϊόντα. Κατά τη διαδικασία αυτή, διασπώνται οι δεσμοί στα αντιδρώντα και δημιουργούνται νέοι δεσμοί που αντιστοιχούν στα νέα μόρια (προϊόντα). Η διάσπαση όμως ενός δεσμού απαιτεί ενέργεια, ενώ η δημιουργία ενός δεσμού παράγει ενέργεια. Έτσι, αν σε μια ορισμένη αντίδραση παράγεται περισσότερη ενέργεια κατά τη δημιουργία των νέων δεσμών, από ότι καταναλώνεται για το «σπάσιμο» των παλιών δεσμών, η αντίδραση θα είναι εξώθερμη. Στην αντίθετη περίπτωση θα είναι ενδόθερμη.

Η καύση των υδρογονανθράκων και η εξουδετέρωση είναι τυπικά παραδείγματα εξώθερμων αντιδράσεων.

Παράδειγμα 2: Η φωτοσύνθεση είναι μία «έξυπνη» διαδικασία κατά την οποία τα φυτά απορροφούν ηλιακή ενέργεια για να μετατρέψουν το CO_2 και το H_2O της ατμόσφαιρας σε γλυκόζη ($C_6H_{12}O_6$). Αν και το φαινόμενο είναι πολύπλοκο περιγράφεται συνοπτικά με την εξίσωση που ακολουθεί.

$$6CO_2 + 6H_2O + \text{ενέργεια} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

Η αντίδραση απαιτεί ποσό (ηλιακής) ενέργειας ίσο με 15 MJ για κάθε 1 kg γλυκόζης, το οποίο απελευθερώνεται κατά τη διαδικασία του μεταβολισμού στα ζώα ή τα φυτά.

Οι αντιδράσεις οι οποίες κατά τη διεξαγωγή τους απορροφούν ενέργεια με τη μορφή θερμότητας από το περιβάλλον ονομάζονται **ενδόθερμες**.

Η Θερμοχημεία αποτελεί κλάδο της Χημικής Θερμοδυναμικής που επικεντρώνεται στις θερμικές μεταβολές που συνοδεύουν τις χημικές αντιδράσεις, δηλαδή, στα ποσά θερμότητας που εκλύονται ή απορροφώνται κατά τη διάρκεια μιας χημικής αντίδρασης.

2. Ενθαλπία αντίδρασης (ΔH)

Ένα σύστημα αντιδρώντων μορίων περιέχει χημική ενέργεια. Αν δεν υπάρχει αντίδραση, η χημική αυτή ενέργεια παραμένει εγκλωβισμένη στα μόρια των αντιδρώντων. Σε μία χημική αντίδραση (αντιδρώντα → προϊόντα) είναι δυνατόν μέρος του ενεργειακού περιεχομένου του χημικού συστήματος (αντιδρώντα) να ανταλλάσσεται ως θερμότητα με το περιβάλλον. Το ολικό ποσό της θερμικής ενέργειας που περιέχει ένα θερμοδυναμικό σύστημα (αντιδρώντα) σε συγκεκριμένη πίεση (P) αποδίδεται με τον όρο ενθαλπία και συμβολίζεται με το γράμμα H (μονάδα το 1 J).

Η θερμότητα είναι μία μορφή ενέργειας που «ρέει» από ένα σύστημα σ' ένα άλλο, λόγω διαφοράς θερμοκρασίας.
Μονάδα: 1 J.
Ειδική μονάδα: 1 cal.
1 cal = 4,184 J.

Η ενθαλπία δεν είναι θερμότητα. Λέμε ότι ένα σύστημα έχει ενθαλπία, αλλά όχι θερμότητα. Είναι μία **καταστατική** ιδιότητα ενός συστήματος, εξαρτάται δηλαδή μόνο από την ποσότητά του και από τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας και όχι από τον τρόπο με τον οποίο το σύστημα έφτασε στην κατάσταση αυτή. Για παράδειγμα 2 mol $H_2O(g)$ σε P = 1 atm και θ = 25 °C έχουν την ίδια ενθαλπία είτε σχηματίστηκαν με την αντίδραση 2 mol H_2 με 1 mol O_2 είτε με την εξάτμιση 2 mol $H_2O(\ell)$. Όμως, όταν ένα σύστημα ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον η ενθαλπία του μεταβάλλεται.

Η ενθαλπία ενός συστήματος ορίζεται με τη σχέση:
$H = U + P \cdot V$,
όπου U η εσωτερική ενέργεια του συστήματος.
Είναι καταστατική ιδιότητα του συστήματος και η μεταβολή της, υπό σταθερή πίεση, $\Delta H = \Delta U + P \cdot \Delta V$, ισούται με το απορροφούμενο ή εκλυόμενο ποσό θερμότητας. Αν ένα σύστημα αποτελείται από τα αντιδρώντα Α και Β η ενθαλπία (H) του συστήματος είναι: $H = H_A + H_B$.

Στις διάφορες χημικές αντιδράσεις, αλλά και σε όλες τις φυσικοχημικές μεταβολές, η αρχική ενθαλπία (των αντιδρώντων) και η τελική ενθαλπία (των προϊόντων) δεν μπορεί να προσδιοριστεί άμεσα, αλλά εκείνο που μας ενδιαφέρει είναι μόνο η μεταβολή της ενθαλπίας (ΔH) μεταξύ των αντιδρώντων και προϊόντων. Η μεταβολή ενθαλπίας ΔH σε μία χημική αντίδραση, για δεδομένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, ονομάζεται ενθαλπία αντίδρασης (ΔH). Δηλαδή:

Ενθαλπία αντίδρασης: $\Delta H = H_{\text{προϊόντων}} - H_{\text{αντιδρώντων}}$

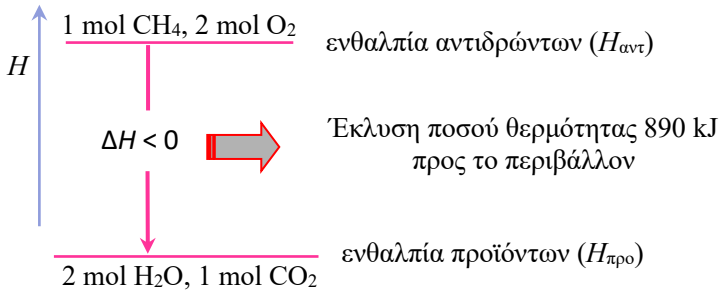
Εφόσον η αντίδραση πραγματοποιείται υπό σταθερή πίεση, η ενθαλπία αντίδρασης, ΔH, ισούται με το απορροφούμενο ή εκλυόμενο ποσό θερμότητας (q_P) και η μεταβολή αυτή είναι ανεξάρτητη από τον τρόπο (τις συνθήκες) με τον οποίο περνάμε από τα αντιδρώντα στα προϊόντα, δηλαδή: $\Delta H = q_P$.

Για να ισχύει η σχέση $\Delta H = q_P$ θα πρέπει το ποσό θερμότητας να είναι αρνητικό στην περίπτωση εξώθερμης αντίδρασης και θετικό στην περίπτωση ενδόθερμης αντίδρασης.

Παράδειγμα 1. Η καύση του CH_4 είναι μία εξώθερμη αντίδραση και παριστάνεται με την εξής θερμοχημική εξίσωση:

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(\ell), \Delta H = -890 \text{ kJ}$$

Από τη θερμοχημική αυτή εξίσωση προκύπτει ότι το σύστημα των αντιδρώντων, 1 mol $CH_4(g)$ και 2 mol $O_2(g)$, έχει ενθαλπία κατά 890 kJ μεγαλύτερη από το σύστημα των προϊόντων, 1 mol $CO_2(g)$ και 2 mol $H_2O(\ell)$. Όταν η μετατροπή αυτή γίνει υπό σταθερή πίεση ελευθερώνεται στο περιβάλλον ποσό θερμότητας ίσο με 890 kJ. Οι ενεργειακές μεταβολές που σχετίζονται με την αντίδραση εμφανίζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Συνήθως οι αντιδράσεις πραγματοποιούνται σε ανοικτά δοχεία και επομένως υπό σταθερή (ατμοσφαιρική) πίεση και για το λόγο αυτή η ενθαλπία χρησιμοποιείται ως «εργαλείο» για την περιγραφή της ροής θερμότητας στις διάφορες χημικές αντιδράσεις.

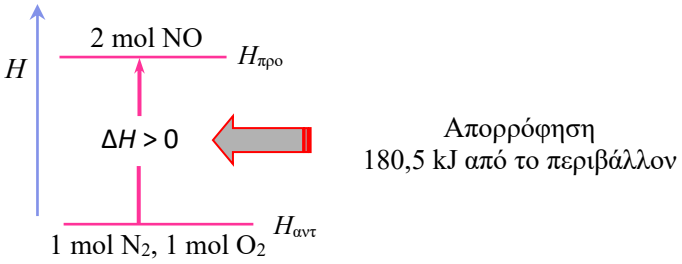
Ο όρος ενθαλπία επινοήθηκε το 1850 από το Γερμανό φυσικό Clausius. Άλλες πηγές θεωρούν ότι ο όρος ενθαλπία προέρχεται από τον Ολλανδό φυσικό Onnes (βραβείο Νόμπελ Φυσικής το 1913) στις αρχές του 20ού αιώνα. Η λέξη προέρχεται από την ελληνική λέξη ενθάλπω (εν + θάλπω, θερμαίνω).

Η διάλυση του NH_4Cl στο νερό είναι ενδόθερμο φαινόμενο. Έτσι όταν η ουσία αυτή διαλυθεί σε νερό σε δοκιμαστικό σωλήνα, το διάλυμα ψύχεται, καθώς απορροφάται θερμότητα από αυτό για να επιτευχθεί η διάλυση.
$NH_4Cl(s) \rightarrow NH_4Cl(aq)$, $\Delta H > 0$

Παράδειγμα 2. Κατά την αντίδραση 1 mol $N_2(g)$ με 1 mol $O_2(g)$ προς σχηματισμό 2 mol NO(g), υπό σταθερή πίεση, απορροφάται ποσό θερμότητας ίσο με 180,5 kJ. Η αντίδραση αυτή εκφράζεται με τη χημική εξίσωση:

$$N_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO(g),\ \Delta H = +180{,}5\ kJ$$

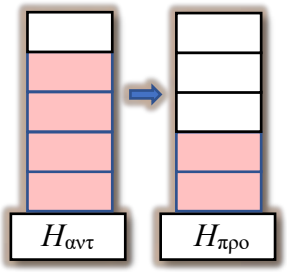
Στην περίπτωση της ενδόθερμης αυτής αντίδρασης το ενεργειακό διάγραμμα είναι το εξής:



Γενικά ισχύουν τα εξής:

Στη Θερμοδυναμική (και κατά IUPAC) θεωρούμε ότι $q > 0$ όταν το αντιδρών σύστημα απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον και $q < 0$ όταν αποδίδει θερμότητα στο περιβάλλον. Κάποιοι συγγραφείς προτιμούν την αντίθετη θεώρηση.

Ενδόθερμη αντίδραση	$H_{\pi\rho o} > H_{\alpha\nu\tau}$	$\Delta H > 0$	Απορρόφηση θερμότητας από το περιβάλλον
Εξώθερμη αντίδραση	$H_{\pi\rho o} < H_{\alpha\nu\tau}$	$\Delta H < 0$	Έκλυση θερμότητας προς το περιβάλλον
Θερμοουδέτερη αντίδραση	$H_{\pi\rho o} = H_{\alpha\nu\tau}$	$\Delta H = 0$	Ούτε έκλυση ούτε απορρόφηση θερμότητας προς το περιβάλλον



Από τα αντιδρώντα στα προϊόντα η ενθαλπία αλλάζει και η μεταβολή αυτή αντιστοιχεί στη θερμότητα που ανταλλάσσεται με το περιβάλλον.

Η ενθαλπία μιας αντίδρασης αναφέρεται στη στοιχειομετρία της, δηλαδή στους συντελεστές της. Έτσι, από την αντίδραση,

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(\ell),\ \Delta H = -890\ kJ$$

προκύπτει ότι κατά την καύση 1 mol $CH_4(g)$ με 2 mol $O_2(g)$ και το σχηματισμό 1 mol $CO_2(g)$ και 2 mol $H_2O(\ell)$ παράγεται ποσό θερμότητας ίσο με 890 kJ. Προφανώς, με την καύση 2 mol $CH_4(g)$ θα παραχθεί διπλάσιο ποσό θερμότητας ($2 \cdot 890 = 1780$ kJ) κτλ.

$$2CH_4(g) + 4O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 4H_2O(\ell),\ \Delta H = -1780\ kJ$$

Εφαρμογή 1

Δίνεται η θερμοχημική εξίσωση διάσπασης του $CaCO_3(s)$:

$$CaCO_3(s) \rightarrow CaO(s) + CO_2(g),\ \Delta H = +180\ kJ$$

Ποιο ποσό θερμότητας απαιτείται για τη διάσπαση 5 mol $CaCO_3(s)$;

Από τη δεδομένη θερμοχημική εξίσωση προκύπτει ότι για τη διάσπαση 1 mol $CaCO_3(s)$ απαιτούνται 180 kJ. Άρα, για τη διάσπαση 5 mol $CaCO_3(s)$ απαιτείται η απορρόφηση ποσού θερμότητας ίσου με $5 \cdot 180 = 900$ kJ.

Εφαρμογή 2

Δίνεται η θερμοχημική εξίσωση: $P_4(s) + 5O_2(g) \rightarrow 2P_2O_5(s)$, $\Delta H = -3010$ kJ. Ποιο ποσό θερμότητας θα ελευθερωθεί κατά την πλήρη καύση 6,2 g $P_4(s)$; Η ενθαλπία της αντίδρασης και το εκλυόμενο ποσό θερμότητας αντιστοιχούν στην πρότυπη κατάσταση. $A_r(P) = 31$.

Τα 6,2 g $P_4(s)$ αντιστοιχούν σε: $n = \frac{m}{M_r} = \frac{6,2}{124} = 0,05$ mol

Το 1 mol $P_4(s)$ παράγει με την καύση 3010 kJ

Τα 0,05 mol x = 150,5 kJ

3. Από τι εξαρτάται η ενθαλπία μιας αντίδρασης (ΔH);

α) Από τη φύση των αντιδρώντων.

Η ενθαλπία των διαφόρων αντιδράσεων είναι διαφορετικές. Έτσι για παράδειγμα:

$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(\ell)$, $\Delta H = -890$ kJ

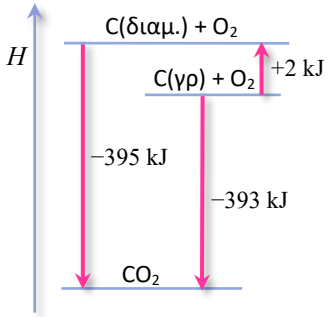
$C_2H_4(g) + 3O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 2H_2O(\ell)$, $\Delta H = -1410$ kJ

Ακόμη και η συμμετοχή διαφορετικών μορφών του ίδιου στοιχείου (αλλοτροπικές μορφές) σε μία αντίδραση έχει ως αποτέλεσμα τη μικρή διαφοροποίηση της ενθαλπίας της αντίδρασης στην οποία συμμετέχει. Π.χ. ο C(s) απαντάται στη φύση με δύο κύριες αλλοτροπικές μορφές, το γραφίτη και το διαμάντι. Οι καύσεις των δύο αυτών μορφών του C αποδίδονται από τις εξής θερμοχημικές εξισώσεις:

$C(\text{γραφίτης}) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$, $\Delta H = -393$ kJ

$C(\text{διαμάντι}) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$, $\Delta H = -395$ kJ

Από τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει ότι το διαμάντι έχει μεγαλύτερο ενεργειακό περιεχόμενο και η μετατροπή του σε $CO_2(g)$ είναι «πιο εξώθερμη» από τη μετατροπή του γραφίτη σε $CO_2(g)$, όπως φαίνεται στο διπλανό διάγραμμα. Καθώς ο γραφίτης έχει μικρότερο ενεργειακό περιεχόμενο είναι η πιο σταθερή μορφή άνθρακα στη φύση.



Η ερώτηση της ημέρας: Το ρομβικό θείο είναι πιο σταθερή μορφή S σε σχέση με το μονοκλινές. Ποια από τις δύο αντιδράσεις,
S(ρομβ.) → S(μονοκλ.)
S(μονοκλ.) → S(ρομβ.)
έχει $\Delta H > 0$;

β) Από τη φυσική κατάσταση των αντιδρώντων και προϊόντων.

Η αλληλομετατροπή μιας ουσίας στις διάφορες φυσικές της καταστάσεις έχει ως αποτέλεσμα της μεταβολή της ενθαλπίας του συστήματος. Π.χ. κατά την εξάτμιση του $H_2O(\ell)$ απαιτείται ενέργεια για τη διάσπαση των διαμοριακών δυνάμεων (δεσμοί υδρογόνου) και επομένως το φαινόμενο είναι ενδόθερμο:

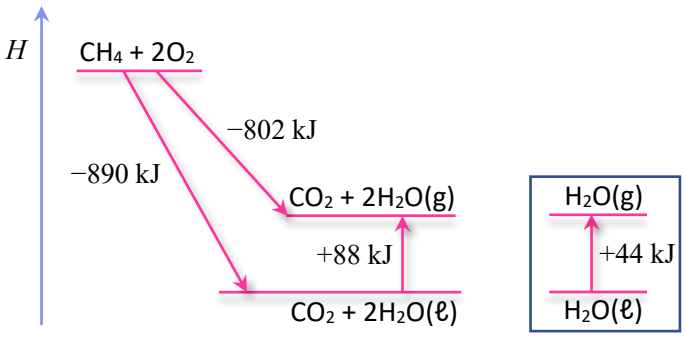
$H_2O(\ell) \rightarrow H_2O(g)$, $\Delta H = +44$ kJ

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη διαφοροποίηση της ενθαλπίας μιας αντίδρασης ανάλογα με τη φυσική κατάσταση των σωμάτων που συμμετέχουν σε αυτή. Προσέξτε τις θερμοχημικές εξισώσεις και το ενεργειακό διάγραμμα που ακολουθούν.

$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(\ell)$, $\Delta H = -890$ kJ

$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$, $\Delta H = -802$ kJ

Καθώς ένα ποσό θερμότητας από αυτό που παράχθηκε κατά την καύση απορροφάται για τη μετατροπή του $H_2O(\ell)$ σε $H_2O(g)$, η αντίδραση καύσης του CH_4 προς $H_2O(g)$ θα είναι λιγότερο εξώθερμη (ΔH λιγότερο αρνητική).



Στη Θερμοδυναμική οι πρότυπες συνθήκες είναι κάπως αυθαίρετες. Για παράδειγμα, η IUPAC συνιστά ως πρότυπη την πίεση P^o = 100 kPa = 1 bar και όχι την πίεση P^o = 1 atm (= 101,325 kPa).

Συνήθως, η ενθαλπία μιας αντίδρασης δεν μεταβάλλεται πολύ με τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Έτσι, ενώ η πρότυπη ενθαλπία (ΔH^o) της αντίδρασης, $H_2(g) + 1/2O_2(g) \rightarrow H_2O(g)$, έχει τιμή −241,8 kJ, η ίδια αντίδραση στους 100 °C έχει ΔH = −242,6 kJ.

γ) Από τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας.

Η ενθαλπία μιας αντίδρασης (ΔH) εξαρτάται επίσης από τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας στις οποίες γίνεται η μέτρησή της. Έτσι, θα πρέπει να οριστεί κάποια κατάσταση αναφοράς ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των λαμβανομένων τιμών. Σαν τέτοια έχει οριστεί η πρότυπη κατάσταση, που είναι η πιο σταθερή μορφή κάθε ουσίας (στοιχείου ή ένωσης) που συμμετέχει στην αντίδραση, σε θερμοκρασία 25 °C (T^o = 298 K) και σε πίεση p^o = 1 atm (και για διαλύματα, c = 1 M). Για παράδειγμα, από τις διαφορετικές μορφές του άνθρακα η πιο σταθερή μορφή σε p^o = 1 atm και T^o = 298 K είναι ο γραφίτης ($C_{γρ.}$) οπότε αυτή η μορφή λαμβάνεται ως πρότυπη μορφή του άνθρακα.

Όταν τα αντιδρώντα όσο και τα προϊόντα μιας αντίδρασης λαμβάνονται στην πρότυπή τους κατάσταση, η αντίστοιχη μεταβολή ενθαλπίας αναφέρεται ως **πρότυπη ενθαλπία** αντίδρασης και συμβολίζεται με το $\boldsymbol{\Delta H^o}$.

4. Πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού μιας ένωσης

ΔH_f^o

Ως πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού (ΔH_f^o) μιας ένωσης ορίζεται η μεταβολή της ενθαλπίας κατά το σχηματισμό 1 mol της ένωσης από τα συστατικά της στοιχεία, σε πρότυπη κατάσταση.

Γιατί η ενθαλπία σχηματισμού των στοιχείων είναι μηδέν;
Λόγω του ορισμού. Η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού ορίζεται ως η μεταβολή της ενθαλπίας κατά το σχηματισμό 1 mol μιας ένωσης από τα συστατικά της στοιχεία σε πρότυπες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Με βάση τον ορισμό αυτό, δεν απαιτείται ενέργεια κατά το σχηματισμό ενός στοιχείου από το ίδιο στοιχείο. Π.χ. δεν απαιτείται (ούτε εκλύεται) ενέργεια για την παραγωγή O_2 από O_2!

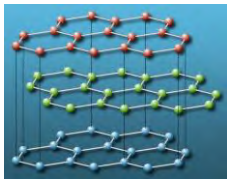
Η τιμή της ΔH_f^o μπορεί να είναι θετική, αρνητική (ανάλογα με την ουσία που σχηματίζεται) και μετριέται σε kJ·mol^{-1}. Π.χ. η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του $CH_3COOH(\ell)$ είναι −407 kJ·mol^{-1} και αναφέρεται στη θερμοχημική εξίσωση:

$$2C(\text{γραφίτης}) + 2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow CH_3COOH(\ell),\ \Delta H^o = -407\ \text{kJ}$$

Η ενθαλπία σχηματισμού ενός στοιχείου στην πρότυπη κατάσταση είναι ίση με το 0. Έτσι, για το γραφίτη που είναι η πιο σταθερή μορφή άνθρακα θα ισχύει: $\Delta H^o_f(C_{γραφ.}) = 0$. Αντίθετα, το διαμάντι είναι πιο πλούσιο σε ενεργειακό περιεχόμενο, οπότε: $\Delta H^o_f(C_{διαμ.}) > 0$. Μάλιστα, για τη μετατροπή της μιας μορφής στην άλλη, ισχύει:

$$C(\text{γραφίτης}) \rightarrow C(\text{διαμάντι}),\ \Delta H^o = 2\ \text{kJ}$$

Γενικά, αρνητικές τιμές της πρότυπης ενθαλπίας σχηματισμού σημαίνουν ότι η ένωση είναι θερμοδυναμικά σταθερότερη σε σχέση με τα στοιχεία της.



Κρυσταλλικό πλέγμα του γραφίτη. Ο γραφίτης είναι η πρότυπη μορφή άνθρακα.

Εφαρμογή 3

Η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού της $CH_3OH(\ell)$ είναι ίση με −240 kJ·mol^{-1}. Να γραφεί η θερμοχημική εξίσωση σχηματισμού της $CH_3OH(\ell)$.

Η εξίσωση σχηματισμού της $CH_3OH(\ell)$ αντιστοιχεί στο σχηματισμό της από τα συστατικά της στοιχεία, δηλαδή C(γρ.), $H_2(g)$ και $O_2(g)$:

$$C(\text{γρ.}) + 2H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CH_3OH(\ell),\ \Delta H = -240\ \text{kJ}$$

Η ενθαλπία (ΔH) μιας οποιασδήποτε αντίδρασης μπορεί να υπολογιστεί από τις ενθαλπίες σχηματισμού των ενώσεων που μετέχουν στην αντίδραση (αντιδρώντων και προϊόντων) με βάση τη παρακάτω εξίσωση:

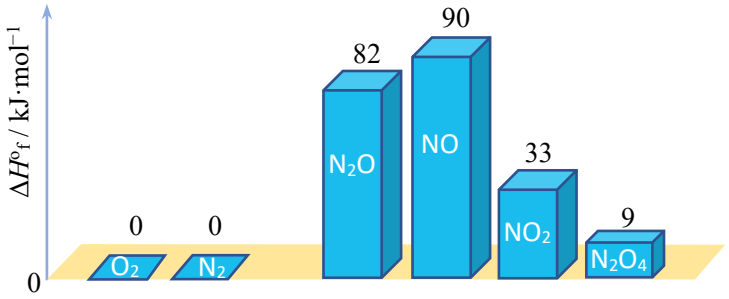
$$\Delta H = \Sigma\Delta H_f(\text{προϊόντων}) - \Sigma\Delta H_f(\text{αντιδρώντων})$$

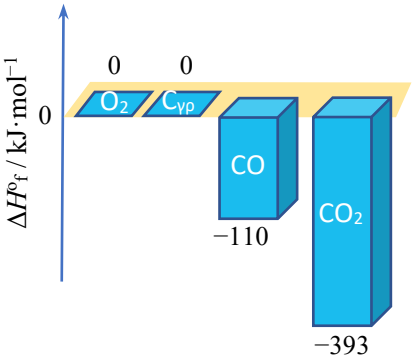
Εφαρμογή 4

Να υπολογίσετε την πρότυπη ενθαλπία της αντίδρασης: $P_4O_{10}(s) + 6H_2O(\ell) \rightarrow 4H_3PO_4(s)$. *Οι πρότυπες ενθαλπίες σχηματισμού των ενώσεων* $P_4O_{10}(s)$, $H_2O(\ell)$ *και* $H_3PO_4(s)$ *είναι αντίστοιχα ίσες με* -2985, -286 *και* $-1280\ kJ\cdot mol^{-1}$.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει: $\Delta H^o = 4\cdot(-1280) - (-2985) - 6\cdot(-286) = -419$ kJ.

Στο παρακάτω διάγραμμα αναφέρονται οι πρότυπες ενθαλπίες σχηματισμού 4 οξειδίων του αζώτου τα οποία είναι αέρια στους 25 °C.





Η ερώτηση της ημέρας: Ποιο από τα δύο οξείδια του C είναι θερμοδυναμικά σταθερότερο;

Οι θετικές τιμές των ενθαλπιών σχηματισμού δείχνουν ότι και τα 4 οξείδια είναι λιγότερο σταθερά θερμοδυναμικά σε σχέση με τα συστατικά τους στοιχεία, το $N_2(g)$ και το $O_2(g)$. Γενικά, όσο πιο μικρή είναι η τιμή της ενθαλπίας σχηματισμού μιας ένωσης, ΔH^o_f, τόσο πιο σταθερή θεωρείται η ένωση σε σχέση με τα στοιχεία της. Έτσι, από τα οξείδια που εμφανίζονται στο διάγραμμα το θερμοδυναμικά σταθερότερο είναι το $N_2O_4(g)$.

5. Πρότυπη ενθαλπία καύσης

Καύση είναι η αντίδραση μιας ουσίας (ανόργανης ή οργανικής) με το O_2, που συνοδεύεται από έκλυση φωτός και θερμότητας. Για παράδειγμα:

$$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(\ell),\ \Delta H = -286\ kJ\ (\text{καύση του } H_2)$$

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(\ell),\ \Delta H^o = -890\ kJ\ (\text{καύση του } CH_4)$$

Οι αντιδράσεις καύσης είναι εξώθερμες αντιδράσεις, δηλαδή η πραγματοποίησή τους συνοδεύεται από απελευθέρωση ποσού θερμότητας στο περιβάλλον.

ΔH^o_c



Πρότυπη ενθαλπία καύσης, ΔH^o_c, μιας ουσίας είναι η μεταβολή της ενθαλπίας κατά την πλήρη καύση 1 mol της ουσίας, σε πρότυπη κατάσταση.

Η πρότυπη ενθαλπία καύσης είναι αρνητική ($\Delta H^o_c < 0$) και μετριέται σε $kJ\cdot mol^{-1}$. Π.χ. η πρότυπη ενθαλπία καύσης του CO έχει τιμή $-283\ kJ\cdot mol^{-1}$ και το δεδομένο αυτό «μεταφράζεται» στις παρακάτω θερμοχημικές εξισώσεις.

$$CO(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO_2(g),\ \Delta H^o = -283\ kJ$$

$$2CO(g) + O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g),\ \Delta H^o = -566\ kJ$$

Εφαρμογή 5

Ποσότητα προπανίου (C_3H_8) μάζας 22 g καίγεται πλήρως οπότε ελευθερώνονται 1100 kJ σε πρότυπες συνθήκες. Ποια είναι η τιμή της πρότυπης ενθαλπίας καύσης *του C_3H_8; Σχετικές ατομικές μάζες, C:12, H:1.*

C_3H_8: $n = m/M_r = 22/24 = 0{,}5$ mol

Τα 0,5 mol C_3H_8 ελευθερώνουν με την καύση τους 1100 kJ
Το 1 mol x = ; 2200 kJ

Επομένως: $\Delta H_c^o\,(C_3H_8) = -2200\ \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Θερμοχημικές εξισώσεων καύσης των οργανικών ενώσεων με C, H και O

Τα προϊόντα της τέλειας καύσης οργανικών ενώσεων που περιέχουν τα στοιχεία C, H και O είναι το CO_2 και το H_2O. Για την εξίσωση της τέλειας καύσης, π.χ. του βουτανίου (C_4H_{10}) ακολουθούμε τα εξής βήματα:

1) Γράφουμε τα αντιδρώντα και τα προϊόντα της καύσης: $C_4H_{10} + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$

2) Βάζουμε συντελεστή στο CO_2 (4) και στη συνέχεια το συντελεστή στο H_2O (5), με βάση τα άτομα C και τα άτομα H, αντίστοιχα. Τέλος, ισοσταθμίζουμε τα άτομα O:

$$C_4H_{10} + \frac{13}{2}O_2 \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O$$

Αν η πρότυπη ενθαλπία καύσης του C_4H_{10} είναι ίση με $-2877\ \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, θα ισχύει:

$$C_4H_{10} + \frac{13}{2}O_2 \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O,\ \Delta H^o = -2877\ \text{kJ}$$

3) Αν θέλουμε, «διώχνουμε» τον τυχόν κλασματικό συντελεστή στο O_2:

$$2C_4H_{10} + 13O_2 \rightarrow 8CO_2 + 10H_2O,\ \Delta H^o = 2\cdot(-2877)\ \text{kJ}$$

Κατ' αναλογία αν διαθέτουμε μόνο το γενικό μοριακό τύπο της οργανικής ένωσης, π.χ. μιας αλκοόλης ακολουθούμε ανάλογα βήματα:

$$C_vH_{2v+2}O + \frac{3v}{2}O_2 \rightarrow vCO_2 + (v+1)H_2O$$

Αλκάνια: C_vH_{2v+2}
Αλκένια: C_vH_{2v}
Αλκίνια: C_vH_{2v-2}
Αλκαδιένια: C_vH_{2v-2}
Κορεσμένες μονοσθενείς αλκοόλες: $C_vH_{2v+2}O$
Κορεσμένοι μονοαιθέρες: $C_vH_{2v+2}O$

6. Πρότυπη ενθαλπία εξουδετέρωσης

ΔH_n^o

Πρότυπη ενθαλπία εξουδετέρωσης (ΔH_n^o) είναι η μεταβολή της ενθαλπίας κατά την πλήρη εξουδετέρωση 1 mol ιόντων H^+ ενός οξέος από 1 mol ιόντων OH^- μίας βάσης (σε αραιά διαλύματα) σε πρότυπη κατάσταση.

Η αντίδραση της εξουδετέρωσης συμβαίνει μεταξύ των ιόντων H^+ που προέρχονται από το οξύ και των ιόντων OH^- που προέρχονται από τη βάση:

$$H^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow H_2O(\ell),\ \Delta H^o = -57\ \text{kJ}$$

Η πρότυπη ενθαλπία εξουδετέρωσης είναι πάντα αρνητική (εξώθερμη αντίδραση). Στην περίπτωση που το οξύ και η βάση είναι ισχυροί ηλεκτρολύτες θα ισχύει:

$\Delta H_n^o = -57\ \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ H^+ ή OH^-

Π.χ.: $HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O,\ \Delta H^o = -57$ kJ

$HNO_3 + KOH \rightarrow KNO_3 + H_2O,\ \Delta H^o = -57$ kJ

Τα οξέα HCl και HNO_3 είναι ισχυρά οξέα καθώς στα υδατικά τους διαλύματα βρίσκονται αποκλειστικά με την μορφή των ιόντων τους:
$HCl(aq) \rightarrow H^+ + Cl^-$
$HNO_3(aq) \rightarrow H^+ + NO_3^-$
Επίσης, οι βάσεις NaOH και KOH είναι ισχυρές βάσεις:
$NaOH(aq) \rightarrow Na^+ + OH^-$
$KOH(aq) \rightarrow K^+ + OH^-$

Αν το οξύ ή η βάση (ή και τα δύο) είναι ασθενείς ηλεκτρολύτες, τότε η αντίδραση εξουδετέρωσης είναι λιγότερο εξώθερμη. Π.χ.:

$$CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O,\ \Delta H^o = -55\ kJ$$

$$HCl + NH_3 \rightarrow NH_4Cl,\ \Delta H^o = -52\ kJ$$

Η ενθαλπία ιοντισμού του CH_3COOH μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση: $\Delta H_{ιον} = 57 - 55 = 2$ kJ.

Ισχυροί και ασθενείς ηλεκτρολύτες

Ισχυροί ηλεκτρολύτες είναι ενώσεις που στα υδατικά τους διαλύματα βρίσκονται αποκλειστικά με τη μορφή ιόντων τους. Π.χ.: HCl, HBr, HI, HNO_3 κτλ. (ισχυρά οξέα) και NaOH, KOH, $Ca(OH)_2$ κτλ. (ισχυρές βάσεις). Έτσι, σε διάλυμα HCl(aq) το HCl ιοντίζεται πλήρως: $HCl(aq) \rightarrow H^+(aq) + Cl^-(aq)$. Επίσης, σε διάλυμα NaOH(aq) το NaOH βρίσκεται αποκλειστικά με τη μορφή των ιόντων του: $NaOH(aq) \rightarrow Na^+(aq) + OH^-(aq)$.

Δείτε το κεφάλαιο Οξέα, βάσεις και ιοντική ισορροπία (τόμος Γ2).

Ασθενείς ηλεκτρολύτες είναι αυτοί που δεν ιοντίζονται πλήρως στα υδατικά τους διαλύματα με αποτέλεσμα να βρίσκονται τόσο με την μορφή ιόντων, όσο και με τη μορφή των μορίων τους. Μάλιστα, θέλοντας να δείξουμε ότι τα μόρια των ασθενών οξέων ή βάσεων συνυπάρχουν με τα ιόντα τους χρησιμοποιούμε το σύμβολο (⇌). Π.χ. τα οξέα CH_3COOH, HNO_2, HCN κτλ. είναι ασθενή οξέα ενώ η NH_3 είναι ασθενής βάση.

$$CH_3COOH(aq) \rightleftharpoons CH_3COO^-(aq) + H^+(aq),\ \Delta H > 0$$

$$NH_3(aq) + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq),\ \Delta H > 0$$

Γενικά, ο ιοντισμός των ασθενών οξέων και βάσεων στα υδατικά τους διαλύματα είναι ενδόθερμο φαινόμενο ($\Delta H > 0$).

Γιατί η εξουδετέρωση των ασθενών οξέων και των ασθενών βάσεων είναι «λιγότερο εξώθερμη» σε σχέση με την εξουδετέρωση των ισχυρών οξέων και βάσεων;
Κατά την εξουδετέρωση του CH_3COOH με το NaOH συμβαίνει η αντίδραση:

$$CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O$$

Στην αντίδραση αυτή, τα ιόντα H^+ από τον ιοντισμό του CH_3COOH και τα ιόντα OH^- από το NaOH αντιδρούν σύμφωνα με τη θερμοχημική εξίσωση:

$$H^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow H_2O(\ell),\ \Delta H^o = -57\ kJ$$

Παράλληλα, τα μόρια CH_3COOH μετατρέπεται πλήρως στο ιόν CH_3COO^-. Καθώς ο ιοντισμός είναι ενδόθερμο φαινόμενο, μέρος της θερμότητας που παράγεται κατά την εξουδετέρωση των ιόντων H^+ με τα ιόντα OH^- καταναλώνεται για τον ιοντισμό του CH_3COOH οπότε το παραγόμενο ποσό θερμότητας θα είναι τελικά μικρότερο και η ενθαλπία εξουδετέρωσης λιγότερο αρνητική.

$$CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O,\ \Delta H^o = -55\ kJ$$

Εφαρμογή 6

Ποια η τιμή της πρότυπης ενθαλπίας της αντίδρασης: $2HCl + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCl_2 + 2H_2O$;
Δίνεται: $H^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow H_2O(\ell),\ \Delta H^o = -57\ kJ$.

Η αντίδραση αντιστοιχεί στην εξουδετέρωση 2 mol H^+ με 2 mol OH^-, οπότε για τη μεταβολή της ενθαλπίας ισχύει: $\Delta H^o = 2\cdot(-57) = -114$ kJ.

Εφαρμογή 7

Η ενθαλπία εξουδετέρωσης ισχυρού οξέος με ισχυρή βάση είναι $\Delta H_n = -57\ kJ \cdot mol^{-1}$ *ως προς* H^+ *ή* OH^-. *Ποιο ποσό θερμότητας θα ελευθερωθεί με την ανάμιξη 3 L διαλύματος HCl 0,2 M με 2 L διαλύματος KOH 0,25 M; Το ποσό θερμότητας και η ενθαλπία της εξουδετέρωσης αντιστοιχούν στις ίδιες συνθήκες.*

Υπολογίζουμε τις ποσότητες του HCl και του KOH από τα διαλύματά τους:

$n_1 = 0{,}2 \cdot 3 = 0{,}6$ mol HCl και $n_2 = 0{,}25 \cdot 2 = 0{,}5$ mol KOH.

$$HCl + KOH \rightarrow KCl + H_2O,\ \Delta H = -57\ kJ$$
$$0{,}6 \quad 0{,}5$$

Παρατηρούμε ότι τα 0,5 mol KOH αντιδρούν με 0,5 mol HCl, περισσεύουν δηλαδή χωρίς να αντιδράσουν 0,1 mol HCl. Έτσι:

Όταν αντιδράσει 1 mol HCl παράγονται ποσό θερμότητας ίσο με 57 kJ

Όταν αντιδράσουν 0,5 mol HCl x ; = 28,5 kJ

7. Νόμοι της Θερμοχημείας

α) Νόμος (αρχή) Lavoisier - Laplace. Σύμφωνα με το νόμο αυτό (1780):

«Το ποσό της θερμότητας που εκλύεται ή απορροφάται κατά τη σύνθεση 1 mol μιας χημικής ένωσης από τα συστατικά της στοιχεία είναι ίσο με το ποσό της θερμότητας, το οποίο απορροφάται ή εκλύεται κατά τη διάσπαση 1 mol της ίδιας ένωσης στα συστατικά της στοιχεία».

Η ενθαλπία μιας αντίδρασης (ΔH) είναι ανάλογη με τις ποσότητες των αντιδρώντων. Έτσι, αν διπλασιάσουμε τους συντελεστές της αντίδρασης θα διπλασιαστεί και η τιμή της ΔH:

$HgO(s) \rightarrow Hg(\ell) + \frac{1}{2}O_2(g)$, $\Delta H = 90{,}7$ kJ

$2HgO(s) \rightarrow 2Hg(\ell) + O_2(g)$, $\Delta H = 181{,}4$ kJ

Έτσι, αν η πρότυπη ενθαλπία της αντίδρασης, $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$ έχει τιμή $\Delta H^o = -484$ kJ, τότε σύμφωνα με το νόμο Lavoisier - Laplace στις ίδιες συνθήκες η ΔH^o της αντίδρασης $2H_2O(g) \rightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$ θα έχει τιμή $\Delta H^o = +484$ kJ. Γενικά, όταν η ενθαλπία μιας αντίδρασης είναι ΔH_1, η ενθαλπίας της αντίστροφης αντίδρασης στις ίδιες συνθήκες θα είναι η αντίθετη: $\Delta H_2 = -\Delta H_1$. Για παράδειγμα:

$$N_2(g) + 2O_2(g) \rightarrow 2NO_2(g)\ \Delta H^o = 68\ kJ$$
$$2NO_2(g) \rightarrow N_2(g) + 2O_2(g)\ \Delta H^o = -68\ kJ$$

Ο νόμος Lavoisier - Laplace είναι συνέπεια της αρχής διατήρησης της ενέργειας.



Germain Henri Hess. Ελβετορώσος χημικός και γιατρός. Μετά το πτυχίο Ιατρικής συνάντησε τον διάσημο χημικό της εποχής Berzelius και στράφηκε στη χημεία. Το 1840 δημοσίευσε την εργασία του για τη θερμοχημεία που άνοιξε το δρόμο για την ανάπτυξη της Χημικής Θερμοδυναμικής.

β) Νόμος του Hess - Αξίωμα αρχικής και τελικής κατάστασης. Το 1840 ο Hess, στηριζόμενος σε πειραματικές παρατηρήσεις διατύπωσε τον νόμο:

«Το ποσό θερμότητας που εκλύεται ή απορροφάται σε μία χημική αντίδραση είναι το ίδιο, είτε η αντίδραση πραγματοποιείται σε ένα είτε σε περισσότερα στάδια».

Προσέξτε τις θερμοχημικές εξισώσεις που ακολουθούν:

$$C(\gamma\rho.) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO(g),\ \Delta H_1 = -110{,}5\ kJ \quad (I)$$

$$CO(g) + \frac{1}{2}(g) \rightarrow CO_2(g),\ \Delta H_2 = -283\ kJ \quad (II)$$

$$C(\gamma\rho.) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g),\ \Delta H = -393{,}5\ kJ \quad (III)$$

Παρατηρούμε ότι αν «αθροίσουμε» τις εξισώσεις (I) και (II) προκύπτει η εξίσωση (III). Και όχι μόνο αυτό. Αν προσέξουμε τις ενθαλπίες των τριών αντιδράσεων θα δούμε τη σχέση: $\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2$.

$$C(\gamma\rho.) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO(g),\ \Delta H_1 = -110{,}5\ kJ \quad (I)$$

$$CO(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO_2(g),\ \Delta H_2 = -283\ kJ \quad (II)$$

$$C(\gamma\rho.) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g),\ \Delta H = -393{,}5\ kJ \quad (III)$$

Δεν είναι και τόσο «περίεργη» σύμπτωση! Η ενθαλπία είναι καταστατική ιδιότητα.

Γενικότερα, όταν μία αντίδραση προκύπτει ως άθροισμα δύο ή και περισσοτέρων άλλων αντιδράσεων, η ενθαλπία της τελικής αντίδρασης θα είναι το αλγεβρικό άθροισμα των ενθαλπιών των αντιδράσεων από τις οποίες προκύπτει.

Ο πρώτος θερμοδυναμικός νόμος εκφράζει την αρχή διατήρησης ενέργειας. Σύμφωνα με την αρχή αυτή η ολική ενέργεια συστήματος και περιβάλλοντος παραμένει σταθερή.

Ο νόμος του Hess, είναι άμεση συνέπεια του πρώτου θερμοδυναμικού νόμου και επιτρέπει τον έμμεσο υπολογισμό των ενθαλπιών αντιδράσεων στις οποίες ο άμεσος υπολογισμός τους είναι δύσκολος, είτε γιατί είναι πολύ αργές είτε γιατί δεν ευνοείται η διεξαγωγή τους.

Γενίκευση του νόμου του Hess αποτελεί το αξίωμα της αρχικής και τελικής κατάστασης: *«Το ποσό της θερμότητας, που εκλύεται ή απορροφάται κατά τη μετάβαση ενός χημικού συστήματος από μια καθορισμένη αρχική κατάσταση σε μια επίσης καθορισμένη τελική κατάσταση, είναι ανεξάρτητο από τα ενδιάμεσα στάδια, με τα οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί η μεταβολή».*

Με βάση το αξίωμα της αρχικής και τελικής κατάστασης μπορούμε να συμπεριλάβουμε στους θερμοχημικούς υπολογισμούς και μεταβολές που δεν αντιστοιχούν σε χημικές αντιδράσεις, π.χ. τις ενθαλπίες εξάτμισης, υγροποίησης, εξάχνωσης κτλ.

Εφαρμογή 8

Η ενθαλπία της αντίδρασης σχηματισμού της CH_3OH από τα συστατικά της στοιχεία δεν μπορεί να προσδιοριστεί άμεσα. Να υπολογιστεί η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού της CH_3OH με βάση τις θερμοχημικές εξισώσεις καύσης που ακολουθούν.

$$CH_3OH(\ell) + \frac{3}{2}O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(\ell),\ \Delta H^o_1 = -725\ kJ \quad (I)$$

$$C(\gamma\rho.) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g),\ \Delta H^o_2 = -393\ kJ \quad (II)$$

$$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(\ell),\ \Delta H^o_3 = -286\ kJ \quad (III)$$

Αντιστρέφουμε την 1η εξίσωση (αλλάζοντας το πρόσημο της ενθαλπίας σύμφωνα με την αρχή Lavoisier - Laplace), αφήνουμε ως έχει τη 2η και πολλαπλασιάζουμε την 3η με το 2 (αντίστοιχα και την ενθαλπία):

$$CO_2(g) + 2H_2O(\ell) \rightarrow CH_3OH(\ell) + \frac{3}{2}O_2(g),\ \Delta H^o = +725\ kJ$$

$$C(\gamma\rho.) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g),\ \Delta H^o = -393\ kJ$$

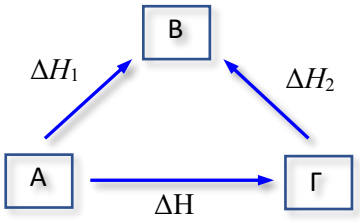
$$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(\ell),\ \Delta H^o = -572\ kJ$$

$$C(\gamma\rho.) + 2H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CH_3OH(\ell),\ \Delta H^o$$

ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ
Αντιστρέφουμε την (I) για να «πάει» η CH_3OH στο 2ο μέλος. Δεν ξεχνάμε να αλλάξουμε πρόσημο στην ενθαλπία!
Αφήνουμε όπως είναι τη 2η: Ο C(γρ.) πρέπει να μείνει στο 1ο μέλος με συντελεστή 1.
Διπλασιάζουμε την 3η, ώστε το H_2 να μείνει στο 1ο μέλος, αλλά με συντελεστή 2.

Σύμφωνα με το νόμο του Hess ισχύει: $\Delta H^o = 725 - 393 - 572 = -240$ kJ. Επομένως:

$$\Delta H^o_f(CH_3OH) = -240\ kJ \cdot mol^{-1}$$



Θερμοχημικός κύκλος. Αποτελεί οπτικοποίηση του νόμου του Hess με διαγράμματα στα οποία εμφανίζεται η αλληλουχία των αντιδράσεων με τις αντίστοιχες ενθαλπίες τους. Έστω για παράδειγμα δύο θερμοχημικές εξισώσεις με κοινό ένα αντιδρών ή προϊόν και γνωστές τιμές των ενθαλπιών τους,

$$A \rightarrow B,\ \Delta H_1 \quad \text{και} \quad \Gamma \rightarrow B,\ \Delta H_2$$

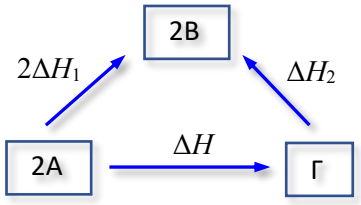
και ότι από αυτές θέλουμε να υπολογίσουμε την ενθαλπία της αντίδρασης: $A \rightarrow \Gamma$. Κατασκευάζουμε το διπλανό διάγραμμα. Από το διάγραμμα αυτό με εφαρμογή του νόμου του Hess (κάτι σαν την πρόσθεση διανυσμάτων) προκύπτει:

$$\Delta H + \Delta H_2 = \Delta H_1 \ \text{ή}\ \Delta H = \Delta H_1 - \Delta H_2$$

Στην περίπτωση που το κοινό συστατικό των δύο αντιδράσεων δεν έχει τον ίδιο συντελεστή, πριν την κατασκευή του θερμοχημικού κύκλου μετασχηματίζουμε τις εξισώσεις ώστε να προκύψει ο ίδιος συντελεστής στις θερμοχημικές εξισώσεις. Έστω π.χ. οι θερμοχημικές εξισώσεις,

$$A \rightarrow B,\ \Delta H_1 \quad \text{και} \quad \Gamma \rightarrow 2B,\ \Delta H_2$$

και θέλουμε να υπολογίσουμε την ενθαλπία της αντίδρασης: $2A \rightarrow \Gamma$.



Ισχύει: $\Delta H + \Delta H_2 = 2\Delta H_1$, $\Delta H = 2\Delta H_1 - \Delta H_2$.

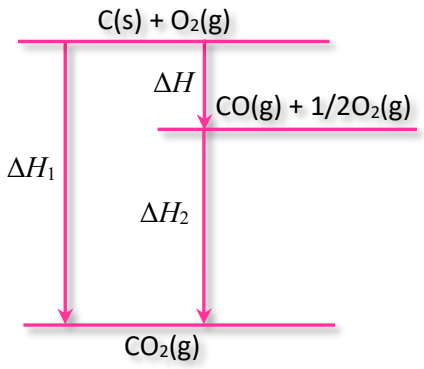
Εφαρμογή 9

Δίνονται οι θερμοχημικές εξισώσεις:

$$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g),\ \Delta H_1 = -393{,}5\ kJ$$
$$CO(g) + 1/2O_2(g) \rightarrow CO_2(g),\ \Delta H_2 = -283\ kJ$$

Να υπολογιστεί η ενθαλπία (ΔΗ) της αντίδρασης: $C(s) + 1/2O_2(g) \rightarrow CO(g)$.

Φυσικά, η ενθαλπία της αντίδρασης μπορεί να υπολογιστεί με εφαρμογή του νόμου του Hess.



Από τον παραπάνω θερμοχημικό κύκλο προκύπτει: $\Delta H + \Delta H_2 = \Delta H_1$ ή $\Delta H = \Delta H_1 - \Delta H_2$ $= -393{,}5 - (-283) = -110{,}5$ kJ.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΣΚΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

1. 5 g $CaCl_2(s)$ **διαλύονται σε** 100 mL H_2O **θερμοκρασίας** 25 °C **και παρατηρείται ότι η θερμοκρασία ανεβαίνει σταδιακά στους** 30,1 °C**. Το φαινόμενο περιγράφεται με την εξίσωση:** $CaCl_2(s) \rightarrow Ca^{2+}(aq) + 2Cl^-(aq)$, ΔH_1.
Επίσης, 5 g $KCl(s)$ **διαλύονται σε** 100 mL H_2O **θερμοκρασίας** 25 °C **και παρατηρείται ότι η θερμοκρασία μειώνεται στους** 19,6 °C**. Το φαινόμενο περιγράφεται με την εξίσωση:** $KCl(s) \rightarrow K^+(aq) + Cl^-(aq)$, ΔH_2.
α) Με βάση τις παραπάνω πληροφορίες, τι από τα παρακάτω ισχύει;
i. $\Delta H_1 < 0$ **και** $\Delta H_2 > 0$
ii. $\Delta H_1 > 0$ **και** $\Delta H_2 < 0$
iii. Η διάλυση του $CaCl_2(s)$ **στο νερό είναι ενδόθερμο φαινόμενο**
iv. Η διάλυση του $KCl(s)$ **στο νερό είναι εξώθερμο φαινόμενο**
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
α) Επιλογή i.

β) Η αύξηση της θερμοκρασίας στο 1ο φαινόμενο δείχνει ότι ελευθερώνεται θερμότητα κατά τη διάλυση του $CaCl_2(s)$ που απορροφάται από το νερό και έτσι ανεβαίνει η θερμοκρασία του. Δηλαδή το φαινόμενο της διάλυσης είναι εξώθερμο και επομένως $\Delta H_1 < 0$.

Η μείωση της θερμοκρασίας στο 2ο φαινόμενο δείχνει ότι απορροφάται θερμότητα από το νερό κατά τη διάλυση του $KCl(s)$. Δηλαδή, στην περίπτωση αυτή το φαινόμενο είναι ενδόθερμο και επομένως $\Delta H_2 > 0$.

2. Η πρότυπη ενθαλπία καύσης του βουτάνιου, $CH_3CH_2CH_2CH_3$**, έχει τιμή ίση με** $-2878\ kJ \cdot mol^{-1}$ **ενώ η πρότυπη ενθαλπία καύσης του μεθυλοπροπάνιου,** $CH_3CH(CH_3)CH_3$**, έχει** τιμή ίση με $-2868\ kJ \cdot mol^{-1}$**.**
α) Να υπολογίσετε την πρότυπη ενθαλπία ΔH **της μετατροπής (ισομερείωσης) του βουτανίου σε μεθυλοπροπάνιο:**

$$CH_3CH_2CH_2CH_3 \rightarrow CH_3CH(CH_3)CH_3$$

β) Ποιο από τα δύο ισομερή είναι θερμοδυναμικά σταθερότερο σε πρότυπες συνθήκες; Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
α) Οι ενθαλπίες καύσης των δύο ισομερών ενώσεων αντιστοιχούν στις θερμοχημικές εξισώσεις που ακολουθούν.

$$CH_3CH_2CH_2CH_3 + (13/2)O_2 \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O,\ \Delta H^o_c(1) = -2878\ kJ$$

$$CH_3CH(CH_3)CH_3 + (13/2)O_2 \rightarrow 4CO_2 + 4H_2O,\ \Delta H^o_c(2) = -2868\ kJ$$

Εφαρμόζοντας τους νόμους της θερμοχημείας (νόμος Lavoisier - Laplace, νόμος Hess):

$$CH_3CH_2CH_2CH_3 \rightarrow CH_3CH(CH_3)CH_3,\ \Delta H = -2878 + 2868 = -10\ kJ$$

β) Από την τελευταία θερμοχημική προκύπτει ότι το μεθυλοπροπάνιο έχει μικρότερο ενεργειακό περιεχόμενο (μικρότερη ενθαλπία) και επομένως είναι θερμοδυναμικά σταθερότερο.



Ισχυρή έκρηξη σημειώθηκε το 2001 σε εργοστάσιο πετροχημικών σε προάστιο της Τουλούζης στη νότια Γαλλία κατά την οποία 30 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους, ενώ 2000 τραυματίστηκαν. Η αστυνομία κάλεσε τους κατοίκους της περιοχής να παραμείνουν στα σπίτια τους καθώς ένα τοξικό πυκνό σύννεφο καφέ καπνού που περιείχε μεγάλες ποσότητες NH_3 και οξειδίων του αζώτου κάλυψε την πόλη. Πολλά σπίτια έπαθαν ζημιές, ενώ παρακείμενο κατάστημα κατέρρευσε. Ένας τεράστιος κρατήρας βάθους 30 μέτρων δημιουργήθηκε στο σημείο της καταστροφής. Η έκρηξη αποδόθηκε στη ξαφνική θέρμανση αποθηκευμένων ποσοτήτων νιτρικού αμμωνίου (NH_4NO_3). (από τις εφημερίδες της εποχής)

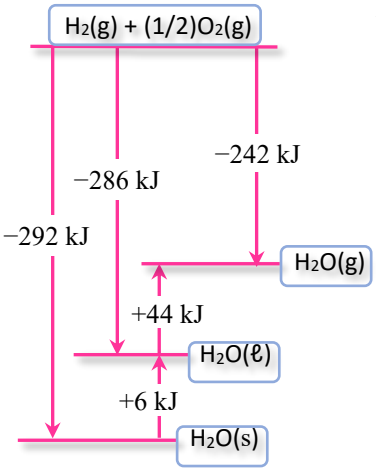
Η εξάτμιση του νερού και γενικά η εξάτμιση ενός υγρού είναι ενδόθερμο φαινόμενο ($\Delta H > 0$) καθώς απαιτείται προσφορά θερμότητας για τη διάσπαση των διαμοριακών δυνάμεων.

3. **Έστω οι θερμοχημικές εξισώσεις (I) και (II):**

$$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(g),\ \Delta H_1 = -242\ kJ \quad \textbf{(I)}$$

$$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(\ell),\ \Delta H_2 = -286\ kJ \quad \textbf{(II)}$$

Να υπολογιστεί η ενθαλπία εξάτμισης $\Delta H_{\varepsilon\xi}$ του νερού.



Η ερώτηση της ημέρας:
Πότε εκλύεται μεγαλύτερο ποσό θερμότητας, όταν σχηματίζεται 1 mol $H_2O(\ell)$ ή όταν σχηματίζεται 1 mol $H_2O(s)$;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Η $\Delta H_{\varepsilon\xi}$ του νερού αντιστοιχεί στη μετατροπή: $H_2O(\ell) \rightarrow H_2O(g)$. «Κρατάμε» την εξίσωση (I) όπως είναι και αντιστρέφουμε τη (II):

$$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(g),\ \Delta H_1 = -242\ kJ$$

$$H_2O(\ell) \rightarrow H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g),\ \Delta H_2 = +286\ kJ$$

$$H_2O(\ell) \rightarrow H_2O(g),\ \Delta H_{\varepsilon\xi}$$

Επομένως: $\Delta H_{\varepsilon\xi} = -242\ kJ + 286\ kJ = +44\ kJ$.

4. **Να υπολογιστεί η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού της $C_2H_5OH(\ell)$. Δίνονται οι πρότυπες ενθαλπίες καύσης, της $C_2H_5OH(\ell)$ ίση με $-1367\ kJ\cdot mol^{-1}$, του $C(s)$ ίση με $-393\ kJ\cdot mol^{-1}$ και του $H_2(g)$ προς $H_2O(\ell)$ ίση με $-286\ kJ\cdot mol^{-1}$.**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Ο σχηματισμός της $C_2H_5OH(\ell)$ αντιστοιχεί στη χημική εξίσωση:

$$2C(s) + 3H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow C_2H_5OH(\ell)$$

Οι ενθαλπίες καύσης που δίνονται αντιστοιχούν στις θερμοχημικές εξισώσεις:

$$C_2H_5OH(\ell) + 3O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(\ell),\ \Delta H^o = -1367\ kJ \quad (I)$$

$$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g),\ \Delta H^o = -393\ kJ \quad (II)$$

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(\ell),\ \Delta H^o = -286\ kJ \quad (III)$$

Θα εφαρμόσουμε τους νόμους της Θερμοχημείας, δηλαδή το νόμο (αρχή) Lavoisier - Laplace και το νόμο του Hess.

Παρατηρείστε ότι έχουμε 3 mol O_2 στο 2ο μέλος και 2 + 1,5 = 3,5 mol O_2 στο 1ο μέλος. Άρα 1/2 mol O_2 στο 1ο μέλος!

$$2CO_2 + 3H_2O \rightarrow C_2H_5OH + 3O_2,\ \Delta H = +1367\ kJ$$

$$2C + 2O_2 \rightarrow 2CO_2,\ \Delta H = -2\cdot 393\ kJ$$

$$3H_2 + \frac{3}{2}O_2 \rightarrow 3H_2O,\ \Delta H = -3\cdot 286\ kJ$$

$$2C + 3H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow C_2H_5OH$$

Υπολογίζουμε την ενθαλπία της «συνολικής» αντίδρασης, με βάση το νόμο του Hess:

$$\Delta H^o = 1367\ kJ - 2\cdot 393\ kJ - 3\cdot 286\ kJ = -277\ kJ.$$

Επομένως, η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού της $C_2H_5OH(\ell)$ είναι ίση με $-277\ kJ\cdot mol^{-1}$.

5. Σε δοχείο εισάγονται α mol CO(g) **και** β mol O_2(g) **οπότε υπό σταθερή πίεση διεξάγεται η αντίδραση που ακολουθεί.**

$$2CO(g) + O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g),\ \Delta H = -560\ kJ$$

Να υπολογίσετε το ποσό θερμότητας που παράγεται στις εξής περιπτώσεις:
α) α = 1, β = 0,5 **β)** α = 4, β = 1,5 **γ)** α = 3, β = 2
Τα ποσά θερμότητας και η ενθαλπία ΔH **της αντίδρασης αντιστοιχούν στις ίδιες συνθήκες.**

ΛΥΣΗ
α) Τα αντιδρώντα είναι σε στοιχειομετρική αναλογία:

(mol) $2CO(g) + O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g),\ \Delta H = -560$ kJ
1 0,5 1

Όταν παράγονται 2 mol CO_2 εκλύονται 560 kJ
1 mol x; = 280 kJ

β) Το O_2(g) είναι το περιοριστικό αντιδρών:

(mol) $2CO(g) + O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g),\ \Delta H = -560$ kJ

Αρχικά	4	1,5	−
Μεταβολές	−3	−1,5	3
Τελικά	1	−	3

Όταν παράγονται 2 mol CO_2 εκλύονται 560 kJ
3 mol x; = 840 kJ

γ) Το CO(g) είναι το περιοριστικό αντιδρών:

(mol) $2CO(g) + O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g),\ \Delta H = -560$ kJ

Αρχικά	3	2	−
Μεταβολές	−3	−1,5	3
Τελικά	−	0,5	3

Όταν παράγονται 2 mol CO_2 εκλύονται 560 kJ
3 mol x; = 840 kJ

6. Πόσα γραμμάρια C(s) **πρέπει να καούν πλήρως για να προκύψει το απαιτούμενο ποσό θερμότητας για την πλήρη διάσπαση** 2 mol Al_2O_3 **σε** Al **και** O_2; **Δίνονται οι θερμοχημικές εξισώσεις:**

$$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g),\ \Delta H = -400\ kJ$$

$$Al_2O_3(s) \rightarrow 2Al(s) + \frac{3}{2}O_2(g),\ \Delta H = +1600\ kJ$$

Για τον C, A_r = 12. **Οι ενθαλπίες και το ποσό θερμότητας είναι στις ίδιες συνθήκες.**

ΛΥΣΗ
Υπολογίζουμε το ποσό θερμότητας που απαιτείται για να διασπαστούν τα 2 mol Al_2O_3:

$$Al_2O_3 \rightarrow 2Al + 3/2O_2,\ \Delta H = +1600\ kJ$$

Αφού η διάσπαση 1 mol Al_2O_3 απαιτεί 1600 kJ, τα 2 mol Al_2O_3 θα απαιτήσουν 3200 kJ. Αυτό το ποσό θερμότητας προσφέρεται από την καύση του C(s):

$$C + O_2 \rightarrow CO_2,\ \Delta H = -400\ kJ$$

Η καύση 1 mol C(s) αποδίδει 400 kJ
x = ; 3200 kJ

x = 8 mol

Επομένως, η μάζα του C(s) είναι: $m = 8 \cdot 12 = 96$ g.

7. Το βιοαέριο είναι αέριο μίγμα $CH_4(g)$ **και** $CO_2(g)$ **που παράγεται από την σήψη της βιομάζας. Δείγμα βιοαερίου καταλαμβάνει όγκο** 11,2 L **σε** STP **συνθήκες. Σε κατάλληλες συνθήκες και παρουσία καταλύτη όλη η ποσότητα του** $CO_2(g)$ **στο δείγμα του βιοαερίου αντιδρά με μέρος του** $CH_4(g)$ **του βιοαερίου σύμφωνα με τη χημική εξίσωση που ακολουθεί.**

$$CH_4(g) + CO_2(g) \rightarrow 2C(s) + 2H_2O(g),\ \Delta H = -50 \text{ kJ}$$

Από την αντίδραση αυτή παράχθηκε ποσό θερμότητας 10 kJ**. Να υπολογιστεί η** %v/v **περιεκτικότητα του βιοαερίου σε** CH_4**. Η ενθαλπία και το ποσό θερμότητας αντιστοιχούν στις ίδιες συνθήκες.**

ΛΥΣΗ

Έστω x mol η ποσότητα του $CH_4(g)$ στο δείγμα του βιοαερίου και y mol η ποσότητα του $CO_2(g)$. Ισχύει: x + y = 11,2/22,4 = 0,5 (1)

(mol) $CH_4(g) + CO_2(g) \rightarrow 2C(s) + 2H_2O(g),\ \Delta H = -50$ kJ

x	y	–	–
−y	−y	2y	2y

Όταν αντιδρά 1 mol $CO_2(g)$ εκλύονται 50 kJ
y; 10 kJ

y = 0,2 mol

Επομένως, x = 0,3 mol.

%v/v $CH_4 = (0{,}3/0{,}5) \cdot 100 = 60\%$ v/v.

8. Σε τρία διαφορετικά πειράματα καίγονται ξεχωριστά 4 g **γραφίτη (**$C_{γρ}$**),** 4 g $H_2(g)$ **και** 4 g $CH_3OH(\ell)$**. Από τις αντιδράσεις αυτές ελευθερώθηκαν ποσά θερμότητας ίσα με** 131 kJ**,** 572 kJ **και** 91 kJ**, αντίστοιχα, σε πρότυπες συνθήκες.**
α) Με βάση τα παραπάνω δεδομένα να γράψετε τις θερμοχημικές εξισώσεις καύσης του $C_{γρ}$**, του** $H_2(g)$ **και της** $CH_3OH(\ell)$**.**
β) Να υπολογίσετε την πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού της $CH_3OH(\ell)$**.**
Σχετικές ατομικές μάζες, C: 12**,** H: 1**,** O: 16**.**

ΛΥΣΗ

α) Τα 4 g C όταν καίγονται ελευθερώνουν 131 kJ
Τα 12 g (1 mol) x; = 393 kJ

Τα 4 g H_2 όταν καίγονται ελευθερώνουν 572 kJ
Τα 2 g (1 mol) y; = 286 kJ

Τα 4 g CH_3OH όταν καίγονται ελευθερώνουν 91 kJ
Τα 32 g (1 mol) ω; = 728 kJ

Επομένως, ισχύουν οι παρακάτω θερμοχημικές εξισώσεις:

$C_{γρ} + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$, $\Delta H^o = -393$ kJ (1)

$H_2(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \rightarrow H_2O(ℓ)$, $\Delta H^o = -286$ kJ (2)

$CH_3OH(ℓ) + \frac{3}{2} O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(ℓ)$, $\Delta H^o = -728$ kJ (3)

β) Η αντίδραση σχηματισμού της $CH_3OH(ℓ)$ αποδίδεται από τη χημική εξίσωση:

$$C_{γρ} + 2H_2(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \rightarrow CH_3OH(ℓ)$$

Πολλαπλασιάζοντας την εξίσωση (2) με το 2 και αντιστρέφοντας την εξίσωση (3), έχουμε:

$C_{γρ} + O_2 \rightarrow CO_2$, $\Delta H^o = -393$ kJ

$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$, $\Delta H^o = -572$ kJ

$CO_2 + 2H_2O \rightarrow CH_3OH + \frac{3}{2} O_2$, $\Delta H^o = +728$ kJ

Επομένως, με βάση το νόμο του Hess θα ισχύει:

$C_{γρ} + 2H_2(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \rightarrow CH_3OH(ℓ)$, $\Delta H^o = 728 - 572 - 393 = -237$ kJ

Η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού της $CH_3OH(ℓ)$ είναι: $\Delta H^o_f(CH_3OH) = -237$ kJ·mol^{-1}.

9. Για τη βιομηχανική παραγωγή H_2 μίγμα $O_2(g)$ και $H_2O(g)$ διαβιβάζεται σε θερμοκρασία 1000 °C **σε μεγάλα καμίνια που περιέχουν λιγνίτη (ορυκτός άνθρακας), οπότε διεξάγονται παράλληλα οι αντιδράσεις που ακολουθούν.**

C(s) + $\frac{1}{2} O_2(g) \rightarrow CO(g)$, $\Delta H = -25$ kcal

C(s) + $H_2O(g) \rightarrow CO(g) + H_2(g)$, $\Delta H = 30$ kcal

α) Ποιος πρέπει να είναι ο λόγος των όγκων $O_2(g)$ και $H_2O(g)$, ώστε να μην παρατηρηθεί θερμική μεταβολή (η θερμοκρασία να παραμείνει σταθερή);
β) Αν το $O_2(g)$ διοχετεύεται με ατμοσφαιρικό αέρα με περιεκτικότητα 20%v/v **σε $O_2(g)$, να υπολογιστεί ο λόγος των όγκων αέρα και $H_2O(g)$ ώστε να μην παρατηρηθεί θερμική μεταβολή.**
γ) Αν ο λόγος των όγκων $O_2(g)$ και $H_2O(g)$ που διοχετεύεται στο καμίνι είναι 2:1**, πώς θα μεταβληθεί η θερμοκρασία του (αύξηση, μείωση, καμία μεταβολή);**

ΛΥΣΗ
α) Έστω x ο αριθμός των mol του O_2 και y των υδρατμών που διαβιβάζουμε στο καμίνι.

Για την πρώτη αντίδραση, $C(s) + \frac{1}{2} O_2(g) \rightarrow CO(g)$, $\Delta H = -25$ kcal

Τα 0,5 mol O_2 όταν αντιδρούν ελευθερώνουν 25 kcal
Τα x mol $q_1 = 50x$ kcal (1)

Για την δεύτερη αντίδραση, $C(s) + H_2O(g) \rightarrow CO(g) + H_2(g)$, $\Delta H = 30$ kcal:

Το 1 mol υδρατμών όταν αντιδρά απορροφά 30 kcal
Τα y mol $q_2 = 30y$ kcal (2)

Για να μην υπάρχει θερμική μεταβολή και η θερμοκρασία στο καμίνι να διατηρείται σταθερή, θα πρέπει το ποσό θερμότητας q_1 που ελευθερώνεται από την 1η αντίδραση να ισούται με το ποσό θερμότητας q_2 που απορροφάται από τη 2η, οπότε 50x = 30y. Άρα:

$$\frac{x}{y}=\frac{3}{5} \qquad (3)$$

Μην ξεχνιόμαστε! Στα αέρια η αναλογία όγκων είναι και αναλογία mol.

β) Στην περίπτωση που το O_2 διοχετεύεται με ατμοσφαιρικό αέρα, τα x mol O_2 αντιστοιχούν σε 5x mol αέρα συνολικά (η αναλογία όγκων O_2/αέρα είναι 20:100 = 1:5 και ισούται με την αναλογία mol). Οπότε, σύμφωνα και με την εξίσωση (3), η αναλογία όγκων αέρα / υδρατμών θα είναι:

$$\frac{5x}{y}=\frac{5\cdot 3}{5}=3$$

γ) Έστω 2α ο αριθμός mol του O_2 και α ο αριθμός mol των υδρατμών. Από την πρώτη αντίδραση ελευθερώνεται ποσό θερμότητας q_3 = 100α kcal, ενώ από τη δεύτερη αντίδραση απορροφάται ποσό θερμότητας q_4 = 30α kcal. Παρατηρούμε, δηλαδή, ότι το ποσό θερμότητας που ελευθερώνεται θα είναι μεγαλύτερο από το ποσό θερμότητας που απορροφάται, οπότε η θερμοκρασία του συστήματος θα αυξάνεται.

10. Σε 4 L **διαλύματος ασθενούς οξέος** HA 0,2 M**, προσθέτουμε** 2 L **διαλύματος** NaOH 0,25 M **και ελευθερώνεται ποσό θερμότητας ίσο με** 25,4 kJ **μετρημένο σε πρότυπες συνθήκες. Να υπολογιστεί η πρότυπη ενθαλπία** ΔH_n **της αντίδρασης:**

$$HA + NaOH \rightarrow NaA + H_2O$$

Γιατί η τιμή αυτή διαφέρει από την ΔH_n **της εξουδετέρωσης ισχυρού οξέος από ισχυρή βάση;**

ΛΥΣΗ

Υπολογίζουμε τις ποσότητες του HA και του NaOH από τα διαλύματά τους και με βάση τον ορισμό της συγκέντρωσης, $c = n/V$.

HA: $n_1 = 0{,}2\cdot 4 = 0{,}8$ mol, NaOH: $n_2 = 0{,}25\cdot 2 = 0{,}5$ mol.

(mol) $HA + NaOH \rightarrow NaA + H_2O$

0,8 0,5

Παρατηρούμε ότι τα 0,5 mol NaOH αντιδρούν με 0,5 mol HA, περισσεύουν δηλαδή χωρίς να αντιδράσουν 0,3 mol HA.

Όταν αντιδράσουν 0,5 mol HA παράγονται 25,4 kJ

Όταν αντιδράσει 1 mol HA x; = 50,8 kJ

Επομένως: $HA + NaOH \rightarrow NaA + H_2O$, $\Delta H_n = -50{,}8$ kJ.

Η ενθαλπία εξουδετέρωσης της παραπάνω αντίδρασης διαφέρει από την τιμή −57 kJ και επομένως το οξύ HA θα πρέπει να είναι ασθενές. Εξήγηση: Στην αντίδραση της εξουδετέρωσης τα μόρια HA μετατρέπονται πλήρως σε ιόντα $(Na^+)A^-$. Καθώς ο ιοντισμός των ασθενών οξέων είναι ενδόθερμο φαινόμενο, ένα μέρος από το παραγόμενο ποσό θερμότητας κατά την εξουδετέρωση, $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$, $\Delta H = -57$ kJ απορροφάται κατά τον ιοντισμό του HA και επομένως προκύπτει τελικά μικρότερο ποσό θερμότητας. Έτσι, η ΔH_n της αντίδραση εξουδετέρωσης θα είναι λιγότερο αρνητική.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Σε όλες τις ερωτήσεις και τα προβλήματα οι ενθαλπίες και τα ποσά θερμότητας αντιστοιχούν στις ίδιες συνθήκες.

9.1. Η χημική ενέργεια μιας χημικής ουσίας οφείλεται:
Α) στις ενδομοριακές δυνάμεις
Β) στις διαμοριακές δυνάμεις
Γ) στην κίνηση των δομικών συστατικών της ουσίας
Δ) Σε όλα τα παραπάνω

9.2. Σε μία χημική αντίδραση, ποιο από τα μεγέθη που ακολουθούν μπορεί να μετρηθεί πειραματικά;
Α) Η ενθαλπία των αντιδρώντων
Β) Η ενθαλπία των προϊόντων
Γ) Και τα δύο προηγούμενα
Δ) Η ενθαλπία (ΔH) της αντίδρασης

9.3. Το ποσό θερμότητας που ανταλλάσσεται με το περιβάλλον κατά την πραγματοποίηση μιας χημικής αντίδρασης, υπό σταθερή πίεση, ισούται με τη(ν):
Α) ενθαλπία των αντιδρώντων
Β) ενθαλπία των προϊόντων
Γ) μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος
Δ) ενθαλπία της αντίδρασης (ΔH)

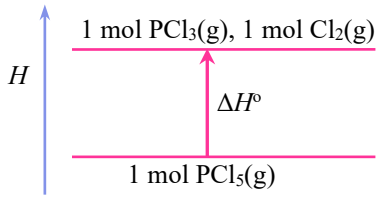
9.4. Η ενθαλπία μιας αντίδρασης εξαρτάται:
Α) μόνο από τη φύση των αντιδρώντων
Β) μόνο από τη φυσική κατάσταση των αντιδρώντων και των προϊόντων
Γ) μόνο από τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που λαμβάνει χώρα η αντίδραση
Δ) από όλα τα παραπάνω [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2024]

9.5. **i.** Στις εξώθερμες αντιδράσεις ισχύει, γενικά:
Α) $H_{προϊόντων} < 0$ Β) $\Delta H > 0$
Γ) $H_{προϊόντων} < H_{αντιδρώντων}$ Δ) $H_{αντιδρώντων} = -H_{προϊόντων}$
ii. Οι αντιδράσεις καύσης και εξουδετέρωσης:
Α) είναι ενδόθερμες Β) είναι εξώθερμες
Γ) έχουν $\Delta H > 0$ Δ) είναι ενδόθερμες ή εξώθερμες

9.6. Η διάλυση του $KNO_3(s)$ στο νερό περιγράφεται από την εξίσωση: $KNO_3(s) \rightarrow K^+(aq) + NO_3^-(aq)$, $\Delta H = +35$ kJ
Από την εξίσωση αυτή συμπεραίνουμε ότι:
Α) με τη διάλυση του $KNO_3(s)$ στο νερό η θερμοκρασία του διαλύματος μειώνεται
Β) $\Delta H_{προϊόντων} < \Delta H_{αντιδρώντων}$
Γ) η θερμοκρασία του διαλύματος αυξάνεται καθώς απορροφάται θερμότητα από το περιβάλλον
Δ) το φαινόμενο είναι εξώθερμο

9.7. Η ενθαλπία ενός συστήματος αντιδρώντων σε ορισμένες συνθήκες πίεσης (P) και θερμοκρασίας (T):
Α) είναι ανεξάρτητη από τις ποσότητες των αντιδρώντων
Β) είναι ανεξάρτητη των τιμών P και T
Γ) είναι ανεξάρτητη από τον τρόπο με τον οποίο το σύστημα έφτασε στην κατάσταση αυτή
Δ) είναι ανεξάρτητη από τη φυσική τους κατάσταση

9.8. Δίνεται το ενεργειακό διάγραμμα της αντίδρασης:
$PCl_5(g) \rightarrow PCl_3(g) + Cl_2(g)$, ΔH^o



Σύμφωνα με το διάγραμμα αυτό η αντίδραση είναι:
Α) εξώθερμη και το αντιδρών είναι θερμοδυναμικά σταθερότερο σε σχέση με τα προϊόντα
Β) εξώθερμη και τα προϊόντα είναι θερμοδυναμικά σταθερότερα
Γ) ενδόθερμη και θερμοδυναμικά σταθερότερο είναι το αντιδρών
Δ) ενδόθερμη και τα προϊόντα είναι θερμοδυναμικά σταθερότερα

9.9. Σε ειδικές συσκευές το O_2 μετατρέπεται απουσία φωτός σε όζον (O_3), σύμφωνα με την εξίσωση που ακολουθεί.
$3O_2(g) \rightarrow 2O_3(g)$, $\Delta H^o = +285$ kJ
Από την εξίσωση αυτή προκύπτει ότι:
Α) το O_3 είναι η πρότυπη μορφή οξυγόνου
Β) η αρχική κατάσταση του συστήματος είναι σταθερότερη από την τελική
Γ) δε μπορεί να υπάρχει στη φύση τριατομικό οξυγόνο
Δ) η μετατροπή του O_2 σε O_3 είναι εξώθερμο φαινόμενο

9.10. Ποια από τις παρακάτω μετατροπές έχει $\Delta H < 0$;
I. $2CH_3OH(\ell) + 3O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 4H_2O(\ell)$
II. $HCl(aq) + NaOH(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(\ell)$
III. $H_2O(g) \rightarrow H_2O(\ell)$
Α) Μόνοι οι I και II Β) Μόνοι οι I και III
Γ) Μόνοι οι II και III Δ) Και οι τρεις

9.11. Ποια από τις παρακάτω αντιδράσεις έχει ΔH^o ίση με την πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του CaO(s);
Α) $Ca(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CaO(s)$ Β) $2Ca(s) + O_2(g) \rightarrow 2CaO(s)$
Γ) $Ca(g) + O(g) \rightarrow CaO(s)$ Δ) $Ca^{2+}(aq) + O^{2-}(aq) \rightarrow CaO(s)$

9.12. Δίνεται η θερμοχημική εξίσωση:
$C_3H_8(g) + 5O_2(g) \rightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(\ell)$, $\Delta H = -2220$ kJ
Για την αντίδραση πλήρους καύσης του $C_3H_8(g)$ σε πρότυπη κατάσταση ισχύει ότι:
Α) η ενθαλπία των προϊόντων είναι 2220 kJ
Β) κατά την πλήρη καύση 1 μορίου $C_3H_8(g)$ εκλύεται ποσό θερμότητας 2220 kJ
Γ) κατά την πλήρη καύση 1 mol $C_3H_8(g)$ απορροφάται ποσό θερμότητας 2220 kJ
Δ) κατά την πλήρη καύση 1 mol $C_3H_8(g)$ εκλύεται ποσό θερμότητας 2220 kJ [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2026]

9.13. Δίνεται η θερμοχημική εξίσωση που ακολουθεί.

$3H_2(g) + N_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$, $\Delta H^o = -92$ kJ

Από τη θερμοχημική αυτή εξίσωση προκύπτει ότι η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού της NH_3 είναι ίση με:

Α) 46 kJ·mol^{-1} Β) 92 kJ·mol^{-1}

Γ) −46 kJ·mol^{-1} Δ) −92 kJ

9.14. Ποια από τις παρακάτω σχέσεις δίνει την πρότυπη ενθαλπία (ΔH^o) της αντίδρασης που ακολουθεί;

$2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g)$;

Α) $\Delta H^o = \Delta H^o_f(SO_3) + \Delta H^o_f(SO_2)$

Β) $\Delta H^o = 2\cdot[\Delta H^o_f(SO_2) - \Delta H^o_f(SO_3)]$

Γ) $\Delta H^o = \Delta H^o_f(SO_2) - \Delta H^o_f(SO_3)$

Δ) $\Delta H^o = 2\cdot[\Delta H^o_f(SO_3) - \Delta H^o_f(SO_2)]$

9.15. Δίνεται η θερμοχημική εξίσωση:

$H_2(g) + I_2(s) \rightarrow 2HI(g)$, $\Delta H^o = +53$ kJ

Ποια η τιμή της πρότυπης ενθαλπίας της αντίδρασης:

$HI(g) \rightarrow (1/2)H_2(g) + (1/2)I_2(s)$

Α) 26,5 kJ Β) 7,3 kJ Γ) −26,5 kJ Δ) −53 kJ

9.16. Οι δύο γνωστές μορφές του άνθρακα (C) είναι ο γραφίτης και το διαμάντι για τις οποίες οι πρότυπες ενθαλπίες καύσης έχουν τιμές −393 kJ·mol^{-1} και −395 kJ·mol^{-1}, αντίστοιχα. Με βάση τα δεδομένα αυτά, ποια η τιμή της πρότυπης ενθαλπίας (ΔH^o) της μετατροπής, C(γραφ.) → C(διαμ.);

Α) $\Delta H^o = -788$ kJ Β) $\Delta H^o = +2$ kJ

Γ) $\Delta H^o = +788$ kJ Δ) $\Delta H^o = -2$ kJ

9.17. Η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του γραφίτη ($C_{γρ.}$) έχει τιμή:

Α) ίση με μηδέν Β) θετική Γ) αρνητική

Δ) μεγαλύτερη από την τιμή της πρότυπης ενθαλπίας σχηματισμού του διαμαντιού ($C_{διαμ.}$)

9.18. Δίνονται οι θερμοχημικές εξισώσεις που ακολουθούν.

$8C(s) + 9H_2(g) \rightarrow C_8H_{18}(\ell)$, $\Delta H^o_1 = -250$ kJ

$8C(s) + 9H_2(g) \rightarrow C_8H_{18}(g)$, $\Delta H^o_2 = -208$ kJ

Από τις εξισώσεις αυτές προκύπτει ότι η ΔH^o της μετατροπής, $C_8H_{18}(\ell) \rightarrow C_8H_{18}(g)$, θα είναι ίση με:

Α) −458 kJ Β) −42 kJ Γ) +42 kJ Δ) +458 kJ

9.19. Από τη θερμοχημική εξίσωση,

$N_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO(g)$, $\Delta H^o = +180$ kJ,

προκύπτει ότι:

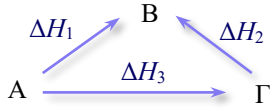
Α) η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του NO(g) είναι 180 kJ·mol^{-1}

Β) η πρότυπη ενθαλπία καύσης του N_2(g) είναι 180 kJ·mol^{-1}

Γ) η πρότυπη ενθαλπία καύσης του N_2(g) είναι 90 kJ·mol^{-1}

Δ) Τίποτα από τα παραπάνω

9.20. Δίνεται ο θερμοχημικός κύκλος που ακολουθεί.



Με βάση το θερμοχημικό αυτό κύκλο προκύπτει:

Α) $\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3$ Β) $\Delta H_2 + \Delta H_3 = \Delta H_1$

Γ) $\Delta H_2 - \Delta H_3 = \Delta H_1$ Δ) $\Delta H_3 - \Delta H_2 = \Delta H_1$

9.21. Η πρότυπη ενθαλπία της αντίδρασης εξουδετέρωσης,

$NaOH(aq) + HA(aq) \rightarrow NaA(aq) + H_2O(\ell)$, ΔH^o

Α) είναι ίση με −57 kJ ανεξάρτητα από τη φύση του οξέος HA

Β) είναι ίση με −57 kJ αν το οξύ είναι ισχυρό, π.χ. το HCl και μεγαλύτερη αλγεβρικά, αν το οξύ είναι ασθενές, π.χ. το CH_3COOH

Γ) είναι ανάλογη με τις ποσότητες (σε mol) του οξέος και της βάσης που αντιδρούν

Δ) είναι ίση με την πρότυπη ενθαλπία της αντίδρασης:

$NH_3(aq) + HA(aq) \rightarrow NH_4A(aq)$

9.22 Με βάση τις πρότυπες ενθαλπίες σχηματισμού των παρακάτω οξειδίων του αζώτου ποιο από αυτά τα οξείδια του αζώτου είναι το θερμοδυναμικά σταθερότερο;

- $\Delta H^o_f[N_2O] = +82$ kJ·mol^{-1}
- $\Delta H^o_f[NO] = +90$ kJ·mol^{-1}
- $\Delta H^o_f[NO_2] = +33$ kJ·mol^{-1}

Α) Το N_2O Β) Το NO Γ) Το NO_2 [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2025]

9.23. Να χαρακτηρίσετε τις προτάσεις που ακολουθούν ως σωστές (Σ) ή λανθασμένες (Λ).

α) Οι εξώθερμες αντιδράσεις πραγματοποιούνται με απορρόφηση ενέργειας του συστήματος από το εξωτερικό περιβάλλον του και για το λόγο αυτό αυξάνεται η ενθαλπία του συστήματος.

β) Σε κάθε χημική αντίδραση η ενθαλπία των αντιδρώντων είναι ίση με την ενθαλπία των προϊόντων της αντίδρασης, στις ίδιες συνθήκες.

γ) Για τις ενδόθερμες αντιδράσεις, η ενθαλπία δίνεται από τη σχέση: $\Delta H = H_{προϊόντων} - H_{αντιδρώντων}$, ενώ για τις εξώθερμες: $\Delta H = H_{αντιδρώντων} - H_{προϊόντων}$.

δ) Η μεταβολή ενθαλπίας (ΔH) κατά την πραγματοποίηση μιας χημικής αντίδρασης είναι θετική ή αρνητική, αν η αντίδραση είναι αντίστοιχα ενδόθερμη ή εξώθερμη.

ε) Η πρότυπη ενθαλπία εξουδετέρωσης είναι πάντοτε θετική. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2024]

στ) Η ενθαλπία είναι καταστατική ιδιότητα του συστήματος.

ζ) Σε θερμοκρασία $\theta = 25$ °C και σε πίεση $p = 1$ atm, 2 mol $H_2O(\ell)$ έχουν μεγαλύτερη ενθαλπία σε σχέση με ένα μίγμα που αποτελείται από 2 mol H_2(g) και 1 mol O_2(g).

η) Η μετατροπή $H_2O(g) \rightarrow H_2O(\ell)$ είναι εξώθερμη.

θ) Η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του CO_2(g) είναι ίση με την πρότυπη ενθαλπία καύσης του γραφίτη ($C_{γρ.}$).

ι) Η μεταβολή της ενθαλπίας ΔH ισούται με το απορροφούμενο ή εκλυόμενο ποσό θερμότητας q, εφόσον η αντίδραση πραγματοποιείται υπό σταθερή πίεση. [ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2026]

κ) Από την παρακάτω θερμοχημική εξίσωση προκύπτει ότι η πρότυπη ενθαλπία καύσης του H_2(g) είναι 484 kJ·mol^{-1}.

$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$, $\Delta H^o = -484$ kJ

λ) Κατά την πλήρη καύση 1 mol $CH_3OH(\ell)$ εκλύεται μεγαλύτερο ποσό θερμότητας σε σχέση με την πλήρη καύση 1 mol CH_3OH(g).

9.24. Σε ποια από τις παρακάτω εξώθερμες αντιδράσεις (1), (2) ή (3) εκλύεται το μεγαλύτερο ποσό θερμότητας με τις ίδιες αρχικές στοιχειομετρικές ποσότητες $H_2(g)$ και $O_2(g)$;

$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$, ΔH_1 (1)

$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(\ell)$, ΔH_2 (2)

$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(s)$, ΔH_3 (3)

Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

9.25. Να αντιστοιχήσετε τις χημικές εξισώσεις της στήλης (I) με τις πρότυπες ενθαλπίες τους στη στήλη (II).

	(I)		(II)
Α.	$H_2(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \rightarrow H_2O(g)$	α.	−242 kJ
Β.	$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(\ell)$	β.	−572 kJ
Γ.	$H_2O(\ell) \rightarrow H_2(g) + \frac{1}{2} O_2(g)$	γ.	+286 kJ
Δ.	$2H_2O(g) \rightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$	δ.	+242 kJ
		ε.	+484 kJ

9.26. Σε κατάλληλες συνθήκες το $N_2(g)$ αντιδρά με το $O_2(g)$ σύμφωνα με τη θερμοχημική εξίσωση που ακολουθεί.

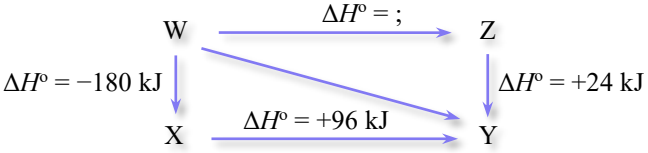
$N_2(g) + 2O_2(g) \rightarrow 2NO_2(g)$, $\Delta H = 66$ kJ

Αν στις ίδιες συνθήκες φέρουμε προς αντίδραση 3 mol $N_2(g)$ και 3 mol $O_2(g)$, ποια θα είναι η μεταβολή της ενθαλπίας μετά την ολοκλήρωση της αντίδρασης;

Α) +99 kJ Β) +198 kJ Γ) +66 kJ Δ) −99 kJ

Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

9.27. α) Να προσδιοριστεί η ΔH^o της αντίδρασης W → Z με βάση το διάγραμμα που ακολουθεί.



β) Ποια η πρότυπη ενθαλπία της αντίδρασης, Y → W;

9.28. Με βάση τις τιμές των ενθαλπιών του πίνακα που ακολουθεί, ποιες μπορεί να είναι οι ενώσεις X, Y και Z;

οξύ	βάση	ΔH^o_n / kJ·mol^{-1} H^+ ή OH^-
HCl(aq)	NaOH(aq)	−57
X(aq)	NaOH(aq)	−54
HCl(aq)	Y(aq)	−52
HNO_3(aq)	Z(aq)	−57

1. X: CH_3COOH, Y: NH_3, Z: KOH
2. X: CH_3COOH, Y: NaOH, Z: NH_3
3. X: H_2SO_4, Y: NH_3, Z: KOH
4. X: H_2SO_4, Y: NaOH, Z: NH_3

Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

9.29. Να γράψετε τις θερμοχημικές εξισώσεις στις οποίες αναφέρονται τα παρακάτω δεδομένα.

α) $\Delta H_c(C_3H_8(g)) = -2220$ kJ·mol^{-1}.

β) $\Delta H_f(C_2H_4(g)) = 52{,}4$ kJ·mol^{-1}.

γ) ΔH_n(HCl με NaOH) = −57 kJ·mol^{-1} H^+ ή OH^-.

9.30. **Υγρό πυρ!** Τα σκαθάρια - βομβαρδιστές εκτοξεύουν στους εχθρούς καυτό, τοξικό μίγμα που περιέχει κινόνη, $C_6H_4O_2$ και σχηματίζεται σύμφωνα με τη θερμοχημική εξίσωση (1) που ακολουθεί.



$C_6H_4(OH)_2(aq) + H_2O_2(aq) \rightarrow C_6H_4O_2(aq) + 2H_2O(\ell)$ (1)

Να υπολογιστεί η ενθαλπία της αντίδρασης (1). Δίνονται:

$C_6H_4(OH)_2(aq) \rightarrow C_6H_4O_2(aq) + H_2(g)$, $\Delta H = +177$ kJ

$H_2(g) + O_2(g) \rightarrow H_2O_2(aq)$, $\Delta H = -191$ kJ

$H_2(g) + 1/2O_2(g) \rightarrow H_2O(g)$, $\Delta H = -242$ kJ

$H_2O(g) \rightarrow H_2O(\ell)$, $\Delta H = -44$ kJ

9.31. Σε πρότυπες συνθήκες το αιθάνιο, $C_2H_6(g)$, είναι θερμοδυναμικά σταθερότερο σε σχέση με τα στοιχεία του, C(s) και $H_2(g)$ ενώ το αιθένιο, $C_2H_4(g)$, είναι θερμοδυναμικά ασταθέστερο σε σχέση με αυτά.

α) Ποια από τις παρακάτω προτάσεις είναι η σωστή;

i. $\Delta H^o_f(C_2H_4(g)) < 0$ και $\Delta H^o_f(C_2H_6(g)) > 0$

ii. $\Delta H^o_f(C_2H_6(g)) = 0$ και $\Delta H^o_f(C_2H_4(g)) > 0$

iii. $C_2H_4(g) + H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g)$, $\Delta H^o > 0$

iv. $C_2H_4(g) + H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g)$, $\Delta H^o < 0$

β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

9.32. Ποσότητα CH_4 κατεργάζεται με O_2 και $H_2O(g)$ οπότε διεξάγονται παράλληλα οι αντιδράσεις που ακολουθούν.

$CH_4(g) + (1/2)\ O_2(g) \rightarrow CO(g) + 2H_2(g)$, $\Delta H_1 = -36$ kJ (1)

$CH_4(g) + H_2O(g) \rightarrow CO(g) + 3H_2(g)$, $\Delta H_2 = 216$ kJ (2)

Με τη χρήση των παραπάνω θερμοχημικών εξισώσεων να γραφεί μία συνολική θερμοχημική εξίσωση με $\Delta H = 0$.

9.33. α) Με βάση τα δεδομένα του πίνακα που ακολουθεί, να υπολογίσετε τις πρότυπες ενθαλπίες καύσης του C_2H_6, του C_2H_4 και του H_2.

Ουσία	$H_2O(\ell)$	$CO_2(g)$	$C_2H_6(g)$	$C_2H_4(g)$
ΔH_f^o / kJ·mol^{-1}	−286	−393	−84	+53

β) Να υπολογίσετε την πρότυπη ενθαλπία της αντίδρασης:

$C_2H_4(g) + H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g)$

9.34. Η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού της γλυκόζης, $C_6H_{12}O_6(s)$ δεν μπορεί να υπολογιστεί άμεσα. Να προσδιορίσετε την ενθαλπία αυτή από τα δεδομένα που ακολουθούν.

– Πρότυπη ενθαλπία καύσης του C(s): −394 kJ·mol^{-1}.

– Πρότυπη ενθαλπία καύσης του $H_2(g)$: −286 kJ·mol^{-1}.

– Πρότυπη ενθαλπία καύσης της $C_6H_{12}O_6(s)$: −2810 kJ·mol^{-1}.

9.35. Δίνονται οι θερμοχημικές εξισώσεις που ακολουθούν.

$C_2H_4(g) + 3O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 2H_2O(\ell)$, $\Delta H_1 = -332$ kcal

$C_2H_4Cl_2(g) + 3O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 2H_2O(\ell) + Cl_2(g)$, $\Delta H_2 =$ −367 kcal

$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$, $\Delta H_3 = -94$ kcal

$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(\ell)$, $\Delta H_4 = -136$ kcal

Να υπολογίσετε τις πρότυπες ενθαλπίες:

α) Σχηματισμού του $C_2H_4(g)$, ΔH_5.

β) Σχηματισμού του $C_2H_4Cl_2(g)$, ΔH_6.

γ) Της αντίδρασης: $C_2H_4(g) + Cl_2(g) \rightarrow C_2H_4Cl_2(g)$, ΔH_7.

9.36. Το ρομβικό θείο, S(ρομβικό) και το μονοκλινές θείο, S(μονοκλινές) είναι δύο αλλοτροπικές μορφές S και ισχύει:

$$S(\text{ρομβικό}) \rightarrow S(\text{μονοκλινές}),\ \Delta H^o = 0{,}3\ \text{kJ}$$

α) Να εξηγήσετε ποια από τις δύο αλλοτροπικές μορφές θείου είναι θερμοδυναμικά σταθερότερη.
β) Να συγκρίνετε αλγεβρικά την πρότυπη ενθαλπία καύσης του ρομβικού θείου (ΔH_1^o) με την πρότυπη ενθαλπία καύσης του μονοκλινούς θείου (ΔH_2^o) προς $SO_2(g)$ (μεγαλύτερη, μικρότερη, ίση). Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

Προβλήματα

9.37. α mol $SO_2(g)$ και β mol $O_2(g)$ αντιδρούν υπό σταθερή πίεση σύμφωνα με την εξίσωση:

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g),\ \Delta H = -200\ \text{kJ}.$$

Να υπολογίσετε τα ποσά θερμότητας που παράγονται στις παρακάτω περιπτώσεις:
α) α = 5, β = 2,5. β) α = 8, β = 3. γ) α = 4, β = 5.

9.38. i. Ποιο ποσό θερμότητας (q_1) θα παραχθεί κατά την καύση 2,24 L $H_2(g)$, μετρημένα σε STP, με την απαιτούμενη ποσότητα O_2 προς $H_2O(\ell)$; ii. Να συγκρίνετε το ποσό θερμότητας q_1 με το ποσό θερμότητας (q_2) που θα παραγόταν αν το προϊόν ήταν $H_2O(g)$ (μεγαλύτερο, μικρότερο, ίσο).
β) Ισομοριακό μίγμα $H_2(g)$ και $O_2(g)$ έχει όγκο 8,96 L σε STP. Το μίγμα αναφλέγεται και προκύπτει $H_2O(\ell)$. Ποιο ποσό θερμότητας θα παραχθεί από την αντίδραση αυτή;
Η ενθαλπία καύσης του H_2 προς $H_2O(\ell)$ $-286\ \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

9.39. Κατά το σχηματισμό 4 mol CO από τα στοιχεία του σε πρότυπες συνθήκες εκλύονται 444 kJ.
α) Να υπολογιστεί η πρότυπη ενθαλπία της αντίδρασης:

$$2C(s) + O_2(g) \rightarrow 2CO(g)$$

β) Να υπολογιστεί η πρότυπη ενθαλπία καύσης του CO(g).
Για το $CO_2(g)$, $\Delta H^o_f = -394\ \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

9.40. Η διάλυση του $NH_4NO_3(s)$ σε νερό αποδίδεται από τη θερμοχημική εξίσωση:

$$NH_4NO_3(s) \rightarrow NH_4^+(aq) + NO_3^-(aq),\ \Delta H^o = +25\ \text{kJ}$$

Η ιδιότητα εφαρμόζεται στις «παγοκύστες» προκαλώντας ταχεία ψύξη του διαλύματος. Ποιο το ποσό θερμότητας απορροφάται με τη διάλυση 16 g $NH_4NO_3(s)$ σε νερό;

9.41. Οι πρότυπες ενθαλπίες καύσης του C(s) και του $H_2(g)$ είναι $-400\ \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ και $-300\ \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, αντίστοιχα, ενώ η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του $CH_4(g)$ είναι $-100\ \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.
α) Να υπολογιστεί η πρότυπη ενθαλπία καύσης του $CH_4(g)$.
β) Πόσα g CH_4 πρέπει να καούν ώστε να προκύψει ποσό θερμότητας ίσο με 225 kJ σε πρότυπες συνθήκες;

9.42. Δίνονται οι πρότυπες ενθαλπίες καύσης:
− Του $CH_3CH_2C{\equiv}CH$: $\Delta H^o_c(1) = -2776\ \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
− Του $CH_3C{\equiv}CCH_3$: $\Delta H^o_c(2) = -2520\ \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.
α) i. Να υπολογίσετε την πρότυπη ενθαλπία της μετατροπής:

$$CH_3C{\equiv}CCH_3 \rightarrow CH_3CH_2C{\equiv}CH,\ \Delta H$$

ii. Ποιο από τα δύο ισομερή είναι θερμοδυναμικά το πιο σταθερό; Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.
β) Δείγμα 2-βουτίνιου περιέχει ενδεχομένως και ποσότητα 1-βουτίνιου. 0,2 mol του δείγματος αυτού καίγεται και προκύπτει ποσό θερμότητας ίσο με 504 kJ σε πρότυπες συνθήκες. Να εξηγήσετε αν από το δεδομένο προκύπτει ότι το δείγμα περιέχει ή όχι και 1-βουτίνιο.

9.43. Σε κλίβανο παραγωγής ασβέστη, CaO(s), διεξάγεται η αντίδραση με τη θερμοχημική εξίσωση που ακολουθεί.

$$CaCO_3(s) \rightarrow CaO(s) + CO_2(g),\ \Delta H = 180\ \text{kJ}\ (1)$$

α) Ποιο ποσό θερμότητας απαιτείται ώστε να προκύψουν τα 28 kg CaO με βάση την αντίδραση (1);
β) Ποια μάζα προπανίου (C_3H_8) πρέπει να καεί ώστε να προκύψουν τα 28 kg CaO, αν χρησιμοποιείται μόνο το 40% της παραγόμενης θερμότητας από την καύση του C_3H_8;
Δίνεται η ενθαλπία καύσης του C_3H_8 ίση με $-2200\ \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

9.44. Ισομοριακό μίγμα $CH_4(g)$ και $C_2H_6(g)$ καταλαμβάνει όγκο 8,96 L (σε STP). Το μίγμα καίγεται πλήρως με την απαιτούμενη ποσότητα O_2 και το ποσό θερμότητας (q) που παράγεται χρησιμοποιείται στη διάσπαση της ένωσης A(g) στις ενώσεις B(g) και Γ(g), σύμφωνα με τη χημική εξίσωση:

$$A(g) \rightarrow B(g) + 2\Gamma(g),\ \Delta H = +245\ \text{kJ}$$

Παράγονται έτσι 4 mol Γ(g). Να υπολογιστούν:
α) Τα mol του $CH_4(g)$ και του $C_2H_6(g)$ στο αρχικό μίγμα.
β) Το ποσό θερμότητας q από την καύση του μίγματος σε πρότυπες συνθήκες.
γ) Η πρότυπη ενθαλπία της καύσης του C_2H_6.
Η πρότυπη ενθαλπία καύσης του CH_4 είναι $-890\ \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

9.45. Οι πρότυπες ενθαλπίες σχηματισμού του $Fe_2O_3(s)$, του CO(g) και του $CO_2(g)$ έχουν τιμές, −840, −110 και −395, σε $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, αντίστοιχα.
α) Να υπολογιστεί η πρότυπη ενθαλπία της αντίδρασης:

$$Fe_2O_3(s) + 3CO(g) \rightarrow 2Fe(s) + 3CO_2(g)$$

β) Ποσότητα του ορυκτού αιματίτης μάζας 1 kg περιέχει Fe_2O_3 σε ποσοστό 80% w/w καθώς και αδρανείς ύλες. Ποιο ποσό θερμότητας σε πρότυπη κατάσταση ελευθερώνεται ή απορροφάται κατά την πλήρη αντίδραση του Fe_2O_3 που υπάρχει σε 1 kg αιματίτη με την απαιτούμενη ποσότητα CO;

9.46. Για την πλήρη εξουδετέρωση 200 mL διαλύματος $Ba(OH)_2(aq)$ συγκέντρωσης 0,5 M απαιτούνται 200 mL διαλύματος HCl(aq) συγκέντρωσης c. Να υπολογίσετε:
α) Τη συγκέντρωση του διαλύματος HCl (c).
β) Το ποσό της θερμότητας που εκλύεται κατά την πλήρη εξουδετέρωση του οξέος από τη βάση.
Δίνεται η πρότυπη ενθαλπία εξουδετέρωσης ισχυρού οξέος με ισχυρή βάση: $\Delta H^o_n = -57{,}1\ \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2025]

9.47. Αέριο περιέχει $C_3H_8(g)$ και πιθανώς $C_4H_{10}(g)$. Ποσότητα από το αέριο όγκου 8,96 L σε STP καίγονται πλήρως με O_2 και εκλύεται ποσό θερμότητας ίσο με 950 kJ.
α) Να δείξετε ότι το αέριο δεν περιέχει μόνο $C_3H_8(g)$.
β) Ποια η %v/v περιεκτικότητα του αερίου σε $C_3H_8(g)$;
Δίνονται οι ενθαλπίες καύσης του $C_3H_8(g)$ και του $C_4H_{10}(g)$ αντίστοιχα ίσες με $-2200\ \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ και $-2900\ \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

9.48. 11,2 L αερίου μίγματος $H_2(g)$ και $Cl_2(g)$ μετρημένα σε STP αντιδρούν σε κατάλληλες συνθήκες σύμφωνα με τη χημική εξίσωση:

$$H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g)$$

Στο τέλος της αντίδρασης καταναλώθηκε όλη η ποσότητα του H_2 ενώ παράχθηκε συνολικό ποσό θερμότητας ίσο με 36,8 kJ. Η παραγόμενη ποσότητα του HCl διαλύεται σε νερό και στη συνέχεια αντιδρά πλήρως με διάλυμα NaOH(aq), σύμφωνα με την εξίσωση:

$$HCl(aq) + NaOH(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(\ell)$$

Από την τελευταία αντίδραση παράγεται ποσό θερμότητας ίσο με 22,4 kJ.

Να υπολογιστούν:

α) Οι ποσότητες (σε mol) των δύο αερίων στο αρχικό μίγμα.

β) Η ενθαλπία εξουδετέρωσης του HCl με το NaOH.

Για το HCl(g), $\Delta H_f = -92\ kJ \cdot mol^{-1}$.

9.49. Μίγμα N_2H_4 και N_2O_4 έχει χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο στο διαστημόπλοιο Apollo, λόγω της ισχυρά εξώθερμης αντίδρασής τους, σύμφωνα με την εξίσωση (1):

$$2N_2H_4(\ell) + N_2O_4(g) \rightarrow 3N_2(g) + 4H_2O(g) \quad (1)$$

α) Να υπολογίσετε τη ΔH της αντίδρασης (1).

β) Ισομοριακό μίγμα N_2H_4 και N_2O_4 μάζας 12,4 g φέρεται προς αντίδραση σύμφωνα με την εξίσωση (1). Να υπολογίσετε το ποσό θερμότητας που θα ελευθερωθεί.



γ) Να υπολογίσετε το ποσό θερμότητας που θα ελευθερωθεί όταν καούν πλήρως 0,1 mol $N_2H_4(\ell)$ με $O_2(g)$ προς $H_2O(g)$ και $N_2(g)$.

Οι ενθαλπίες σχηματισμού του $N_2H_4(\ell)$, του $N_2O_4(g)$ και του $H_2O(g)$ είναι, αντίστοιχα, 51 $kJ \cdot mol^{-1}$, 9 $kJ \cdot mol^{-1}$ και $-242\ kJ \cdot mol^{-1}$.

9.50. Η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού ενός αλκανίου (C_vH_{2v+2}) είναι $-175\ kJ \cdot mol^{-1}$ ενώ η πρότυπη ενθαλπία καύσης του ίδιου αλκανίου είναι $-3510\ kJ \cdot mol^{-1}$. Αν είναι επίσης γνωστές οι πρότυπες ενθαλπίες σχηματισμού του $H_2O(\ell)$ και του $CO_2(g)$, αντίστοιχα ίσες με $-285\ kJ \cdot mol^{-1}$ και $-395\ kJ \cdot mol^{-1}$, ποιος είναι ο μοριακός τύπος του αλκανίου;

9.51. Η ενθαλπία καύσης του $CH_4(g)$ είναι $-890\ kJ \cdot mol^{-1}$ ενώ η ενθαλπία καύσης του CO(g) ίση με $-280\ kJ \cdot mol^{-1}$.

α) Να υπολογίσετε την ενθαλπία (ΔH) της αντίδρασης:

$$CH_4(g) + \frac{3}{2} O_2(g) \rightarrow CO(g) + 2H_2O(\ell),\ \Delta H$$

Ποιοι οι νόμοι της θερμοχημείας που χρησιμοποιήθηκαν;

β) Ποσότητα $CH_4(g)$ καίγεται με $O_2(g)$ και σχηματίζονται 0,2 mol $CO_2(g)$ και 0,01 mol CO(g). Να υπολογίσετε:

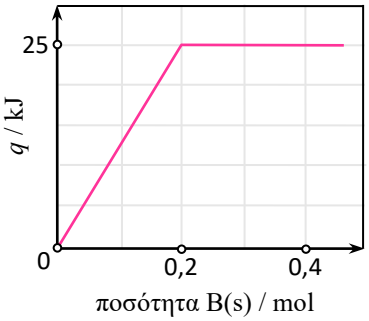
i. Την ποσότητα σε mol του $CH_4(g)$ που κάηκε.

ii. Το ποσό θερμότητας που ελευθερώθηκε.

9.52. Διάλυμα της ουσίας A(aq) έχει συγκέντρωση 2 M και όγκο 200 mL. Στο διάλυμα προσθέτουμε ανά τακτά χρονικά διαστήματα ποσότητες B(s) και διεξάγεται η αντίδραση:

$$\lambda A(aq) + B(s) \rightarrow \Gamma(aq) + 2\Delta(aq),\ \Delta H < 0$$

όπου λ ο ακέραιος συντελεστής του A(aq). Μετά από κάθε προσθήκη μετράμε το ποσό θερμότητας που παράχθηκε από την αντίδραση ως συνάρτηση της ποσότητας του B(s). Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



α) Να προσδιορίσετε την τιμή του συντελεστή λ του A(aq). Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

β) Να υπολογίσετε την ενθαλπία (ΔH) της αντίδρασης.

9.53. Μία βιομηχανία θέλει να παρασκευάσει το προϊόν Γ(g) με βάση την αντίδραση (1) που ακολουθεί.

$$2A(g) + B(s) \rightarrow 3\Gamma(g),\ \Delta H = -150\ kJ \quad (1)$$

Ο αντιδραστήρας στον οποίο γίνεται η αντίδραση τροφοδοτείται συνεχώς με αντιδρώντα και παραλαμβάνεται συνεχώς το προϊόν Γ. Για να μην αυξηθεί η θερμοκρασία στον αντιδραστήρα στον οποίο διεξάγεται η αντίδραση, ο υπεύθυνος χημικός μηχανικός αποφασίζει μέσα στον αντιδραστήρα να βάλει έναν άλλο μικρότερο αντιδραστήρα στον οποίο να παράγεται ένα άλλο χρήσιμο προϊόν, το Z(g), με βάση την αντίδραση (2):

$$\Delta(g) + 2E(g) \rightarrow 2Z(g),\ \Delta H = +250\ kJ \quad (2)$$

Αν το σώμα Γ στο μεγάλο αντιδραστήρα παράγεται με σταθερό ρυθμό 0,05 $mol \cdot min^{-1}$, με ποιο σταθερό ρυθμό (σε $mol \cdot min^{-1}$) πρέπει να παράγεται το σώμα Z(g) ώστε να απορροφάται το 80% του ποσού θερμότητας που παράγεται από την αντίδραση (1);

9.54. Οι ενώσεις LiBr(s) και KBr(s) διαλύονται εύκολα στο νερό σύμφωνα με τις παρακάτω θερμοχημικές εξισώσεις.

$$LiBr(s) \rightarrow Li^+(aq) + Br^-(aq),\ \Delta H = -50\ kJ$$

$$KBr(s) \rightarrow K^+(aq) + Br^-(aq),\ \Delta H = +20\ kJ$$

α) Ποσότητα KBr(s) διαλύεται σε νερό θερμοκρασίας 25 °C. Να εξηγήσετε αν η θερμοκρασία του νερού θα αυξηθεί, θα μειωθεί ή θα μείνει σταθερή.

β) Ποσότητα μίγματος LiBr(s) και KBr(s) διαλύεται σε νερό θερμοκρασίας 25 °C και δεν παρατηρείται μεταβολή στη θερμοκρασία του διαλύματος. Να υπολογίσετε την αναλογία μαζών των συστατικών του στερεού μίγματος.

9.55. Σε δοχείο εισάγονται 0,2 mol ένωσης A(g) και 0,2 mol ένωσης B(g) και διεξάγεται η αντίδραση που περιγράφεται με τη θερμοχημική εξίσωση:

$$A(g) + \lambda B(g) \rightarrow 2\Gamma(g),\ \Delta H^o = -180\ kJ$$

Μέχρι το τέλος της αντίδρασης παράχθηκε συνολικό ποσό θερμότητας ίσο με 18 kJ σε πρότυπες συνθήκες. Ποια είναι η τιμή του συντελεστή λ;

9.56. Ο θερμίτης είναι πυροτεχνικό μίγμα με ποικίλη σύνθεση που αποτελείται από ένα καύσιμο, συνήθως το Al και ένα οξειδωτικό (Fe_2O_3, Cr_2O_3 κτλ.). Τα συστατικά ενός θερμίτη που αποτελείται από μίγμα Al και Cr_2O_3 αντιδρούν σύμφωνα με την θερμοχημική εξίσωση που ακολουθεί.

$$2Al + Cr_2O_3 \rightarrow 2Cr + Al_2O_3,\ \Delta H$$

α) Να υπολογίσετε την ενθαλπία (ΔH) της αντίδρασης.
β) Να υπολογίσετε το ποσό θερμότητας που ελευθερώνεται κατά την ανάφλεξη ποσότητας θερμίτη αποτελούμενο από 45,6 g Cr_2O_3 και 10,8 g Al.
Οι ενθαλπίες σχηματισμού του Al_2O_3 και του Cr_2O_3 είναι ίσες με $-1675\ kJ\cdot mol^{-1}$ και $-1130\ kJ\cdot mol^{-1}$, αντίστοιχα.

9.57. Αέριο μίγμα έχει όγκο 11,2 L σε STP και αποτελείται από $N_2(g)$ και $H_2(g)$. Το μίγμα αντιδρά σύμφωνα με τη θερμοχημική εξίσωση:

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g),\ \Delta H = -92\ kJ$$

Αν μέχρι την ολοκλήρωση της αντίδρασης ελευθερώθηκε ποσό θερμότητας ίσο με 9,2 kJ, να υπολογιστούν:
α) Η μάζα της $NH_3(g)$ που σχηματίστηκε.
β) Η σύσταση (σε mol) του αρχικού μίγματος.

9.58. Σε δοχείο εισάγονται x mol $H_2(g)$, y mol $Cl_2(g)$ και ω mol $I_2(s)$ τα οποία αντιδρούν σύμφωνα με τις εξισώσεις:

$$H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g) \text{ και } H_2(g) + I_2(s) \rightarrow 2HI(g)$$

Μετά το τέλος της διαδικασίας στο δοχείο υπάρχει μόνο μίγμα των δύο οξέων ενώ δεν προκύπτει θερμική μεταβολή, δηλαδή δεν έχει εκλυθεί ούτε απορροφηθεί θερμότητα από το σύστημα.
Να υπολογίσετε:
α) Το λόγο των mol των παραγόμενων οξέων, n_{HCl}/n_{HI}.
β) Το λόγο x/y.
Οι ενθαλπίες σχηματισμού του HCl(g) και του HI(g) είναι ίσες με $-90\ kJ\cdot mol^{-1}$ και $25\ kJ\cdot mol^{-1}$, αντίστοιχα.

9.59. Μίγμα δύο οξέων ΗΑ και ΗΒ απαιτεί για την εξουδετέρωση 200 mL διαλύματος NaOH 0,25 M, σύμφωνα με τις θερμοχημικές εξισώσεις:

$$HA(aq) + NaOH(aq) \rightarrow NaA(aq) + H_2O(\ell),\ \Delta H^o = -15\ kJ$$
$$HB(aq) + NaOH(aq) \rightarrow NaB(aq) + H_2O(\ell),\ \Delta H^o = -20\ kJ$$

Από τις αντιδράσεις εξουδετέρωσης προκύπτει συνολικά ποσό θερμότητας ίσο με 800 J σε πρότυπες συνθήκες.
α) Να εξηγήσετε αν τα οξέα ΗΑ και ΗΒ είναι ισχυρά ή ασθενή. Δίνεται: $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O,\ \Delta H^o = -57\ kJ$.
β) Ποια η σύσταση (σε mol) του μίγματος των δύο οξέων;

9.60. 8 g ενός αέριου αλκινίου (C_vH_{2v-2}) καίγονται πλήρως με O_2 και παράγεται ποσό θερμότητας ίσο με 387 kJ σε πρότυπες συνθήκες. Ίση ποσότητα του ίδιου αλκινίου απαιτεί για την πλήρη υδρογόνωση 8,96 L $H_2(g)$ (σε STP συνθήκες), σύμφωνα με την εξίσωση:

$$C_vH_{2v-2} + 2H_2 \rightarrow C_vH_{2v+2}$$

Να προσδιοριστούν:
α) Ο μοριακός τύπος του αλκινίου.
β) Η πρότυπη ενθαλπία καύσης του αλκινίου.
γ) Η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του αλκινίου.
Δίνονται:
– Η πρότυπη ενθαλπία καύσης του C(s): $-394\ kJ\cdot mol^{-1}$.
– Η πρότυπη ενθαλπία καύσης του $H_2(g)$: $-286\ kJ\cdot mol^{-1}$.

9.61. 1 mol ακετυλενίου (C_2H_2) πλήρως αντιδρά με την κατάλληλη ποσότητα $H_2(g)$ παρουσία καταλύτη σύμφωνα με τις παρακάτω χημικές εξισώσεις (1) και (2).

$$C_2H_2(g) + H_2(g) \rightarrow C_2H_4(g) \quad (1)$$
$$C_2H_2(g) + 2H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g) \quad (2)$$

α) Να υπολογίσετε τις ενθαλπίες των αντιδράσεων (1) και (2).
Δίνονται οι ενθαλπίες σχηματισμού:
– Του $C_2H_2(g)$ ίση με $228\ kJ\cdot mol^{-1}$.
– Του $C_2H_4(g)$ ίση με $52\ kJ\cdot mol^{-1}$.
– Του $C_2H_6(g)$ ίση με $-84\ kJ\cdot mol^{-1}$.
Το αέριο μίγμα μετά την αντίδραση αποτελείται από C_2H_4 και C_2H_6 ενώ δεν περιέχει καθόλου C_2H_2. Από την όλη διαδικασία εκλύεται ποσό θερμότητας ίσο με 244 kJ.
β) Να υπολογίσετε τις ποσότητες του C_2H_4 και C_2H_6 στο μίγμα που προκύπτει μετά τις αντιδράσεις (1) και (2) .

9.62. Αέριο μίγμα σε δοχείο περιέχει συνολικά 13 mol από τα αέρια CH_4, C_2H_4 και O_2. Το μίγμα αναφλέγεται και οι οργανικές ενώσεις καίγονται, εκλύοντας 3200 kJ. Στο δοχείο απομένουν 3 mol από την αρχική ποσότητα του O_2. Να προσδιορίσετε την σύσταση του αρχικού μίγματος, αν γνωρίζετε ότι κατά την τέλεια καύση 0,1 mol CH_4 εκλύονται 90 kJ και κατά την τέλεια καύση 1 g C_2H_4 εκλύονται 50 kJ. Όλες οι μετρήσεις θερμότητας πραγματοποιούνται στις ίδιες συνθήκες. [ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2024]

9.63. Σε ανοικτό κλίβανο παραγωγής ασβέστη, CaO(s), εισάγεται ποσότητα $CaCO_3(s)$ και πραγματοποιείται η αντίδραση (1): $CaCO_3(s) \rightarrow CaO(s) + CO_2(g),\ \Delta H = 180\ kJ$ (1).
Σε κάποιο χρονικό διάστημα $\Delta t = 2$ min ο ρυθμός μείωσης της μάζας του κλιβάνου λόγω της έκλυσης του $CO_2(g)$ στην ατμόσφαιρα είναι $0{,}968\ kg\cdot min^{-1}$.
α) Για το χρονικό διάστημα Δt να υπολογιστούν:
i. Ο ρυθμός παραγωγής του ασβέστη, CaO(s), σε $kg\cdot min^{-1}$.
ii. Το ποσό θερμότητας σε kJ που απορροφάται από την αντίδραση (1).
β) Το ποσό θερμότητας που απαιτείται από την αντίδραση (1) προσφέρεται από την καύση φυσικού αερίου που θεωρούμε ότι αποτελείται αποκλειστικά από $CH_4(g)$. Από την αντίδραση (1) παραγωγής του ασβέστη απορροφάται το 80% του παραγόμενου ποσού θερμότητας από την καύση του φυσικού αερίου.
Να υπολογίσετε:
i. Την ποσότητα (σε mol) του φυσικού αερίου που κάηκε το χρονικό διάστημα Δt.
ii. Τη μάζα του $CO_2(g)$ σε kg με την οποία επιβαρύνεται το περιβάλλον από την όλη βιομηχανική δραστηριότητα για το χρονικό διάστημα Δt.
Η ενθαλπία καύσης του $CH_4(g)$ είναι ίση με $-900\ kJ\cdot mol^{-1}$.

9.64. Το υδρογόνο είναι ένα καύσιμο πολύ πιο φιλικό για το περιβάλλον σε σχέση με το φυσικό αέριο (CH_4) και προκύπτει από την αντίδραση αποσύνθεσης του H_2O σύμφωνα με την αντίδραση (1): $2H_2O(\ell) \rightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$, $\Delta H^o = +572$ kJ (1). Η αντίδραση αυτή είναι ενδόθερμη και επομένως απαιτεί ενέργεια για την πραγματοποίησή της, π.χ. ηλεκτρική ενέργεια. Παράλληλα, έχουν ερευνηθεί διάφοροι έμμεσοι τρόποι παραγωγής του υδρογόνου από το H_2O με μικρότερο κόστος και με τη χρήση αντιδραστηρίων που μπορούν εύκολα να ανακυκλωθούν. Ένα παράδειγμα είναι η διαδικασία που ακολουθεί και η οποία περιλαμβάνει τις αντιδράσεις (2), (3) και (4).

$3FeCl_2(s) + 4H_2O(g) \rightarrow Fe_3O_4(s) + 6HCl(g) + H_2(g)$, $\Delta H^o = +318$ kJ (2)

$2Fe_3O_4(s) + 3Cl_2(g) + 12HCl(g) \rightarrow 6FeCl_3(s) + 6H_2O(g) + O_2(g)$, $\Delta H^o = -498$ kJ (3)

$6FeCl_3(s) \rightarrow 6FeCl_2(s) + 3Cl_2(g)$, $\Delta H^o = +346$ kJ (4)

α) Να υπολογίσετε την πρότυπη ενθαλπία διάσπασης του νερού με βάση τις θερμοχημικές εξισώσεις (2), (3) και (4).

β) Να εξηγήσετε γιατί η ενθαλπία που υπολογίσατε είναι μικρότερη σε σχέση με την ενθαλπία της αντίδρασης (1).

Χημεία και… τέρατα: «Η δημοκρατία δεν έχει ανάγκη από σοφούς!»



Antoine Laurent Lavoisier, ο πατέρας της μοντέρνας Χημείας, γεννημένος στο Παρίσι τον Αύγουστο του 1743 από πολύ πλούσια οικογένεια. Σπούδασε Χημεία, Βοτανική, Αστρονομία και Μαθηματικά.

Εξήγησε –μεταξύ πολλών άλλων – το φαινόμενο της καύσης και το φαινόμενο της αναπνοής με τη χρήση χημικών αντιδράσεων και τη συμμετοχή ενός συστατικού του αέρα που ο ίδιος ονόμασε οξυγόνο. Διατύπωσε τον περίφημο νόμο διατήρησης της μάζας στις χημικές αντιδράσεις μετά από πολλά, πολλά πειράματα στο εργαστήριό του. Κατά τη γαλλική επανάσταση κατηγορήθηκε για αντεπαναστατική δράση και εκτελέστηκε στην γκιλοτίνα στις 8 Μαΐου του 1794. Οι φίλοι του ζήτησαν χάρη από το δικαστήριο, αλλά απορρίφθηκε με το αιτιολογικό ότι «η δημοκρατία δεν έχει ανάγκη από σοφούς». Δύο χρόνια μετά αποδείχθηκε ότι ήταν αθώος!

Ο Henry Guerlac στο βιβλίο του, *Antoine-Laurent Lavoisier: Chemist and Revolutionary,* αναφέρει: «Χρειάστηκε μόνο μια στιγμή για να κόψουν αυτό το κεφάλι, αλλά πολλά χρόνια για να γεννηθεί ένα άλλο σαν αυτό…».

Χημεία και… τέρατα: «Υδρογόνο, το καύσιμο από το… μέλλον!»

Από τα τέλη της δεκαετίας του ’90, πολλοί Έλληνες επιστήμονες που εργάζονται σε Πανεπιστήμια, σε αυτοκινητοβιομηχανίες αλλά και σε μεγάλες εταιρείες εμπορίας καυσίμων άρχισαν να επικεντρώνουν την προσοχή τους στο H_2 ως καύσιμο. Μελέτες για τους τρόπους παραγωγής υδρογόνου με διάφορες μεθόδους όπως με τη χρήση βιοαιθανόλης ή από το βιοαέριο έχουν ήδη δρομολογηθεί για το ενεργειακό μας μέλλον.

Οι καινοτόμες αυτές προτάσεις παρουσιάστηκαν στο πρώτο Εθνικό Συνέδριο Τεχνολογιών Υδρογόνου, που πραγματοποιήθηκε εδώ και κάποια χρόνια στο τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Αθηνών. Σημαντικό είναι ότι στο συνέδριο παρουσιάστηκαν και ελληνικές έρευνες οι οποίες χρηματοδοτήθηκαν από φορείς του εξωτερικού. Ομάδα ειδικών παρουσίασε μελέτη για την πρόληψη κινδύνων σε περίπτωση ατυχήματος. Η μελέτη παραγγέλθηκε από το Χονγκ Κονγκ διότι οι αρχές εκεί αποφάσισαν να δρομολογήσουν τρία λεωφορεία με κινητήρες υδρογόνου και θα έπρεπε να διασφαλίσουν ότι δεν θα κινδυνέψει η ζωή των επιβατών σε περίπτωση ατυχήματος.



«Το σημαντικότερο ήταν ότι επιστήμονες και στελέχη εταιρειών συμφωνήσαμε πως η Ελλάδα, σε επιστημονικό επίπεδο, έχει πολύ υψηλή τεχνογνωσία πάνω στη νέα αυτή μορφή ενέργειας. Και έγινε κατανοητό πως σε μερικά χρόνια, όταν το υδρογόνο θα αρχίσει να διεκδικεί ρυθμιστικό ρόλο στην παγκόσμια οικονομία, εμείς δεν θα μείνουμε πίσω», εξηγεί η αναπληρώτρια καθηγήτρια Χημείας στο Πανεπιστήμιο Αθηνών και πρόεδρος της Ελληνικής Εταιρείας Υδρογόνου Χριστιάνα Μητσοπούλου.

Τις μελέτες που αφορούσαν στην αποθήκευση H_2 εκτός από οκτώ στελέχη της ΔΕΠΑ άκουσαν και στελέχη της εταιρείας πετρελαιοειδών Motor Oil, σημειώνει η καθηγήτρια. Η εταιρεία παράγει υδρογόνο και το αποθηκεύει επειδή τής είναι χρήσιμο για την παραγωγή καθαρού καυσίμου (όταν υδρογονώνεται η βενζίνη μειώνεται η περιεκτικότητά της σε θείο). Στο συνέδριο αναλύθηκαν επίσης προτάσεις για την αποθήκευση υδρογόνου σε νανοσωλήνες άνθρακα, σε πορώδεις δομές άνθρακα κτλ.

Αν και η αγορά πετρελαίου δεν θα έχει ισχυρή κάμψη πριν από το 2050, η εποχή του υδρογόνου δεν θα ανατείλει όταν στραγγίζουν οι πετρελαιοπηγές αλλά πολύ νωρίτερα. Είναι γνωστή η διαμάχη δύο αντιμαχόμενων στρατοπέδων από ειδικούς ενεργειολόγους, που οι μεν τοποθετούν τα πρώτα σημάδια έλλειψης του μαύρου χρυσού σε βάθος χρόνου λίγων δεκαετιών, οι δε θεωρούν άγνωστο τον χρόνο εξάντλησης καθώς εντοπίζονται νέα κοιτάσματα και βελτιώνονται οι τεχνικές άντλησης.

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 9

Στις παρακάτω ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής 1-5 να σημειώσετε απλώς τη σωστή απάντηση.

1. Στις εξώθερμες αντιδράσεις ισχύει:
Α) $\Delta H = 0$ Β) $\Delta H < 0$ Γ) $H_{αντ.} < H_{πρ.}$
Δ) Τίποτα από τα παραπάνω [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

2. Ενδόθερμη αντίδραση είναι η μετατροπή:
Α) $C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$
Β) $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$
Γ) $Mg(g) \rightarrow Mg^+(g) + e^-$
Δ) $NaOH(aq) + HCl(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(\ell)$
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

3. Ποια από τις παρακάτω χημικές εξισώσεις αναφέρεται στην ενθαλπία σχηματισμού του $CH_3COOH(\ell)$;
Α) $2C(γρ.) + 2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow CH_3COOH(\ell)$
Β) $2C(γρ.) + 4H(g) + 2O(g) \rightarrow CH_3COOH(\ell)$
Γ) $CH_3CHO(\ell) + \frac{1}{2} O_2(g) \rightarrow CH_3COOH(\ell)$
Δ) Οποιαδήποτε από τις παραπάνω χημικές εξισώσεις

4. Οι δύο μορφές του άνθρακα στη φύση είναι ο γραφίτης ($C_{γραφ}$) και το διαμάντι ($C_{διαμ}$) και ισχύει:

$C_{γραφ} \rightarrow C_{διαμ}$, $\Delta H = +1,9$ kJ

Από τα δεδομένα αυτά συμπεραίνουμε ότι:
Α) το 1 mol $C_{διαμ.}$ έχει ενθαλπία ίση με 1,9 kJ
Β) το 1 mol $C_{γραφ.}$ έχει μεγαλύτερη ενθαλπία από το 1 mol $C_{διαμ}$ στις ίδιες συνθήκες
Γ) ο $C_{γραφ}$ είναι η πρότυπη μορφή του άνθρακα
Δ) το $C_{διαμ}$ είναι η θερμοδυναμικά σταθερότερη μορφή του άνθρακα

5. Σε ποια από τις παρακάτω θερμοχημικές εξισώσεις η πρότυπη ενθαλπία της αντίδρασης δεν αντιστοιχεί στην πρότυπη ενθαλπία καύσης του αντίστοιχου στοιχείου ή της χημικής ένωσης;

Α) $CO(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$, $\Delta H° = -283$ kJ
Β) $C(s,γραφίτης) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$, $\Delta H° = -393$ kJ
Γ) $\frac{1}{2} N_2(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \rightarrow NO(g)$, $\Delta H° = +90$ kJ
Δ) $CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(\ell)$, $\Delta H° = -890$ kJ

---

6. Οι παρακάτω χημικές αντιδράσεις είναι εξώθερμες.

$2P(s) + \frac{5}{2} O_2(g) \rightarrow P_2O_5(s)$, ΔH_1 $2P(s) + \frac{5}{2} O_2(g) \rightarrow P_2O_5(\ell)$, ΔH_2

Να συγκρίνετε τις απόλυτες τιμές των ΔH_1 και ΔH_2 και να αιτιολογήσετε την απάντησή σας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

.....

.....

.....

.....

.....

7. Δίνονται οι θερμοχημικές εξισώσεις καύσης του C(s) και του CO(g):

$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$, $\Delta H^o = \alpha$ kcal και $CO(g) + 1/2O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$, $\Delta H^o = \beta$ kcal

α) Να εξηγήσετε αν οι αριθμοί α, β είναι θετικοί ή αρνητικοί.
β) Με βάση τα δεδομένα αυτά να αντιστοιχήσετε τις χημικές εξισώσεις της στήλης Ι με τις πρότυπες ενθαλπίες της στήλης ΙΙ.

	(Ι)		(ΙΙ)
Α.	$2CO_2(g) \rightarrow 2CO(g) + O_2(g)$	1.	$2\cdot(\alpha - \beta)$ kcal
Β.	$2CO_2(g) \rightarrow 2C(s) + 2O_2(g)$	2.	-2α kcal
Γ.	$2C(s) + O_2(g) \rightarrow 2CO(g)$	3.	$(\beta - \alpha)$ kcal
Δ.	$CO(g) \rightarrow C(s) + \frac{1}{2} O_2(g)$	4.	-2β kcal

8. Η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού ενός αλκενίου (C_vH_{2v}) είναι ίση με +20 kJ·mol^{-1} ενώ η πρότυπη ενθαλπία καύσης του ίδιου αλκενίου είναι ίση με −2060 kJ·mol^{-1}. Αν είναι επίσης γνωστές οι πρότυπες ενθαλπίες σχηματισμού του $H_2O(\ell)$ και του $CO_2(g)$, αντίστοιχα ίσες με −285 kJ·mol^{-1} και −395 kJ·mol^{-1}, να προσδιορίσετε το μοριακό και το συντακτικό τύπο του αλκενίου.

.....

.....

.....

.....

.....

9. Η ουρία (H_2NCONH_2, M_r = 60) αντιδρά με νερό (H_2O) σε κατάλληλες συνθήκες και πραγματοποιείται η αντίδραση που παριστάνεται με τη θερμοχημική εξίσωση που ακολουθεί.

$$H_2NCONH_2(aq) + H_2O(\ell) \rightarrow 2NH_3(g) + CO_2(g),\ \Delta H^0$$

Να υπολογίσετε το ποσό της θερμότητας που εκλύεται ή απορροφάται από την αντίδραση 6 g ουρίας σύμφωνα με την παραπάνω θερμοχημική εξίσωση.

Δίνονται οι πρότυπες ενθαλπίες σχηματισμού, της $H_2NCONH_2(aq)$ ίση με −320 kJ·mol^{-1}, της $NH_3(g)$ ίση με −46 kJ·mol^{-1}, του $CO_2(g)$ ίση −394 kJ·mol^{-1} και του $H_2O(\ell)$ ίση με −286 kJ·mol^{-1}. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2023]

.....

.....

.....

.....

.....

10. Η γλυκόζη ($C_6H_{12}O_6$) είναι μία στερεή, λευκή ουσία πολύ σημαντική για τον οργανισμό. Η πρότυπη ενθαλπία καύσης της είναι −2800 kJ·mol^{-1}.

α) i. Να γράψετε τη θερμοχημική εξίσωση καύσης της γλυκόζης.

ii. Να υπολογίσετε το ποσό θερμότητας που παράγεται (σε πρότυπες συνθήκες) κατά την καύση 9 g γλυκόζης.

β) Μία σημαντική αντίδραση της γλυκόζης είναι η αλκοολική ζύμωση με την οποία προκύπτει αιθανόλη και διοξείδιο του άνθρακα, παρουσία ενζύμου σύμφωνα με τη χημική εξίσωση:

$$C_6H_{12}O_6(aq) \rightarrow 2CH_3CH_2OH(aq) + 2CO_2(g),\ \Delta H^o = -85\ kJ$$

Κατά την αλκοολική ζύμωση υδατικού διαλύματος γλυκόζης σχηματίζονται 8,96 L $CO_2(g)$ σε STP.

i. Ποια η ποσότητα της αιθανόλης (σε g) που σχηματίστηκε;

ii. Ποιο το ποσό θερμότητας που παράγεται (σε πρότυπες συνθήκες) κατά την αλκοολική ζύμωση;

Σχετικές ατομικές μάζες, C:12, H:1, O:16.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΑ (4)
ΘΕΡΜΟΧΗΜΕΙΑ

Θέμα Α

Για τις παρακάτω ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής Α1-Α4 να γράψετε απλώς το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση.

Α1. Τι από τα παρακάτω ισχύει όταν μία αντίδραση για να γίνει απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον;

Α) Είναι εξώθερμη αντίδραση με $\Delta H > 0$ Β) Είναι εξώθερμη αντίδραση με $\Delta H < 0$

Γ) Είναι ενδόθερμη αντίδραση με $\Delta H > 0$ Δ) Είναι ενδόθερμη αντίδραση με $\Delta H < 0$

Α2. Το θείο είναι στερεό στοιχείο που απαντάται στη φύση με δύο κρυσταλλικές μορφές, το μονοκλινές και το ρομβικό θείο. Η ενθαλπία σχηματισμού του μονοκλινούς θείου είναι 0,3 $kJ \cdot mol^{-1}$, ενώ του ρομβικού είναι ίση με μηδέν. Με βάση τα δεδομένα αυτά, ποια από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι η σωστή;

Α) Η πιο σταθερή μορφή θείου είναι το ρομβικό θείο

Β) Η ενθαλπία της μετατροπής του μονοκλινούς θείου σε ρομβικό είναι θετική

Γ) Η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του H_2S αντιστοιχεί στην ενθαλπία της αντίδρασης:

$$S(\text{μονοκλινές}) + H_2(g) \rightarrow H_2S(g)$$

Δ) Η πιο σταθερή μορφή θείου είναι το μονοκλινές θείο

Α3. Η τιμή της πρότυπης ενθαλπίας σχηματισμού του γραφίτη ($C_{γρ}$):

Α) είναι ίση με μηδέν Β) είναι θετική Γ) είναι αρνητική

Δ) είναι μεγαλύτερη από την πρότυπη ενθαλπίας σχηματισμού του διαμαντιού ($C_{διαμ}$)

Α4. Δίνεται η θερμοχημική εξίσωση, $2C(s) + O_2(g) \rightarrow 2CO(g)$, $\Delta H^o = -220$ kJ, καθώς και οι προτάσεις 1, 2 και 3 που ακολουθούν.

1. Η αντίδραση είναι εξώθερμη.
2. Η καύση 0,5 mol C παράγει ποσό θερμότητας ίσο με 55 kJ σε πρότυπες συνθήκες
3. Η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του CO(g) είναι ίση με -220 $kJ \cdot mol^{-1}$

Ποια-ες από τις προτάσεις 1, 2 και 3 είναι σωστή-ές;

Α) Μόνο η 1 Β) Μόνο η 2 Γ) Οι 1 και 2 Δ) Όλες

Α5. Δίνεται η θερμοχημική εξίσωση: $2KCl(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2KClO_3(s)$, $\Delta H^o = -90$ kJ. Με βάση την εξίσωση αυτή, να χαρακτηρίσετε τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές (Σ) ή λανθασμένες (Λ). Δεν απαιτείται αιτιολόγηση.

α) Η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του $KClO_3(s)$ είναι ίση με -45 $kJ \cdot mol^{-1}$.

β) Η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του $KClO_3(s)$ είναι ίση με -90 $kJ \cdot mol^{-1}$.

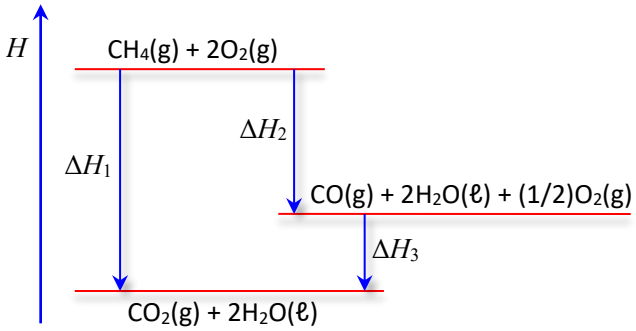
γ) Αν πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του KCl(s) είναι ίση με -440 $kJ \cdot mol^{-1}$, τότε η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του $KClO_3(s)$ θα είναι ίση με -485 $kJ \cdot mol^{-1}$.

δ) Η πρότυπη ενθαλπία της αντίδρασης, $KClO_3(s) \rightarrow KCl(s) + \frac{3}{2} O_2(g)$, είναι 45 kJ.

ε) Για να διασπαστεί 1 mol $KClO_3(s)$ σε KCl(s) και $O_2(g)$ σε πρότυπες συνθήκες απαιτείται ποσό θερμότητας ίσο με 45 kJ.

Θέμα Β

Β1. Δίνεται το διπλανό διάγραμμα ενθαλπιών.



α) i. Από τις τιμές ενθαλπιών που ακολουθούν να επιλέξετε αυτές που μπορεί να αντιστοιχούν στις τιμές των ΔH_1, ΔH_2 και ΔH_3.
−890 kJ, −802 kJ, −607 kJ, +283 kJ, −283 kJ, −164 kJ, +164
ii. Να αιτιολογήσετε τις επιλογές σας.
β) Με βάση τις παραπάνω τιμές, ποια είναι η ενθαλπία καύσης του $CH_4(g)$ και ποια η ενθαλπία καύσης του CO(g); Να σημειώσετε την τιμή και την μονάδα σε κάθε περίπτωση. Δεν απαιτείται αιτιολόγηση.
Όλες οι ενθαλπίες αντιστοιχούν σε πρότυπες συνθήκες.

Β2. α) Ποια από τις σχέσεις που ακολουθούν συνδέει την πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του CO(g) με την πρότυπη ενθαλπία καύσης του C με τη μορφή γραφίτη ($C_{γραφ.}$) και την πρότυπη ενθαλπία καύσης του CO(g);

1. $\Delta H_f^\circ(CO(g)) = \Delta H_c^\circ(C_{γραφ}) - \Delta H_c^\circ(CO(g))$
2. $\Delta H_f^\circ(CO(g)) = 2\cdot[\Delta H_c^\circ(C_{γραφ}) - \Delta H_c^\circ(CO(g))]$
3. $\Delta H_f^\circ(CO(g)) = \Delta H_c^\circ(C_{γραφ}) + \Delta H_c^\circ(CO(g))$
4. $2\cdot\Delta H_f^\circ(CO(g)) = \Delta H_c^\circ(C_{γραφ}) - 2\cdot\Delta H_c^\circ(CO(g))$

β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

Β3. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι πρότυπες ενθαλπίες σχηματισμού κάποιων ουσιών.

Ουσία	$H_2O(\ell)$	$CO_2(g)$	$C_2H_6(g)$	$C_2H_4(g)$
ΔH_f° / kJ·mol^{-1}	−286	−393	−84	+53

α) Με βάση τα δεδομένα του πίνακα, να υπολογίσετε τις πρότυπες ενθαλπίες καύσης του C_2H_6, του C_2H_4 και του H_2.
β) Να υπολογίσετε την πρότυπη ενθαλπία της αντίδρασης:

$$C_2H_4(g) + H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g)$$

Β4. Διαθέτουμε δύο υδατικά διαλύματα όγκου 100 mL το καθένα, ένα CH_3COOH 0,1 M και ένα άλλο HCl 0,1 M. Τα δύο διαλύματα εξουδετερώνονται ακριβώς με διάλυμα NaOH 0,1 M. Στο πρώτο διάλυμα παράγεται ποσό θερμότητας q_1 και στο δεύτερο ποσό θερμότητας q_2.
α) Για τα ποσά αυτά θερμότητας ισχύει: 1. $q_1 = q_2$ 2. $q_1 > q_2$ 3. $q_1 < q_2$
β) Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

Θέμα Γ

Γ1. Τόσο η υδραζίνη, $N_2H_4(\ell)$, όσο και η αμμωνία, $NH_3(g)$, καίγονται με $O_2(g)$, παράγοντας $H_2O(\ell)$ και $N_2(g)$. Να υπολογίσετε:
α) Τις πρότυπες ενθαλπίες καύσης της $N_2H_4(\ell)$ και της $NH_3(g)$.
β) Την πρότυπη ενθαλπία της αντίδρασης (1): $3N_2H_4(\ell) \rightarrow 4NH_3(g) + N_2(g)$ (1)
γ) Το ποσό θερμότητας, μετρημένο σε πρότυπες συνθήκες, που παράγεται ή απαιτείται κατά την παραγωγή 34 g $NH_3(g)$:
i. Σύμφωνα με την αντίδραση (1). ii. Από τα συστατικά της στοιχεία.
Δίνονται οι πρότυπες ενθαλπίες σχηματισμού της $N_2H_4(\ell)$, της $NH_3(g)$ και του $H_2O(\ell)$, αντίστοιχα ίσες με 50 kJ·mol^{-1}, −46 kJ·mol^{-1} και −286 kJ·mol^{-1}. Σχετικές ατομικές μάζες, N:14, H:1.

Γ2. Οι ενώσεις A(s) και B(g) αντιδρούν σύμφωνα με τις θερμοχημικές εξισώσεις (1) και (2) που ακολουθούν.

$2A(s) + B(g) \rightarrow Γ(g)$, $\Delta H = -60$ kJ

$A(s) + 2B(g) \rightarrow Δ(g)$, $\Delta H = +120$ kJ

x mol A(s) και y mol B(g) αντιδρούν σε κλειστό δοχείο σύμφωνα με τις παραπάνω θερμοχημικές εξισώσεις και δεν παρατηρείται θερμική μεταβολή, δηλαδή δεν παρατηρείται συνολικά έκλυση ή απορρόφησης θερμότητας. Μετά το τέλος της αντίδρασης στο δοχείο προσδιορίζονται μόνο τα αέρια Γ(g) και Δ(g) ενώ οι ποσότητες των αερίων A(g) και B(g) έχουν εξαντληθεί. Να υπολογιστεί η αναλογία (x/y). Οι ενθαλπίες και τα ποσά θερμότητας αντιστοιχούν σε πρότυπες συνθήκες.

Γ3. Αέριο μίγμα όγκου 11,2 L σε STP αποτελείται από $SO_2(g)$ και $O_2(g)$. Το μίγμα αντιδρά σε κατάλληλες συνθήκες σύμφωνα με τη θερμοχημική εξίσωση:

$2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g)$, $\Delta H = -200$ kJ

Αν μέχρι την ολοκλήρωση της αντίδρασης ελευθερώθηκε συνολικό ποσό θερμότητας ίσο με 20 kJ, να υπολογιστούν:

α) Η μάζα του $SO_3(g)$ που σχηματίστηκε.

β) Η σύσταση (σε mol) του αρχικού μίγματος.

Το ποσό θερμότητας και οι ενθαλπίες αντιστοιχούν στις ίδιες συνθήκες. Σχετικές ατομικές μάζες, S:32, O:16.

Θέμα Δ

Δ1. Ισομοριακό μίγμα $C_3H_8(g)$ και $C_4H_{10}(g)$ έχει όγκο 8,96 L (σε STP). Το μίγμα καίγεται πλήρως με την απαιτούμενη ποσότητα O_2 και το 90% του συνολικού ποσού θερμότητας (q) που παράγεται από την καύση χρησιμοποιείται στη διάσπαση του $CaCO_3(s)$, σύμφωνα με τη χημική εξίσωση:

$CaCO_3(s) \rightarrow CaO(s) + CO_2(g)$, $\Delta H = +180$ kJ

Παράγονται έτσι 280 g CaO(s). Να υπολογιστούν:

α) Το παραγόμενο ποσό θερμότητας q από την καύση του μίγματος των δύο υδρογονανθράκων, μετρημένο σε πρότυπες συνθήκες.

β) Η πρότυπη ενθαλπία της καύσης του $C_4H_{10}(g)$.

Η πρότυπη ενθαλπία καύσης του $C_3H_8(g)$ να θεωρηθεί ίση με -2200 kJ·mol^{-1}. Σχετικές ατομικές μάζες, Ca:40, O:16.

Δ2. Η πρότυπη ενθαλπία καύσης ενός αλκινίου (C_vH_{2v-2}) είναι ίση με -1300 kJ·mol^{-1} και η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του ίση με 227 kJ·mol^{-1}. Αν είναι επίσης γνωστές οι πρότυπες ενθαλπίες καύσης του C και του H_2 ίσες με $-393,5$ kJ·mol^{-1} και -286 kJ·mol^{-1} να προσδιοριστεί ο μοριακός τύπος του αλκινίου.

Δ3. Σε κλειστό δοχείο εισάγονται 0,5 mol NO(g) και λ mol $O_2(g)$ οπότε σε κατάλληλες συνθήκες διεξάγεται η αντίδραση που περιγράφεται από την εξίσωση που ακολουθεί.

$2NO(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO_2(g)$, $\Delta H^o = -113$ kJ

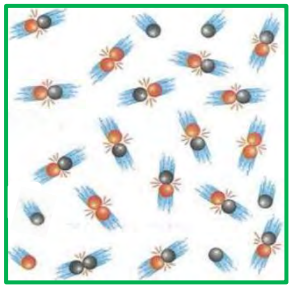
Το ποσό θερμότητας σε πρότυπες συνθήκες που εκλύεται μέχρι την ολοκλήρωση της αντίδρασης είναι ίσο με 22,6 kJ. Ποια η τιμή του λ;

Δ4. Να συγκρίνετε τις απόλυτες τιμές των ΔH^o_1 και ΔH^o_2 των αντιδράσεων που ακολουθούν και να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

$$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(g),\ \Delta H^o_1 \qquad H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(\ell),\ \Delta H^o_2$$

Χημική Κινητική





10 Χημική Κινητική - Ορισμός της Ταχύτητας Αντίδρασης

ΘΕΜΑΤΑ ΘΕΩΡΙΑΣ

1. Τι είναι η χημική κινητική

Είδαμε στο κεφάλαιο της Θερμοχημείας τις ενεργειακές μεταβολές με τη μορφή θερμότητας που συνοδεύουν μία χημική αντίδραση. Στη συνέχεια θα μας απασχολήσει μια χημική αντίδραση σε σχέση με έναν άλλο βασικό παράγοντα, το χρόνο.

Η καύση του προπανίου, C_3H_8, είναι μια ταχύτατη αντίδραση. Αντίθετα, το σκούριασμα του σιδήρου στην ατμόσφαιρα (μετατροπή του Fe σε Fe_2O_3) είναι μια αργή αντίδραση και τις περισσότερες περιπτώσεις θέλουμε να την κάνουμε ακόμη πιο αργή! Υπάρχουν επίσης και πολύ πιο αργές αντιδράσεις, τόσο πολύ αργές που πρακτικά «δε γίνονται». Με τα φαινόμενα αυτά ασχολείται ένας ειδικός κλάδος της φυσικοχημείας, η χημική κινητική. Πιο συγκεκριμένα η χημική κινητική μελετά:

Το 1884 ο van't Hoff θέτει τα θεμέλια της Χημικής Κινητικής με το περίφημο βιβλίο του «Études de dynamique chimique», ένα από τα σημαντικότερα βιβλία στην ιστορία της Χημείας.

α) Το πόσο γρήγορα ή πόσο αργά γίνεται μία αντίδραση, τον ρυθμό δηλαδή με τον οποίο τα αντιδρώντα μετασχηματίζονται στα προϊόντα (ταχύτητα αντίδρασης).
β) Τους παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα μιας αντίδρασης.
γ) Τα τυχόν ενδιάμεσα στάδια ή στοιχειώδεις αντιδράσεις που ακολουθεί μία αντίδραση για να οδηγηθεί από τα αντιδρώντα στα προϊόντα (μηχανισμός της αντίδρασης).

2. Θεωρία των συγκρούσεων

Σε ένα μίγμα αερίων H_2 και I_2 σε συνηθισμένη θερμοκρασία παράγονται 10^{10} συγκρούσεις το δευτερόλεπτο. Αν όλες αυτές οι συγκρούσεις οδηγούσαν στο σχηματισμό του προϊόντος (HI), τότε η αντίδραση θα ολοκληρωνόταν σε λιγότερο από 1 s. Στην πραγματικότητα όμως η αντίδραση είναι αργή σε θερμοκρασία δωματίου (25 °C) καθώς μόνο μία σε κάθε 10^{13} συγκρούσεις οδηγεί στο προϊόν.

Ας ξεκινήσουμε από τα «αυτονόητα». Για να αντιδράσουν δύο μόρια πρέπει να συγκρουστούν μεταξύ τους, ώστε να «σπάσουν» οι παλιοί δεσμοί και να δημιουργηθούν οι νέοι δεσμοί που αντιστοιχούν στα προϊόντα. Αυτό είναι η κεντρική ιδέα της θεωρίας των συγκρούσεων που προτάθηκε για την ερμηνεία της διεξαγωγής των διαφόρων αντιδράσεων. Σύμφωνα με θεωρία αυτή:

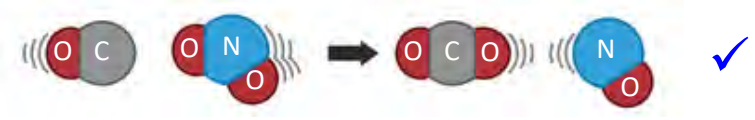
Για να είναι μία σύγκρουση μεταξύ των αντιδρώντων μορίων **αποτελεσματική** (να οδηγήσει δηλαδή σε προϊόντα) θα πρέπει να έχει την κατάλληλη (κινητική) ενέργεια και το σωστό προσανατολισμό.

Τι σημαίνει κατάλληλος προσανατολισμός σε μία σύγκρουση; Έστω π.χ. η αντίδραση,

$$CO(g) + NO_2(g) \rightarrow CO_2(g) + NO(g),$$

η οποία απαιτεί τη σύγκρουση ενός μορίου CO με ένα μόριο NO_2 κατά την οποία το άτομο C του CO προσλαμβάνει ένα επιπλέον άτομο O από το μόριο του NO_2.

Μία σύγκρουση που μπορεί να είναι αποτελεσματική εμφανίζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Αντίθετα, οι δύο συγκρούσεις που ακολουθούν δεν έχουν σωστό προσανατολισμό και δεν μπορούν να είναι αποτελεσματικές.



Τι σημαίνει κατάλληλη ενέργεια; Σημαίνει ότι τα αντιδρώντα μόρια θα πρέπει να υπερπηδήσουν ένα «φράγμα» κινητικής ενέργειας, ώστε η σύγκρουση να οδηγήσει σε αντίδραση.

Η ελάχιστη τιμή της κινητικής ενέργειας των αντιδρώντων που απαιτείται για να είναι μία σύγκρουση αποτελεσματική ονομάζεται **ενέργεια ενεργοποίησης** (E_a) και εμφανίζεται ανεξάρτητα αν η αντίδραση είναι ενδόθερμη ή εξώθερμη.

Η έννοια της ενέργειας ενεργοποίησης προτάθηκε από τον Arrhenius. Η θεωρία των συγκρούσεων προτάθηκε από το Γερμανό Max Trautz το 1916 και τον Άγγλο William Lewis το 1918.

3. Θεωρία της μεταβατικής κατάστασης

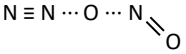
Σύμφωνα με τη θεωρία της μεταβατικής κατάστασης, κατά τη σύγκρουση τα αντιδρώντα απορροφούν ενέργεια ίση με την ενέργεια ενεργοποίησης (E_a) και σχηματίζουν ένα ασταθές σωματίδιο υψηλής ενέργειας με ενδιάμεση δομή μεταξύ αντιδρώντων και προϊόντων, το λεγόμενο ενεργοποιημένο σύμπλοκο. Το σωματίδιο αυτό διασπάται ταχύτατα σχηματίζοντας είτε τα προϊόντα είτε τα αρχικά σώματα (αντιδρώντα).

Έστω π.χ. η αντίδραση:

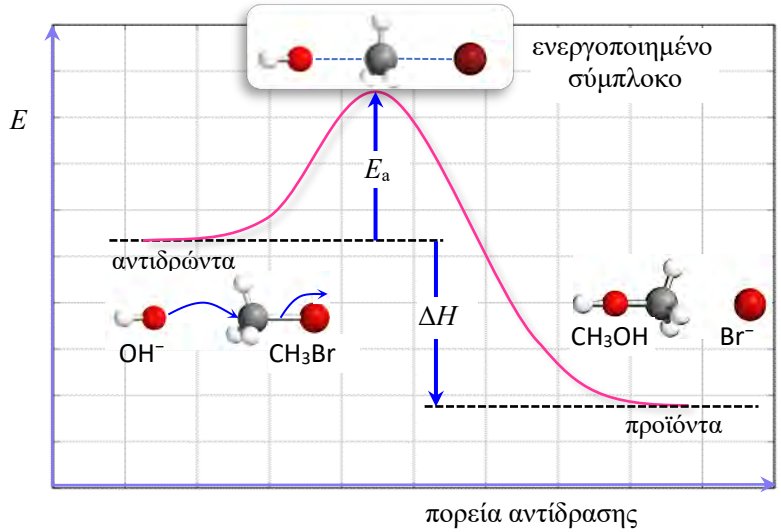
$$CH_3Br + OH^- \longrightarrow CH_3OH + Br^-,\ \Delta H < 0$$

Το ενεργειακό διάγραμμα κατά την μετατροπή των αντιδρώντων στα προϊόντα σε συνάρτηση με την πορεία της εξώθερμης αυτής αντίδρασης δίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.

Για την εξώθερμη αντίδραση, $N_2O(g) + NO(g) \rightarrow N_2(g) + NO_2(g)$, ισχύει: $E_a = 209$ kJ.
Το ενεργοποιημένο σύμπλοκο είναι της μορφής:



Παρατηρούμε ότι ο δεσμός N–O στο N_2O έχει εξασθενίσει, ενώ έχει αρχίσει να σχηματίζεται ο δεσμός O–N στο NO_2.



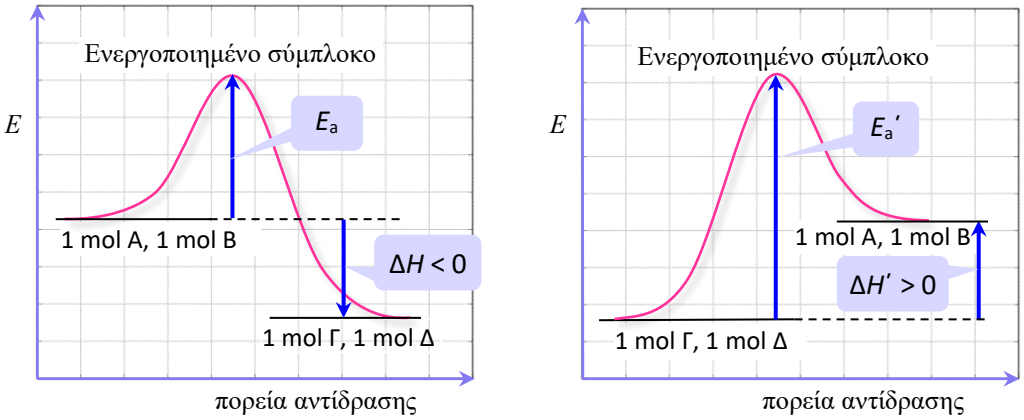
Η πορεία αντίδρασης αναφέρεται στη «διαδρομή» ελάχιστης ενέργειας από τα αντιδρώντα στα προϊόντα. Δεν αναφέρεται στη παρέλευση του χρόνου αλλά στη δημιουργία και τη διάσπαση δεσμών. Για το λόγο αυτό πιο σωστά ονομάζεται και συντεταγμένη της αντίδρασης. Π.χ. κατά την αντίδραση, X–Y + Z → X + Y–Z, το άτομο Y πλησιάζει το Z και απομακρύνεται από το X και η πορεία της αντίδρασης αντιστοιχεί στη θέση του Y στον άξονα X----Z.



Η ενέργεια ενεργοποίησης των χημικών αντιδράσεων προσομοιάζει με το ύψος του πήχη στο άλμα επί κοντώ (εδώ ο Εμμανουήλ Καραλής). Με την αύξηση της ταχύτητας του αθλητή στο διάδρομο φοράς η κινητική του ενέργεια αυξάνεται και έχει μεγαλύτερη πιθανότητα να ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο ύψος.

Η ενέργεια ενεργοποίησης στις συνηθισμένες αντιδράσεις είναι μέγεθος θετικό.

Ας δούμε τώρα στα διαγράμματα που ακολουθούν τα ενεργειακά μεγέθη που περιγράφουν μία εξώθερμη αντίδραση της μορφής, $A + B \rightarrow \Gamma + \Delta$, καθώς και την αντίστροφη αντίδραση, $\Gamma + \Delta \rightarrow A + B$ (ενδόθερμη).



Στην περίπτωση αυτή, για την αντίστροφη αντίδραση, $\Gamma + \Delta \rightarrow A + B$, ισχύουν:

$$E_a' = E_a + \Delta H' \text{ και } \Delta H' = -\Delta H > 0$$

Η ενέργεια ενεργοποίησης μιας αντίδρασης είναι το «κινητικό εμπόδιο» για να περάσουμε από τα αντιδρώντα στα προϊόντα. Έτσι, με την αύξηση της τιμής της ενέργειας ενεργοποίησης η ταχύτητα της αντίδρασης μειώνεται.

4. Ορισμός της ταχύτητας αντίδρασης

Η ταχύτητα μιας αντίδρασης είναι ο ρυθμός μετατροπής των αντιδρώντων σε προϊόντα. Προφανώς, οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων μειώνονται με την πάροδο του χρόνου, ενώ οι συγκεντρώσεις των προϊόντων αυξάνονται. Έστω π.χ. η αντίδραση:

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$$

Στην διπλανή αντίδραση η $\Delta[N_2] = [N_2]_{τελ} - [N_2]_{αρχ}$ είναι αρνητική, καθώς η $[N_2]$ μειώνεται συνεχώς κατά τη διάρκεια της αντίδρασης. Αντίθετα, στα προϊόντα η μεταβολή της συγκέντρωσης είναι θετική, καθώς η συγκέντρωσή τους αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου.

Ο μέσος ρυθμός κατανάλωσης του N_2 και του H_2 καθώς και ο μέσος ρυθμός παραγωγής της NH_3 για ένα χρονικό διάστημα Δt δίνονται, αντίστοιχα, από τις σχέσεις,

$$\upsilon_{N_2} = -\frac{\Delta[N_2]}{\Delta t},\ \upsilon_{H_2} = -\frac{\Delta[H_2]}{\Delta t},\ \upsilon_{NH_3} = \frac{\Delta[NH_3]}{\Delta t}$$

όπου $[N_2]$ η συγκέντρωση του N_2 και $\Delta[N_2]$ η μεταβολή της συγκέντρωσης του N_2 για ένα χρονικό διάστημα Δt (αντίστοιχα και για τα άλλα σώματα της αντίδρασης). Οι μεταβολές των συγκεντρώσεων των αντιδρώντων είναι αρνητικές και σε αυτές εισάγεται το πρόσημο (–) ώστε τα αντίστοιχα μεγέθη να γίνουν **θετικά**. Καθώς τα x mol N_2 αντιδρούν με 3x mol H_2 παράγοντας 2x mol NH_3, θα ισχύουν: $\upsilon_{H_2} = 3\cdot\upsilon_{N_2}$ και $\upsilon_{NH_3} = 2\cdot\upsilon_{N_2}$ Με άλλα λόγια, ο ρυθμός μείωσης της $[H_2]$ είναι 3πλάσιος από τον ρυθμό μείωσης της $[N_2]$, ενώ ο ρυθμός αύξησης της $[NH_3]$ είναι 2πλάσιος από τον ρυθμό μείωσης της $[N_2]$.

Ο ορισμός της ταχύτητας μιας αντίδρασης (σε $M\cdot s^{-1}$) δεν εκφράζεται με βάση τα **στερεά αντιδρώντα**, καθώς αντιδρούν μέσω της επιφανείας τους και όχι με την συγκέντρωσή τους. Συμβατικά, η συγκέντρωσή τους θεωρείται σταθερή και ίση με 1 M.

Για την προηγούμενη αντίδραση, η **μέση ταχύτητα** σε ένα θεωρούμενο χρονικό διάστημα Δt ορίζεται ως εξής:

$$\upsilon = -\frac{\Delta[N_2]}{\Delta t} = -\frac{1}{3}\frac{\Delta[H_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2}\frac{\Delta[NH_3]}{\Delta t}$$

Γενικότερα, η μέση ταχύτητα της αντίδρασης, $\alpha A + \beta B \rightarrow \gamma \Gamma + \delta \Delta$ (α, β, γ, δ: συντελεστές), σε κάποιο χρονικό διάστημα Δt εκφράζεται ως εξής:

$$\upsilon = -\frac{1}{\alpha}\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{1}{\beta}\frac{\Delta[B]}{\Delta t} = \frac{1}{\gamma}\frac{\Delta[\Gamma]}{\Delta t} = \frac{1}{\delta}\frac{\Delta[\Delta]}{\Delta t}$$

Προϋπόθεση για τη χρήση του ορισμού της ταχύτητας είναι να παραμένει σταθερός ο όγκος V του συστήματος σε όλη τη διάρκεια της αντίδρασης.

Μονάδες ταχύτητας αντίδρασης. Από τον παραπάνω ορισμό της ταχύτητας αντίδρασης, προκύπτει ως μονάδα το $mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}$ ή $M \cdot s^{-1}$. Για τις πιο αργές αντιδράσεις χρησιμοποιείται και η μονάδα $M \cdot min^{-1}$.

$1\ mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1} = 60\ mol \cdot L^{-1} \cdot min^{-1}$.

Στιγμιαία ταχύτητα. Η μαθηματική έκφραση για τη στιγμιαία ταχύτητα μιας χημικής αντίδρασης της γενικής μορφής: $\alpha A + \beta B \rightarrow \gamma \Gamma + \delta \Delta$, σε κάποια στιγμή t είναι η εξής:

$$\upsilon = -\frac{1}{\alpha}\frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{\beta}\frac{d[B]}{dt} = \frac{1}{\gamma}\frac{d[\Gamma]}{dt} = \frac{1}{\delta}\frac{d[\Delta]}{dt}$$

όπου d[A], d[B], d[Γ] και d[Δ] απειροελάχιστες μεταβολές των αντίστοιχων συγκεντρώσεων σε μία απειροελάχιστη μεταβολή dt του χρόνου.

Στα ελληνικά ο όρος ταχύτητα αντίδρασης είναι μάλλον ατυχής. Στα αγγλικά, ο όρος για την ταχύτητα αντίδρασης είναι reaction rate (r), δηλαδή ρυθμός κατανάλωσης ενός αντιδρώντος ή ρυθμός παραγωγής ενός προϊόντος. Ο όρος ταχύτητα, velocity (v) χρησιμοποιείται για την ταχύτητα ενός κινητού.

Εφαρμογή 1

Ο ρυθμός αύξησης της συγκέντρωσης του HI(g), σύμφωνα με την αντίδραση:

$$H_2(g) + I_2(g) \rightarrow 2HI(g),$$

σε κάποιο χρονικό διάστημα Δt είναι ίσος με 0,04 $mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}$.
α) *Ποιος είναι ο ρυθμός μείωσης της συγκέντρωσης του $H_2(g)$ στο ίδιο χρονικό διάστημα;*
β) *Ποια είναι η τιμή της ταχύτητας της αντίδρασης στο χρονικό διάστημα Δt;*

α) Ο ρυθμός μείωσης της $[H_2]$ είναι: $\upsilon_{H_2} = -\frac{\Delta[H_2]}{\Delta t}$ (1). Ο ρυθμός αύξησης της [HI] είναι: $\upsilon_{HI} = \frac{\Delta[HI]}{\Delta t}$ (2). Καθώς $\upsilon_{HI} = 2 \cdot \upsilon_{H_2}$, θα ισχύει: $\upsilon_{H_2} = 0{,}02\ M \cdot s^{-1}$.

β) Η ταχύτητα της παραπάνω αντίδρασης υπολογίζεται ως εξής: $\upsilon = \frac{1}{2}\frac{\Delta[HI]}{\Delta t} = 0{,}02\ M \cdot s^{-1}$

Εφαρμογή 2

Έστω η αντίδραση που περιγράφεται από την εξίσωση που ακολουθεί.

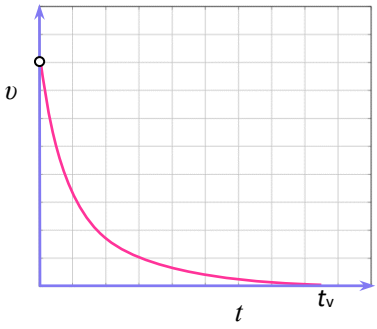
$$4HCl(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g) + 2Cl_2(g)$$

Να γράψετε την έκφραση του ορισμού της ταχύτητας της αντίδρασης, καθώς και τις εκφράσεις των ρυθμών μείωσης της συγκέντρωσης του HCl και του O_2 και των ρυθμών αύξησης της $[H_2O]$ και της $[Cl_2]$. Να γράψετε επίσης τις σχέσεις που έχουν οι παραπάνω ρυθμοί μεταβολής των συγκεντρώσεων με την ταχύτητα της αντίδρασης.

$$\upsilon = -\frac{1}{4}\frac{\Delta[HCl]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[O_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2}\frac{\Delta[H_2O]}{\Delta t} = \frac{1}{2}\frac{\Delta[Cl_2]}{\Delta t}$$

$$\upsilon_{HCl} = -\frac{\Delta[HCl]}{\Delta t},\ \upsilon_{O_2} = -\frac{\Delta[O_2]}{\Delta t},\ \upsilon_{H_2O} = \frac{\Delta[H_2O]}{\Delta t},\ \upsilon_{Cl_2} = \frac{\Delta[Cl_2]}{\Delta t}$$

Ισχύουν: $\upsilon_{HCl} = 4\upsilon$, $\upsilon_{O_2} = \upsilon$, $\upsilon_{H_2O} = 2\upsilon$, $\upsilon_{Cl_2} = 2\upsilon$



Στις διάφορες χημικές αντιδράσεις ο χρόνος για την ολοκλήρωσή τους είναι θεωρητικά άπειρος. Στην ελληνική κυρίως βιβλιογραφία αναφέρεται συχνά ο συμβολισμός t_v που αντιστοιχεί στον χρόνο που απαιτείται για να φτάσει η αντίδραση σε ένα σημείο όπου η μεταβολή στις διάφορες ποσότητες αντιδρώντων ή και προϊόντων δεν είναι πια μετρήσιμη οπότε θεωρείται ότι η αντίδραση έχει πρακτικά ολοκληρωθεί.

Συνήθως, η ταχύτητα μιας αντίδρασης δεν είναι σταθερή με την πάροδο του χρόνου. Για $t = 0$ έχει τη μέγιστη τιμή, αλλά με την πάροδο του χρόνου μειώνεται συνεχώς και τελικά τείνει ασυμπτωτικά στην τιμή 0 που αντιστοιχεί στο τέλος της αντίδρασης.

Έτσι, το διάγραμμα της ταχύτητας μιας αντίδρασης με την πάροδο του χρόνου έχει, συνήθως, τη διπλανή μορφή.

5. Καμπύλες αντίδρασης

Καμπύλη αντίδρασης είναι η γραφική παράσταση της συγκέντρωσης ενός αντιδρώντος ή ενός προϊόντος σε συνάρτηση με το χρόνο κατά τη διάρκεια μιας αντίδρασης.

Περίπτωση 1: Τα δύο συστατικά είναι σε στοιχειομετρική αναλογία

Με τον όρο στοιχειομετρική αναλογία εννοούμε ότι οι αρχικές ποσότητες των αντιδρώντων βρίσκονται σε αναλογία mol ίδια με την αναλογία των συντελεστών με τους οποίους αντιδρούν. Για παράδειγμα, αν τα δύο αντιδρώντα έχουν συντελεστή 1, στοιχειομετρική αναλογία σημαίνει ίσες αρχικές ποσότητες, σε mol. Μάλιστα, όταν τα δύο αντιδρώντα βρίσκονται αρχικά σε στοιχειομετρική αναλογία, στο τέλος της αντίδρασης οι ποσότητες και των δύο θα έχουν μηδενιστεί.

Παράδειγμα. Σε δοχείο όγκου $V = 2$ L στους θ °C εξελίσσεται από $t = 0$ μέχρι $t = t_v$, η αντίδραση:

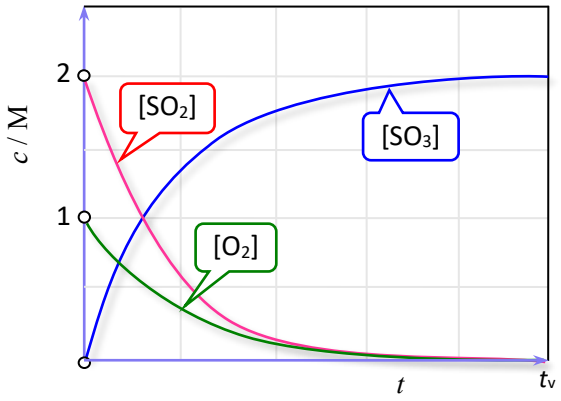
$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g)$$

Οι αρχικές ποσότητες των $SO_2(g)$ και $O_2(g)$ είναι, έστω, 4 mol και 2 mol, αντίστοιχα. Δηλαδή, οι αρχικές ποσότητες των δύο αντιδρώντων είναι σε στοιχειομετρική αναλογία. Καταστρώνουμε τον πίνακα που ακολουθεί στον οποίο σημειώνονται με (–) οι μεταβολές στις ποσότητες των αντιδρώντων που αντιδρούν και με (+) οι μεταβολές στις ποσότητες των προϊόντων που παράγονται:

mol	$2SO_2(g)$	+ $O_2(g)$	→ $2SO_3(g)$
Αρχικά ($t = 0$)	4	2	—
Μεταβολές	–4	–2	4
Τελικά (t_v)	—	—	4

Συνήθως, οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων δεν ελαττώνονται αναλογικά με την πάροδο του χρόνου. Οι ποσότητες των δύο αντιδρώντων μειώνονται γρήγορα στην αρχή, ενώ στη συνέχεια με μικρότερο ρυθμό, μέχρι που τελικά μηδενίζονται με την ολοκλήρωση της αντίδρασης. Κατά συνέπεια, το προϊόν σχηματίζεται αρχικά με γρήγορο ρυθμό, στη συνέχεια όμως ο ρυθμός σχηματισμού του μειώνεται σταδιακά μέχρι που η ποσότητά του σταθεροποιείται στο τέλος της αντίδρασης. Στην καμπύλη αντίδρασης για ένα προϊόν αυτό φαίνεται από την κλίση της, καθώς στην αρχή της αντίδρασης είναι μεγαλύτερη αλλά με την πάροδο του χρόνου η κλίση μειώνεται σταδιακά μέχρι που στο τέλος της αντίδρασης πρακτικά μηδενίζεται.

Οι παρατηρήσεις αυτές εμφανίζονται στις καμπύλες αντίδρασης που ακολουθούν.



Περίπτωση 2: Περίσσεια ενός αντιδρώντος

Θεωρούμε ότι σε δοχείο όγκου $V = 2$ L εξελίσσεται από $t = 0$ μέχρι $t = t_v$ η αντίδραση:

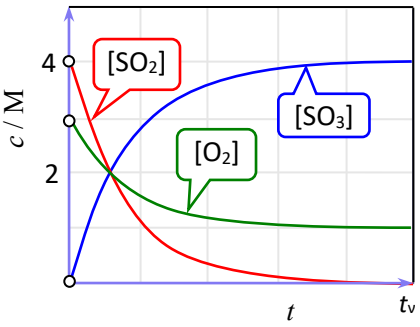
$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g),$$

στους θ °C Οι αρχικές ποσότητες των $SO_2(g)$ και $O_2(g)$ είναι, έστω, 8 mol και 6 mol, αντίστοιχα. Καταστρώνουμε τον πίνακα που ακολουθεί στον οποίο με (–) σημειώνονται οι μεταβολές στις ποσότητες των αντιδρώντων και με (+) οι μεταβολές στις ποσότητες των προϊόντων:

mol	$2SO_2(g)$	+ $O_2(g)$	$\rightarrow$ $2SO_3(g)$
Αρχικά ($t = 0$)	8	6	—
Μεταβολές	–8	–4	8
Τελικά (t_v)	—	2	8

Παρατηρούμε ότι η $[SO_2]$ μεταβάλλεται από την αρχική τιμή (για $t = 0$) 8:2 = 4 M στην τελική τιμή 0 ενώ η $[O_2]$ μεταβάλλεται από την αρχική τιμή 3 M, στην τελική τιμή 1 M. Καθώς ένα από τα αντιδρώντα (εδώ το O_2) παραμένει στο τέλος της αντίδρασης χωρίς να αντιδράσει λέμε ότι το **αντιδρών** αυτό είναι **σε περίσσεια** ενώ το αντιδρών που καταναλώνεται πλήρως (SO_2) αναφέρεται ως **περιοριστικό αντιδρών**.

Τα αποτελέσματα αυτά εμφανίζονται στις διπλανές καμπύλες αντίδρασης.



Αναφέραμε ήδη ότι η ταχύτητα μιας αντίδρασης παρουσιάζει (συνήθως) τη μεγαλύτερή της τιμή για $t = 0$ ενώ στη συνέχεια μειώνεται σταδιακά μέχρι να μηδενιστεί. Το γεγονός αυτό μπορεί να παρατηρηθεί και με βάση τις καμπύλες αντίδρασης. Στην αρχή οι μεταβολές είναι απότομες, ενώ σταδιακά οι κλίσεις των καμπυλών μειώνονται και οι συγκεντρώσεις τείνουν σε μία ορισμένη τιμή που αντιστοιχούν στο τέλος της αντίδρασης.

Αν οι ποσότητες των αντιδρώντων δεν είναι σε στοιχειομετρική αναλογία (η αναλογία των αρχικών ποσοτήτων σε mol να είναι ίση με την αναλογία των αντίστοιχων συντελεστών στην αντίδραση), οι στοιχειομετρικοί υπολογισμοί βασίζονται στην ποσότητα του περιοριστικού αντιδρώντος (αναφέρεται και ως αντιδρών σε έλλειμμα).

Ένας πρακτικός τρόπος για την εύρεση του αντιδρώντος σε περίσσεια είναι ο εξής:
Για κάθε ένα αντιδρών σχηματίζουμε το κλάσμα της αρχικής ποσότητάς του προς το συντελεστή του στην αντίδραση. Όποιο αντιδρών δίνει το μεγαλύτερο κλάσμα θα είναι το αντιδρών σε περίσσεια. Π.χ. στη διπλανή περίπτωση, έχουμε:
SO_2: 8/2 = 4
O_2: 6/1 = 6 > 4 (σε περίσσεια)
Αν τα κλάσματα είναι ίσα τα δύο αντιδρώντα θα είναι σε στοιχειομετρική αναλογία!

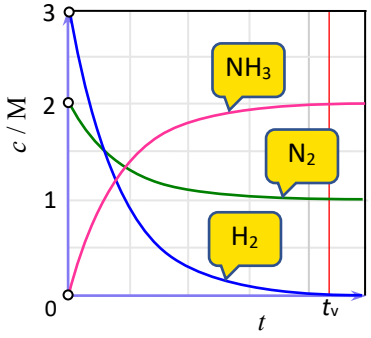
Εφαρμογή 3

Σε δοχείο όγκου $V = 2$ L εισάγονται 4 mol $N_2(g)$ και 6 mol $H_2(g)$ και από $t = 0$ αρχίζει η διεξαγωγή της αντίδρασης: $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$.
α) Ποιο είναι το περιοριστικό αντιδρών; Να κατασκευάσετε τον πίνακα της αντίδρασης.

β) Να κατασκευάσετε σε κοινό διάγραμμα τις καμπύλες της αντίδρασης για όλα τα αντιδρώντα και προϊόντα (σε Μ).

α) Το αντιδρών σε περίσσεια είναι το $N_2(g)$ ενώ το $H_2(g)$ είναι το περιοριστικό αντιδρών το οποίο επομένως αντιδρά πλήρως:

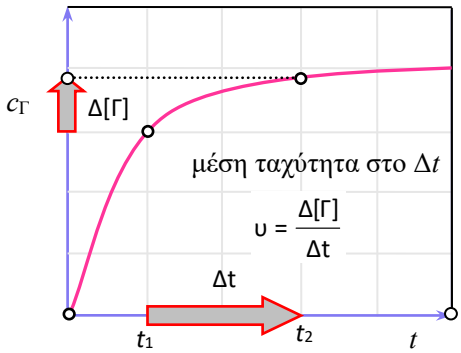
mol	$N_2(g)$ +	$3H_2(g)$ →	$2NH_3(g)$
Αρχικά ($t = 0$)	4	6	—
Μεταβολές	−2	−6	4
Τελικά (t_v)	2	—	4

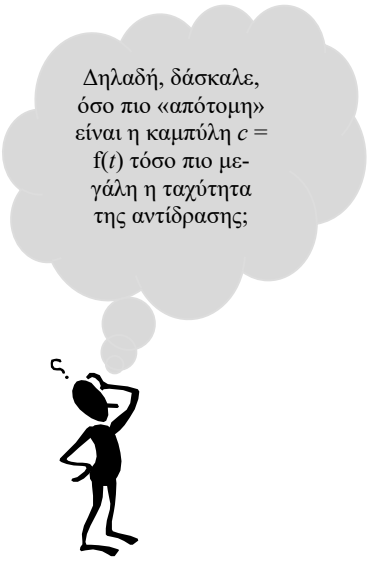


β) Οι καμπύλες αντίδρασης για τα αντιδρώντα και το προϊόν της αντίδρασης εμφανίζονται στο διπλανό σχήμα.

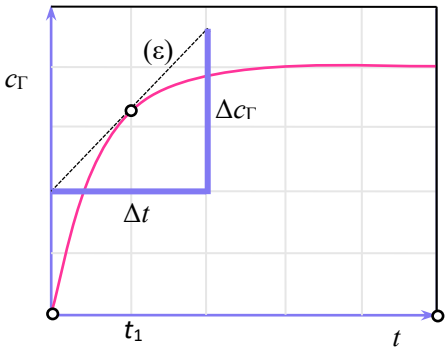
6. Γραφικός υπολογισμός της μέσης και της στιγμιαίας ταχύτητας

Με βάση την καμπύλη αντίδρασης μπορούμε να υπολογίσουμε γραφικά τη μέση ταχύτητα σε κάποιο χρονικό διάστημα Δt. Έστω π.χ. η αντίδραση: $A(g) + B(g) \rightarrow \Gamma(g) + \Delta(g)$. Η καμπύλη της αντίδρασης για το προϊόν Γ φαίνεται στο γράφημα που ακολουθεί στο οποίο εμφανίζεται και ο υπολογισμός της μέσης ταχύτητας γραφικά για το διάστημα από t_1 σε t_2:





Η στιγμιαία ταχύτητα της αντίδρασης μία οποιαδήποτε χρονική στιγμή t_1 προκύπτει από την καμπύλη της συγκέντρωσης - χρόνου με βάση την παρακάτω μαθηματική «τεχνική»:

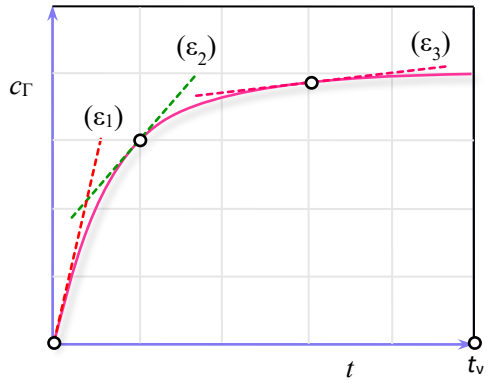


Δηλαδή, η στιγμιαία ταχύτητα της αντίδρασης τη στιγμή t_1 προκύπτει από την κλίση της εφαπτομένης ευθείας (ε) στην καμπύλη για $t = t_1$ και η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$\upsilon_{t_1} = \frac{\Delta c_\Gamma}{\Delta t}$$ (δες το προηγούμενο σχήμα)

Στην πραγματικότητα, η κλίση της ευθείας δίνει τον ρυθμό παραγωγής του προϊόντος Γ (υ_Γ) και ισούται με την ταχύτητα της αντίδρασης (υ) αν το προϊόν Γ έχει συντελεστή 1 στην εξίσωση της αντίδρασης. Σε διαφορετική περίπτωση θα ισχύει: $\upsilon = (1/\gamma)\upsilon_\Gamma$, όπου γ ο συντελεστής του προϊόντος Γ.

Η ταχύτητα δεν είναι σταθερή κατά τη διάρκεια της αντίδρασης. Γενικά, μειώνεται με την πάροδο του χρόνου διεξαγωγής της αντίδρασης, όπως φαίνεται και από τη μεταβολή στην κλίση της εφαπτομένης ευθείας στο σχήμα που ακολουθεί.



Για όποιον ενδιαφέρεται ας δει τα Μαθηματικά Γ΄ Λυκείου: Παράγωγος συνάρτησης!

Η κλίση της ευθείας (ε_1) αντιστοιχεί στην αρχική ταχύτητα παραγωγής του Γ. Στη συνέχεια, η κλίση της εφαπτομένης μειώνεται σταδιακά μέχρις ότου να μηδενιστεί στο τέλος της αντίδρασης.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

1. Η αντίδραση A(g) ⟶ B(g) **έχει ενέργεια ενεργοποίησης** $E_a = 20$ kJ **ενώ η αντίστροφη αντίδραση** B(g) ⟶ A(g) **έχει ενέργεια ενεργοποίησης** $E_a' = 30$ kJ**.**

α) Τι από τα παρακάτω ισχύει για την αντίδραση A(g) ⟶ B(g)**;**

i. Είναι εξώθερμη αντίδραση με $\Delta H = -10$ kJ

ii. Είναι εξώθερμη αντίδραση με $\Delta H = 10$ kJ

iii. Είναι ενδόθερμη αντίδραση με $\Delta H = -10$ kJ

iv. Είναι ενδόθερμη αντίδραση με $\Delta H = 10$ kJ

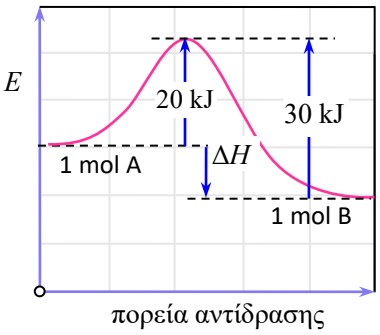
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

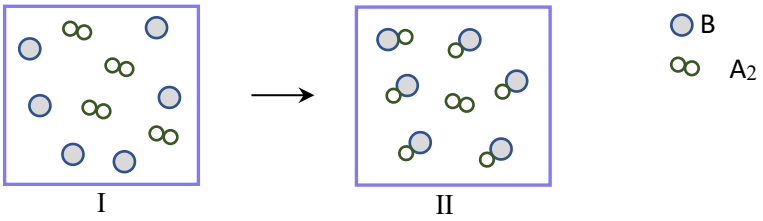
α) Επιλογή i.

β) Εφόσον η αντίδραση A ⟶ B έχει μικρότερη ενέργεια ενεργοποίησης από την αντίστροφή της, το προϊόν B θα πρέπει να έχει μικρότερη ενθαλπία από το αντιδρών A και άρα η αντίδραση A ⟶ B θα πρέπει να είναι εξώθερμη όπως φαίνεται και στο διπλανό ενεργειακό διάγραμμα.

Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται επίσης ότι η ενθαλπία της αντίδρασης A ⟶ B είναι: $\Delta H = -10$ kJ.



2. Το σχήμα I **περιγράφει σχηματικά τα αέρια αντιδρώντα σε μία αντίδραση, το αντιδρών** A_2 **(ανοικτοί κύκλοι) και το αντιδρών** B **(σκούροι κύκλοι). Το σχήμα** II **περιγράφει το τέλος της αντίδρασης.**



α) Να γράψετε τη χημική εξίσωση της αντίδρασης.
β) Ποια σχέση συνδέει το ρυθμό κατανάλωσης του A_2 **(**υ_1**) με το ρυθμό παραγωγής του προϊόντος (**υ_2**);**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
α) Παρατηρούμε ότι από την κατάσταση I στην κατάσταση II έχουν αντιδράσει και τα 6 τα μόρια του B και τα 3 από τα 4 μόρια A_2. Παράλληλα έχουν παραχθεί 6 μόρια AB. Έτσι, η εξίσωση της αντίδρασης είναι: $A_2(g) + 2B(g) \rightarrow 2AB(g)$.

β) Ο ρυθμός παραγωγής του AB είναι διπλάσιος από το ρυθμό κατανάλωσης του A και επομένως: $\upsilon_2 = 2\upsilon_1$.

3. Η αντίδραση: $2A(g) + 3B(g) \rightarrow \Gamma(g) + 4\Delta(g)$**, λαμβάνει χώρα σε δοχείο σταθερού όγκου και υπό σταθερή θερμοκρασία. Αν οι αρχικές ποσότητες των αερίων** A **και** B **είναι ισομοριακές, ποιες από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές και ποιες είναι λανθασμένες; Να αιτιολογήσετε τις επιλογές σας.**
α) Η συγκέντρωση του B **αυξάνεται σε όλη τη διάρκεια της αντίδρασης.**
β) Η συγκέντρωση του Γ **αυξάνεται σε όλη τη διάρκεια της αντίδρασης.**
γ) Στο τέλος της αντίδρασης η συγκέντρωση του A **μηδενίζεται.**
δ) Στο τέλος της αντίδρασης η συγκέντρωση του B **μηδενίζεται.**
ε) Κατά τη διάρκεια της αντίδρασης η πίεση παραμένει σταθερή.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
α) Λανθασμένη. Το B είναι αντιδρών και επομένως η συγκέντρωσή του με την πάροδο του χρόνου μειώνεται συνεχώς.

β) Σωστή. Το Γ είναι προϊόν και επομένως η συγκέντρωσή του αυξάνεται συνεχώς μέχρι να σταθεροποιηθεί στο τέλος της αντίδρασης.

γ) Λανθασμένη. Το αντιδρών A είναι σε περίσσεια και στο τέλος της αντίδρασης παραμένει κάποια ποσότητά του χωρίς να αντιδράσει. Έτσι, αν n mol οι (ισομοριακές) ποσότητες των A και B θα έχουμε τον πίνακα που ακολουθεί.

mol	**2A(g)**	**+ 3B(g)**	**→ Γ(g)**	**+ 4Δ(g)**
Αρχικά ($t = 0$)	n	n	—	—
Μεταβολές	$-2n/3$	$-n$	$n/3$	$4n/3$
Τελικά (t_v)	$n/3$	—	$n/3$	$4n/3$

δ) Σωστή, όπως φαίνεται και από τον προηγούμενο πίνακα.

ε) Σωστή. Για το σύστημα των τεσσάρων αερίων, ισχύει: $P \cdot V = n_{ολ} \cdot R \cdot T$, όπου $n_{ολ}$ ο συνολικός αριθμός mol των αερίων. Εφόσον τα μεγέθη V, R και T διατηρούνται σταθερά, η πίεση θα μεταβληθεί όπως μεταβάλλεται ο συνολικός αριθμός των mol των αερίων. Παρατηρούμε ότι το άθροισμα των συντελεστών των (αερίων) αντιδρώντων είναι ίσο με το άθροισμα των συντελεστών των (αερίων) προϊόντων. Δηλαδή, όταν αντιδράσουν 2 mol Α με 3 mol Β (συνολικά 5 mol), παράγονται 1 mol Γ και 4 mol Δ (συνολικά 5 mol). Αυτό σημαίνει ότι κατά τη διάρκεια της αντίδρασης ο συνολικός αριθμός mol δεν μεταβάλλεται και επομένως δεν μεταβάλλεται και η πίεση στο δοχείο.

4. Σε δοχείο διεξάγεται η αντίδραση με τη χημική εξίσωση που ακολουθεί.

$$4NH_3(g) + 5O_2(g) \rightarrow 4NO(g) + 6H_2O(g)$$

Σε κάποιο χρονικό διάστημα Δt κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της αντίδρασης η $NH_3(g)$ **καταναλώνεται με ρυθμό** $0{,}5\ M \cdot s^{-1}$**. Να υπολογιστούν:**

α) Η μέση ταχύτητα της αντίδρασης στο χρονικό διάστημα Δt.

β) Ο ρυθμός σχηματισμού του $H_2O(g)$ **στο χρονικό διάστημα Δt.**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

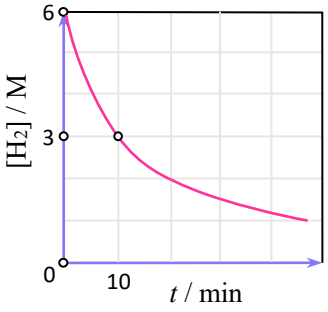
α) Η ταχύτητα της αντίδρασης και ο ρυθμός μείωσης της συγκέντρωσης της NH_3 δίνονται, αντίστοιχα, από τις σχέσεις:

$$\upsilon_{NH_3} = -\frac{\Delta[NH_3]}{\Delta t}\ ,\ \upsilon = -\frac{1}{4}\frac{\Delta[NH_3]}{\Delta t}$$

$$\upsilon = -\frac{1}{4}\frac{\Delta[NH_3]}{\Delta t} = \frac{1}{4}\cdot\upsilon_{NH_3} = 0{,}125\ M \cdot s^{-1}$$

β) $$\upsilon = \frac{1}{6}\frac{\Delta[H_2O]}{\Delta t},\ \upsilon = \frac{1}{6}\upsilon_{H_2O},\ \upsilon_{H_2O} = 6 \cdot \upsilon = 0{,}75\ M \cdot s^{-1}$$

5. Δίνεται η αντίδραση: $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$**, που λαμβάνει χώρα σε δοχείο σταθερού όγκου και υπό σταθερή θερμοκρασία. Η διπλανή γραφική παράσταση απεικονίζει τη συγκέντρωση του** $H_2(g)$**, σε συνάρτηση με τον χρόνο, κατά τη διάρκεια της αντίδρασης.**



α) Να υπολογίσετε τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης για το χρονικό διάστημα 0 **έως** 10 min **καθώς και τον ρυθμό παραγωγής της** $NH_3(g)$**, σε** $M \cdot min^{-1}$**.**

β) Να υπολογίσετε τη συγκέντρωση της $NH_3(g)$ **τη χρονική στιγμή** $t = 10$ min**.**

[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

ΛΥΣΗ

α) Η ταχύτητα της αντίδρασης δίνεται από τη σχέση:

$$\upsilon = -\frac{\Delta[N_2]}{\Delta t} = -\frac{1}{3}\cdot\frac{\Delta[H_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2}\cdot\frac{\Delta[NH_3]}{\Delta t}$$

Από τη σχέση αυτή έχουμε: $\upsilon = -\frac{1}{3}\cdot\frac{\Delta[H_2]}{\Delta t} = -\frac{1}{3}\cdot\frac{3-6}{10-0} = 0{,}1\ M \cdot min^{-1}$

Με βάση τους συντελεστές της αντίδρασης, προκύπτει:

$$\upsilon_{NH_3} = 2 \cdot \upsilon = 0{,}2\ M \cdot min^{-1}$$

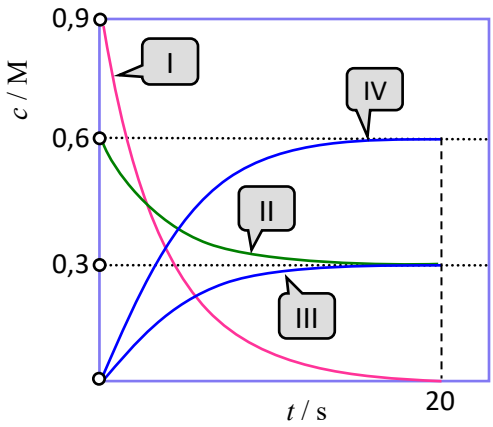
β) Κατασκευάζουμε τον πίνακα της αντίδρασης σε συγκεντρώσεις, από $t = 0$ μέχρι $t = 10$ min, θεωρώντας x mol/L την άγνωστη αρχική συγκέντρωση του N_2.

mol/L	$N_2(g)$	+	$3H_2(g)$	→	$2NH_3(g)$
Αρχικά ($t = 0$)	x		6		—
Μεταβολές	–1		–3		2
$t = 10$ min	x – 1		3		2

Από τον πίνακα αυτό φαίνεται ότι όταν έχουν αντιδράσει 3 mol/L H_2 θα έχουν παραχθεί 2 mol/L NH_3 και επομένως τη χρονική στιγμή $t = 10$ min θα ισχύει: $[NH_3] = 2$ mol/L.

6. Οι καμπύλες αντίδρασης των σωμάτων που συμμετέχουν στην αντίδραση,

$$A(g) + 3B(g) \rightarrow 2\Gamma(g) + \Delta(g),$$



εμφανίζονται στο διπλανό σχήμα. Η αντίδραση ολοκληρώνεται τη χρονική στιγμή $t = 20$ s**.**
α) Να αντιστοιχήσετε τις καμπύλες I-IV **στα σώματα** A, B, Γ **και** Δ**.**
β) Ποιες είναι οι συγκεντρώσεις των σωμάτων μετά το τέλος της αντίδρασης;
γ) Ποια είναι η μέση ταχύτητα της αντίδρασης για το διάστημα 0 - 20 s**;**
δ) Ποιοι είναι οι ρυθμοί κατανάλωσης των αντιδρώντων A **και** B **και ποιοι οι ρυθμοί παραγωγής των προϊόντων** Γ **και** Δ **για το διάστημα** 0 - 20 s**;**
ε) Ποια είναι η ταχύτητα της αντίδρασης τη στιγμή $t = 20$ s**;**

ΛΥΣΗ

α) Οι καμπύλες I και II αντιστοιχούν σε αντιδρώντα, καθώς σε αυτές οι συγκεντρώσεις μειώνονται με την πάροδο του χρόνου. Οι καμπύλες III και IV αντιστοιχούν στα προϊόντα, καθώς οι συγκεντρώσεις τους αυξάνονται. Μάλιστα, η καμπύλη I παρουσιάζει τριπλάσια μεταβολή συγκέντρωσης (από 0,9 M σε 0) σε σχέση με τη καμπύλη II (από 0,6 M σε 0,3 M), προφανώς γιατί η καμπύλη I αντιστοιχεί σε αντιδρών με τριπλάσιο συντελεστή. Έτσι, η καμπύλη I αντιστοιχεί στο B και η καμπύλη II στο A. Με ανάλογο τρόπο προκύπτει ότι οι καμπύλες IV και III αντιστοιχούν στα προϊόντα Γ και Δ, αντίστοιχα.

β) Από το διάγραμμα που δίνεται βλέπουμε ότι οι συγκεντρώσεις όλων των σωμάτων για $t = t_v$, είναι: [B] = 0, [A] = 0,3 M, [Γ] = 0,6 M, [Δ] = 0,3 M.

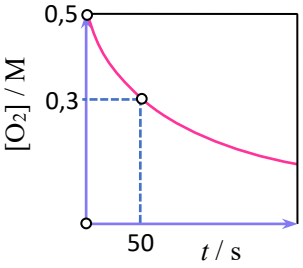
γ) $$\upsilon = -\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{(0,3-0,6)\ M}{20\ s} = 0,015\ M\cdot s^{-1}$$

δ) $\upsilon_A = \upsilon = 0,015\ M\cdot s^{-1}$, $\upsilon_B = 3\upsilon = 0,045\ M\cdot s^{-1}$, $\upsilon_\Gamma = 2\upsilon = 0,03\ M\cdot s^{-1}$, $\upsilon_\Delta = \upsilon = 0,015\ M\cdot s^{-1}$.

ε) Η χρονική στιγμή $t = 20$ s αντιστοιχεί στο τέλος της αντίδρασης, οπότε $\upsilon = 0$.

7. Σε δοχείο σταθερού όγκου (V) εισάγονται ποσότητες των αερίων $SO_2(g)$ και $O_2(g)$ και από $t = 0$ διεξάγεται η αντίδραση με την εξίσωση που ακολουθεί.

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g)$$



Η συγκέντρωση του $O_2(g)$ σε σχέση με το χρόνο δίνεται στο διπλανό διάγραμμα.
α) Αν τη χρονική στιγμή $t = 50$ s ισχύει: $[O_2] = 0,3$ M, ποια από τις παρακάτω σχέσεις θα ισχύει για τη συγκέντρωση του SO_3 τη χρονική στιγμή $t = 100$ s;
i. $[SO_3] = 0,8$ M **ii.** $[SO_3] = 1$ M **iii.** $[SO_3] < 0,8$ M **iv.** $[SO_3] > 0,8$ M
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.
γ) i. Να υπολογίσετε το ρυθμό παραγωγής του SO_3 το χρονικό διάστημα 0-50 s**, σε** $M \cdot s^{-1}$**.**
ii. Να συγκρίνετε τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης από την έναρξη μέχρι την ολοκλήρωσή της με την αρχική ταχύτητα υ_0 της αντίδρασης (μεγαλύτερη, μικρότερη, ίση). Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

ΛΥΣΗ
α) Επιλογή iii.

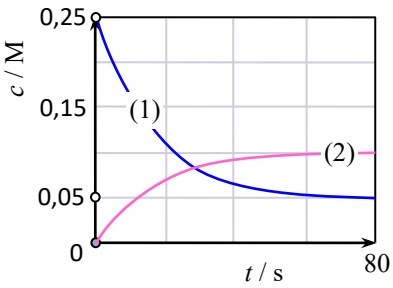
β) Παρατηρούμε ότι τα πρώτα 50 s η μεταβολή της $[O_2]$ είναι 0,2 M και επομένως η $[SO_3]$ τη χρονική στιγμή $t = 50$ s θα είναι 0,4 M. Όμως, η ταχύτητα της αντίδρασης μειώνεται με την πάροδο του χρόνου και επομένως στο χρονικό διάστημα 50 s - 100 s η μεταβολή της $[O_2]$ θα είναι μικρότερη από 0,2 M και άρα η αύξηση της $[SO_3]$ στο ίδιο διάστημα θα είναι μικρότερη από 0,4 M. Έτσι η $[SO_3]$ τη χρονική στιγμή $t = 100$ s θα είναι μικρότερη από 0,8 M.

γ) i. $$\upsilon_{SO_3} = \frac{\Delta[SO_3]}{\Delta t} = \frac{[SO_3]_{\tau\epsilon\lambda} - [SO_3]_{\alpha\rho\chi}}{\Delta t} = \frac{0,4 - 0}{50} = 8 \cdot 10^{-3}\ M \cdot s^{-1}$$

ii. Η ταχύτητα της αντίδρασης μειώνεται με την πάροδο του χρόνου και επομένως η μεγαλύτερη ταχύτητα της αντίδρασης θα αντιστοιχεί για $t = 0$. Έτσι θα ισχύει: $\upsilon(0 \rightarrow t_v) < \upsilon_0$.

8. Σε δοχείο όγκου 2 L **εισάγονται ποσότητες από τα αέρια** A(g) **και** B(g) **και από $t =$** 0 **διεξάγεται η αντίδραση που περιγράφεται με την εξίσωση που ακολουθεί.**

$$\mathbf{2A(g) + 3B(g) \rightarrow \Gamma(g)}$$



Η αντίδραση ολοκληρώνεται τη χρονική στιγμή $t =$ 80 s**. Στο διπλανό διάγραμμα εμφανίζονται οι καμπύλες αντίδρασης για δύο από τα τρία συστατικά της.**
α) Να σημειώσετε σε ποια αέρια της αντίδρασης αντιστοιχούν οι καμπύλες (1) και (2) του σχήματος.
β) Να υπολογίσετε την αρχική ποσότητα του B(g)**.**
γ) Να υπολογιστεί η μέση ταχύτητα της αντίδρασης από την έναρξη μέχρι την ολοκλήρωσή της καθώς και οι ρυθμοί κατανάλωσης του A(g) **και του** B(g) **και ο ρυθμός παραγωγής του** Γ(g)**, σε** $M \cdot s^{-1}$**.**

ΛΥΣΗ
α) (1): A(g), (2): Γ(g). Η μείωση της συγκέντρωσης του A(g) είναι διπλάσια από την αύξησης της συγκέντρωσης του Γ(g), λόγω διπλάσιου συντελεστή.

β) Η αρχική ποσότητα του Α(g) είναι 0,25·2 = 0,5 mol και η τελική ποσότητα του Α(g) είναι 0,05·2 = 0,1 mol. Επίσης, η τελική ποσότητα του Γ(g) είναι 0,1·2 = 0,2 mol. Έστω x mol η αρχική ποσότητα του Β(g).

mol	**2Α(g)**	**+ 3Β(g)**	**→ Γ(g)**
Αρχικά ($t = 0$)	0,5	x	—
Μεταβολές	−0,5	−0,6	0,2
t_v = 80 s	0,1	x − 0,6	0,2

Εφόσον το Α(g) είναι σε περίσσεια το Β(g) είναι το περιοριστικό αντιδρών και επομένως θα ισχύει: x – 0,6 = 0 ⇒ x = 0,6 mol.

γ) Για την ταχύτητα της αντίδρασης: $\upsilon = \frac{\Delta[\Gamma]}{\Delta t} = \frac{0,1}{80} = 1,25 \cdot 10^{-3}\ \text{M} \cdot \text{s}^{-1}$

Επομένως: $\upsilon(\text{A}) = 2\upsilon = 2,5 \cdot 10^{-3}\ \text{M} \cdot \text{s}^{-1}$, $\upsilon(\text{B}) = 3\upsilon = 3,75 \cdot 10^{-3}\ \text{M} \cdot \text{s}^{-1}$ και $\upsilon(\Gamma) = \upsilon = 1,25 \cdot 10^{-3}\ \text{M} \cdot \text{s}^{-1}$

9. Σε δοχείο όγκου $V = 2$ L **στους** θ °C **εισάγονται** 6 mol Α **και** 3 mol Β**, οπότε κάτω από κατάλληλες συνθήκες διεξάγεται η αντίδραση:**

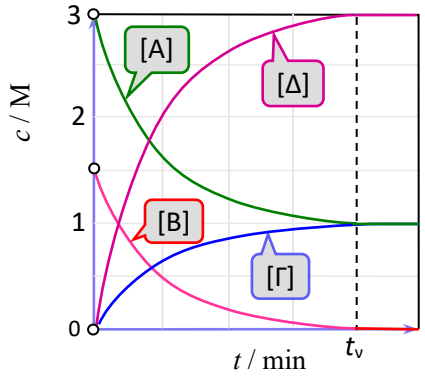
$$4\text{A(g)} + 3\text{B(g)} \rightarrow 2\Gamma\text{(g)} + 6\Delta\text{(g)}$$

α) Να κατασκευάσετε τις καμπύλες τις αντίδρασης για τα συστατικά Α, Β, Γ **και** Δ**.**
β) Σε κάποια στιγμή t_1 **ο ρυθμός αύξησης της** [Γ] **είναι** 0,32 $\text{M} \cdot \text{min}^{-1}$**. Τη χρονική αυτή στιγμή** t_1 **να υπολογιστούν:**
i. Η ταχύτητα της αντίδρασης σε $\text{M} \cdot \text{min}^{-1}$**.**
ii. Ο ρυθμός κατανάλωσης του συστατικού Α **σε** $\text{M} \cdot \text{min}^{-1}$**.**
γ) Τη χρονική στιγμή $t_2 = 2$ min **η ποσότητα του** Γ **στο δοχείο είναι ίση με** 1,8 mol**. Ποια η μέση τιμή της ταχύτητας της αντίδρασης σε** $\text{M} \cdot \text{min}^{-1}$ **για το χρονικό διάστημα** $0 \rightarrow t_2$**;**

ΛΥΣΗ

α)

mol	**4Α(g)**	**+ 3Β(g)**	**→ 2Γ(g)**	**+ 6Δ(g)**
Αρχικά ($t = 0$)	6	3	—	—
Μεταβολές	–4	–3	2	6
Τελικά (t_v)	2	—	2	6



β) $\upsilon = -\frac{1}{4}\frac{d[\text{A}]}{dt} = -\frac{1}{3}\frac{d[\text{B}]}{dt} = \frac{1}{2}\frac{d[\Gamma]}{dt} = \frac{1}{6}\frac{d[\Delta]}{dt}$

i. $2\upsilon = \frac{d[\Gamma]}{dt} = \upsilon_\Gamma$, $\upsilon = \frac{\upsilon_\Gamma}{2} = 0{,}16\ \text{M}\cdot\text{min}^{-1}$

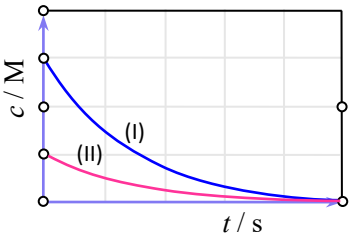
ii. $\upsilon_A = 4\upsilon = -\frac{d[A]}{dt} = 0{,}64\ \text{M}\cdot\text{min}^{-1}$

γ)

mol	**4Α(g)**	**+ 3Β(g)**	**→ 2Γ(g)**	**+ 6Δ(g)**
Αρχικά ($t = 0$)	6	3	—	—
Μεταβολές	−3,6	−2,7	1,8	5,4
t_2	2,4	0,3	1,8	5,4

$$\upsilon = \frac{1}{2}\frac{\Delta[\Gamma]}{\Delta t} = \frac{1}{2}\cdot\frac{[\Gamma]_{\tau\varepsilon\lambda} - [\Gamma]_{\alpha\rho\chi}}{t_2} = \frac{1}{2}\cdot\frac{0{,}9 - 0}{2} = 0{,}225\ \text{M}\cdot\text{min}^{-1}$$

10. Σε κατάλληλες συνθήκες το $Cl_2(g)$ αντιδρά πλήρως με το $I_2(g)$ και παράγεται ένα και μοναδικό αέριο (X). Κατά τη διάρκεια της αντίδρασης οι μεταβολές στις συγκεντρώσεις των δύο αερίων $Cl_2(g)$ και $I_2(g)$ αποδίδονται από τις καμπύλες (I) και (II), αντίστοιχα, του διπλανού σχήματος.



α) Ποιος μπορεί να είναι ο τύπος του αερίου (X);

1. $ICl(g)$ **2.** $I_3Cl(g)$ **3.** $I_5Cl_2(g)$ **4.** $ICl_3(g)$

β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Επιλογή 4.

β) Από τις δύο καμπύλες (I) και (II) προκύπτει ότι τα δύο αέρια $Cl_2(g)$ και $I_2(g)$ αντιδρούν με αναλογία mol 3:1, αντίστοιχα και επομένως ο συντελεστής του Cl_2 είναι 3πλάσιος από το συντελεστή του I_2. Άρα, με βάση τις επιλογές η αντίδραση είναι:

$$I_2(g) + 3Cl_2(g) \rightarrow 2ICl_3(g)$$

11. Σε έναν αντιδραστήρα η γλυκόζη ($C_6H_{12}O_6$) μεταβολίζεται με δύο παράλληλες διαδικασίες, μία αερόβια και μία αναερόβια, που περιγράφονται από τις αντιδράσεις που ακολουθούν.

Αερόβια: $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$

Αναερόβια: $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3CH_2OH + 2CO_2$

Μετά από 5 ώρες λειτουργίας του αντιδραστήρα, η μέση ταχύτητα κατανάλωσης του O_2 είναι 4 mol/h ενώ η μέση ταχύτητα παραγωγής του CO_2 είναι 10 mol/h. Ποια είναι η ποσότητα της CH_3CH_2OH που παράχθηκε στον αντιδραστήρα μετά από 5 ώρες;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Το O_2 καταναλώνεται μόνο στην 1η αντίδραση και σε 5 h καταναλώθηκαν 4 mol/h·5 h = 20 mol O_2 και παράχθηκαν 20 mol CO_2. Από τις δύο αντιδράσεις παράχθηκαν συνολικά 10 mol/h·5 h = 50 mol CO_2 και άρα από τη 2η αντίδραση 50 − 20 = 30 mol CO_2.

(mol) $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3CH_2OH + 2CO_2$

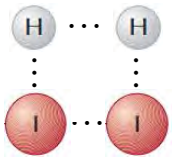
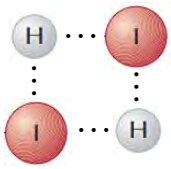
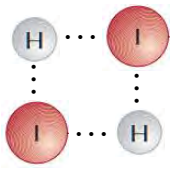
30 30

Επομένως παράχθηκαν 30 mol CH_3CH_2OH.

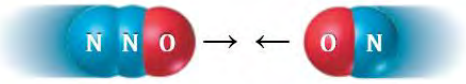
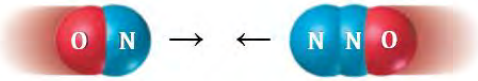
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

10.1. Το αντικείμενο μελέτης της χημικής κινητικής είναι:
Α) οι ταχύτητες των χημικών αντιδράσεων
Β) οι παράγοντες που επηρεάζουν τις ταχύτητες των χημικών αντιδράσεων
Γ) οι μηχανισμοί με τους οποίους πραγματοποιούνται οι χημικές αντιδράσεις
Δ) όλα τα παραπάνω

10.2. Ένα μόριο $H_2(g)$ και ένα μόριο $I_2(g)$ συγκρούονται με την κατάλληλη ενέργεια και το σωστό προσανατολισμό προς σχηματισμό του ενεργοποιημένου συμπλόκου και στη συνέχεια το σχηματισμό δύο μορίων HI(g), σύμφωνα με την εξίσωση: $H_2(g) + I_2(g) \rightarrow 2HI(g)$. Ποιο από τα παρακάτω μπορεί να αντιστοιχεί στο ενεργοποιημένο σύμπλοκο της αντίδρασης;

Α) 
Β) 
Γ) 
Δ) 

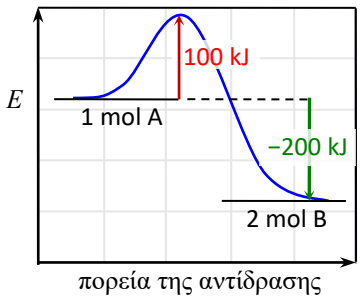
10.3. Για την αντίδραση που ακολουθεί,
$N_2O(g) + NO(g) \rightarrow N_2(g) + NO_2(g)$,
ποιες από τις παρακάτω συγκρούσεις έχουν το σωστό προσανατολισμό; Στο NO_2 το άτομο του N ενώνεται με δύο άτομα O.

I. 
II. 
III. 

Α) Μόνο η σύγκρουση I
Β) Μόνο η σύγκρουση II
Γ) Οι συγκρούσεις II και III
Δ) Οι συγκρούσεις I και III

10.4. Η ενέργεια ενεργοποίησης (E_a):
Α) εμφανίζεται τόσο στις ενδόθερμες όσο και στις εξώθερμες αντιδράσεις
Β) εμφανίζεται μόνο στις ενδόθερμες αντιδράσεις
Γ) είναι θετική στις ενδόθερμες αντιδράσεις και αρνητική στις εξώθερμες
Δ) είναι αρνητική στις ενδόθερμες αντιδράσεις και θετική στις εξώθερμες

10.5. Στην αντίδραση που περιγράφεται από την εξίσωση, $A(g) \rightarrow 2B(g)$, αντιστοιχεί το ενεργειακό διάγραμμα που ακολουθεί. Για την αντίδραση, $2B(g) \rightarrow A(g)$, η τιμή της ενθαλπίας της αντίδρασης (ΔH) και η τιμή της ενέργειας ενεργοποίησης (E_a) είναι, αντίστοιχα:



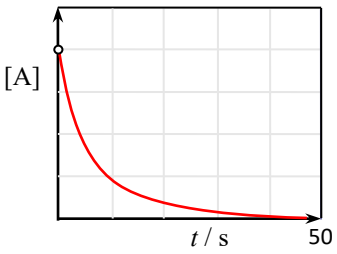
Α) −200 και 100 kJ
Β) 200 και 300 kJ
Γ) 200 και −300 kJ
Δ) −200 και 0 kJ

10.6. Σύμφωνα με τη θεωρία της μεταβατικής κατάστασης, τα αντιδρώντα μόρια κατά τη σύγκρουσή τους απορροφούν την ενέργεια ενεργοποίησης E_a και σχηματίζουν ένα αστάθες σωματίδιο υψηλής ενέργειας, που αναφέρεται ως:
Α) προσανατολισμένο σύμπλοκο
Β) ενεργοποιημένο σύμπλοκο
Γ) ενεργοποιημένο μόριο
Δ) μεταβατικό ενδιάμεσο

10.7. Ποιο από τα παρακάτω μεγέθη που αντιστοιχούν στην αντίδραση $A(g) \rightarrow B(g)$ μπορεί να πάρει και αρνητικές τιμές;
Α) Η ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης
Β) Η ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης, $B(g) \rightarrow A(g)$
Γ) Η ταχύτητα της αντίδρασης
Δ) Η ενθαλπία της αντίδρασης

10.8. Σε δοχείο εισάγονται ισομοριακές ποσότητες από τις αέριες ουσίες Α και Β, οπότε πραγματοποιείται η αντίδραση που περιγράφεται με την εξίσωση: $A(g) + 2B(g) \rightarrow \Gamma(g)$. Κατά τη διάρκεια της αντίδρασης αυτής:
Α) η συγκέντρωση του Α και η συγκέντρωση του Β μειώνονται με τον ίδιο ρυθμό
Β) η συγκέντρωση του Γ αυξάνεται με σταθερό ρυθμό
Γ) η συγκέντρωση του Β ελαττώνεται με διπλάσιο ρυθμό από τη συγκέντρωση του Α
Δ) η συγκέντρωση του Α ελαττώνεται με φθίνοντα ρυθμό και τελικά μηδενίζεται

10.9. Για την αντίδραση, $A(g) \rightarrow 2B(g) + \Gamma(g)$, η συγκέντρωση του A(g) σε σχέση με το χρόνο παριστάνεται στο διπλανό διάγραμμα. Ποια από τις ταχύτητες που ακολουθούν είναι η μεγαλύτερη;



Α) Η αρχική ταχύτητα της αντίδρασης
Β) Η μέση ταχύτητα της αντίδρασης
Γ) Η τελική ταχύτητα της αντίδρασης
Δ) Η ταχύτητα όταν η [A] έχει υποδιπλασιαστεί

10.10. Το N_2O_4 μετατρέπεται σε NO_2 σύμφωνα με τη χημική εξίσωση: $N_2O_4(g) \rightarrow 2NO_2(g)$. Τη χρονική στιγμή t ο ρυθμός μεταβολής της $[N_2O_4]$ είναι x_1, ενώ ο ρυθμός μεταβολής της $[NO_2]$ είναι x_2. Ο λόγος (x_1/x_2) είναι ίσος με:

Α) $\frac{1}{2}$ Β) $-\frac{1}{2}$ Γ) 2 Δ) −2

[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

10.11. Για την αντίδραση, $2A(s) + B(g) \rightarrow \Gamma(g) + 3\Delta(g)$, ποια από τις εκφράσεις που ακολουθούν δεν είναι σωστή;

Α) $\upsilon = \frac{\Delta[\Delta]}{3\Delta t}$ Β) $\upsilon_B = \frac{\upsilon_\Delta}{3}$ Γ) $\upsilon = -\frac{\Delta[A]}{2\Delta t}$ Δ) $\upsilon_\Delta = 3\cdot\upsilon_\Gamma$

10.12. Κατά τη διάρκεια της αντίδρασης, $\alpha A(g) + \beta B(g) \rightarrow 2\Gamma(g)$, η ταχύτητα κατανάλωσης του Α είναι 3πλάσια της ταχύτητας κατανάλωσης του Β, ενώ η ταχύτητα σχηματισμού του Γ είναι 2πλάσια της ταχύτητας κατανάλωσης του Β. Με βάση τα δεδομένα αυτά, οι συντελεστές α και β των σωμάτων A(g) και B(g) είναι αντίστοιχα:

Α) 3 και 1 Β) 1 και 3 Γ) 3 και 2 Δ) 2 και 3

10.13. Σε κάποια χρονική στιγμή t κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της αντίδρασης, $2NO_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2NO_2Cl(g)$, ισχύει: $-d[Cl_2]/dt = 0{,}10\ M\cdot s^{-1}$. Την ίδια χρονική στιγμή (t), ποια θα είναι η τιμή της παράστασης: $d[NO_2Cl]/dt$;

Α) $0{,}20\ M\cdot s^{-1}$ Β) $-0{,}20\ M\cdot s^{-1}$
Γ) $0{,}10\ M\cdot s^{-1}$ Δ) 0,050 M/s

10.14. Να χαρακτηρίσετε τις προτάσεις που ακολουθούν ως σωστές ή λανθασμένες. Να εξηγήσετε τις απαντήσεις σας.

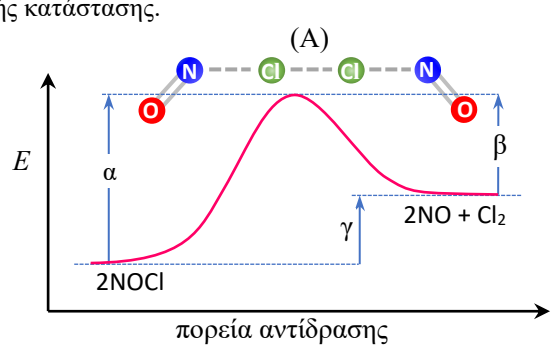
α) Συνήθως, η ταχύτητα μίας αντίδρασης αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου.

β) Για να γίνεται μία αντίδραση με μεγάλη ταχύτητα θα πρέπει να έχει μεγάλη τιμή ενέργειας ενεργοποίησης.

γ) Για τον υπολογισμό της μέσης ταχύτητας της αντίδρασης, $\alpha A(g) + \beta B(g) \rightarrow \gamma\Gamma(g)$, πρέπει να γνωρίζουμε τη μεταβολή της συγκέντρωσης ενός συστατικού, αντιδρώντος ή προϊόντος, σε ένα θεωρούμενο χρονικό διάστημα, καθώς και το συντελεστή του συστατικού αυτού.

δ) Οι εξώθερμες αντιδράσεις πραγματοποιούνται ταχύτερα από τις ενδόθερμες. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

10.15. Δίνεται το ενεργειακό διάγραμμα της αντίδρασης, $2NOCl \rightarrow 2NO + Cl_2$, σύμφωνα με τη θεωρία της μεταβατικής κατάστασης.



Στο διάγραμμα αυτό εμφανίζονται κάποια χαρακτηριστικά της αντίδρασης που επισημαίνονται με τα βέλη α, β και γ καθώς και ένα σωματίδιο που σχετίζεται με την αντίδραση αυτή και επισημαίνεται με το γράμμα (Α).

α) i. Σε ποια μεγέθη αντιστοιχούν τα βέλη α, β, γ;

ii. Ποιο από τα βέλη α, β, γ καθορίζει την ταχύτητα της αντίδρασης (προς τα δεξιά);

β) Με ποιον όρο χαρακτηρίζεται το σωματίδιο (Α);

Δεν απαιτούνται αιτιολογήσεις.

10.16. Σε δοχείο σταθερού όγκου που βρίσκεται σε σταθερή θερμοκρασία εισάγουμε ισομοριακές ποσότητες των αερίων Α και Β που αντιδρούν μεταξύ τους, σύμφωνα με την εξίσωση: $A(g) + 2B(g) \rightarrow \Gamma(g) + 3\Delta(g)$. Με βάση τα δεδομένα αυτά, ποιες από τις επόμενες προτάσεις είναι σωστές και ποιες όχι; Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας.

α) Κατά τη διάρκεια της αντίδρασης η [Β] αυξάνεται με διπλάσιο ρυθμό σε σχέση με τη [Α].

β) Η ταχύτητα της αντίδρασης αυξάνεται συνεχώς.

γ) Στο τέλος της αντίδρασης η [Α] μηδενίζεται.

δ) Στο τέλος της αντίδρασης η [Β] μηδενίζεται.

ε) Κατά τη διάρκεια της αντίδρασης η πίεση αυξάνεται συνεχώς μέχρι που σταθεροποιείται από κάποια χρονική στιγμή και μετά.

10.17. Κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της αντίδρασης,

$CaCO_3(s) \rightarrow CaO(s) + CO_2(g)$

i. η συνολική μάζα της στερεής φάσης μειώνεται

ii. η συνολική μάζα της στερεής φάσης μένει σταθερή

iii. ο ρυθμός παραγωγής του $CO_2(g)$ σε $g\cdot s^{-1}$ είναι ίσος με το ρυθμό παραγωγής του CaO(s) σε $g\cdot s^{-1}$

iv. ο ρυθμός διάσπασης του $CaCO_3(g)$ σε $g\cdot s^{-1}$ είναι ίσος με το ρυθμό παραγωγής του CaO(s) σε $g\cdot s^{-1}$

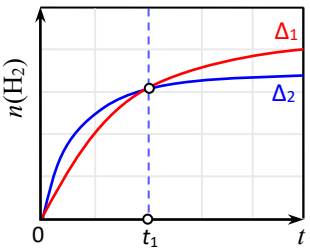
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

10.18. Δίνεται η αντίδραση που ακολουθεί.

$Zn(s) + 2HCl(aq) \rightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$

– Σε 800 mL διαλύματος HCl(aq) 0,3 M (Δ_1) προσθέτουμε περίσσεια Zn(s).

– Σε 400 mL διαλύματος HCl(aq) 0,5 M (Δ_2) προσθέτουμε περίσσεια Zn(s).



Η ποσότητα του H_2 που παράγεται αποδίδεται στα δύο διπλανά διαγράμματα. Ο λόγος των μέσων ταχυτήτων, $\upsilon_1 : \upsilon_2$, στο χρονικό διάστημα 0 - t_1 είναι ίσος με:

i. 1:1 ii. 1:2 iii. 2:1

α) Να επιλέξετε το σωστό.

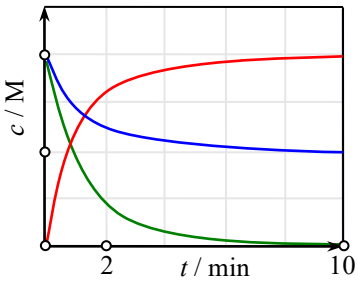
β) Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

10.19. Η πρόκληση σπινθήρα σε ένα αέριο μίγμα $H_2(g)$ και $O_2(g)$ οδηγεί σε μία ισχυρά εξώθερμη και εκρηκτική αντίδραση που παράγει $H_2O(g)$.

α) Να γράψετε την εξίσωση της αντίδρασης και να σημειώσετε αν $\Delta H > 0$ ή $\Delta H < 0$.

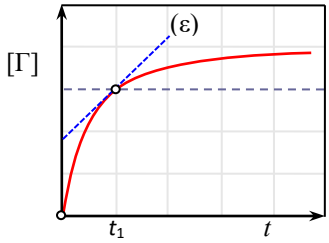
β) Να συγκρίνετε τον ρυθμό κατανάλωσης του O_2 (υ_1) με τον ρυθμό παραγωγής των υδρατμών (υ_2).
γ) Χωρίς την πρόκληση σπινθήρα, το μίγμα παραμένει αναλλοίωτο. Πώς εξηγείται το γεγονός αυτό;

10.20. Σε δοχείο σταθερού όγκου V εισάγονται ποσότητες των ενώσεων A(g) και B(g) και διεξάγεται υπό σταθερή θερμοκρασία η αντίδραση: $A(g) + \mu B(g) \rightarrow \lambda\Gamma(g) + \Delta(s)$.
Οι καμπύλες αντίδρασης για τρία από τα 4 σώματα δίνονται στο διπλανό γράφημα.



α) Να προσδιοριστούν οι τιμές των ακέραιων συντελεστών μ και λ.
β) Να εξηγήσετε πώς μεταβάλλεται η πίεση κατά τη διάρκεια της αντίδρασης.
γ) Κατά τη διάρκεια των πρώτων 2 min της αντίδρασης εκλύεται ποσό θερμότητας α kJ, ενώ τα επόμενα 2 min εκλύεται ποσό θερμότητας β kJ. Να συγκρίνετε την τιμή α με την τιμή β. Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

10.21. Σε δοχείο σταθερού όγκου V διεξάγεται η αντίδραση: $A(g) + B(g) \rightarrow 2\Gamma(g)$, υπό σταθερή θερμοκρασία T. Η [Γ(g)] με το χρόνο δίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Αν τη στιγμή t_1 η κλίση της ευθείας (ε) είναι ίση με λ, τότε η στιγμιαία ταχύτητα της αντίδρασης (υ_1) τη στιγμή t_1 είναι:
Α) $\upsilon_1 = \lambda$ Β) $\upsilon_1 = \lambda/2$ Γ) $\upsilon_1 = \varepsilon\varphi\lambda$ Δ) $\upsilon_1 = 2\lambda$
Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

10.22. Δείγματα Mg(s) εισάγονται σε διαλύματα HCl(aq) ίδιου όγκου και παρατηρείται πλήρης διάλυση του Mg(s) με ταυτόχρονη παραγωγή $H_2(g)$ σύμφωνα με την εξίσωση που ακολουθεί.

$$Mg(s) + 2HCl(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$$

Σε 4 από τα πειράματα αυτά πήραμε τα αποτελέσματα που εμφανίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πείραμα	Μάζα του Mg που αντέδρασε / g	Χρόνος αντίδρασης / min
I	0,2	1
II	2,0	5
III	4,0	10
IV	4,0	20

α) Με ανάλυση των παραπάνω δεδομένων προκύπτει ότι:
1. Η μέση ταχύτητα της αντίδρασης στο πείραμα I είναι μεγαλύτερη από αυτή στο πείραμα II
2. Η ποσότητα του εκλυόμενου $H_2(g)$ στο πείραμα II είναι μεγαλύτερη από αυτή στο πείραμα IV
3. Η μέση ταχύτητα της αντίδρασης στο πείραμα III είναι ίση με τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης στο πείραμα IV
4. Η μέση ταχύτητα της αντίδρασης στο πείραμα IV είναι η μισή της μέσης ταχύτητας της αντίδρασης στο πείραμα II
5. Η ποσότητα του εκλυόμενου $H_2(g)$ στο πείραμα III είναι μικρότερη σε σχέση με αυτή στο πείραμα IV
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

10.23. Δίνεται η αντίδραση που περιγράφεται με την εξίσωση που ακολουθεί.

$$SO_2(g) + NO_2(g) \rightarrow SO_3(g) + NO(g)$$

Για την αντίδραση προς τα δεξιά η ενέργεια ενεργοποίησης είναι E_{a1} ενώ για την αντίδραση προς τα αριστερά E_{a2}.
α) Να υπολογίσετε την πρότυπη ενθαλπία (ΔH^o) της αντίδρασης.
β) Να συγκρίνετε την ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης προς τα δεξιά (E_{a1}) με την αντίστοιχη προς τα αριστερά (E_{a2}).
Δίνονται οι πρότυπες ενθαλπίες σχηματισμού του $SO_2(g)$, του $SO_3(g)$, του NO(g) και του $NO_2(g)$, αντίστοιχα ίσες με −297, −396, 90 και 33, σε $kJ \cdot mol^{-1}$.

Προβλήματα

10.24. Σε δοχείο σταθερού όγκου 1 L εισάγονται 0,6 mol NO και 0,6 mol O_2 και διεξάγεται η αντίδραση που ακολουθεί σε κατάλληλη σταθερή θερμοκρασία.

$$2NO(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO_2(g)$$

Κατά διάρκεια της αντίδρασης η πίεση στο δοχείο ελαττώνεται και σταθεροποιείται μετά από χρόνο $t_v = 2$ min.
α) Να εξηγήσετε που οφείλεται η μεταβολή της πίεσης.
β) Ποια είναι η τελική σύσταση στο δοχείο (σε mol);
γ) Να υπολογίσετε το μέσο ρυθμό κατανάλωσης του NO και τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης σε όλη τη διάρκειά της.

10.25. Δοχείο σταθερού όγκου που περιέχει $NH_3(g)$ σε συγκέντρωση 0,8 M και $O_2(g)$ σε συγκέντρωση 1,2 M θερμαίνεται και από $t = 0$ διεξάγεται η αντίδραση με τη χημική εξίσωση που ακολουθεί.

$$4NH_3(g) + 5O_2(g) \rightarrow 4NO(g) + 6H_2O(g)$$

Τη χρονική στιγμή $t = 2$ min η συγκέντρωση της $NH_3(g)$ στο δοχείο είναι ίση με 0,6 M. Να υπολογιστούν:
α) Οι συγκεντρώσεις των υπολοίπων σωμάτων που συμμετέχουν στην αντίδραση τη χρονική στιγμή $t = 2$ min.
β) Η μέση ταχύτητα της αντίδρασης στο διάστημα 0 - 2 min.
γ) Οι ρυθμοί κατανάλωσης ή παραγωγής των σωμάτων της αντίδρασης στο διάστημα 0 - 2 min.

10.26. Η μέση ταχύτητα της αντίδρασης, $3A(g) \rightarrow 2B(g) + \Gamma(g)$, για το χρονικό διάστημα 2 - 4 min είναι $6 \cdot 10^{-3}$ M· min^{-1} ενώ για το χρονικό διάστημα 4 - 6 min η μέση ταχύτητα είναι $2 \cdot 10^{-3}$ $M \cdot min^{-1}$. Ποια είναι η μέση ταχύτητα της αντίδρασης για το χρονικό διάστημα 2 - 6 min;

10.27. Σε δοχείο όγκου $V = 1$ L εισάγονται 3,5 mol αερίου Α και 4,5 mol αερίου Β, υπό σταθερή θερμοκρασία και διεξάγεται η αντίδραση με την εξίσωση που ακολουθεί.

$$A(g) + B(g) \rightarrow 2\Gamma(g)$$

Τη χρονική στιγμή $t_1 = 4$ s στο δοχείο βρέθηκαν 3 mol Α, ενώ τη χρονική στιγμή $t_2 = 9$ s βρέθηκαν 3 mol από το Γ.

α) Να υπολογιστούν οι ποσότητες (σε mol) των άλλων αερίων τις χρονικές στιγμές t_1 και t_2.

β) Να υπολογιστεί η μέση ταχύτητα της αντίδρασης για το χρονικό διάστημα $\Delta t = t_2 - t_1$ καθώς και ο ρυθμός μείωσης της συγκέντρωσης του Α και ο ρυθμός αύξησης της συγκέντρωσης του Γ στο ίδιο χρονικό διάστημα Δt.

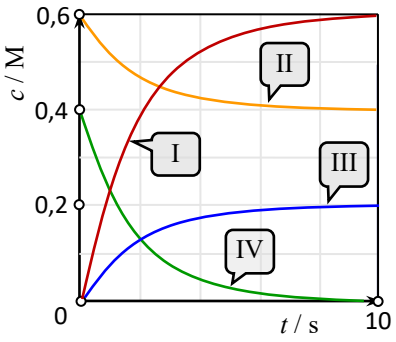
10.28. Σε δοχείο 2 L εισάγονται 400 g $CaCO_3(s)$ σε θερμοκρασία T και από $t = 0$ διεξάγεται η αντίδραση:

$$CaCO_3(s) \rightarrow CaO(s) + CO_2(g)$$

Τη χρονική στιγμή $t = 5$ min η μάζα των στερεών είναι ίση με 312 g. Να υπολογίσετε το ρυθμό παραγωγής του CO_2 σε $M \cdot min^{-1}$ για το χρονικό διάστημα 0-5 min.

10.29. Στο διάγραμμα που ακολουθεί εμφανίζονται οι καμπύλες αντίδρασης για τα αντιδρώντα και τα προϊόντα της αντίδρασης που ακολουθεί.

$$A(g) + 2B(g) \rightarrow x\Gamma(g) + \Delta(g)$$



α) i. Να προσδιορίσετε την τιμή του x (συντελεστής του προϊόντος Γ). Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

ii. Να κατασκευάσετε τον πίνακα της αντίδρασης (σε mol) με τις αρχικές ποσότητες, τις ποσότητες που αντιδρούν και που παράγονται καθώς και τις τελικές ποσότητες. Ο όγκος του δοχείου είναι $V = 1$ L.

β) Να υπολογίσετε το μέσο ρυθμό μεταβολής (αύξησης ή μείωσης) των συγκεντρώσεων όλων των σωμάτων που συμμετέχουν στην αντίδραση, καθώς και τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης από 0 - 10 s.

γ) Τη χρονική στιγμή $t_1 = 1$ s η ποσότητα του συστατικού Β είναι ίση με 0,3 mol. Να υπολογιστεί η μέση ταχύτητα της αντίδρασης από $t_0 = 0$ σε $t_1 = 1$ s.

10.30. Σε δοχείο σταθερού όγκου $V = 3$ L εισάγονται 0,6 mol $SO_2(g)$ και 1,5 mol αέρα (που αποτελείται από 80% v/v N_2 και 20% v/v O_2) οπότε από $t = 0$ διεξάγεται η αντίδραση,

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g),\ \Delta H = -200 \text{ kJ},$$

υπό σταθερή θερμοκρασία (T). Τη χρονική στιγμή $t = 50$ s η πίεση στο δοχείο έχει μειωθεί κατά 10% σε σχέση με την αρχική πίεση.

Για το χρονικό διάστημα 0-50 s, να υπολογιστούν:

α) Η μέση ταχύτητα της αντίδρασης.

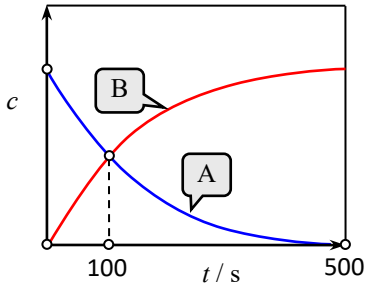
β) Ο μέσος ρυθμός παραγωγής θερμότητας σε $J \cdot s^{-1}$.

γ) Ο μέσος ρυθμός παραγωγής $SO_3(g)$ σε $g \cdot s^{-1}$.

10.31. Σε δοχείο όγκου $V = 2$ L εισάγουμε ποσότητα αέριας ένωσης Α(g) η οποία από $t = 0$ διασπάται πλήρως σύμφωνα με τη χημική αντίδραση που ακολουθεί.

$$A(g) \rightarrow B(g) + 2\Gamma(g)$$

Για τα σώματα Α(g) και Β(g) λαμβάνουμε τις καμπύλες αντίδρασης που εμφανίζονται στο γράφημα που ακολουθεί.



α) Αν τη χρονική στιγμή $t = 100$ s, ισχύει: [Α] = [Β] = 1 M, να υπολογιστούν:

i. Η αρχική ποσότητα του σώματος Α(g), σε mol.

ii. Η μέση ταχύτητα της αντίδρασης από 0 σε 100 s.

iii. Η συγκέντρωση του Γ(g) για $t = 100$ s.

β) Η αντίδραση ολοκληρώνεται τη χρονική στιγμή $t_v = 500$ s. Τη χρονική αυτή στιγμή να προσδιοριστούν:

i. Η ταχύτητα της αντίδρασης.

ii. Οι συγκεντρώσεις όλων των σωμάτων.

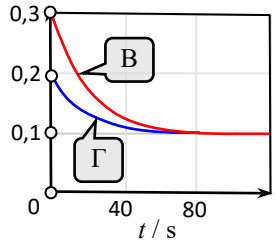
10.32. Διαθέτουμε διάλυμα Α(aq) 0,012 M (Δ1) και διάλυμα Β(aq) 0,004 M (Δ2). Σε ένα πείραμα αναμιγνύονται ίσοι όγκοι του διαλύματος Δ1 και του διαλύματος Δ2 και αμέσως μετά αρχίζει η διεξαγωγή της αντίδρασης:

$$3A(aq) + B(aq) \rightarrow \Gamma(s) + 2\Delta(aq)$$

Η αντίδραση ολοκληρώνεται τη χρονική στιγμή $t_v = 40$ s. Να υπολογίσετε τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης για το χρονικό διάστημα 0-40 s.

10.33. Σε δοχείο 2 L εισάγονται x mol Α(s), 0,6 mol Β(g) και 0,4 mol Γ(g) και υπό σταθερή θερμοκρασία T διεξάγεται η εξώθερμη αντίδραση: $A(s) + 2B(g) + \Gamma(g) \rightarrow \Delta(s) + 2E(g)$.

Οι συγκεντρώσεις των Β(g) και Γ(g) από την έναρξη της αντίδρασης ($t = 0$) μέχρι την ολοκλήρωσή της ($t_v = 80$ s) σε σχέση με το χρόνο εμφανίζονται στο διπλανό γράφημα.



α) Να προσδιοριστεί η αρχική ποσότητα (x mol) του σώματος Α(s).

β) Να υπολογιστεί ο ρυθμός παραγωγής του Ε(g) σε $M \cdot s^{-1}$ από $t = 0$ μέχρι $t_v = 80$ s καθώς και η ταχύτητα της αντίδρασης στο ίδιο διάστημα, σε $M \cdot s^{-1}$.

γ) Το διάστημα 0-40 s εκλύεται ποσό θερμότητας q_1 ενώ το διάστημα 40-80 s εκλύεται ποσό θερμότητας q_2. Να συγκρίνετε τα ποσά θερμότητας q_1 και q_2. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

10.34. Σε διάλυμα όγκου 250 mL διεξάγεται η αντίδραση:

$$2H_2O_2(aq) \longrightarrow 2H_2O(\ell) + O_2(g),\ \Delta H = -200\ kJ$$

Τη χρονική στιγμή t ο ρυθμός απελευθέρωσης του O_2 είναι 56 mL·min^{-1} (ο όγκος σε STP). Τη χρονική στιγμή t να υπολογιστούν:

α) Ο ρυθμός μείωσης της $[H_2O_2]$, σε M·min^{-1}.

β) Ο ρυθμός παραγωγής της θερμότητας, σε J·min^{-1}.

Τα ποσά θερμότητας και η ενθαλπία της αντίδρασης είναι στις ίδιες συνθήκες.

10.35. 0,7 mol $A_2(g)$ και x mol $B_2(g)$ αντιδρούν από $t = 0$ σε δοχείο όγκου $V = 0,5$ L και σε κατάλληλη θερμοκρασία (T), σύμφωνα με την χημική εξίσωση που ακολουθεί.

$$A_2(g) + B_2(g) \longrightarrow 2AB(g)$$

Τη στιγμή $t = 2$ min από την έναρξη της αντίδρασης στο δοχείο προσδιορίζονται 0,5 mol B_2 και 0,8 mol AB(g).

α) Να υπολογιστεί η αρχική ποσότητα (x mol) του $B_2(g)$.

β) Να υπολογιστεί η μέση ταχύτητα της αντίδρασης για τα πρώτα 2 min διεξαγωγής της αντίδρασης.

γ) Αν η μέση ταχύτητα της αντίδρασης από την έναρξη μέχρι την ολοκλήρωσή της είναι 0,007 M min^{-1}, να υπολογίσετε το συνολικό χρόνο ολοκλήρωσης της αντίδρασης.

10.36. **Πρόκληση!** Σε δοχείο σταθερού όγκου και υπό σταθερή θερμοκρασία διεξάγονται ταυτόχρονα και ανεξάρτητα η μία από την άλλη οι δύο αντιδράσεις (1) και (2):

$$A(g) \longrightarrow B(g)\ (1) \qquad A(g) \longrightarrow \Gamma(g) + \Delta(g)\ (2)$$

Ποια από τις παρακάτω σχέσεις συσχετίζει σωστά τον ρυθμό κατανάλωσης του σώματος A(g) με τον ρυθμό παραγωγής των προϊόντων;

Α) $-\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = \frac{\Delta[B]}{\Delta t} + \frac{\Delta[\Gamma]}{\Delta t} + \frac{\Delta[\Delta]}{\Delta t}$ Β) $-\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = \frac{\Delta[B]}{\Delta t} + \frac{\Delta[\Gamma]}{\Delta t}$

Γ) $-2\cdot\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = \frac{\Delta[B]}{\Delta t} + \frac{\Delta[\Gamma]}{\Delta t}$ Δ) $\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = \frac{\Delta[B]}{\Delta t} + \frac{\Delta[\Gamma]}{\Delta t} + \frac{\Delta[\Delta]}{\Delta t}$

10.37. Σε δοχείο σταθερού όγκου $V = 2$ L εισάγονται 2,24 L αερίου C_2H_4 και 4,48 L αερίου H_2, παρουσία Ni σε κατάλληλη θερμοκρασία, οπότε πραγματοποιείται η αντίδραση (1) που ακολουθεί.

$$C_2H_4(g) + H_2(g) \longrightarrow C_2H_6(g),\ \Delta H = -200\ kJ\ \ (1)$$

Μέχρι τη χρονική στιγμή $t = 10$ s έχουν εκλυθεί 10 kJ.

Οι όγκοι των αερίων είναι μετρημένοι σε STP.

α) Να υπολογίσετε τις ποσότητες σε mol των αερίων που υπάρχουν στο δοχείο τη χρονική στιγμή $t = 10$ s.

β) Να υπολογίσετε τη μέση ταχύτητα σχηματισμού του $C_2H_6(g)$ στο χρονικό διάστημα από 0 έως 10 s.

[ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2023]

10.38. 48 mol αερίου μίγματος που αποτελείται από τα αέρια $A_2(g)$ και $B_2(g)$ εισάγονται σε δοχείο όγκου $V = 10$ L και από $t = 0$ αντιδρούν σε κατάλληλες συνθήκες, σύμφωνα με την χημική εξίσωση που ακολουθεί.

$$A_2(g) + 3B_2(g) \longrightarrow 2AB_3(g)$$

Από τη χρονική στιγμή $t = 200$ s και μετά η πίεση στο δοχείο σταθεροποιείται. Η μέση ταχύτητα της αντίδρασης από την έναρξη μέχρι την ολοκλήρωσή της είναι $\upsilon = 5\cdot10^{-3}$ M s^{-1}.

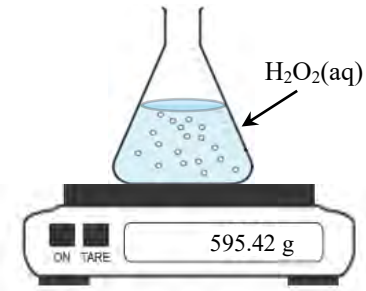
α) Να υπολογίσετε την τελική ποσότητα του αερίου προϊόντος της αντίδρασης σε mol.

β) Σε κάποια χρονική στιγμή t_1 διεξαγωγής της αντίδρασης έχει σχηματιστεί ισομοριακό μίγμα των τριών αερίων. Ποιες είναι οι αρχικές ποσότητες των αερίων $A_2(g)$ και $B_2(g)$ στο αρχικό μίγμα;

10.39. Ανοικτή φιάλη περιέχει διάλυμα υπεροξειδίου του υδρογόνου, $H_2O_2(aq)$, περιεκτικότητας 1,7 % w/v, όγκου 500 mL και θερμοκρασίας 25 °C. Η φιάλη με το διάλυμα βρίσκεται σε ζυγό ακριβείας και παρακολουθείται συνεχώς η μάζα της. Στο διάλυμα προστίθεται το ένζυμο καταλάση και από $t = 0$ το $H_2O_2(aq)$ διασπάται με βάση την εξίσωση που ακολουθεί.

$$2H_2O_2(aq) \longrightarrow H_2O(\ell) + O_2(g),\ \Delta H = -196\ kJ$$

Παρατηρείται η συνεχής έκλυση φυσαλίδων $O_2(g)$ στην ατμόσφαιρα, με μειούμενο ρυθμό, και ότι μέχρι τη χρονική στιγμή $t = 50$ s, το διάλυμα παρουσιάζει μείωση μάζας κατά 1,6 g.



α) Να υπολογίσετε την ποσότητα σε mol του H_2O_2 που έχει παραμείνει χωρίς να διασπαστεί τη χρονική στιγμή $t = 50$ s.

β) Ποιος ο μέσος ρυθμός διάσπασης του H_2O_2 στο χρονικό διάστημα (0 - 50) s και ποια η ταχύτητα της αντίδρασης στο ίδιο χρονικό διάστημα;

γ) Να υπολογίσετε το ποσό θερμότητας που εκλύθηκε από την έναρξη της αντίδρασης μέχρι τη χρονική στιγμή $t = 50$ s.

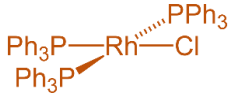
δ) Τη χρονική στιγμή $t = 100$ s παρατηρείται ακόμη έκλυση φυσαλίδων. Να εξηγήσετε αν η μείωση μάζας της φιάλης στο χρονικό διάστημα (50 - 100) s είναι μεγαλύτερη, μικρότερη ή ίση με 1,6 g.

Ο όγκος του διαλύματος είναι σταθερός σε όλη τη διάρκεια του πειράματος.

Χημεία και… τέρατα: *«L'appuntamento (το ραντεβού)!»*

Στις 10 Δεκεμβρίου κάθε χρόνο στη Στοκχόλμη είναι το καθιερωμένο ραντεβού με το βραβείο Νόμπελ Χημείας. Το 1973 η πρόσκληση για το ραντεβού έγραφε δύο ονόματα, του Άγγλου Geoffrey Wilkinson και του Γερμανού Ernst Otto Fischer για «τις πρωτοπόρες τους εργασίες στην Οργανομεταλλική Χημεία και των λεγομένων ενώσεων «sandwich».

Ο καταλύτης του Wilkinson $RhCl(PC_6H_5)_3$ είναι μία οργανομεταλλική σύμπλοκη ένωση του ροδίου (Ι), που χρησιμοποιείται στην ομογενή προσθήκη H_2 σε αλκένια και αλκίνια αλλά και σε αρκετές άλλες περιπτώσεις.



Πρόκειται για ένα καστανοκόκκινο στερεό διαλυτό σε υδρογονάνθρακες όπως το βενζόλιο, αλλά και σε άλλους διαλύτες όπως το διχλωρομεθάνιο.



Οι ενώσεις sandwich είναι οργανομεταλλικές ενώσεις στις οποίες ένα άτομο μετάλλου συνδέεται με δύο αρωματικούς δακτυλίους, όπως είναι τα μεταλλοκένια του τύπου $M(C_5H_5)_2$ όπου M = Cr, Fe, Co, Ru, Rh κ.α. Χρησιμοποιούνται ως καταλύτες, στην ανάπτυξη νέων υλικών, στη φαρμακευτική κτλ.

Ο Wilkinson εκείνη την εποχή εργαζόταν στο Imperial College του Λονδίνου αλλά δεν ήταν μόνο εκεί. Ο δρόμος για τη Στοκχόλμη είχε πολλές στάσεις για το «μεγάλο» Wilkinson: Από το Montreal και το Chalk River του Καναδά, το Πανεπιστήμιο Berkley της Καλιφόρνια, το διάσημο MIT της Μασαχουσέτης το 1950, στο Πανεπιστήμιο Harvard το 1951 και πάλι πίσω στην Αγγλία στο Imperial College το 1955, όπου τον «περίμενε» ο περίφημος καταλύτης του, τα στοιχεία μετάπτωσης, η Οργανομεταλλική Χημεία και τελικά το ραντεβού με το βραβείο Νόμπελ.

Πώς γεννήθηκε η ιδέα των βραβείων Νόμπελ; Η ιδέα των βραβείων ήταν μία ιδέα ζωής για το μεγάλο Σουηδό Alfred Nobel, χημικό, εφευρέτη και φιλάνθρωπο που γεννήθηκε το 1833 στη Στοκχόλμη. Στις 27 Νοεμβρίου του 1895 υπογράφει την τελική του διαθήκη στο Σουηδο-Νορβηγικό Club στο Παρίσι. Τον Απρίλιο του 1897 το Νορβηγικό κοινοβούλιο αποδέχεται τη διαθήκη και στη συνέχεια με τη σειρά τους και το ινστιτούτο Karolinska, η Σουηδική Ακαδημία και η Βασιλική Ακαδημία Επιστημών. Το ίδρυμα Νόμπελ που ιδρύθηκε λίγο μετά αποτελείται από τα ινστιτούτα Φυσικής και Χημείας (και αργότερα και Οικονομικών), το Ινστιτούτο Ιατρικής, το Ινστιτούτο Λογοτεχνίας και το Ινστιτούτο Ειρήνης. Καθένα από τα Ινστιτούτα αυτά διαθέτει και από μία επιτροπή που απονέμει τα βραβεία Νόμπελ κάθε χρόνο στις 10 Δεκεμβρίου, ημέρα που πέθανε ο εμπνευστής των βραβείων.

Γιατί δεν απονέμονται βραβεία Νόμπελ στα Μαθηματικά; Ο Νόμπελ δεν δημιούργησε ένα βραβείο για τα Μαθηματικά, απλώς γιατί δεν ενδιαφερόταν για τα Μαθηματικά και γενικότερα για τις θεωρητικές σπουδές. Μιλούσε για βραβεία σε ανακαλύψεις ή εφευρέσεις μεγάλης σπουδαιότητας για τον άνθρωπο. Σαν αποτέλεσμα, π.χ. έχουν δοθεί πολύ περισσότερα βραβεία Νόμπελ για σπουδαίες πειραματικές εργασίες Φυσικής, αλλά όχι για εργασίες πάνω στη θεωρία της Φυσικής.

Ένας άλλος πιθανός λόγος για τον οποίο ο Νόμπελ δεν δημιούργησε βραβείο για τα Μαθηματικά ήταν το ότι εκείνη την εποχή ήδη υπήρχε ένα Σκανδιναβικό βραβείο για τα Μαθηματικά και ίσως αυτό τον ώθησε να δώσει σημασία στις άλλες επιστήμες. Επίσης, αναφέρεται και η αντιπάθεια που είχε για έναν μεγάλο Σουηδό Μαθηματικό, τον Costa Mittag-Leffler (οι «κακές γλώσσες» λένε ότι η αντιπάθειά τους αυτή οφειλόταν στον έρωτά τους για την ίδια γυναίκα!). Ίσως ένας τελευταίος λόγος να ήταν το ότι τα μαθηματικά ήταν και είναι παρόντα ως εργαλεία σε πολλές άλλες επιστήμες, όπως η Φυσική, η Χημεία και η Οικονομία.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

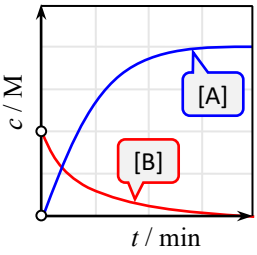
ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 10

Στις παρακάτω ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής 1-11, να σημειώσετε απλώς τη σωστή απάντηση.

1. Η ενέργεια ενεργοποίησης E_a μιας αντίδρασης:
Α) λαμβάνει γενικά θετικές τιμές
Β) είναι, σύμφωνα με τη θεωρία των συγκρούσεων, η ελάχιστη τιμή της κινητικής ενέργειας των αντιδρώντων μορίων για να είναι μία σύγκρουση αποτελεσματική
Γ) είναι, σύμφωνα με τη θεωρία της μεταβατικής κατάστασης, η απαιτούμενη ενέργεια που πρέπει να προσλάβουν τα αντιδρώντα μόρια για το σχηματισμό του ενεργοποιημένου συμπλόκου
Δ) Ισχύουν όλα τα παραπάνω

2. Η χημική αντίδραση, $N_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO(g)$, είναι πολύ αργή σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, διότι:
Α) Η μεταβολή της ενθαλπίας είναι αρνητική
Β) Η μεταβολή της ενθαλπίας είναι θετική
Γ) Η ενέργεια ενεργοποίησης είναι μεγάλη
Δ) Η ενέργεια ενεργοποίησης είναι μικρή [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

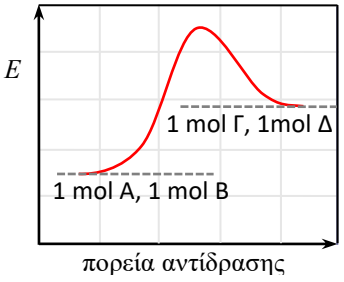
3. Η διπλανή γραφική παράσταση απεικονίζει τις συγκεντρώσεις αντιδρώντος και προϊόντος μιας χημικής αντίδρασης, σε συνάρτηση με το χρόνο. Η χημική εξίσωση που ταιριάζει στην γραφική παράσταση είναι η:



Α) $A \rightarrow B$ Β) $B \rightarrow A$
Γ) $A \rightarrow 2B$ Δ) $B \rightarrow 2A$
Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

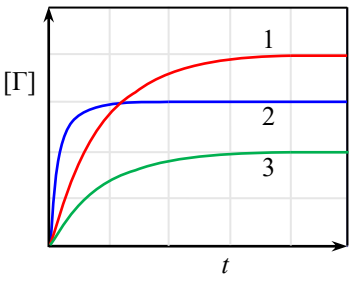
4. Στο διάγραμμα που ακολουθεί παριστάνονται οι ενεργειακές μεταβολές κατά την αντίδραση:

$A + B \rightarrow \Gamma + \Delta$



Με βάση το διάγραμμα αυτό, ποια από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι η σωστή;
Α) Η ενέργεια ενεργοποίησης (E_a) της αντίδρασης $A + B \rightarrow \Gamma + \Delta$ είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης $\Gamma + \Delta \rightarrow A + B$
Β) Κατά τη διάρκεια της αντίδρασης εκλύεται θερμότητα προς το περιβάλλον
Γ) Η αντίδραση $A + B \rightarrow \Gamma + \Delta$ είναι ενδόθερμη και επομένως ισχύει ότι η ενθαλπία αντιδρώντων μεγαλύτερη από την ενθαλπία προϊόντων
Δ) Η αντίδραση $A + B \rightarrow \Gamma + \Delta$ είναι εξώθερμη και επομένως ισχύει ότι η ενθαλπία αντιδρώντων μεγαλύτερη από την ενθαλπία προϊόντων

5. Η αντίδραση: $A(g) \rightarrow 2B(g) + \Gamma(g)$ διεξάγεται σε τρία διαφορετικά δοχεία (1, 2 και 3) και κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Η [Γ] στα τρία αυτά δοχεία σε σχέση με το χρόνο δίνεται στο διπλανό διάγραμμα. Σε ποιο από τα τρία δοχεία η αντίδραση ολοκληρώνεται σε μικρότερο χρονικό διάστημα;



Α) Στο δοχείο 1
Β) Στο δοχείο 2
Γ) Στο δοχείο 3
Δ) Δεν μπορεί να διαπιστωθεί από τα δεδομένα

6. Για την αντίδραση: $2H_2(g) + 2NO(g) \rightarrow 2H_2O(g) + N_2(g)$, η μέση ταχύτητα της αντίδρασης είναι 0,2 $mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}$ ενώ ο ρυθμός κατανάλωσης του H_2 είναι ίσος με:
Α) 0,3 $mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}$ Β) 0,1 $mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}$
Γ) 0,4 $mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}$ Δ) 0,2 $mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}$ [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

7. Για την αντίδραση, $3A(g) \rightarrow 2B(g)$, ισχύει:

$$\frac{d[A]}{dt} = \lambda \cdot \frac{d[B]}{dt}.$$

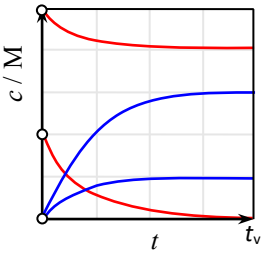
Ποια η τιμή του λ;
Α) $\lambda = -3/2$ Β) $\lambda = 3/2$ Γ) $\lambda = 2/3$ Δ) $\lambda = -2/3$

8. Παρακολουθούμε την αντίδραση, $A(g) + 2B(g) \rightarrow 3\Gamma(g)$, από $t = 0$ (έναρξη) μέχρι $t = t_v$ (τέλος). Οι ρυθμοί μείωσης των συγκεντρώσεων των Α και Β και ο ρυθμός αύξησης της συγκέντρωσης του Γ παριστάνονται με τα μεγέθη υ_A, υ_B και υ_Γ, αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια της αντίδρασης τα μεγέθη:
Α) υ_A, υ_B και υ_Γ αυξάνονται
Β) υ_A, υ_B και υ_Γ μειώνονται
Γ) υ_A και υ_B αυξάνονται και το υ_Γ μειώνεται
Δ) υ_A και υ_B μειώνονται και το υ_Γ αυξάνεται

9. Σε δοχείο εισάγουμε ποσότητες των αερίων A(g) και B(g) και διεξάγεται η αντίδραση:

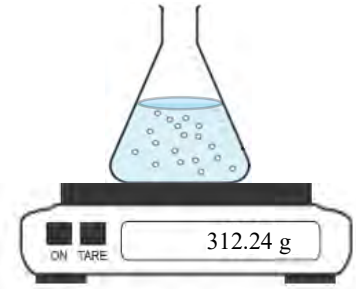
$A(g) + xB(g) \rightarrow \Gamma(g) + y\Delta(g)$

όπου x και y οι συντελεστές των B(g) και Δ(g), αντίστοιχα. Στο διπλανό γράφημα εμφανίζονται οι καμπύλες των συγκεντρώσεων για όλα τα σώματα που σχετίζονται με αυτή την αντίδραση σε σχέση με το χρόνο. Με βάση τα προηγούμενα προκύπτει ότι:



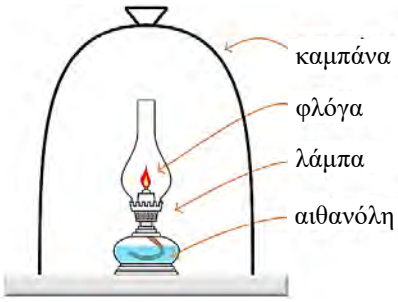
Α) x = 2, y = 3 Β) x = 1, y = 3
Γ) το σώμα Β είναι σε περίσσεια
Δ) η αντίδραση δεν ολοκληρώνεται

10. Για ποια αντίδραση μπορεί να είναι χρήσιμη η συσκευή του σχήματος για τη μέτρηση της ταχύτητας της αντίδρασης;



Α) $PCl_3(g) + Cl_2(g) \rightarrow PCl_5(g)$
Β) $NaOH(aq) + HCl(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(\ell)$
Γ) $CaO(s) + 2HCl(aq) \rightarrow CaCO_3(s) + H_2O(\ell)$
Δ) $Na_2CO_3(aq) + 2HCl(aq) \rightarrow 2NaCl(aq) + CO_2(g) + H_2O(\ell)$

11. Στο σχήμα που ακολουθεί εμφανίζεται μία πρόχειρη λάμπα που χρησιμοποιεί την αιθανόλη (CH_3CH_2OH) ως καύσιμο και φυτίλι το οποίο ανάβει. Η λάμπα περιβάλλεται από μία γυάλινη καμπάνα η οποία εγκλωβίζει τον περιεχόμενο αέρα και δεν επιτρέπει την είσοδο επιπλέον αέρα ούτε την έξοδο των εγκλωβισμένων αερίων. Η λάμπα περιέχει 3 mol $CH_3CH_2OH(\ell)$ και μέσα στην καμπάνα υπάρχουν εγκλωβισμένα 9 mol O_2.



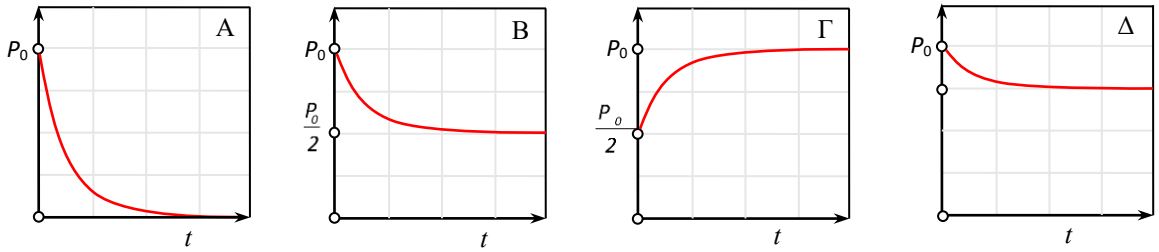
Με βάση τα δεδομένα αυτά προκύπτει ότι:
Α) η λάμπα αναμένεται να σβήσει όταν θα έχει χρησιμοποιηθεί όλη η ποσότητα του O_2 και έχουν παραμείνει 2 mol αιθανόλης χωρίς να καούν
Β) ο ρυθμός κατανάλωσης του O_2 (σε $mol \cdot min^{-1}$) είναι τριπλάσιος από τον ρυθμό παραγωγής του H_2O (σε $mol \cdot min^{-1}$)
Γ) ο ρυθμός παραγωγής του CO_2 (σε $mol \cdot min^{-1}$) είναι 1,5 φορές μεγαλύτερος από τον ρυθμό κατανάλωσης του O_2 (σε $mol \cdot min^{-1}$)
Δ) ο ρυθμός παραγωγής του CO_2 (σε $mol \cdot min^{-1}$) είναι διπλάσιος από τον ρυθμό κατανάλωσης της αιθανόλης (σε $mol \cdot min^{-1}$)
Να θεωρηθεί ότι η καύση της αιθανόλης παράγει αποκλειστικά CO_2 και H_2O.

---

12. Δοχείο σταθερού όγκου περιέχει ποσότητα Α(g) το οποίο σε κατάλληλη σταθερή θερμοκρασία διασπάται σύμφωνα με την αντίδραση που ακολουθεί.

$$2A(g) \rightarrow B(g) + \Gamma(s)$$

Η πίεση στο δοχείο πριν την έναρξη της αντίδρασης είναι ίση με P_0.
α) Ποιο από τα διαγράμματα Α-Δ που ακολουθούν αποδίδει τη μεταβολή της πίεσης στο δοχείο ως συνάρτηση του χρόνου, από την έναρξη της αντίδρασης μέχρι την ολοκλήρωσή της;



β) Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

.....

.....

.....

.....

.....

13. Σε υψηλές θερμοκρασίες, όπως αυτές που επικρατούν στον κινητήρα ενός αυτοκινήτου, το N_2O μπορεί να μετατραπεί σε NO σύμφωνα με τη χημική εξίσωση:

$$N_2O(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \rightarrow 2NO(g)$$

α) Η μέση ταχύτητα παραγωγής του NO στην παραπάνω αντίδραση είναι ίση με 0,06 $M \cdot s^{-1}$ για τα πρώτα 5 s. Από 5 s μέχρι 15 s η μέση ταχύτητα της αντίδρασης μπορεί να είναι ίση με:
i. 0,09 $M \cdot s^{-1}$ ii. 0,06 $M \cdot s^{-1}$ iii. 0,03 $M \cdot s^{-1}$ iv. 0,01 $M \cdot s^{-1}$
β) Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2025]

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

14. 0,2 mol NH_3 διαβιβάζονται σε δοχείο όγκου 0,5 L και αντιδρούν με περίσσεια οξειδίου του χαλκού (CuO), οπότε πραγματοποιείται η αντίδραση που ακολουθεί:

$$2NH_3(g) + 3CuO(s) \rightarrow N_2(g) + 3Cu(s) + 3H_2O(\ell)$$

Σε χρόνο $t = 10$ s έχει διασπαστεί το 20% της ποσότητας NH_3. Να προσδιορίσετε τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης και τη μέση ταχύτητα κατανάλωσης της NH_3 στο χρονικό διάστημα των 10 s. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2023]

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

15. Σε δοχείο σταθερού όγκου V = 10 L, που βρίσκεται σε περιβάλλον σταθερής θερμοκρασίας T, εισάγονται x mol CO και x mol O_2, οπότε από t = 0 εξελίσσεται η αντίδραση:

$$2CO(g) + O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g)$$

Τη χρονική στιγμή t_1 = 10 s βρέθηκε ότι ισχύει: [CO] = [CO_2] = 0,2 M.

α) Να υπολογίσετε τις ποσότητες (x mol) του CO και του O_2 που είχαν εισαχθεί αρχικά στο δοχείο.

β) Να υπολογίσετε τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης από t = 0 μέχρι t_1 = 10 s, καθώς και τις μέσες ταχύτητες κατανάλωσης των αντιδρώντων και σχηματισμού του προϊόντος στο ίδιο χρονικό διάστημα.

γ) Να εξηγήσετε αν τη χρονική στιγμή t_1 = 10 s η αντίδραση έχει ολοκληρωθεί ή όχι.

δ) Μία επόμενη χρονική στιγμή $t_2 > t_1$ η συγκέντρωση του O_2 βρέθηκε ίση με 0,2 M. Να εξετάσετε αν η αντίδραση τη χρονική στιγμή t_2 έχει ολοκληρωθεί ή όχι. Ποια η (στιγμιαία) ταχύτητα της αντίδρασης τη χρονική στιγμή t_2;

ε) Να εξηγήσετε πώς μεταβάλλεται (αύξηση, μείωση, καμία μεταβολή) η πίεση στο δοχείο κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής της αντίδρασης.



11 Χημική Κινητική - Παράγοντες που Επηρεάζουν την Ταχύτητα Αντίδρασης

ΘΕΜΑΤΑ ΘΕΩΡΙΑΣ

1. Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα μιας αντίδρασης

Η ταχύτητα αντίδρασης εξαρτάται και από τη φύση των αντιδρώντων καθώς έχουν διαφορετικές ιδιότητες και αντιδρούν με διαφορετικές ταχύτητες.

Σε μία αντίδραση είναι σημαντική η γνώση των παραγόντων που επηρεάζουν την ταχύτητά της ώστε να μπορεί να γίνει παρέμβαση κατά τον επιθυμητό τρόπο (μείωση ή αύξηση της ταχύτητας). Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα μιας αντίδρασης είναι βασικά αυτοί που καθορίζουν τον ρυθμό των αποτελεσματικών συγκρούσεων μεταξύ των αντιδρώντων μορίων. Επιγραμματικά:

1. Η συγκέντρωση των αντιδρώντων.
2. Η πίεση, με την προϋπόθεση ότι ένα τουλάχιστον από τα αντιδρώντα είναι αέριο.
3. Η επιφάνεια επαφής των στερεών αντιδρώντων.
4. Η θερμοκρασία.
5. Οι ακτινοβολίες.
6. Οι καταλύτες.



Στα συγκρουόμενα αυτοκινητάκια στο λούνα παρκ η πιθανότητα σύγκρουσης αυξάνεται με την αύξηση του αριθμού των αμαξιδίων ή όσο μειώνεται ο διαθέσιμος χώρος για κυκλοφορία. Credit: Creative Commons Attribution 2.0 Generic.

1. Συγκέντρωση των αντιδρώντων. Με βάση τη θεωρία των συγκρούσεων τα αντιδρώντα μόρια για να αντιδράσουν πρέπει να συγκρουστούν μεταξύ τους και επομένως με την αύξηση του ρυθμού των συγκρούσεων αυξάνονται και τα μόρια που αντιδρούν στη μονάδα του χρόνου. Όμως, ο ρυθμός των συγκρούσεων εξαρτάται από τον αριθμό των αντιδρώντων μορίων ανά μονάδα όγκου, δηλαδή από τη συγκέντρωσή τους. Έτσι, η ταχύτητα της αντίδρασης, γενικά, αυξάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης των αντιδρώντων.

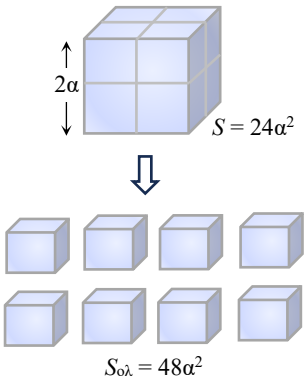
Κατά την εξέλιξη μίας αντίδρασης η συγκέντρωση των αντιδρώντων μειώνεται με την πάροδο του χρόνου. Έτσι, συνήθως η ταχύτητα της αντίδρασης μειώνεται μέχρις ότου τα αντιδρώντα να εξαφανιστούν οπότε η ταχύτητα της αντίδρασης μηδενίζεται.

Τα τυχόν στερεά αντιδρώντα σώματα δεν είναι ομογενώς διεσπαρμένα στο δοχείο της αντίδρασης και αντιδρούν μόνο μέσω της επιφανείας τους. Επομένως, η ταχύτητα της αντίδρασης δεν εξαρτάται από τη συγκέντρωσή τους η οποία θεωρείται σταθερή.

Η ερώτηση της ημέρας: Παίζει ρόλο η πίεση στην ταχύτητα της αντίδρασης που ακολουθεί;
$A(aq) \rightarrow B(aq) + Γ(aq)$

2. Πίεση. Η πίεση επηρεάζει την ταχύτητα μιας αντίδρασης μόνον όταν σε αυτή συμμετέχουν αέρια αντιδρώντα. Η αύξηση της πίεσης με μείωση του όγκου του δοχείου της αντίδρασης υπό σταθερή θερμοκρασία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των συγκεντρώσεων των αερίων και επομένως την αύξηση του ρυθμού των συγκρούσεων, άρα και των αποτελεσματικών. Έτσι, η αύξηση της πίεσης αυξάνει την ταχύτητα μιας αντίδρασης στην οποία εμφανίζεται τουλάχιστον ένα αέριο αντιδρών.

3. Επιφάνεια επαφής στερεών. Σε μία αντίδραση που συμμετέχει στερεό σώμα ως αντιδρών, η ταχύτητα αυξάνεται όταν το στερεό είναι σε πιο λεπτό διαμερισμό (σε πιο λεπτόκκοκη μορφή), καθώς όλο και μεγαλύτερη επιφάνεια του στερεού «εκτίθεται» σε συγκρούσεις με τα άλλα αντιδρώντα μόρια. Έτσι, π.χ. ο C(s) με τη μορφή σκόνης αντιδρά πιο γρήγορα με το $O_2(g)$ σε σχέση με ένα μεγάλο «συμπαγές» κομμάτι C(s).



Αύξηση της επιφάνειας επαφής ⇒ αύξηση του ρυθμού των συγκρούσεων ⇒ αύξηση της ταχύτητας της αντίδρασης.

4. Θερμοκρασία. Η ταχύτητα των διαφόρων αντιδράσεων, εξώθερμων ή ενδόθερμων, αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η αύξηση αυτή είναι πολύ μεγάλη για να εξηγηθεί με την (μικρή) αύξηση του ρυθμού των συγκρούσεων και αποδίδεται κυρίως στην αύξηση του ρυθμού των αποτελεσματικών συγκρούσεων. Με την αύξηση της θερμοκρασίας η κινητική ενέργεια των αντιδρώντων μορίων αυξάνεται και περισσότερα μόρια ξεπερνούν το «φράγμα» της ενέργειας ενεργοποίησης. Έτσι, αυξάνεται σημαντικά ο ρυθμός των αποτελεσματικών συγκρούσεων και άρα και η ταχύτητα της αντίδρασης.

Αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 °C συχνά διπλασιάζει την ταχύτητα της αντίδρασης ενώ ανάλογα με την αντίδραση η αύξηση αυτή μπορεί να κυμανθεί από 1,5 έως 4 φορές.

Με την αύξηση της θερμοκρασίας μία χημική αντίδραση ολοκληρώνεται ταχύτερα χωρίς να μεταβάλλονται οι τελικές ποσότητες των προϊόντων της.

Σε μία αντίδραση η ταχύτητα της οποίας διπλασιάζεται με κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 °C, ισχύει:

$$\frac{\upsilon_2}{\upsilon_1} = 2^{\frac{\Delta\theta}{10}}$$

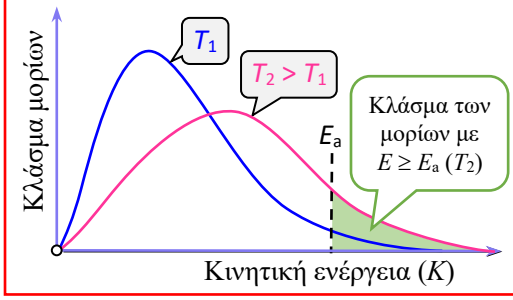
όπου $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ η αύξηση της θερμοκρασίας, υ_1 η ταχύτητα της αντίδρασης σε θερμοκρασία θ_1 και υ_2 η ταχύτητα σε θερμοκρασία θ_2.

Εφαρμογή 1

Σε μία αντίδραση κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 °C τριπλασιάζει την ταχύτητά της. Κατά πόσο θα μεταβληθεί η ταχύτητα αν η θερμοκρασία αυξηθεί κατά 30 °C;

Έστω υ η ταχύτητα της αντίδρασης στους θ °C. Στους $(\theta + 10)$ °C η ταχύτητα θα είναι 3υ, στους $(\theta + 20)$ °C η ταχύτητα θα είναι $3\cdot(3\upsilon) = 9\upsilon$, ενώ στους $(\theta + 30)$ °C η ταχύτητα θα είναι $3\cdot(9\upsilon) = 27\upsilon$. Επομένως, η ταχύτητα της αντίδρασης θα 27πλασιαστεί.

Κατανομή κατά Maxwell - Boltzmann. Οι κινητικές ενέργειες (K) των μορίων ενός αερίου σε ένα δοχείο δεν είναι ίσες αλλά κατανέμονται σε ένα τεράστιο εύρος τιμών. Στο διπλανό διάγραμμα εμφανίζεται η κατανομή κατά Maxwell - Boltzmann που αποδίδει την κατανομή των κινητικών ενεργειών (K) των μορίων ενός αερίου. Παρατηρούμε ότι πολύ μικρό ποσοστό (κλάσμα) των μορίων διαθέτουν πολύ μικρές τιμές και πολύ μεγάλες τιμές κινητικής ενέργειας (K) ενώ τα μεγάλα ποσοστά μορίων αντιστοιχούν σε ενδιάμεσες τιμές K (προς το μέγιστο της καμπύλης).



Στο διάγραμμα εμφανίζεται επίσης η ενέργεια ενεργοποίησης E_a της αντίδρασης στην οποία συμμετέχει το αέριο. Το κλάσμα των μορίων με $E \geq E_a$ αποδίδεται από το σκιασμένο εμβαδόν. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (T_1) μικρό κλάσμα των μορίων ξεπερνάει το φράγμα της ενέργειας ενεργοποίησης (E_a). Σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες ($T_2 > T_1$) η καμπύλη «απλώνει» προς μεγαλύτερες τιμές κινητικής ενέργειας και όλο και μεγαλύτερο ποσοστό μορίων ξεπερνάει το φράγμα αυτό. Το συνολικό εμβαδόν κάτω από την καμπύλη κατανομής είναι το ίδιο καθώς αντιστοιχεί στο συνολικό αριθμό των μορίων στο δοχείο.

Αν και η κατανομή κατά Maxwell - Boltzmann εφαρμόζεται στα (ιδανικά) αέρια, τα συμπεράσματά της μπορούν να εφαρμοστούν και για αντιδράσεις σε υγρή φάση.

Παρατηρούμε ότι σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες το κλάσμα των μορίων με κινητικές ενέργειες μεγαλύτερες (ή ίσες) από την E_a είναι μεγαλύτερο σε σχέση με τις μικρότερες θερμοκρασίες. Παράλληλα, το μέγιστο της κατανομής μειώνεται ώστε το εμβαδόν κάτω από δύο τις καμπύλες να είναι το ίσο.



Σημαντικός είναι ο ρόλος των ακτινοβολιών και σε μια σειρά βιοχημικών αντιδράσεων, όπως είναι ο μηχανισμός όρασης και η φωτοσύνθεση, αλλά και σε πολλές άλλες αντιδράσεις με ενδιαφέρουσες εφαρμογές (φωτογραφία κτλ.).

Ο κλάδος της Χημείας που ασχολείται με τη μελέτη της επίδρασης του φωτός στις χημικές ενώσεις και τις χημικές αντιδράσεις ονομάζεται **φωτοχημεία**. Οι φωτοχημικές αντιδράσεις οφείλονται στην απορροφούμενη ακτινοβολία από τα αντιδρώντα μόρια, η οποία παρέχει την ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης.

Ο όρος κατάλυση χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Berzelius το 1836 για να περιγράψει τις ειδικές «δυνάμεις» που διαθέτουν οι καταλύτες με τις οποίες επηρεάζουν την ταχύτητα μιας αντίδρασης.
Friedrich Wilhelm Ostwald, Γερμανός χημικός, βραβείο Νόμπελ Χημείας 1909: «Καταλύτης είναι μία ουσία που μεταβάλλει την ταχύτητα μιας αντίδρασης, χωρίς να εμφανίζεται στα τελικά προϊόντα».
Ryōji Noyori, Ιάπωνας χημικός, βραβείο Νόμπελ Χημείας 2001: Κατάλυση είναι μία διαδικασία κατά την οποία μικρές σχετικά ποσότητες ενός ξένου υλικού αυξάνουν την ταχύτητα μιας αντίδρασης χωρίς αυτό να καταναλώνεται κατά τη διάρκεια της αντίδρασης.

5. Ακτινοβολίες. Οι ακτινοβολίες μεταφέρουν ενέργεια και αλληλοεπιδρούν με την ύλη μέσω των φωτονίων. Έτσι, κάποιες χημικές αντιδράσεις με την επίδραση ακτινοβολιών κατάλληλου μήκους κύματος αυξάνουν την ταχύτητά τους. Η αύξηση της ταχύτητας στις περιπτώσεις αυτές αποδίδεται κυρίως στην αλλαγή του μηχανισμού της αντίδρασης με την επενέργεια και της ακτινοβολίας σε κάποιο στάδιό της. Οι λεγόμενες φωτοχημικές αντιδράσεις διεξάγονται μόνο παρουσία φωτός.

Παράδειγμα. Απουσία ακτινοβολίας η αντίδραση, $H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g)$, διεξάγεται με ασήμαντη ταχύτητα. Με την επενέργεια κατάλληλης υπεριώδους (UV) ακτινοβολίας διασπάται εύκολα ο δεσμός $Cl-Cl$ και η αντίδραση διεξάγεται με εκρηκτικό τρόπο.

6. Καταλύτες. Ίσως είναι ο πιο σημαντικός από τους παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητας μιας αντίδρασης, κυρίως από πλευράς εφαρμογών. Για το λόγο αυτό θα εξεταστεί διεξοδικά στη συνέχεια.

2. Καταλύτες

Στα υδατικά του διαλύματα το υπεροξείδιο του υδρογόνου, H_2O_2, διασπάται πολύ αργά σύμφωνα με την εξίσωση:

$$2H_2O_2(aq) \rightarrow 2H_2O(\ell) + O_2(g)$$

Αν όμως σε διάλυμα $H_2O_2(aq)$ προσθέσουμε ποσότητα $KI(aq)$ ή μεταλλικό Pt ή ακόμη λίγες σταγόνες αίμα (!), το H_2O_2 διασπάται ταχύτατα ακριβώς στα ίδια προϊόντα.

Άλλο ένα παράδειγμα: Το O_2 παρασκευάζεται εργαστηριακά με θέρμανση χλωρικού καλίου, $KClO_3(s)$. Αν στο $KClO_3$ προσθέσουμε μικρή ποσότητα $MnO_2(s)$, η αντίδραση διάσπασης είναι ταχύτερη και μπορεί να γίνει σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Το MnO_2 μένει αναλλοίωτο και για το λόγο αυτό αναγράφεται πάνω από το βέλος της εξίσωσης:

$$2KClO_3(s) \xrightarrow{MnO_2(s)} 2KCl(s) + 3O_2(g)$$

Γενικά:

Καταλύτης ονομάζεται μια ουσία, η οποία με την παρουσία της σε μικρά ποσά αυξάνει την ταχύτητα μιας αντίδρασης, ενώ στο τέλος της αντίδρασης παραμένει ουσιαστικά αμετάβλητος τόσο στη μάζα του όσο και στη χημική του σύσταση.

Για να λειτουργεί μία ουσία ως καταλύτης σε μία αντίδραση θα πρέπει:
α) Να αυξάνει σημαντικά την ταχύτητα μιας αντίδρασης ακόμη και σε σχετικά μικρές ποσότητες.
β) Να μην καταναλώνεται θεωρητικά κατά τη διάρκεια της αντίδρασης.

Προσέξτε τώρα τις καταλυόμενες αντιδράσεις που ακολουθούν.

$$2CO(g) + O_2(g) \xrightarrow{H_2O(g)} 2CO_2(g) \quad (1)$$

$$2SO_2(g) + O_2(g) \xrightarrow{V_2O_5(s)} 2SO_3(g) \quad (2)$$

Στην 1η περίπτωση ο καταλύτης και το καταλυόμενο σύστημα (αντιδρώντα) βρίσκονται στην ίδια φάση. Λέμε ότι η κατάλυση είναι **ομογενής**. Στη 2η περίπτωση, όμως, τα αντιδρώντα είναι σε αέρια φάση, ενώ ο καταλύτης (V_2O_5, πεντοξείδιο του βαναδίου) είναι στερεό και επομένως η κατάλυση χαρακτηρίζεται ως **ετερογενής**.

Η ετερογενής κατάλυση βρίσκει εφαρμογή στους καταλυτικούς μετατροπείς αυτοκινήτων που αποτελούνται από μίγμα Pt, Pd και Rh (ρόδιο) ενσωματωμένο σε κεραμικές κυψέλες. Ο καταλυτικός μετατροπέας καταλύει την αντίδραση:

$$2NO(g) + 2CO(g) \xrightarrow{Pt+Pd+Rh} N_2(g) + 2CO_2(g)$$

Η αντίδραση αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών τοξικών καυσαερίων (NO, CO).

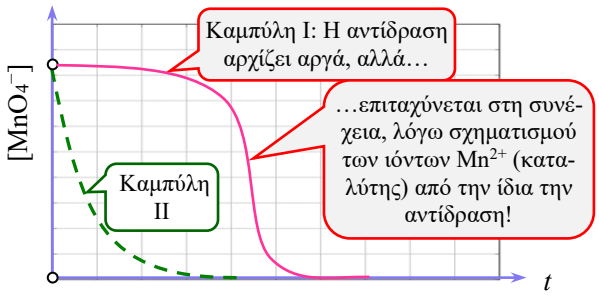
Σε μία άλλη περίπτωση κατάλυσης, την **αυτοκατάλυση**, ένα από τα προϊόντα μιας αντίδρασης δρα ως καταλύτης της ίδιας αντίδρασης. Από τα πιο κλασικά παραδείγματα αυτοκατάλυσης είναι η οξείδωση διαλύματος οξαλικού οξέος, $(COOH)_2$, από όξινο διάλυμα υπερμαγγανικού καλίου, $KMnO_4$, που περιγράφεται με την εξίσωση:

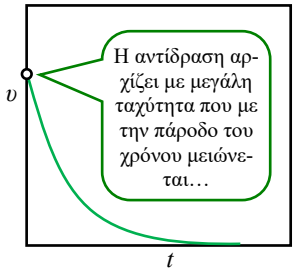
$$2KMnO_4 + 5(COOH)_2 + 3H_2SO_4 \rightarrow K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 10CO_2 + 8H_2O$$

ιώδες διάλυμα — άχρωμο

Παραδειγματα αυτοκατάλυσης:
– Η οξείδωση ενός σιδερένιου αντικειμένου επιταχύνεται από το ίδιο το προϊόν της, τη σκουριά ($Fe_2O_3 \cdot xH_2O$).
– Στην αντίδραση, $2AsH_3 \rightarrow 2As + 3H_2$ το As που παράγεται λειτουργεί ως καταλύτης.

Η αντίδραση είναι πολύ αργή, ακόμη και στους 60 °C. Και αυτό φαίνεται από το γεγονός ότι ο αποχρωματισμός του ιώδους διαλύματος των ιόντων MnO_4^- γίνεται στην αρχή πολύ αργά, σταδιακά όμως επιταχύνεται (καμπύλη I στο σχήμα που ακολουθεί). Πώς εξηγείται αυτό; Το προϊόν Mn^{2+} (από τη διάσταση του $MnSO_4$) λειτουργεί ως καταλύτης. Έτσι, όταν σχηματιστεί μια επαρκής ποσότητα Mn^{2+} η ταχύτητα της αντίδρασης αυξάνεται. Αν στο δοχείο της αντίδρασης προσθέσουμε από την αρχή μικρή ποσότητα Mn^{2+}, το διάλυμα αποχρωματίζεται γρήγορα και αυτό πιστοποιεί ότι τα ιόντα Mn^{2+} λειτουργούν ως καταλύτης της αντίδρασης (καμπύλη II στο σχήμα που ακολουθεί).





Η ταχύτητα μιας τυπικής αντίδρασης σε σχέση με το χρόνο.

Κάποιες ουσίες έχουν την ικανότητα να απορροφώνται έντονα και μη αντιστρεπτά στις περιοχές του καταλύτη στις οποίες παρουσιάζεται η καταλυτική δράση με αποτέλεσμα να τους απενεργοποιούν. Οι ουσίες αυτές αναφέρονται ως **δηλητήρια** καταλυτών. Τέτοια δράση δείχνουν ορισμένα βαρέα μέταλλα, όπως ο Pb και ο Hg αλλά και ουσίες όπως το H_2S, το HCN κτλ. Για παράδειγμα, μικρές ποσότητες αρσενικού (As) εκμηδενίζουν την καταλυτική δράση του Pt(s) στην αντίδραση:

$$2SO_2(g) + O_2(g) \xrightarrow{Pt(s)} 2SO_3(g)$$

Οι καταλύτες έχουν μεγάλη βιομηχανική σημασία, καθώς επιταχύνουν διάφορες αντιδράσεις, μειώνοντας το κόστος παραγωγής. Παρουσιάζουν εξειδικευμένη δράση, ενώ σε πολλές περιπτώσεις η εκλογή κατάλληλου καταλύτη μπορεί να καθορίσει και τα προϊόντα.

3. Πώς ερμηνεύεται η δράση των καταλυτών

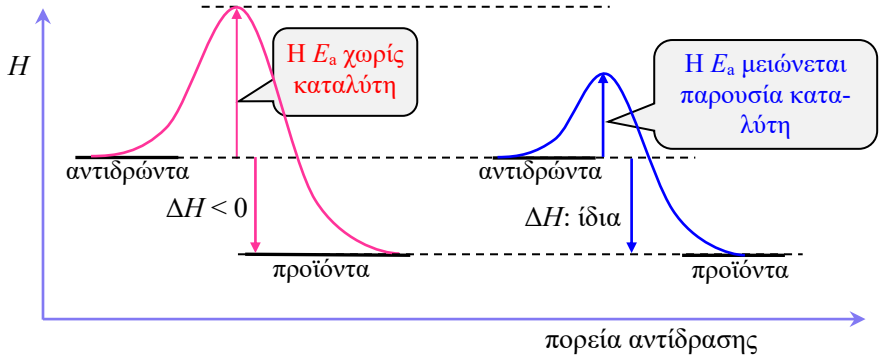
Οι αντιδράσεις με μεγάλες ενέργειες ενεργοποίησης είναι αργές καθώς μικρό ποσοστό των αντιδρώντων μορίων έχει αρκετή κινητική ενέργεια για να ξεπεράσει το ενεργειακό φράγμα της αντίδρασης (E_a) και να οδηγήσει στα προϊόντα. Αντίθετα αντιδράσεις με μικρές ενέργειες ενεργοποίησης είναι γρήγορες.

Εκτός από μία μικρή κατηγορία αντιδράσεων που χαρακτηρίζονται ως απλές, οι περισσότερες αντιδράσεις αποτελούνται από στάδια το σύνολο τον οποίων αποτελεί το μηχανισμό της αντίδρασης, τον τρόπο δηλαδή με τον οποίο τα αντιδρώντα μετασχηματίζονται στα προϊόντα.

Οι καταλύτες αυξάνουν την ταχύτητα των αντιδράσεων παράγοντας ένα νέο μηχανισμό (διαφορετικά στάδια αντίδρασης) με μικρότερη ενέργεια ενεργοποίησης, E_a, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.

Γενικά, ο καταλύτης δημιουργεί νέο μηχανισμό στην αντίδραση, με περισσότερα στάδια και επομένως περισσότερα ενεργοποιημένα σύμπλοκα, όπως φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.





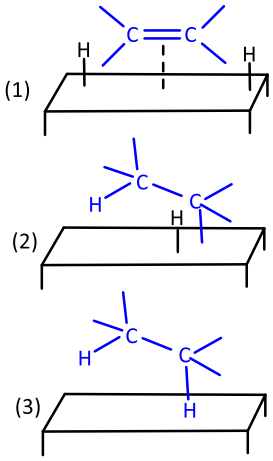
Έτσι ένα μεγαλύτερο ποσοστό των συγκρούσεων μεταξύ των αντιδρώντων μορίων είναι αποτελεσματικές οπότε η ταχύτητα της αντίδρασης αυξάνεται. Πρέπει να τονιστεί ότι η ενθαλπία της αντίδρασης (ΔH) δεν επηρεάζεται από την παρουσία καταλύτη.

Οι δύο βασικές θεωρίες που ερμηνεύουν τη δράση των καταλυτών είναι η θεωρία των ενδιαμέσων προϊόντων και η θεωρία της προσρόφησης.

Η θεωρία των ενδιαμέσων προϊόντων. Στην προηγούμενη παράγραφο είδαμε την καταλυτική επίδραση του KI στην αντίδραση: $2H_2O_2(aq) \rightarrow 2H_2O(\ell) + O_2(g)$. Χωρίς τη χρήση του καταλύτη η αντίδραση γίνεται σε ένα στάδιο. Όμως, με τη χρήση του καταλύτη γίνεται σε δύο στάδια, αλλάζει δηλαδή ο μηχανισμός της αντίδρασης:

$$H_2O_2(aq) + I^-(aq) \rightarrow H_2O(\ell) + OI^-(aq) \qquad \text{1ο στάδιο}$$
$$OI^-(aq) + H_2O_2(aq) \rightarrow H_2O(\ell) + O_2(g) + I^-(aq) \qquad \text{2ο στάδιο}$$
$$2H_2O_2(aq) \rightarrow 2H_2O(\ell) + O_2(g) \qquad \text{συνολική εξίσωση}$$

Στην παραπάνω αντίδραση ο καταλύτης (I^-) καταναλώνεται στο 1ο στάδιο παράγοντας ένα ενδιάμεσο προϊόν (το OI^-) και αναγεννάται στο 2ο. Έτσι, η συγκέντρωση του καταλύτη δεν αλλάζει, με αποτέλεσμα μικρή ποσότητα καταλύτη να είναι αρκετή για την καταλυτική δράση. Τα δύο στάδια έχουν μικρότερη E_a σε σχέση με την αντίδραση χωρίς καταλύτη με αποτέλεσμα να είναι ταχύτερη.



Στάδια καταλυτικής δράσης, σύμφωνα με τη θεωρία της προσρόφησης.

Η θεωρία της προσρόφησης. Η θεωρία της προσρόφησης εφαρμόζεται στην ετερογενή κατάλυση, με αέρια ή υγρά αντιδρώντα και στερεό καταλύτη σε λεπτόκοκκη ή σπογγώδη μορφή. Ας δούμε ένα παράδειγμα.

$$CH_2{=}CH_2(g) + H_2(g) \xrightarrow{Ni(s)} CH_3CH_3(g)$$

Κατά τη διάρκεια της καταλυτικής δράσης, τα μόρια του $CH_2{=}CH_2$ και τα μόρια του H_2 προσροφώνται στην επιφάνεια του Ni(s). Με την προσρόφηση αυτή οι δεσμοί C=C και H–H εξασθενούν και τελικά διασπώνται με αποτέλεσμα να είναι πιο εύκολος ο σχηματισμός των επιπλέον δεσμών C–H που υπάρχουν στα προϊόντα.

Η προσρόφηση των αντιδρώντων μορίων στην επιφάνεια του καταλύτη οδηγεί τοπικά σε σημαντική αύξηση της συγκέντρωσής τους με αποτέλεσμα την αντίστοιχη αύξηση της ταχύτητας της αντίδρασης.

Εφαρμογή 2

Ποια θεωρία εξηγεί την καταλυτική δράση του Au(s) στην αντίδραση που ακολουθεί;

$$2N_2O(g) \xrightarrow{Au(s)} 2N_2(g) + O_2(g)$$

Εκλεκτικότητα των καταλυτών. Σε περιπτώσεις αντιδράσεων που μπορούν να δώσουν διαφορετικά προϊόντα, ο καταλύτης μπορεί να επιταχύνει την αντίδραση εκλεκτικά προς ορισμένα προϊόντα. Π.χ.:

$$CH_3CH_2OH(g) \xrightarrow[400^oC]{Al_2O_3(s)} CH_2{=}CH_2(g) + H_2O(g)$$ [αφυδάτωση αιθανόλης]

$$CH_3CH_2OH(g) \xrightarrow[300^oC]{Cu(s)} CH_3CH{=}O(g) + H_2(g)$$ [αφυδρογόνωση αιθανόλης]

4. Ένζυμα ή βιοκαταλύτες

Τα ένζυμα είναι μακρομόρια συνήθως πρωτεϊνικής φύσης και άρα πολύπλοκης δομής, που καταλύουν κυρίως βιοχημικές αντιδράσεις, δηλαδή αντιδράσεις που συμβαίνουν στους διάφορους οργανισμούς. Τα ένζυμα είναι πολύ σημαντικά στη διατήρηση της ζωής καθώς οι περισσότερες χημικές αντιδράσεις θα συνέβαιναν πολύ αργά ή θα οδηγούσαν σε διαφορετικά και μη επιθυμητά προϊόντα. Παρουσιάζουν εξειδικευμένη δράση και συχνά απόλυτη εξειδίκευση για μία συγκεκριμένη αντίδραση.

Όπως όλοι οι καταλύτες, τα ένζυμα παρέχουν μία «εναλλακτική πορεία» μικρότερης ενέργειας ενεργοποίησης σε μια βιοχημική αντίδραση, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό την ταχύτητά της, συχνά κατά εκατομμύρια φορές. Η δραστικότητά τους επηρεάζεται, όπως σε όλες τις πρωτεΐνες, από το **pH** και από τη **θερμοκρασία**. Μάλιστα, η ταχύτητα μιας ενζυμικής αντίδρασης αυξάνεται αρχικά με την αύξηση της θερμοκρασίας, αλλά σε θερμοκρασίες πάνω από 50 °C τα ένζυμα απενεργοποιούνται λόγω αλλαγής στη δομή τους και η ταχύτητα της αντίδρασης μειώνεται.

Παραδείγματα δράσης των ενζύμων.

α) Η πτυαλίνη (αμυλάση) είναι ένζυμο που υπάρχει στο σάλιο και επιταχύνει τη μετατροπή του αμύλου σε σάκχαρο. Παρουσιάζει την μεγαλύτερη δραστικότητα σε pH = 6,8.

β) Στην αλκοολική ζύμωση χρησιμοποιείται το ένζυμο ζυμάση:

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

γ) Πρωτεάσες, λιπάσες και αμυλάσες, χρησιμοποιούνται σε οικιακά απορρυπαντικά, για τη διάσπαση λεκέδων από πρωτεΐνες, λίπη ή άμυλο σε ρούχα, πιατικά κτλ.

δ) Λιπάσες χρησιμοποιούνται στην παρασκευή τυριών, όπως το καμαμπέρ ή το ροκφόρ.

ε) Πολλά ένζυμα βρίσκουν εφαρμογή στην παραγωγή φαρμάκων, π.χ. αντιβιοτικών.

Η καταλυτική δράση του ενζύμου συμβαίνει σε μία πολύ μικρή περιοχή του που αναφέρεται ως **ενεργό κέντρο** του ενζύμου.

Η δράση πολλών αντιβιοτικών φαρμάκων στηρίζεται στην αναστολή των ενζύμων που είναι υπεύθυνα για διαφόρων λειτουργιών των βακτηρίων οδηγώντας έτσι στο θάνατό τους.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

1. Να εξετάσετε την ισχύ των προτάσεων που ακολουθούν.

α) Η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την ταχύτητα μόνο των ενδόθερμων αντιδράσεων.

β) Αν κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 °C **διπλασιάζει την ταχύτητα μιας αντίδρασης τότε η αύξηση της θερμοκρασίας κατά** 40 °C **θα τετραπλασιάσει την ταχύτητα της αντίδρασης.**

γ) Αν διπλασιάσουμε τον όγκο του δοχείου της αντίδρασης: $A(g) + 2B(g) \rightarrow 2\Gamma(g)$**, η ταχύτητά της διπλασιάζεται.**

δ) Σκόνη Zn(s) **αντιδρά με περίσσεια διαλύματος** HCl 1 M **ταχύτερα σε σχέση με σύρμα** Zn(s) **της ίδιας μάζας.**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Λανθασμένη. Η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει τον αριθμό των αποτελεσματικών συγκρούσεων. Άρα, η ταχύτητα της αντίδρασης αυξάνεται ανεξάρτητα αν είναι ενδόθερμη ή εξώθερμη.

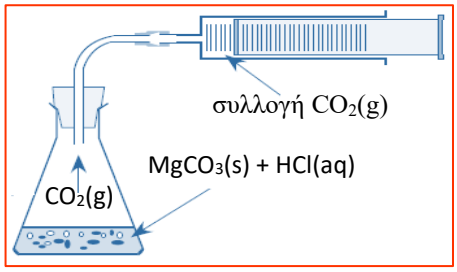
β) Λανθασμένη. Αν η αντίδραση στους θ °C έχει ταχύτητα υ, στους $(\theta + 10)$ °C θα έχει ταχύτητα 2υ, στους $(\theta + 20)$ °C θα έχει ταχύτητα $2\cdot(2\upsilon) = 4\upsilon$, στους $(\theta + 30)$ °C θα έχει ταχύτητα $2\cdot(4\upsilon) = 8\upsilon$ και στους $(\theta + 40)$ °C θα έχει ταχύτητα $2\cdot(8\upsilon) = 16\upsilon$. Με άλλα λόγια, η ταχύτητα θα 16πλασιαστεί.

γ) Λανθασμένη. Με την αύξηση του όγκου του δοχείου μειώνεται η πίεση στο δοχείο και επομένως μειώνονται οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων. Έτσι, η ταχύτητα της αντίδρασης μειώνεται.

δ) Σωστή. Η ταχύτητα μιας αντίδρασης στην οποία συμμετέχουν στερεά αντιδρώντα εξαρτάται από την επιφάνεια επαφής του στερεού αντιδρώντος καθώς όσο πιο λεπτόκοκκο είναι τόσο μεγαλύτερη είναι και η ταχύτητα της αντίδρασης. Έτσι, σκόνη Zn(s) αντιδρά ταχύτερα με περίσσεια διαλύματος HCl από ό,τι σύρμα Zn(s) της ίδιας μάζας.

2. Όταν προστεθεί περίσσεια σκόνης $MgCO_3(s)$ **σε** 50 mL **διαλύματος** HCl 1 M **λαμβάνει χώρα η αντίδραση με την εξίσωση που ακολουθεί.**

$$MgCO_3(s) + 2HCl(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + H_2O(\ell) + CO_2(g)$$



α) Να προβλέψετε την επίδραση που θα έχουν οι ακόλουθες μεταβολές (i-vii**) στην αρχική ταχύτητα της αντίδρασης (βραδύτερη, ταχύτερη, ίδια). Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας. Εκτός από τη μεταβολή** vii **η θερμοκρασία παραμένει σταθερή.**

i. Ίδια ποσότητα $MgCO_3(s)$ **προστίθεται υπό τη μορφή μεγαλύτερων κόκκων σκόνης.**

ii. Χρησιμοποιούνται 100 mL **διαλύματος** HCl 1 M **αντί** 50 mL **διαλύματος** HCl 1 M**.**

iii. Χρησιμοποιούνται 50 mL **διαλύματος** HCl 2 M **αντί** 50 mL **διαλύματος** HCl 1 M**.**

iv. Χρησιμοποιούνται 25 mL **διαλύματος** HCl 2 M **αντί** 50 mL **διαλύματος** HCl 1 M**.**

v. Ίσος όγκος νερού προστίθεται στο οξύ πριν από την προσθήκη του $MgCO_3(s)$**.**

vi. 0,01 mol NaOH(s) **διαλύεται στο οξύ πριν την προσθήκη του** $MgCO_3(s)$**, χωρίς μεταβολή στον όγκο του διαλύματος.**

vii. Αύξηση στη θερμοκρασία του διαλύματος.

β) Να υπολογίστε το συνολικό όγκο του $CO_2(g)$ **σε** STP **που θα σχηματιστεί σε καθεμία από τις περιπτώσεις (**i-vii**).**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) i. Βραδύτερη, γιατί οι μεγαλύτεροι κόκκοι μειώνουν την επιφάνεια επαφής του στερεού αντιδρώντος και άρα μειώνεται και η ταχύτητα της αντίδρασης.

ii. Ίδια. Η αρχική ταχύτητα της αντίδρασης εξαρτάται από τη συγκέντρωση του HCl που είναι η ίδια.

iii. Ταχύτερη. Η αρχική ταχύτητα της αντίδρασης εξαρτάται από τη συγκέντρωση του HCl που είναι μεγαλύτερη.

iv. Ταχύτερη. Η αρχική ταχύτητα της αντίδρασης εξαρτάται από τη συγκέντρωση του HCl που είναι μεγαλύτερη.

v. Βραδύτερη, γιατί η συγκέντρωση του HCl μειώνεται με την προσθήκη νερού, λόγω αραίωσης.
vi. Βραδύτερη. Η προσθήκη της ποσότητας του NaOH(s) έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ποσότητας του HCl, λόγω αντίδρασης (εξουδετέρωσης):

$$NaOH + HCl \rightarrow NaCl + H_2O$$
$$0{,}01 \quad 0{,}01 \text{ mol}$$

Η ποσότητα του HCl που απομένει είναι 0,05 − 0,01 = 0,04 mol που αντιστοιχεί σε συγκέντρωση 0,04/0,05 = 0,8 M (μικρότερη) και επομένως η ταχύτητα είναι μικρότερη.
vii. Ταχύτερη. Με την αύξηση της θερμοκρασίας η ταχύτητα της αντίδρασης αυξάνεται λόγω της αύξησης του ρυθμού των αποτελεσματικών συγκρούσεων.

β) Καθώς το $MgCO_3(s)$ είναι σε περίσσεια η συνολική ποσότητα του σχηματιζόμενου $CO_2(g)$ εξαρτάται αποκλειστικά από την ποσότητα του HCl. Η αρχική ποσότητα του HCl είναι n = 0,05 mol και επομένως θα προκύψουν συνολικά 0,025 mol $CO_2(g)$:

$$MgCO_3(s) + 2HCl(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + H_2O(\ell) + CO_2(g)$$
$$0{,}05 \text{ mol} \qquad\qquad 0{,}025 \text{ mol}$$

Η ποσότητα αυτή του $CO_2(g)$ αντιστοιχεί σε $V = 0{,}025 \cdot 22{,}4 = 0{,}56$ L.
i. Η ποσότητα του HCl δεν μεταβάλλεται και επομένως θα προκύψουν πάλι 0,56 L $CO_2(g)$.
ii. Η ποσότητα του HCl είναι $n = 0{,}1 \cdot 1 = 0{,}1$ mol και επομένως η συνολική ποσότητα του σχηματιζόμενου $CO_2(g)$ θα είναι 0,05 mol που αντιστοιχεί σε όγκο 1,12 L.
iii. Η ποσότητα του HCl είναι $n = 0{,}05 \cdot 2 = 0{,}1$ mol και επομένως η συνολική ποσότητα του σχηματιζόμενου $CO_2(g)$ θα είναι 0,05 mol που αντιστοιχεί σε όγκο 1,12 L.
iv. Η ποσότητα του HCl δεν μεταβάλλεται ($n = 0{,}025 \cdot 2 = 0{,}05$ mol) και επομένως θα προκύψουν πάλι 0,025 mol $CO_2(g)$ ή 0,56 L.
v. Η ποσότητα του HCl δεν μεταβάλλεται και επομένως θα προκύψουν πάλι 0,025 mol $CO_2(g)$ ή 0,56 L.
vi. Λόγω της αντίδρασης εξουδετέρωσης με το NaOH, η ποσότητα του HCl είναι στην περίπτωση αυτή 0,05 − 0,01 = 0,04 mol και επομένως σχηματίζονται 0,02 mol $CO_2(g)$ ή 0,448 L.
vii. Η ποσότητα του HCl δεν μεταβάλλεται και άρα θα προκύψουν πάλι 0,56 L $CO_2(g)$.

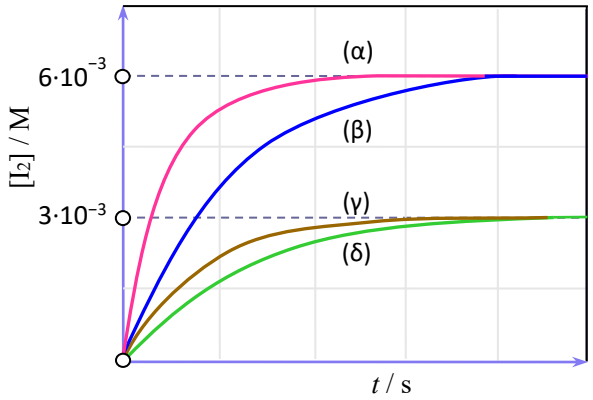
3. Μελετάται η κινητική της παρακάτω αντίδρασης σε υδατικό διάλυμα.

$$H_2O_2 + 2I^- + 2H^+ \rightarrow 2H_2O + I_2$$

Για το σκοπό αυτό πραγματοποιούνται τέσσερα πειράματα. Οι αρχικές συγκεντρώσεις (για t = 0), $[I^-]_0$, $[H_2O_2]_0$ και $[H^+]_0$, η θερμοκρασία και η χρήση ή μη καταλύτη στα πειράματα αυτά εμφανίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

	$[I^-]_0$ / M	$[H_2O_2]_0$ / M	$[H^+]_0$ / M	θ / °C	**Καταλύτης**
Πείραμα 1	$6{,}0 \cdot 10^{-3}$	$3{,}0 \cdot 10^{-3}$	$6{,}0 \cdot 10^{-3}$	20	**όχι**
Πείραμα 2	$1{,}2 \cdot 10^{-2}$	$6{,}0 \cdot 10^{-3}$	$1{,}2 \cdot 10^{-2}$	20	**όχι**
Πείραμα 3	$6{,}0 \cdot 10^{-3}$	$3{,}0 \cdot 10^{-3}$	$6{,}0 \cdot 10^{-3}$	40	**όχι**
Πείραμα 4	$1{,}2 \cdot 10^{-2}$	$6{,}0 \cdot 10^{-3}$	$1{,}2 \cdot 10^{-2}$	20	**ναι**

Στη συνέχεια καταγράφονται στους ίδιους άξονες οι καμπύλες των συγκεντρώσεων του σχηματιζόμενου $I_2(aq)$ στα τέσσερα πειράματα σε σχέση με το χρόνο.



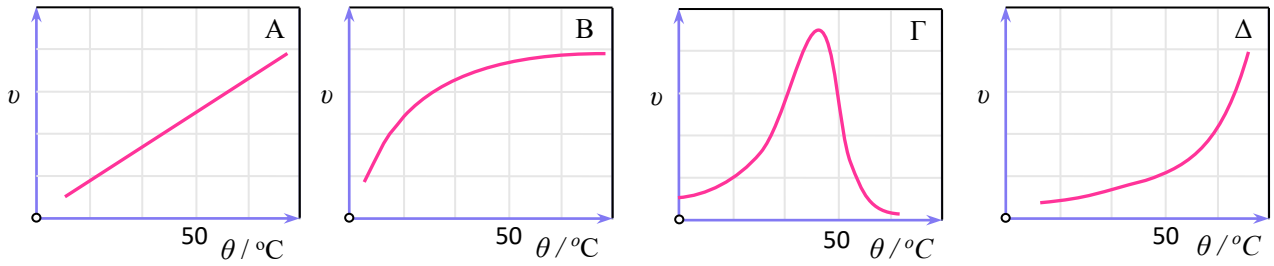
α) Να αντιστοιχήσετε τα τέσσερα πειράματα (1-4) με τις 4 καμπύλες (α-δ).
β) Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας:
i. Υπολογίζοντας την τελική συγκέντρωση του $I_2(aq)$ σε όλα τα πειράματα.
ii. Σε σχέση με τους παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα της αντίδρασης.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Πείραμα 1: Καμπύλη (δ), πείραμα 2: καμπύλη (β), πείραμα 3: καμπύλη (γ), πείραμα 4: καμπύλη (α).

β) Και στα 4 πειράματα οι αρχικές ποσότητες των αντιδρώντων είναι σε στοιχειομετρική αναλογία. Έτσι, οι τελικές ποσότητες I_2 θα είναι: $[I_2]_{τελ} = [H_2O_2]_0$. Άρα, στα πειράματα 1 και 3 ισχύει: $[I_2]_{τελ} = 3{,}0\cdot10^{-3}$ M ενώ στα πειράματα 2 και 4: $[I_2]_{τελ} = 6{,}0\cdot10^{-3}$ M. Τελικά:
– Στα πειράματα 1 και 3 η μόνη παράμετρος που αλλάζει είναι η θερμοκρασία. Στο πείραμα 3 η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη και η ταχύτητα σχηματισμού του $I_2(aq)$ θα είναι μεγαλύτερη (μεγαλύτερος ρυθμός αποτελεσματικών συγκρούσεων).
– Στα πειράματα 2 και 4 η μόνη παράμετρος που αλλάζει είναι ο καταλύτης. Το πείραμα 4 γίνεται παρουσία καταλύτη που αυξάνει την ταχύτητα της αντίδρασης.

4. Ποια από τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις αντιπροσωπεύει καλύτερα την ταχύτητα μιας ενζυμικά καταλυόμενης αντίδρασης σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία; Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.



ΑΠΑΝΤΗΣΗ

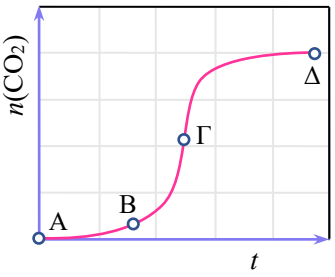
Επιλογή Γ. Η ταχύτητα μιας αντίδρασης αυξάνεται πολύ παρουσία κατάλληλου ενζύμου, όπως αυξάνεται και με την αύξηση της θερμοκρασίας. Όμως, σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 45-50 °C τα ένζυμα αδρανοποιούνται λόγω αλλαγών στη δομή τους, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της δραστικότητάς τους και τελικά την μείωση της ταχύτητας της αντίδρασης την οποία καταλύουν. Με άλλα λόγια, πάνω από μία θερμοκρασία η ταχύτητα μιας αντίδρασης που διεξάγεται παρουσία ενζύμου μειώνεται απότομα.

5. Στην αντίδραση του οξαλικού οξέος, $(COOH)_2$ **με διάλυμα** $KMnO_4$ **οξινισμένου με** H_2SO_4, **απαντάται το φαινόμενο της αυτοκατάλυσης.**

$$5(COOH)_2 + 2KMnO_4 + 3H_2SO_4 \rightarrow 10CO_2 + 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 8H_2O$$

α) Να εξηγήσετε τι σημαίνει αυτοκατάλυση.

β) Για την αντίδραση αυτή η παραγόμενη ποσότητα του προϊόντος CO_2 **(σε** mol**) σε συνάρτηση με το χρόνο, από την έναρξη της αντίδρασης μέχρι το τέλος της αποδίδεται από το διπλανό διάγραμμα.**



i. Σε ποιο από τα σημεία Α, Β, Γ **ή** Δ **η ταχύτητα της αντίδρασης είναι μεγαλύτερη; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.**

ii. Να εξηγήσετε τη μορφή της καμπύλης.

Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του πειράματος και ο όγκος του διαλύματος δεν μεταβάλλονται.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Η περίπτωση καταλυτικής δράσης κατά την οποία ένα από τα προϊόντα μιας αντίδρασης λειτουργεί ως καταλύτης, στην περίπτωση αυτή τα ιόντα Mn^{2+} (από το $MnSO_4$).

β) i. Στο σημείο Γ. Στο σημείο αυτό έχουμε τη μέγιστο ρυθμό αύξησης της παραγόμενης ποσότητας του CO_2 (μέγιστη τιμή του $dn(CO_2)/dt$) και επομένως στο σημείο αυτό θα είναι μέγιστη και η ταχύτητα της αντίδρασης.

ii. Στην αυτοκατάλυση, η ταχύτητα της αντίδρασης είναι αρχικά πολύ μικρή καθώς το προϊόν που λειτουργεί ως καταλύτης (εδώ το ιόν Mn^{2+}) δεν έχει σχηματιστεί σε επαρκείς ποσότητες. Όταν όμως αυτό επιτευχθεί, η ταχύτητα της αντίδρασης αυξάνεται θεαματικά και αυτό εκδηλώνεται στο διάγραμμα με την απότομη αύξηση του ρυθμού παραγωγής του CO_2. Προς το τέλος της αντίδρασης, τα αντιδρώντα αρχίζουν να εκλείπουν και η ταχύτητα της αντίδρασης μειώνεται μέχρι που μηδενίζεται ($dn(CO_2)/dt = 0$).

6. Ένας φοιτητής ερευνά τους παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα της αντίδρασης που ακολουθεί.

$$CaCO_3(s) + 2HCl(aq) \rightarrow CaCl_2(aq) + CO_2(g) + H_2O$$

Για το σκοπό αυτό εκτελεί 4 **πειράματα με τη χρήση** 50 mL HCl(aq) **και** 1 g $CaCO_3(s)$ **σε θερμοκρασία** 21 °C **και καταγράφει το χρόνο στον οποίο σταματά η έκλυση φυσαλίδων** $CO_2(g)$**. Τα αποτελέσματα καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα.**

Πείραμα	**Συγκέντρωση** HCl / M	**Μέγεθος σωματιδίων** $CaCO_3(s)$	**Χρόνος ολοκλήρωσης της αντίδρασης** / s
1	1	**Σκόνη** $CaCO_3(s)$	67
2	1	**Μικρά τεμάχια** $CaCO_3(s)$	112
3	3	**Σκόνη** $CaCO_3(s)$	227
4	3	**Μεγάλα τεμάχια** $CaCO_3(s)$	114

α) Σε ποιο από τα περάματα 1-4 **υπάρχει προφανές λάθος στην καταγραφή του χρόνου ολοκλήρωσης της αντίδρασης;**

i. Στο πείραμα 1 **ii. Στο πείραμα** 2 **iii. Στο πείραμα** 3 **iv. Στο πείραμα** 4

β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

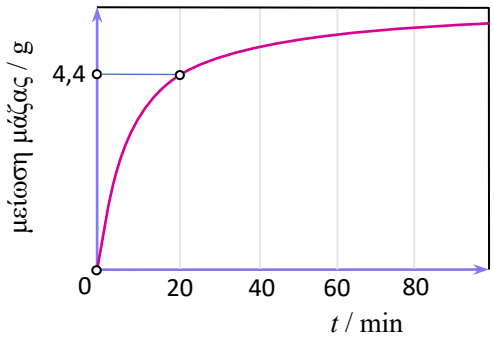
α) Επιλογή iii.

β) Στα πειράματα 1 και 3 το μέγεθος των κόκκων του στερεού αντιδρώντος είναι το ί-διο. Στο πείραμα 3 η συγκέντρωση του αντιδρώντος είναι μεγαλύτερη και επομένως η αντίδραση θα πρέπει να ολοκληρωθεί σε λιγότερο από 67 s.

7. Σε μία φιάλη που βρίσκεται πάνω σε ζυγό ακριβείας περιέχονται 500 mL **διαλύματος** $CH_3COOH(aq)$ **και θραύσματα μαρμάρου,** $CaCO_3(s)$**. Στη φιάλη αυτή από** $t = 0$ **πραγματοποιείται η αντίδραση με την εξίσωση που ακολουθεί.**

$$2CH_3COOH(aq) + CaCO_3(s) \rightarrow (CH_3COO)_2Ca(aq) + CO_2(g) + H_2O$$

Η μείωση της μάζας της φιάλης και του περιεχομένου της με το χρόνο δίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



α) i. Να υπολογίσετε την ταχύτητα κατανάλωσης του CH_3COOH **στο χρονικό διάστημα** 0-20 min **σε** $M \cdot min^{-1}$**.**

ii. Να εξηγήσετε αν η ταχύτητα κατανάλωσης του CH_3COOH **στο διάστημα** 20-40 min **είναι μεγαλύτερη, μικρότερη ή ίση σε σχέση με την ταχύτητα κατανάλωσης του** CH_3COOH **στο διάστημα** 0-20 min**. Δεν απαιτούνται υπολογισμοί στην περίπτωση αυτή.**

β) Σε μία άλλη φιάλη διεξάγεται το ίδιο πείραμα με μοναδική διαφορά ότι το μάρμαρο είναι με τη μορφή σκόνης. Να εξηγήσετε αν η μείωση μάζας της φιάλης για τα πρώτα 20 min **της αντίδρασης είναι μεγαλύτερη, μικρότερη ή ίση με** 4,4 g**.**

ΛΥΣΗ

α) i. Η μείωση της μάζας της φιάλης ισούται με τη μάζα του $CO_2(g)$ που ελευθερώνεται στο περιβάλλον.

CO_2 ($M_r = 44$), $n = 4{,}4/44 = 0{,}1$ mol.

$$\underset{(mol)}{2CH_3COOH(aq)} + CaCO_3(s) \rightarrow (CH_3COO)_2Ca(aq) + \underset{0,1}{CO_2(g)} + H_2O$$
$$\underset{0,2}{}$$

$$\upsilon = -\frac{\Delta[CH_3COOH]}{\Delta t} = \frac{0,2/0,5}{20} = 0,02\ M \cdot s^{-1}$$

ii. Μικρότερη. Με την πάροδο του χρόνου η ταχύτητα της αντίδρασης μειώνεται.

β) Το μάρμαρο σε μορφή σκόνης έχει μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής και επομένως η ταχύτητα της αντίδρασης αυξάνεται. Έτσι, στο ίδιο χρονικό διάστημα θα παραχθεί μεγαλύτερη ποσότητα $CO_2(g)$ οπότε η μείωση της μάζας της φιάλης θα είναι μεγαλύτερη.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

11.1. Ποιες από τις μεταβολές I, II, III, IV θα αυξήσουν την ταχύτητα της αντίδρασης, $C(s) + CO_2(g) \rightarrow 2CO(g)$;
I. Αύξηση του όγκου του δοχείου της αντίδρασης
II. Αύξηση της συγκέντρωσης του $CO_2(g)$
III. Αύξηση του μεγέθους των κόκκων του C(s)
IV. Αύξηση της θερμοκρασίας
Α) Μόνο οι μεταβολές I και II
Β) Μόνο οι μεταβολές II και III
Γ) Οι μεταβολές I, II και IV
Δ) Μόνο οι μεταβολές II και IV

11.2. Όλοι οι παράγοντες που ακολουθούν μπορούν να επηρεάσουν την ταχύτητα μιας αντίδρασης της γενικής μορφής, $A(aq) + B(aq) \rightarrow Γ(aq) + Δ(aq)$, εκτός από έναν. Ποιος είναι;
Α) Η φύση των αντιδρώντων
Β) Η συγκέντρωση των αντιδρώντων
Γ) Η θερμοκρασία
Δ) Η πίεση

11.3. Η ταχύτητα της αντίδρασης: $A(s) + 2B(g) \rightarrow Γ(g)$, αυξάνεται, όταν:
Α) αυξηθεί η συγκέντρωση του Α
Β) ελαττώνεται η συγκέντρωση του Β
Γ) ελαττώνεται η συγκέντρωση του Γ
Δ) αυξηθεί η θερμοκρασία

11.4. Ποια από τις προτάσεις που ακολουθούν εξηγεί καλύτερα την σημαντική αύξηση της ταχύτητας μιας αντίδρασης με την αύξηση της θερμοκρασίας;
Α) Ο ρυθμός των συγκρούσεων είναι πολύ μεγαλύτερος σε υψηλότερες θερμοκρασίες.
Β) Η κινητική ενέργεια των αντιδρώντων μορίων είναι πολύ μεγαλύτερη σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες
Γ) Η ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης είναι πολύ χαμηλότερη σε υψηλότερες θερμοκρασίες
Δ) Ο ρυθμός των αποτελεσματικών συγκρούσεων είναι πολύ υψηλότερος σε υψηλότερες θερμοκρασίες

11.5. Η μεταβολή της πίεσης επηρεάζει την ταχύτητα της αντίδρασης, $A + B \rightarrow Γ + Δ$ μόνο όταν:
Α) μεταξύ των αντιδρώντων υπάρχει κάποιο αέριο
Β) η αντίδραση γίνεται σε υδατική φάση
Γ) όλα τα αντιδρώντα σώματα είναι αέρια
Δ) όλα τα σώματα, αντιδρώντα και προϊόντα, είναι αέρια

11.6. Σε δοχείο σταθερού όγκου διεξάγεται η αντίδραση: $A(g) + B(g) \rightarrow 2Γ(g)$. Η μείωση της ταχύτητας κατά τη διάρκεια της αντίδρασης μπορεί να οφείλεται:
Α) στην αύξηση της θερμοκρασίας του συστήματος
Β) στην ελάττωση της συγκέντρωσης των αντιδρώντων
Γ) στη μείωση της πίεσης
Δ) στην αύξηση της συγκέντρωσης των προϊόντων

11.7. Σε δοχείο διεξάγεται η αντίδραση, $2A(g) \rightarrow B(g)$. Πώς μεταβάλλεται η ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης καθώς και ο ρυθμός των αποτελεσματικών συγκρούσεων με την αύξηση της θερμοκρασίας π.χ. κατά 10 °C;

	Ενέργεια ενεργοποίησης (E_a)	ρυθμός αποτελεσματικών συγκρούσεων
Α)	Δεν μεταβάλλεται	μειώνεται
Β)	Μειώνεται	μειώνεται
Γ)	Μειώνεται	αυξάνεται
Δ)	Δεν μεταβάλλεται	αυξάνεται

11.8. Ποια από τις παρακάτω μεταβολές δεν αυξάνει την ταχύτητα της αντίδρασης, $A(s) + B(g) \rightarrow 2Γ(g)$;
Α) Η αύξηση της συγκέντρωσης του B(g)
Β) Η αύξηση της θερμοκρασίας
Γ) Η αύξηση του μεγέθους των κόκκων του A(s)
Δ) Η προσθήκη καταλύτη

11.9. Η δράση ενός καταλύτη οφείλεται στη μείωση της:
Α) ενθαλπίας των προϊόντων
Β) ενέργειας ενεργοποίησης της αντίδρασης
Γ) ενθαλπίας των αντιδρώντων
Δ) ενθαλπίας της αντίδρασης

11.10. Δίνεται η αντίδραση που περιγράφεται από τη χημική εξίσωση που ακολουθεί.

$$2I^-(aq) + S_2O_8^{2-}(aq) \rightarrow I_2(s) + 2SO_4^{2-}(aq)$$

Ποιος από τους παράγοντες που ακολουθούν δεν επηρεάζει την ταχύτητα της αντίδρασης αυτής;
Α) Η αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων I^-
Β) Η προσθήκη καταλύτη
Γ) Η μεταβολή της θερμοκρασίας
Δ) Η μεταβολή της πίεσης

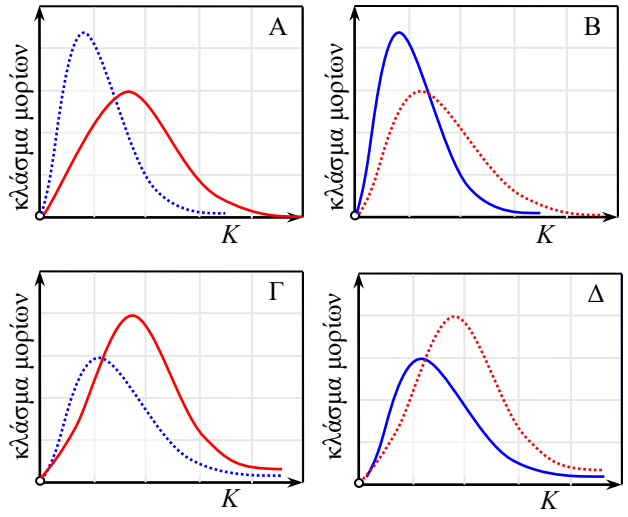
11.11. Σε δοχείο εισάγεται ποσότητα αερίου CO_2 καθώς και περίσσεια στερεού C, οπότε σε κατάλληλες συνθήκες διεξάγεται η αντίδραση με τη χημική εξίσωση που ακολουθεί.

$$C(s) + CO_2(g) \rightarrow 2CO(g)$$

Η ταχύτητα της αντίδρασης αυτής δεν επηρεάζεται από:
Α) τη συγκέντρωση του CO Β) τη συγκέντρωση του CO_2
Γ) τη θερμοκρασία Δ) την επιφάνεια επαφής του C(s)

11.12. Η πλειονότητα των αντιδράσεων σε αέρια φάση δεν είναι πολύ γρήγορες. Σε μία τέτοια αντίδραση πώς μπορούμε να αυξήσουμε τον αριθμό των αποτελεσματικών συγκρούσεων μεταξύ των αντιδρώντων μορίων;
Α) Με αύξηση της θερμοκρασίας και ταυτόχρονη μείωση της πίεσης
Β) Με αύξηση της θερμοκρασίας και ταυτόχρονη μείωση του όγκου του δοχείου
Γ) Με αύξηση του όγκου και ταυτόχρονη μείωση της θερμοκρασίας
Δ) Αυξάνοντας τη συγκέντρωση των αντιδρώντων αερίων και μειώνοντας ταυτόχρονα τη θερμοκρασία

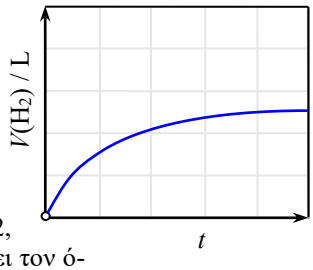
11.13. Σε ποιο από παρακάτω διαγράμματα εμφανίζεται η κατανομή των κινητικών ενεργειών ενός αερίου σε θερμοκρασία 300 K (με διακοπτόμενη καμπύλη) και σε θερμοκρασία 500 K (συνεχής γραμμή);

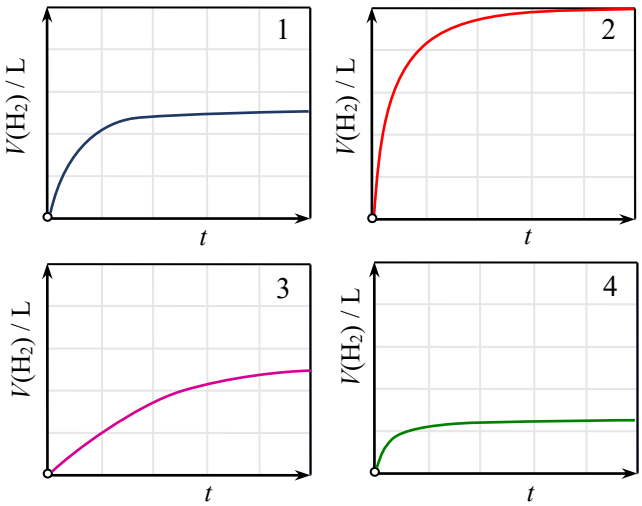


11.14. Ρινίσματα Mg(s) μάζας m αντιδρούν με περίσσεια HCl(aq) 1 M σύμφωνα με την αντίδραση:

$$Mg(s) + 2HCl(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$$

Το διπλανό διάγραμμα δίνει το όγκο του $H_2(g)$ που ελευθερώνεται σε σχέση με το χρόνο. Σε ένα άλλο πείραμα η ίδια ποσότητα ρινισμάτων Mg(s) αντιδρά με περίσσεια HCl(aq) 2 M αντί για 1 M. Ποιο από τα διαγράμματα 1, 2, 3 ή 4 που ακολουθούν αποδίδει τον όγκο του $H_2(g)$ σε σχέση με το χρόνο;





11.15. Σε τρία δοχεία σταθερού όγκου πραγματοποιούνται οι αντιδράσεις:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2,\ \Delta H < 0 \qquad (I)$$

$$2HgO \rightarrow 2Hg + O_2,\ \Delta H > 0 \qquad (II)$$

$$A + B \rightarrow Γ + Δ,\ \Delta H = 0 \qquad (III)$$

Αν αυξήσουμε τη θερμοκρασία των τριών συστημάτων, τότε οι ταχύτητες υ_1, υ_2 και υ_3 των αντιδράσεων (I), (II) και (III) αντίστοιχα μεταβάλλονται ως εξής:

Α) η υ_1 αυξάνεται, η υ_2 ελαττώνεται, η υ_3 δε μεταβάλλεται

Β) αυξάνονται και οι τρεις

Γ) η υ_1 ελαττώνεται, η υ_2 αυξάνεται, η υ_3 δε μεταβάλλεται

Δ) δε μεταβάλλεται καμία

11.16. Ένα σπίρτο καίγεται εντονότερα και ταχύτερα σε καθαρό $O_2(g)$ σε σχέση με τον αέρα γιατί:

Α) η συγκέντρωση του $O_2(g)$ είναι μεγαλύτερη

Β) το $O_2(g)$ είναι καταλύτης της αντίδρασης καύσης

Γ) το $O_2(g)$ είναι προϊόν της αντίδρασης καύσης

Δ) η αντίδραση καύσης έχει μεγαλύτερη τιμή ενθαλπίας σε καθαρό $O_2(g)$

11.17. Θεωρούμε ότι στην περιοχή 20-50 °C κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 °C διπλασιάζει την ταχύτητα μιας αντίδρασης. Αν στους 20 °C η αρχική ταχύτητα είναι υ, ποια η αρχική ταχύτητα της αντίδρασης στους 50 °C;

Α) 4υ Β) 8υ Γ) 16υ Δ) 50υ

11.18. Η προσθήκη Ni(s) επιταχύνει την αντίδραση:

$$CH_2{=}CH_2(g) + H_2(g) \rightarrow CH_3CH_3(g)$$

Ποια θεωρία ερμηνεύει καλύτερα τη δράση του Ni(s);

Α) Η θεωρία της μεταβατικής κατάστασης

Β) Η θεωρία της ομογενούς κατάλυσης

Γ) Η θεωρία της προσρόφησης

Δ) Η θεωρία των ενδιαμέσων προϊόντων

11.19. Δύο θεωρίες εξήγησης της δράσης των καταλυτών είναι η θεωρία:

Α) της μεταβατικής κατάστασης και των συγκρούσεων

Β) του ενεργοποιημένου συμπλόκου και των συγκρούσεων

Γ) της ομογενούς κατάλυσης και της αυτοκατάλυσης

Δ) της προσρόφησης και των ενδιαμέσων προϊόντων

11.20. Οι καταλύτες αυτοκινήτων ή καταλυτικοί μετατροπείς χρησιμοποιούν μέταλλα όπως Pt, Pd, Rh (ρόδιο) για την καταλυτική δράση στις αντιδράσεις μετατροπής συστατικών των καυσαερίων, π.χ. το NO, το CO κτλ. σε άλλα λιγότερο επικίνδυνα. Στα αυτοκίνητα αυτά χρησιμοποιείται αμόλυβδη βενζίνη και όχι βενζίνη που περιέχει ενώσεις του μόλυβδου (Pb) καθώς ο Pb:

Α) αποτελεί δηλητήριο για τον καταλύτη του αυτοκινήτου

Β) μειώνει την ενέργεια ενεργοποίησης των αντιδράσεων που καταλύει ο καταλύτης

Γ) μειώνει την ενθαλπία καύσης της βενζίνης

Δ) αντιδρά με τη βενζίνη

11.21. Το H_2O_2 διασπάται σύμφωνα με την εξίσωση:

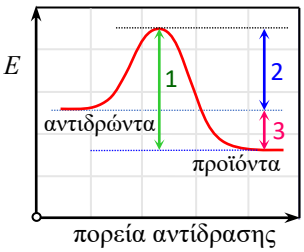
$$2H_2O_2(aq) \rightarrow 2H_2O(\ell) + O_2(g)$$

Με την προσθήκη μικρής ποσότητας $FeCl_3(aq)$ η ταχύτητα της αντίδρασης αυξάνεται θεαματικά. Ποιος όρος περιγράφει το ρόλο του $FeCl_3$;

Α) Μεταβατική κατάσταση Β) Ενδιάμεσο αντίδρασης

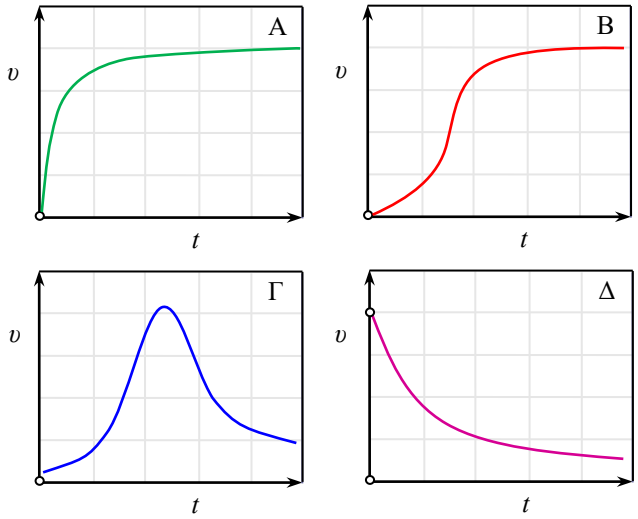
Γ) Ετερογενής κατάλυση Δ) Ομογενής κατάλυση

11.22. Όταν ένας καταλύτης προστεθεί σε μία αντίδραση, ποιο ή ποια από τα μεγέθη 1, 2 ή 3 στο διάγραμμα που ακολουθεί θα μεταβληθεί-ούν;



Α) Το 1 και το 2
Β) Το 1 και το 3
Γ) Το 2 και το 3
Δ) Το 1, το 2 και το 3

11.23. Σε μία αντίδραση αυτοκατάλυσης, ποιο από τα παρακάτω διαγράμματα περιγράφει καλύτερα την ταχύτητα της αντίδρασης ως συνάρτηση του χρόνου;



11.24. Ποιοι από τους παρακάτω παράγοντες μειώνουν σημαντικά την ενέργεια ενεργοποίησης μιας αντίδρασης;
1. Η παρουσία καταλύτη
2. Η θερμοκρασία
3. Οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων

Α) Μόνον ο παράγοντας 1 Β) Οι παράγοντες 1 και 2
Γ) Μόνον ο παράγοντας 3 Δ) Και οι τρεις παράγοντες

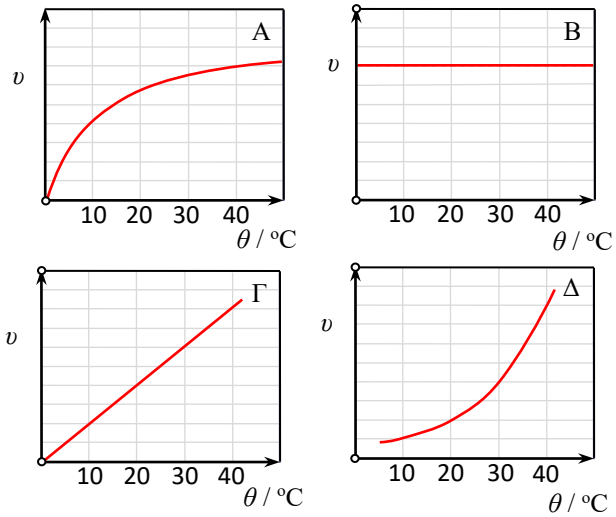
11.25. Οι χλωροφθοράνθρακες διασπώνται στην ανώτερη ατμόσφαιρα προς άτομα Cl(g) που συμμετέχουν εκεί στη διάσπαση του όζοντος (O_3), σύμφωνα με το μηχανισμό:

$$Cl(g) + O_3(g) \longrightarrow ClO(g) + O_2(g)$$
$$ClO(g) + O_3(g) \longrightarrow Cl(g) + 2O_2(g)$$

Με βάση τον παραπάνω μηχανισμό προκύπτει ότι:
Α) Τα άτομα Cl(g) είναι ο καταλύτης της αντίδρασης
Β) Το $O_2(g)$ είναι ο καταλύτης της αντίδρασης
Γ) Η συνολική εξίσωση της αντίδρασης είναι: $3O_2(g) \longrightarrow 2O_3(g)$
Δ) Ο αριθμός των mol του $O_2(g)$ που παράγονται είναι ίσος με τον αριθμό των mol του $O_3(g)$ που καταναλώνονται

11.26. Να εξετάσετε την ισχύ των παρακάτω προτάσεων.
α) Για την μείωση της ταχύτητας αντιδράσεων που οδηγούν στην αλλοίωση των τροφίμων τα βάζουμε στο ψυγείο.
β) Η αύξηση της πίεσης αυξάνει την ταχύτητα σε όλες τις αντιδράσεις. [ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2026]
γ) Αν κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 °C διπλασιάζει την ταχύτητα μιας αντίδρασης, τότε η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 100 °C θα 20πλασιάσει την ταχύτητα.
δ) Η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την ταχύτητα μιας αντίδρασης καθώς μειώνει την ενέργεια ενεργοποίησης (E_a).
ε) Η θεωρία της προσρόφησης ερμηνεύει την ομογενή κατάλυση. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2025]
στ) Τα βαρέα μέταλλα (π.χ. ο Pb ή ο Hg) μπορούν να δράσουν ως δηλητήρια καταλυτών.
ζ)) Η δράση των ενζύμων επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και την τιμή του pH. [ΕΠΑΝΑΛ. ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2025]

11.27. Στην αντίδραση της μορφής, $A(g) \longrightarrow 2B(g)$, κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 °C διπλασιάζει την ταχύτητά της. Ποιο από τα παρακάτω διαγράμματα αποδίδει την ταχύτητα της αντίδρασης σε σχέση με τη θερμοκρασία;



Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

11.28. Δίνεται η χημική εξίσωση της αντίδρασης:

$$Fe(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow FeCl_2(aq) + H_2(g)$$

Να εξηγήσετε αν οι εξής προτάσεις είναι σωστές ή όχι.
α) Η αύξηση της συγκέντρωσης του διαλύματος HCl(aq) μειώνει την ταχύτητα της αντίδρασης.
β) Η ταχύτητα της αντίδρασης αυξάνεται όταν ο Fe(s) είναι με τη μορφή σκόνης παρά με τη μορφή σύρματος.
γ) Όταν αυξάνεται η πίεση υπό την οποία διεξάγεται η αντίδραση η ταχύτητά της αυξάνεται.

11.29. Διάλυμα H_2O_2 προστίθεται σε διάλυμα NaI οξινισμένου με HCl και συμβαίνει η αντίδραση που ακολουθεί.

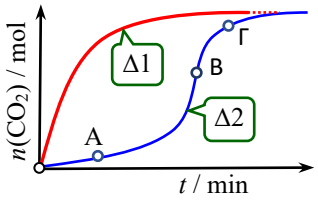
$$H_2O_2(aq) + 2NaI(aq) + 2HCl(aq) \longrightarrow 2NaCl(aq) + I_2(aq) + 2H_2O(\ell)$$

Το ίδιο πείραμα επαναλαμβάνεται με κάποιες μεταβολές στις συνθήκες, μία κάθε φορά. Για κάθε μία μεταβολή να εξηγήσετε την επίδραση στην ταχύτητα της αντίδρασης.
α) Αύξηση της συγκέντρωσης του H_2O_2.
β) Μείωση της θερμοκρασίας του διαλύματος.
γ) Το διάλυμα NaI(aq) παρασκευάζεται από σκόνη NaI(s) αντί για μεγάλους κρυστάλλους NaI(s).

11.30. Σε δύο ίδια διαλύματα Δ1 και Δ2 διεξάγεται από $t = 0$ η αντίδραση με τη χημική εξίσωση που ακολουθεί.

$5(COOH)_2+2KMnO_4+3H_2SO_4 \rightarrow 10CO_2+2MnSO_4+K_2SO_4+8H_2O$

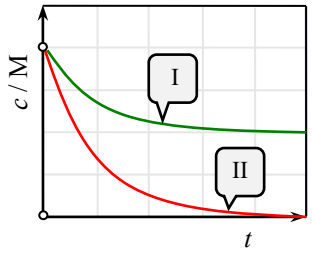
Στο ένα από τα δύο διαλύματα προστίθεται αρχικά μικρή ποσότητα ιόντων Mn^{2+} με τη μορφή $MnSO_4$. Στο διπλανό σχήμα εμφανίζεται η ποσότητα του παραγόμενου $CO_2(g)$ σε σχέση με το χρόνο στα δύο αυτά διαλύματα.



α) Σε ποιο διάλυμα, το Δ1 ή το Δ2 προστέθηκε $MnSO_4$; Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

β) Σε ποιο από τα σημεία Α, Β ή Γ της καμπύλης του διαλύματος Δ2, είναι μεγαλύτερη η ταχύτητα της αντίδρασης;

11.31. Έστω η αντίδραση: $A(g) + 2B(g) \rightarrow \Gamma(g) + 2\Delta(g)$. Στο διπλανό διάγραμμα φαίνονται οι συγκεντρώσεις των ενώσεων Α και Β σε σχέση με το χρόνο σε σταθερή θερμοκρασία T_1.



α) Να εξηγήσετε ποια από τις δύο καμπύλες αντιστοιχεί στο Α και ποια στο Β.

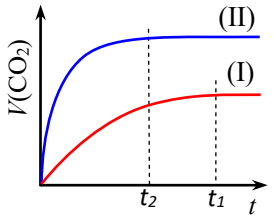
β) Να κατασκευάσετε το ίδιο διάγραμμα, αν η αντίδραση πραγματοποιηθεί σε θερμοκρασία $T_2 > T_1$.

γ) Στο παραπάνω διάγραμμα να σχεδιάσετε τη [Γ] και τη [Δ] σε σχέση με το χρόνο, στη θερμοκρασία T_1.

11.32. Σε 50 mL υδατικού διαλύματος HCl 1 M προστίθεται περίσσεια στερεού $MgCO_3$, οπότε πραγματοποιείται η αντίδραση που περιγράφεται από την χημική εξίσωση:

$MgCO_3(s) + 2HCl(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + CO_2(g) + H_2O(\ell)$

Προέκυψε έτσι η καμπύλη (I) που απεικονίζει τον όγκο του παραγόμενου $CO_2(g)$ σε σχέση με το χρόνο (t).



α) Σε ποια από τις παρακάτω περιπτώσεις θα μπορούσε να προκύψει η καμπύλη (II);

i. Αν η αντίδραση πραγματοποιούνταν σε υψηλότερη θερμοκρασία.

ii. Αν η αντίδραση πραγματοποιούνταν με μεγαλύτερους κόκκους $MgCO_3$.

iii. Με χρήση ίδιου όγκου υδατικού διαλύματος HCl(aq) μεγαλύτερης συγκέντρωσης.

β) Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2025]

11.33. Σε δοχείο Α όγκου V εισάγονται α mol $H_2(g)$ και α mol $I_2(g)$, στους θ_1 °C οπότε πραγματοποιείται η αντίδραση:

$H_2(g) + I_2(g) \rightarrow 2HI(g)$

Μετά από 25 s και πριν η αντίδραση ολοκληρωθεί έχουν παραχθεί n_A mol HI. Επαναλαμβάνουμε το πείραμα σε 3 άλλα δοχεία Β, Γ και Δ. Στο δοχείο Β όγκου V εισάγουμε 2α mol H_2 και α mol I_2 στους θ_1 °C. Στο δοχείο Γ όγκου $2V$ εισάγουμε α mol H_2 και α mol I_2 στους θ_1 °C. Στο δοχείο Δ όγκου V εισάγουμε α mol H_2 και α mol I_2 στους $\theta_2 < \theta_1$ °C .

Μετά από 25 s για τις ποσότητες n_B, n_Γ, n_Δ του HI που βρίσκονται στα δοχεία Β, Γ και Δ, αντίστοιχα, ισχύει:

Α) $n_B > n_A$, $n_\Gamma > n_A$, $n_\Delta > n_A$ Β) $n_B > n_A$, $n_\Gamma < n_A$, $n_\Delta < n_A$

Γ) $n_B < n_A$, $n_\Gamma < n_A$, $n_\Delta < n_A$ Δ) $n_B > n_A$, $n_\Gamma = n_A$, $n_\Delta < n_A$

Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

11.34. Το ένζυμο ιμβερτάση μετασχηματίζει το σάκχαρο σακχαρόζη σε ισομοριακό μίγμα δύο άλλων σακχάρων, τη γλυκόζη και τη φρουκτόζη. Ίσες ποσότητες ενζύμου προστίθενται σε ίσες ποσότητες τριών διαλυμάτων σακχαρόζης της ίδιας συγκέντρωσης. Το ένα διάλυμα έχει θερμοκρασία 5 °C, το δεύτερο 35 °C και το τρίτο 95 °C. Η ποσότητα της γλυκόζης που σχηματίστηκε μετά από παρέλευση του ίδιου χρονικού διαστήματος εμφανίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Θερμοκρασία πειράματος	Ποσότητα γλυκόζης
5 °C	1 g
35 °C	9,5 g
95 °C	2 g

Να εξηγήσετε γιατί η ποσότητα γλυκόζης είναι μεγαλύτερη στους 35 °C σε σχέση: i. με τους 5 °C και ii. με τους 95 °C.

11.35. Οι ράβδοι φωτός είναι ημιδιαφανείς πλαστικοί σωλήνες που περιέχουν χημικές ουσίες οι οποίες όταν έρθουν σε επαφή με την κάμψη της ράβδου αντιδρούν και δημιουργούν φως μέσω του φαινομένου της χημειοφωταύγειας. Ένας μαθητής τοποθετεί τρεις ράβδους φωτός σε νερό θερμοκρασίας 5 °C, 40 °C και 70 °C. Τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων εμφανίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.



Θερμοκρασία / °C	Επίδραση στη λειτουργία της ράβδου	
	Φωτεινότητα	Διάρκεια λειτουργίας
5	Αμυδρή	7 ώρες
40	Φωτεινή	3 ώρες
70	Πολύ φωτεινή	1 ώρες

Να εξηγήσετε τις παραπάνω παρατηρήσεις.

11.36. Η κατεργασία του μυρμηκικού οξέος (HCOOH) με H_2SO_4 ως καταλύτη είναι ένας εύκολος τρόπος παρασκευής CO(g) στο εργαστήριο και διεξάγεται με βάση την εξίσωση:

$HCOOH \rightarrow CO + H_2O$

Χωρίς τη χρήση καταλύτη η αντίδραση είναι πολύ αργή.

α) Να αναφέρετε έναν ενεργειακό παράγοντα για τον οποίο μία αντίδραση είναι πολύ αργή.

β) Με τη συμμετοχή καταλύτη η αντίδραση διεξάγεται με βάση τον παρακάτω μηχανισμό 3 σταδίων:

Στάδιο 1: $HCOOH + H^+ \rightarrow HCOOH_2^+$

Στάδιο 2: $HCOOH_2^+ \rightarrow H_2O + HCO^+$

Στάδιο 3: $HCO^+ \rightarrow CO + H^+$

i. Να αναγνωρίσετε τα ενδιάμεσα της αντίδρασης.

ii. Να αναγνωρίσετε τον καταλύτη της αντίδρασης.

11.37. Σε κλειστό δοχείο και σε θερμοκρασία T το HI(g) διασπάται σύμφωνα με την αντίδραση:

$$2HI(g) \rightarrow H_2(g) + I_2(g)$$

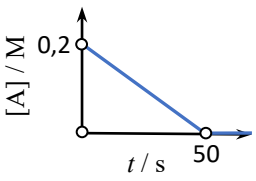
α) Πώς θα μεταβληθεί η ταχύτητα της αντίδρασης αν ελαττωθεί ο όγκος του δοχείου; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.
β) Η διάσπαση του αερίου HI μπορεί να γίνει και παρουσία Au(s). Πώς χαρακτηρίζεται η κατάλυση αυτή;
γ) Πώς ονομάζεται η θεωρία που ερμηνεύει ικανοποιητικά την παραπάνω κατάλυση;

11.38. Διάλυμα της ουσίας Α(aq) συγκέντρωσης 0,1 M αναμιγνύεται με υδατικό διάλυμα της ουσίας Β(aq) 0,2 M ίσου όγκου. Από $t = 0$ οι ουσίες αντιδρούν, υπό σταθερή θερμοκρασία θ_1, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$A(aq) + 3B(aq) \rightarrow 2\Gamma(aq) + \Delta(aq)$$

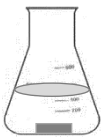
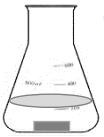
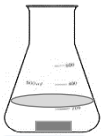
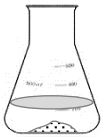
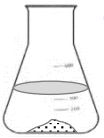
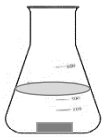
Τη χρονική στιγμή $t = 500$ s από την έναρξη της αντίδρασης βρέθηκε ότι η συγκέντρωση του Γ(aq) είναι ίση με 0,05 M.
α) Να προσδιοριστούν οι συγκεντρώσεις των τριών άλλων συστατικών της αντίδρασης τη χρονική στιγμή $t = 500$ s.
β) Να βρεθεί η μέση ταχύτητα της αντίδρασης από $t = 0$ μέχρι $t = 500$ s.
γ) Το ίδιο πείραμα διεξάγεται σε μεγαλύτερη θερμοκρασία $\theta_2 > \theta_1$ αλλά με τις ίδιες αρχικές συγκεντρώσεις των Α(aq) και Β(aq). Να συγκρίνετε τη συγκέντρωση του Α(aq) τη χρονική στιγμή $t = 500$ s από την έναρξη της αντίδρασης με τη συγκέντρωση του Α(aq) στο 1ο πείραμα την ίδια χρονική στιγμή (μεγαλύτερη, μικρότερη ή ίση). Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

11.39. Με τη διαβίβασή της σε δοχείο με θερμαινόμενο Au(s) ως καταλύτη, η ουσία Α(g) διασπάται σύμφωνα με την εξίσωση: $2A(g) \rightarrow B(g) + 2\Gamma(g)$. Η συγκέντρωση της Α(g) σε σχέση με το χρόνο δίνεται στο διπλανό γράφημα.



α) i. Με βάση το γράφημα να εξηγήσετε γιατί η ταχύτητα της αντίδρασης διατηρείται σταθερή με την πάροδο του χρόνου και να υπολογίσετε την τιμή της.
ii. Να υπολογίσετε τη συγκέντρωση των σωμάτων Β(g) και Γ(g) για $t \geq 50$ s.
iii. Να χαρακτηρίσετε την κατάλυση ως ομογενή ή ετερογενή.
β) Να σχεδιάσετε τις γραφικές παραστάσεις, i. της ταχύτητας της αντίδρασης σαν συνάρτηση του χρόνου και ii. της [Β] και της [Γ] σαν συνάρτηση του χρόνου (σε κοινό διάγραμμα).

11.40. Φοιτητής μελετά την ταχύτητα της αντίδρασης μεταξύ σταθερής ποσότητας περίσσειας κιμωλίας, $CaCO_3(s)$ και αραιού διαλύματος υδροχλωρικού οξέος, HCl(aq), σύμφωνα με την εξίσωση: $CaCO_3(s) + 2HCl(aq) \rightarrow CaCl_2(aq) + CO_2(g) + H_2O(\ell)$. Για το σκοπό αυτό διεξάγει 6 πειράματα μεταβάλλοντας την μορφή της στερεής κιμωλίας (ράβδος ή σκόνη), τη συγκέντρωση του διαλύματος HCl (0,5 M ή 1 M) και τη θερμοκρασία (20 °C, 25 °C ή 30 °C). Οι αρχικές συνθήκες των 6 αυτών πειραμάτων εμφανίζονται στο σχήμα που ακολουθεί.

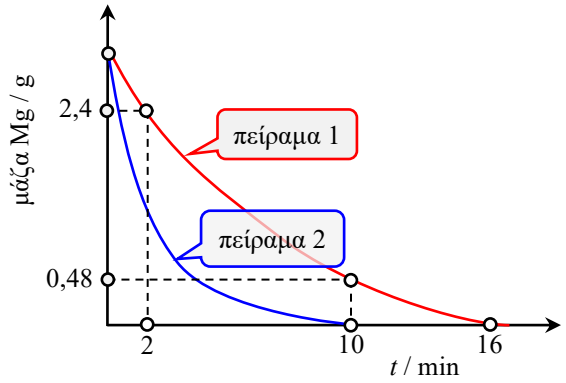
1  ράβδος $CaCO_3(s)$ HCl(aq) 0,5 M, 100 mL, $\theta = 20$ °C	2  ράβδος $CaCO_3(s)$ HCl(aq) 1 M, 50 mL, $\theta = 25$ °C	3  ράβδος $CaCO_3(s)$ HCl(aq) 1 M, 50 mL, $\theta = 30$ °C
4  σκόνη $CaCO_3(s)$ HCl(aq) 1 M, 50 mL, $\theta = 30$ °C	5  σκόνη $CaCO_3(s)$ HCl(aq) 0,5 M, 100 mL, $\theta = 25$ °C	6  ράβδος $CaCO_3(s)$ HCl(aq) 0,5 M, 100 mL, $\theta = 25$ °C

α) Να εξηγήσετε γιατί μετά το πέρας όλων των πειραμάτων η συνολική ποσότητα (mol) του εκλυόμενου $CO_2(g)$ θα είναι η ίδια.
β) Ποια δύο από τα πειράματα 1-6 πρέπει να συγκριθούν ώστε να αναδειχθεί αποκλειστικά η επίδραση της συγκέντρωσης του HCl(aq) στην ταχύτητα της αντίδρασης;
γ) Σε ποιο από τα πειράματα η αρχική ταχύτητα της αντίδρασης είναι η μεγαλύτερη;
Σε όλες τις περιπτώσεις να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας.

11.41. Τα πειράματα 1 και 2 που ακολουθούν διεξάγονται με σκοπό τη μελέτη ενός παράγοντα που επηρεάζει την ταχύτητα της αντίδρασης που ακολουθεί.

$$Mg(s) + 2HCl(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$$

Στο πείραμα 1 μία ορισμένη μάζα ταινίας Mg(s) με περίσσεια διαλύματος HCl(aq). Στο πείραμα 2 η ίδια μάζα Mg(s) σε σκόνη αντιδρά με τον ίδιο όγκο του παραπάνω διαλύματος HCl(aq). Η μάζα του Mg(s) που έχει αντιδράσει, σε σχέση με το χρόνο, εμφανίζεται μαζί για τα πειράματα 1 και 2 στο σχήμα που ακολουθεί.



α) Ποιος παράγοντας που επηρεάζει την ταχύτητα της αντίδρασης εξηγεί τη μείωση του χρόνου ολοκλήρωσης της αντίδρασης στο 2ο πείραμα σε σχέση με το 1ο;
β) Να υπολογίσετε τον όγκο του $H_2(g)$ που εκλύεται στο 1ο πείραμα σε STP το χρονικό διάστημα από 2-10 min.
γ) Να υπολογίσετε την αρχική ποσότητα του Mg(s) σε g που χρησιμοποιήθηκε στα δύο πειράματα, αν είναι επιπλέον γνωστό ότι η (μέση) ταχύτητα σχηματισμού του $H_2(g)$ σε όλη τη διάρκεια του 2ου πειράματος είναι $2 \cdot 10^{-4}$ mol·s^{-1}.

Χημεία και… τέρατα: *«Μια μέρα που δεν θα ξεχάσω ποτέ!»*

Το Ινστιτούτο Καρολίνσκα της Σουηδίας απένειμε το βραβείο Νόμπελ Χημείας 2021 στον Γερμανό Μπένζαμιν Λιστ του Ινστιτούτου «Μαξ Πλανκ» και στον Βρετανό Ντέιβιντ ΜακΜίλαν του Πανεπιστημίου Πρίνστον «για την ανάπτυξη της ασύμμετρης οργανικής κατάλυσης».


Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach.
Benjamin List


Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach.
David W.C. MacMillan

Οι δύο νομπελίστες ανακάλυψαν στις αρχές της δεκαετίας του 2000 ότι εκτός από τα μέταλλα και τα ένζυμα υπάρχει και ένα άλλο είδος κατάλυσης, η ασύμμετρη οργανική κατάλυση, η οποία βασίζεται σε μικρά οργανικά μόρια. Οι καταλύτες αυτοί, όπως το αμινοξύ προλίνη, αποτελούν ένα «νέο και ευφυές εργαλείο για τη σύνθεση μορίων, το οποίο αναπτύχθηκε με εκπληκτική ταχύτητα», διευκρίνισε η επιτροπή των Νόμπελ. Σε αντίθεση με τα μέταλλα και τα ένζυμα, η προλίνη είναι ένα ονειρεμένο εργαλείο για τους χημικούς, ένα πολύ απλό και φθηνό μόριο το οποίο σέβεται το περιβάλλον.

Η ευρεία αξιοποίηση των οργανικών καταλυτών οφείλεται κυρίως στην ικανότητά τους για ασύμμετρη κατάλυση καθώς αρκετά φάρμακα (αλλά και άλλες οργανικές ενώσεις) παράγονται με τη μορφή μορίων που το ένα είναι στο χώρο κατοπτρικό είδωλο του άλλου και από τα οποία το ένα μόνο παρουσιάζει φαρμακευτική δράση. «Χρησιμοποιώντας αυτούς τους καταλύτες οι ερευνητές μπορούν να δημιουργήσουν αποτελεσματικότερα οτιδήποτε, από νέα φαρμακευτικά προϊόντα ως μόρια τα οποία μπορούν να αιχμαλωτίσουν το φως σε ηλιακά κύτταρα», καταλήγει η Βασιλική Ακαδημία Επιστημών της Σουηδίας στην ανακοίνωσή της.

«Πρόκειται για τεράστια έκπληξη» ήταν η αντίδραση του Λιστ, τον οποίο ενημέρωσε τηλεφωνικώς η Ακαδημία Νόμπελ. «Νόμιζα ότι κάποιος μου κάνει πλάκα. Έτρωγα το πρωινό μου με τη γυναίκα μου. Συνήθως μου έλεγε, έχε το νου σου στο τηλέφωνο μην πάρει κανείς από την Σουηδία, αλλά σήμερα δεν έκανε το αστείο αυτό. Και όταν η Σουηδία φάνηκε πράγματι στο τηλέφωνο ήταν μια πολύ ξεχωριστή στιγμή που δεν θα ξεχάσω ποτέ».

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 11

Στις παρακάτω ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής 1-11, να σημειώσετε απλώς τη σωστή απάντηση.

1. Ποια από τις μεταβολές που ακολουθούν δεν αυξάνει την ταχύτητα μιας αντίδρασης;
Α) Η αύξηση της θερμοκρασίας
Β) Η αύξηση της συγκέντρωσης ενός αντιδρώντος
Γ) Η αύξηση της επιφάνειας επαφής ενός στερεού αντιδρώντος
Δ) Η αύξηση του όγκου του δοχείου της αντίδρασης

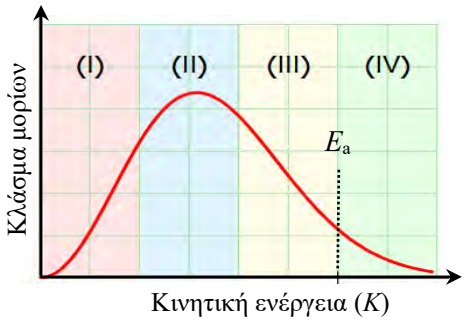
2. Με την αύξηση της θερμοκρασίας στην οποία πραγματοποιείται μία αντίδραση:
Α) αυξάνεται η ταχύτητα μιας εξώθερμης αντίδρασης και μειώνεται η ταχύτητα μιας ενδόθερμης
Β) αυξάνεται η ταχύτητα και των ενδόθερμων και των εξώθερμων αντιδράσεων
Γ) αυξάνεται η ενέργεια ενεργοποίησης (E_a) της αντίδρασης
Δ) μειώνεται η ενέργεια ενεργοποίησης (E_a) της αντίδρασης

3. Σε κατάλληλο δοχείο εισάγονται ένα κομμάτι C(s) και ποσότητα $CO_2(g)$ σε πίεση 1 atm και θερμοκρασία 1000 K, οπότε διεξάγεται η αντίδραση:

$$C(s) + CO_2(g) \rightarrow 2CO(g),\ \Delta H = 172\ kJ$$

Ποια από τις μεταβολές που ακολουθούν θα προκαλέσει αύξηση της ταχύτητας της αντίδρασης;
Α) Μετατροπή του κομματιού του C(s) σε σκόνη
Β) Μείωση της θερμοκρασίας
Γ) Αύξηση του όγκου του δοχείου της αντίδρασης
Δ) Μείωση της πίεσης με αύξηση του όγκου του δοχείου

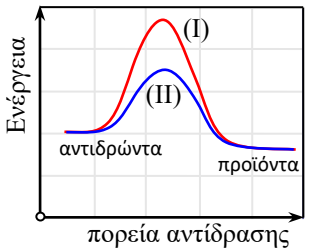
4. Με βάση το διάγραμμα κατά Maxwell - Boltzmann που ακολουθεί σε ποια περιοχή αντιστοιχούν μόρια με την απαιτούμενη ενέργεια για αποτελεσματικές συγκρούσεις;



Α) Στην περιοχή I Β) Στην περιοχή II
Γ) Στην περιοχή III Δ) Στην περιοχή IV

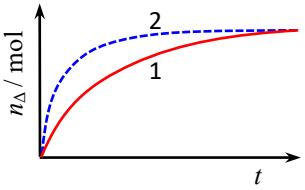
5. Καταλύτης ονομάζεται μια ουσία, η οποία με την παρουσία της σε μικρές ποσότητες:
Α) αυξάνει την ταχύτητα αντίδρασης
Β) μειώνει την ταχύτητα αντίδρασης
Γ) δεν μεταβάλλει την ταχύτητα αντίδρασης
Δ) αυξάνει την ενέργεια ενεργοποίησης (E_a) της αντίδρασης
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2026]

6. Τα διαγράμματα (I) και (II) αποδίδουν τις δύο πορείες της ίδιας αντίδρασης, που διεξάγεται κατά την επεξεργασία των καυσαερίων ενός αυτοκινήτου. Αν το σύστημα ακολουθεί την πορεία (II) και προστεθεί σε αυτό μια από τις πιο κάτω ουσίες, τότε ακολουθεί την πορεία (I). Η ουσία αυτή μπορεί να είναι:



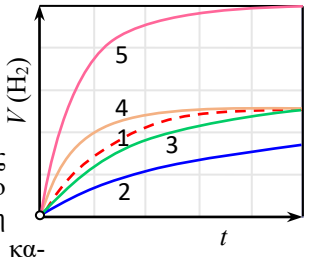
Α) δηλητήριο καταλύτη Β) οξυγόνο
Γ) ένζυμο Δ) καταλύτης [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

7. Παρακολουθούμε τη διεξαγωγή μιας μονόδρομης αντίδρασης, $A(aq) + B(aq) \rightarrow \Gamma(aq) + \Delta(s)$ σε υδατικό διάλυμα μετρώντας την ποσότητα (σε mol) του προϊόντος (Δ) σε σχέση με το χρόνο. Λαμβάνουμε έτσι την καμπύλη (1) στο γράφημα που ακολουθεί. Πραγματοποιούμε εκ νέου την ίδια αντίδραση με μία μεταβολή σε σχέση με την πρώτη περίπτωση. Λαμβάνουμε έτσι την καμπύλη (2). Ποια είναι η μεταβολή που πραγματοποιήθηκε στην 2η περίπτωση σε σχέση με την 1η;



Α) Μείωση της θερμοκρασίας
Β) Διπλασιασμός των ποσοτήτων των δύο αντιδρώντων σε διπλάσιο όγκο διαλύματος
Γ) Αύξηση της εξωτερικής πίεσης στο διάλυμα
Δ) Αύξηση της συγκέντρωσης του αντιδρώντος σε περίσσεια

8. Σε ένα πείραμα ποσότητα ρινισμάτων Mg(s) αντιδρά με περίσσεια διαλύματος HCl(aq) 1 M σύμφωνα με την εξίσωση: $Mg(s) + 2HCl(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$. Σε ένα άλλο πείραμα η ίδια ποσότητα των ίδιων ρινισμάτων Mg(s) αντιδρά με περίσσεια διαλύματος HCl(aq) 2 M, στην ίδια θερμοκρασία. Αν στο 1ο πείραμα ο εκλυόμενος όγκος του $H_2(g)$ σε συνάρτηση με το χρόνο δίνεται από την καμπύλη (1) στο διπλανό σχήμα, ποια καμπύλη θα αποδίδει τον εκλυόμενο όγκο του $H_2(g)$ σε συνάρτηση με το χρόνο στην περίπτωση του 2ου πειράματος;



Α) Η καμπύλη (2) Β) Η καμπύλη (3)
Γ) Η καμπύλη (4) Δ) Η καμπύλη (5)
Ο όγκος του H_2 μετριέται στις ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας.

9. Σε μία ανοικτή φιάλη διεξάγεται η αντίδραση:

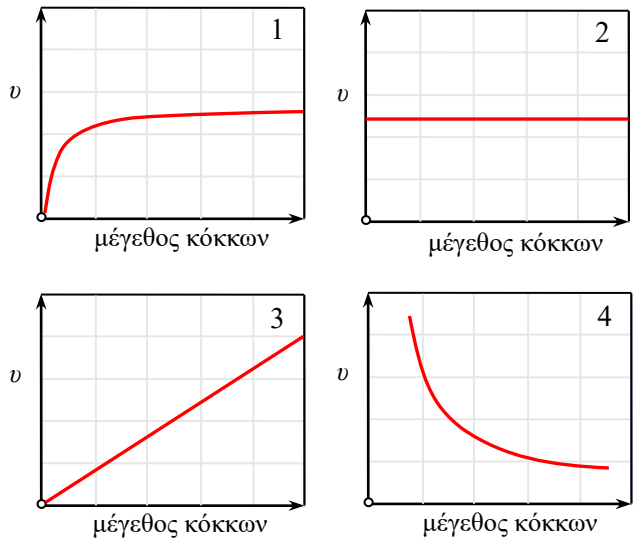
$$A(aq) + B(s) \longrightarrow \Gamma(aq) + \Delta(aq)$$

Ποιος από τους παράγοντες που ακολουθούν δεν επηρεάζει την ταχύτητα της αντίδρασης;
Α) Η συγκέντρωση του Α(aq)
Β) Η εξωτερική πίεση του διαλύματος
Γ) Το μέγεθος των κόκκων του Β(s)
Δ) Η θερμοκρασία

10. Η σχέση της ταχύτητας (υ) της αντίδρασης,

$$A(s) + 2B(aq) \longrightarrow \Gamma(aq) + \Delta(aq)$$

με το μέγεθος των κόκκων του στερεού αντιδρώντος, με ποιο από το παρακάτω διάγραμμα (1-4) μπορεί να αποδοθεί;



Α) Από το διάγραμμα 1 Β) Από το διάγραμμα 2
Γ) Από το διάγραμμα 3 Δ) Από το διάγραμμα 4

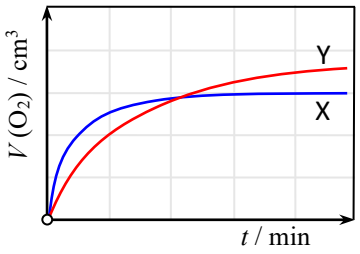
11. Το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι δύο τοξικά αέρια που προέρχονται ως απόβλητα από τη χημική βιομηχανία καθώς και από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων. Ένας τρόπος για τη μείωση των εκπομπών των δύο αυτών αερίων στην ατμόσφαιρα σε κινητήρες Diesel είναι με τη χρήση του λεγόμενου καταλύτη του Monel στον καταλυτικό μετατροπέα των αυτοκινήτων. Πρόκειται για ένα κράμα των μετάλλων Ni(s) και Cu(s) που καταλύει την αντίδραση (1):

$$2NO(g) + 2CO(g) \rightarrow N_2(g) + 2CO_2(g) \quad (1)$$

Με βάση τα δεδομένα αυτά, τι από τα παρακάτω ισχύει;
Α) Χωρίς τη χρήση του καταλύτη η αντίδραση (1) θα ήταν αδύνατη
Β) Ο καταλύτης επιβραδύνει την αντίδραση (1) ώστε να απαιτηθεί περισσότερος χρόνος για τη διέλευση από το σωλήνα της εξάτμισης
Γ) Ο καταλύτης του Monel αυξάνει την ενέργεια των αντιδρώντων ώστε να απαιτηθεί μικρότερη ενέργεια για το σχηματισμό του ενεργοποιημένου συμπλόκου
Δ) Η κατάλυση είναι ετερογενής

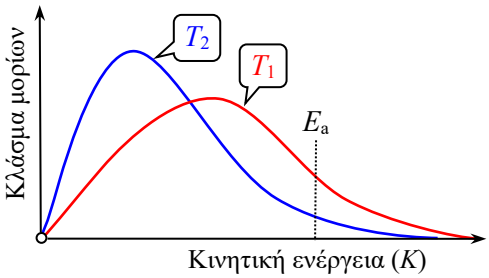
12. Να χαρακτηρίσετε τις προτάσεις που ακολουθούν ως Σωστές (Σ) ή Λανθασμένες (Λ).
α) Αυτοκατάλυση ονομάζεται το φαινόμενο, στο οποίο ένα από τα αντιδρώντα μιας αντίδρασης δρα ως καταλύτης της. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2026]
β) Σύμφωνα με τη θεωρία των ενδιαμέσων προϊόντων η παρουσία καταλύτη αυξάνει την ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης. [ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2023]

13. Στην καμπύλη Χ του ακόλουθου γραφήματος παριστάνεται ο όγκος του οξυγόνου (O_2), ο οποίος εκλύεται κατά τη διάρκεια της καταλυτικής διάσπασης διαλύματος υπεροξειδίου του υδρογόνου 1 Μ σε συνάρτηση με τον χρόνο. Η αντίδραση είναι: $2H_2O_2(aq) \rightarrow O_2(g) + 2H_2O(\ell)$.



Να εξηγήσετε με ποια από τις παρακάτω μεταβολές παράγεται η καμπύλη Υ.
1. Προσθήκη επιπλέον ποσότητας H_2O.
2. Προσθήκη διαλύματος H_2O_2 0,1 Μ.
3. Χρήση διαφορετικού καταλύτη.
4. Ελάττωση της θερμοκρασίας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

14. Στο διπλανό σχήμα, δίνεται η ενεργειακή κατανομή των μορίων ενός αερίου σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες T_1 και T_2. Ποια από τις θερμοκρασίες T_1 ή T_2 είναι υψηλότερη; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2024]



.....

.....

15. Η πατάτα πέρα από το άμυλο περιέχει και ένα ένζυμο γνωστό με το όνομα καταλάση που καταλύει τη διάσπαση του υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2) σε νερό και οξυγόνο, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$2H_2O_2(aq) \rightarrow 2H_2O(\ell) + O_2(g)$$

Προμηθευόμαστε από το φαρμακείο ένα μπουκάλι με διάλυμα υπεροξειδίου του υδρογόνου (με την εμπορική ονομασία οξυζενέ) περιεκτικότητας 3% w/v. Μεταφέρουμε ποσότητα από το διάλυμα σε ένα ποτήρι και προσθέτουμε φέτα από μία πατάτα.

α) Παρατηρούμε σχεδόν αμέσως ότι γύρω από την πατάτα θα σχηματισθούν πολλές φυσαλίδες αλλά η έκλυση αυτή των φυσαλίδων μειώνεται με την πάροδο του χρόνου. Να εξηγήσετε το φαινόμενο αυτό.

β) Διεξάγουμε το ίδιο πείραμα αλλά αυτή τη φορά το διάλυμα του οξυζενέ έχει υψηλότερη θερμοκρασία. Ποια διαφορά θα παρατηρήσουμε;

γ) Διεξάγουμε ένα τρίτο πείραμα με μοναδική αλλαγή το ότι χρησιμοποιείται ψημένη πατάτα. Στην περίπτωση αυτή δεν παρατηρείται σχηματισμός φυσαλίδων. Να εξηγήσετε γιατί.

Προσαρμογή από το άρθρο: D. R. Kimbrough, Mary Ann Magoun, M. Langfur, *A Laboratory Experiment Investigating Different Aspects of Catalase Activity in an Inquiry - Based Approach, J. Chem. Educ.* 1997, 74, 2, 210

.....

.....

.....

.....

16. Όταν μείγμα $Cl_2(g)$ και $CH_4(g)$ εκτεθεί σε διάχυτο ηλιακό φως πραγματοποιούνται αλυσιδωτές αντιδράσεις χλωρίωσης και προκύπτει μίγμα χλωροπαραγώγων. Όταν το μίγμα δεν εκτεθεί στο ηλιακό φως, δεν παρατηρείται καμία αντίδραση. Να εξηγήσετε τον ρόλο του φωτός στην χλωρίωση του μεθανίου. Δεν απαιτείται η γραφή των χημικών αντιδράσεων ούτε ο αναλυτικός μηχανισμός τους. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

.....

.....

.....

.....

17. Στην ίδια θερμοκρασία πραγματοποιήθηκαν τρία πειράματα που περιγράφονται από την παρακάτω χημική αντίδραση:

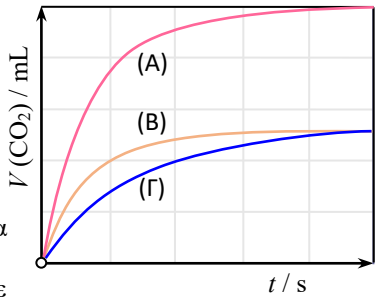
$$CaCO_3(s) + 2HCl(aq) \rightarrow CaCl_2(aq) + CO_2(g) + H_2O(\ell)$$

Πείραμα I: Σε 50 mL υδατικού διαλύματος HCl συγκέντρωσης 1,0 M προσθέτουμε περίσσεια στερεού $CaCO_3$ με τη μορφή μεγάλων κόκκων.

Πείραμα II: Σε 50 mL υδατικού διαλύματος HCl συγκέντρωσης 1,0 M προσθέτουμε περίσσεια στερεού $CaCO_3$ με τη μορφή μικρότερων κόκκων (σκόνη).

Πείραμα III: Σε 50 mL υδατικού διαλύματος HCl συγκέντρωσης 2,0 M προσθέτουμε περίσσεια στερεού $CaCO_3$ με τη μορφή μεγάλων κόκκων.

Από τα τρία πειράματα προέκυψε το διπλανό διάγραμμα καμπυλών Α, Β, Γ. Να αντιστοιχίσετε τις καμπύλες Α, Β, Γ στα πειράματα I, II, III, αιτιολογώντας την απάντησή σας.



[ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2026]

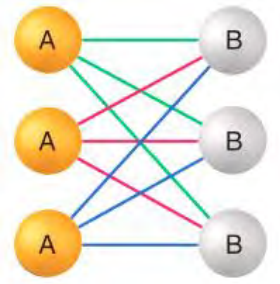
.....

.....

.....

.....

.....



12 Χημική Κινητική - Νόμος Ταχύτητας Αντίδρασης

ΘΕΜΑΤΑ ΘΕΩΡΙΑΣ

1. Απλές και πολύπλοκες αντιδράσεις - Μηχανισμός αντίδρασης

Οι χημικές αντιδράσεις διακρίνονται στις απλές (ή στοιχειώδεις) και στις πολύπλοκες.

Μία στοιχειώδης αντίδραση διεξάγεται όπως δείχνει η χημική εξίσωση που την περιγράφει. Δεν υπάρχουν δηλαδή ενδιάμεσα σώματα που να παράγονται σε κάποιο στάδιο και να καταναλώνονται σε κάποιο επόμενο. Για παράδειγμα, οι αντιδράσεις που ακολουθούν θεωρούνται απλές:

$N_2O_4(g) \rightarrow 2NO_2(g)$ και $N_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO(g)$

Οι αντιδράσεις πολύπλοκης μορφής αποτελούνται από μία σειρά απλών αντιδράσεων (στάδια ή βήματα αντίδρασης), που το «άθροισμά» τους δίνει τη συνολική εξίσωση. Το σύνολο αυτό των απλών αντιδράσεων - σταδίων αποκαλείται **μηχανισμός της αντίδρασης**. Στα στάδια μιας αντίδρασης εμφανίζονται και τα λεγόμενα ενδιάμεσα, τα οποία παράγονται σε κάποιο στάδιο, αλλά καταναλώνονται σε κάποιο από τα επόμενα και βέβαια δεν αντιστοιχούν ούτε σε προϊόντα ούτε σε αντιδρώντα.

Για παράδειγμα, η αντίδραση, $NO_2(g) + CO(g) \rightarrow NO(g) + CO_2(g)$, δεν συμβαίνει με τη σύγκρουση ενός μορίου $NO_2(g)$ και ενός μορίου $CO(g)$. Με βάση τα πειραματικά δεδομένα, πιστεύεται ότι συμβαίνει με το μηχανισμό δύο σταδίων που ακολουθεί.

1ο στάδιο	$2NO_2(g) \rightarrow NO_3(g) + NO(g)$
2ο στάδιο	$NO_3(g) + CO(g) \rightarrow NO_2(g) + CO_2(g)$
Συνολική εξίσωση	$NO_2(g) + CO(g) \rightarrow NO(g) + CO_2(g)$

Στην αντίδραση αυτή το $NO_3(g)$ είναι ένα βραχύβιο ενδιάμεσο, καθώς παράγεται στο 1ο στάδιο και καταναλώνεται στο 2ο. Μπορεί να ανιχνευθεί αλλά δεν εμφανίζεται στη συνολική εξίσωση (το τονίζουμε πάλι, δεν είναι ούτε στα αντιδρώντα ούτε στα προϊόντα της αντίδρασης!).

Πρέπει να σημειωθεί ότι «βλέποντας» την εξίσωση μιας χημικής αντίδρασης δε μπορούμε να ξέρουμε αν η αντίδραση είναι απλή ή αν αποτελείται από ενδιάμεσα στάδια, δηλαδή αν διαθέτει μηχανισμό. Τόσο η ύπαρξη μηχανισμού όσο και τα ενδιάμεσα στάδια μπορούν να προκύψουν μόνο με πειραματικές μελέτες και όχι «βλέποντας» την εξίσωση της αντίδρασης.

2. Νόμος ταχύτητας αντίδρασης

Είδαμε ότι η ταχύτητα μιας αντίδρασης εξαρτάται από τη συγκέντρωση των αντιδρώντων. Έτσι, για κάθε χημική αντίδραση υπάρχει μία μαθηματική έκφραση που συσχετίζει την ταχύτητα της αντίδρασης με τις συγκεντρώσεις των αντιδρώντων. Η μαθηματική αυτή σχέση ονομάζεται νόμος ταχύτητας της αντίδρασης.

Ειδικά στην περίπτωση των απλών αντιδράσεων η ταχύτητα υ της αντίδρασης μπορεί να προσδιοριστεί από την εξίσωσή της, καθώς είναι ανάλογη με το γινόμενο της συγκέντρωσης των αντιδρώντων σωμάτων, καθεμία υψωμένη στο στοιχειομετρικό της συντελεστή. Π.χ. για την απλή αντίδραση:

$$A(g) + 2B(g) \rightarrow \Gamma(g),$$

ο νόμος ταχύτητας έχει τη μορφή: $\upsilon = k\cdot[A]\cdot[B]^2$. Λέμε ότι η αντίδραση είναι τρίτης τάξης (η τάξη προκύπτει από το άθροισμα των εκθετών στο νόμο ταχύτητας της αντίδρασης). Η σταθερά k ονομάζεται **σταθερά ταχύτητας** και η τιμή της εξαρτάται από τη θερμοκρασία και από τη φύση των αντιδρώντων σωμάτων, όχι όμως από τις συγκεντρώσεις των αντιδρώντων σωμάτων.

Οι περισσότερες, όμως, αντιδράσεις δεν είναι απλές και επομένως ο νόμος ταχύτητας δεν προκύπτει από την εξίσωση της αντίδρασης. Με άλλα λόγια, όπως είπαμε, ο νόμος της αντίδρασης προκύπτει μόνο πειραματικά.

Στις περισσότερες αντιδράσεις ο νόμος ταχύτητας της γενικής αντίδρασης: $\alpha A + \beta B \rightarrow \gamma\Gamma + \delta\Delta$ (α, β, γ και δ συντελεστές) έχει τη μορφή:

$$\upsilon = k \cdot [A]^x \cdot [B]^y$$

Με βάση τον παραπάνω νόμο αντίδρασης, η αντίδραση χαρακτηρίζεται ως x τάξης ως προς το αντιδρών Α και y τάξης ως προς το Β, ενώ η συνολική τάξη της αντίδρασης είναι ίση με (x + y). Δηλαδή στην περίπτωση που η αντίδραση δεν είναι απλή θα ισχύει συνήθως: $x \neq \alpha$ ή $y \neq \beta$ ή και τα δύο.

Η σταθερά ταχύτητας k είναι αριθμητικά ίση με την ταχύτητα της αντίδρασης όταν οι συγκεντρώσεις καθενός από τα αντιδρώντα είναι 1 Μ.

Οι μονάδες της σταθεράς ταχύτητας k δεν είναι πάντα οι ίδιες αλλά εξαρτώνται από την τάξη της αντίδρασης. Έτσι, για μια αντίδραση τρίτης τάξης στην οποία ο νόμος ταχύτητας έχει π.χ. τη μορφή $\upsilon = k\cdot[A]^2\cdot[B]$, οι μονάδες της σταθεράς k θα είναι:

Νόμος ταχύτητας	Μονάδες της k
$\upsilon = k\cdot[A]^2\cdot[B] \Rightarrow k = \dfrac{\upsilon}{[A]^2\cdot[B]}$	$\dfrac{mol\cdot L^{-1}\cdot s^{-1}}{mol^3\cdot L^{-3}} = \dfrac{L^2}{mol^2\cdot s}$

Ο πειραματικός προσδιορισμός του νόμου ταχύτητας, δηλαδή η εξάρτηση της ταχύτητας της αντίδρασης από τις συγκεντρώσεις των αντιδρώντων είναι το πρώτο βήμα για τον προσδιορισμό του μηχανισμού μιας αντίδρασης. Έτσι, με βάση τον πειραματικά προσδιοριζόμενο νόμο της ταχύτητας μιας αντίδρασης μπορεί να προταθεί κάποιος μηχανισμός, ο οποίος βέβαια απαιτεί επιπλέον πειραματικά δεδομένα για να επιβεβαιωθεί.

Οι αριθμοί x και y παίρνουν συχνά ακέραιες τιμές: 0, 1, 2…, χωρίς να αποκλείονται κλασματικοί ή ακόμη και αρνητικοί αριθμοί. Π.χ. για την αντίδραση, $CH_3CH{=}O(g) \rightarrow CH_4(g) + CO(g)$, ο νόμος ταχύτητας είναι:
$\upsilon = k\cdot[CH_3CH{=}O]^{3/2}$

Τα **στερεά** αντιδρώντα παραλείπονται από το νόμο ταχύτητας, καθώς η ταχύτητα εξαρτάται από το εμβαδόν της επιφανείας τους και όχι από τη συνολική τους μάζα.

Στην περίπτωση που η τάξη για όλα τα αντιδρώντα ξεχωριστά συμπίπτει με το στοιχειομετρικό τους συντελεστή στην αντίδραση λέμε ότι η αντίδραση υπακούει στον κανόνα του van't Hoff και είναι πιθανόν να είναι απλή ή στοιχειώδης. Στην πραγματικότητα αν η αντίδραση είναι απλή πρέπει να υπακούει στον κανόνα του van't Hoff αλλά το αντίστροφο δεν ισχύει αναγκαστικά. Για παράδειγμα για την αντίδραση, $2NO(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2NOCl_2(g)$ ισχύει: $\upsilon = k\cdot[NO]^2\cdot[Cl_2]$ αλλά η αντίδραση δεν είναι απλή (αποτελείται από στάδια).

Εφαρμογή 1

Δίνεται η αντίδραση που παριστάνεται με τη χημική εξίσωση:

$$NO_2(g) + 2HCl(g) \rightarrow NO(g) + H_2O(g) + Cl_2(g)$$

α) *Ποιος θα ήταν ο νόμος ταχύτητας αν η αντίδραση ήταν απλή;*
β) *Με βάση πειραματικά δεδομένα προέκυψε ότι: $\upsilon = k\cdot[NO_2]\cdot[HCl]$. Ποια η τάξη της αντίδρασης;*
γ) *Ποιες οι μονάδες της σταθεράς ταχύτητας k, αν η ταχύτητα μετριέται σε $M\cdot s^{-1}$;*

Οι απλές αντιδράσεις 3ης τάξης είναι σπάνιες καθώς η πιθανότητα να συγκρουστούν τρία σωματίδια ταυτόχρονα με τον σωστό προσανατολισμό και την κατάλληλη ενέργεια είναι πολύ μικρή.

α) Με βάση τα όσα εκθέσαμε παραπάνω για το νόμο ταχύτητας των απλών αντιδράσεων, θα είχαμε: $\upsilon = k\cdot[NO_2]\cdot[HCl]^2$. Έτσι, αν η αντίδραση ήταν απλή, θα έπρεπε να ήταν 3ης τάξης.

β) Προσέχουμε το άθροισμα των εκθετών στον πραγματικό (πειραματικό) νόμο ταχύτητας: $\upsilon = k\cdot[NO_2]\cdot[HCl]$: 1 + 1 = 2. Επομένως, η αντίδραση είναι 2ης τάξης.

Γενικά, για μία αντίδραση τάξης n, η μονάδα για τη σταθερά ταχύτητας είναι $M^{1-n}\,s^{-1}$. Έτσι, για μία αντίδραση 1ης τάξης (n = 1) η μονάδα για τη σταθερά ταχύτητας είναι s^{-1}, για μία αντίδραση 2ης τάξης είναι $M^{-1}\cdot s^{-1}$ ($L\cdot mol^{-1}\cdot s^{-1}$) κτλ. Επίσης, για μία αντίδραση μηδενικής τάξης ($\upsilon = k$) η μονάδα είναι $M\cdot s^{-1}$.

γ) Επιλύουμε το νόμο ταχύτητας της αντίδρασης ως προς k και αντικαθιστούμε τις μονάδες:

Μαθηματική έκφραση της k	Μονάδες της k
$k = \dfrac{\upsilon}{[NO_2]\cdot[HCl]}$	$\dfrac{mol\cdot L^{-1}\cdot s^{-1}}{mol^2\cdot L^{-2}} = \dfrac{L}{mol\cdot s} = M^{-1}\cdot s^{-1}$

Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε με μία ειδική περίπτωση πολύπλοκων αντιδράσεων ο μηχανισμός των οποίων περιλαμβάνει μονόδρομες (→) αντιδράσεις και μάλιστα κάποιο στάδιο του μηχανισμού είναι πιο αργό σε σχέση με όλα τα άλλα. Στην περίπτωση αυτή το καθοριστικό στάδιο είναι το πιο αργό στάδιο και ο νόμος ταχύτητας της συνολικής αντίδρασης είναι αυτός του πιο αργού σταδίου.

Αν και ο καταλύτης αντιδρά σε κάποιο στάδιο της αντίδρασης, δεν συμμετέχει στο νόμο της αντίδρασης καθώς επανασχηματίζεται συνεχώς με αποτέλεσμα η συγκέντρωσή του να παραμένει σταθερή.

Ας δούμε τις εφαρμογές που ακολουθούν.

Εφαρμογή 2

Το NO αντιδρά με το Cl_2 σύμφωνα με την εξίσωση, $2NO(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2NOCl(g)$. Για την αντίδραση αυτή έχει προταθεί ο εξής μηχανισμός δύο σταδίων:

$NO(g) + Cl_2(g) \rightarrow NOCl_2(g)$ *αργό στάδιο*
$NOCl_2(g) + NO(g) \rightarrow 2NOCl(g)$ *γρήγορο στάδιο*

Ποιος θα είναι ο νόμος ταχύτητας και η τάξη της αντίδρασης με βάση τον παραπάνω μηχανισμό; Ποιο είναι το ενδιάμεσο της αντίδρασης;

Ο νόμος ταχύτητας της συνολικής αντίδρασης θα είναι ο νόμος ταχύτητας του αργού σταδίου. Έτσι, για την παραπάνω αντίδραση θα έχουμε: $\upsilon = k\cdot[NO]\cdot[Cl_2]$. Προφανώς, η αντίδραση είναι 2ης τάξης.

Παρατηρούμε ότι η ένωση $NOCl_2$ παράγεται στο 1ο στάδιο του μηχανισμού και καταναλώνεται στο 2ο, οπότε αποτελεί το ενδιάμεσο του μηχανισμού.

Εφαρμογή 3

Ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης, $2ICl + H_2 \rightarrow 2HCl + I_2$*, είναι* $\upsilon = k\cdot[ICl]\cdot[H_2]$*. Με βάση το δεδομένο αυτό να εξηγήσετε γιατί η αντίδραση δεν είναι απλή. Να προτείνετε ένα πιθανό μηχανισμό για την αντίδραση στον οποίο το καθοριστικό (αργό) στάδιο να είναι το 1ο και να εμφανίζεται το HI ως ενδιάμεσο.*

Η αντίδραση είναι 2ης τάξης και δεν είναι απλή καθώς αν ήταν απλή θα ίσχυε: $\upsilon = k\cdot[ICl]^2\cdot[H_2]$. Θεωρώντας ότι το 1ο στάδιο του μηχανισμού είναι το καθοριστικό (αργό) στάδιο της αντίδρασης προκύπτει ότι στο στάδιο αυτό συμμετέχει 1 μόριο ICl και 1 μόριο H_2. Για το λόγο αυτό προτείνεται ο εξής μηχανισμός στον οποίο εμφανίζεται και το HI ως ενδιάμεσο:

$H_2 + ICl \rightarrow HI + HCl$ αργό στάδιο

$HI + ICl \rightarrow I_2 + HCl$ γρήγορο στάδιο

$H_2 + 2ICl \rightarrow 2HCl + I_2$ συνολική αντίδραση

Σημείωση: Ο παραπάνω μηχανισμός έχει προταθεί σύμφωνα με πειραματικές μελέτες στις οποίες προσδιορίστηκε το HI ως ενδιάμεσο.

Τα προτεινόμενα στάδια του μηχανισμού μιας αντίδρασης πρέπει να ικανοποιούν τρία βασικά κριτήρια:
1. Πρέπει αθροιστικά να δίνουν την συνολική αντίδραση.
2. Πρέπει να είναι 1ης ή 2ης τάξης καθόσον οι απλές αντιδράσεις δεν είναι πολύ πιθανό να είναι 3ης τάξης.
3. Το αργό στάδιο του μηχανισμού (καθοριστικό στάδιο) να έχει νόμο ταχύτητας το νόμο ταχύτητας που προσδιορίστηκε πειραματικά για τη συνολική αντίδραση.

Γενικά, δεν είμαστε σίγουροι ότι ισχύει ένας προτεινόμενος μηχανισμός σε μία αντίδραση, απλώς ότι είναι συμβατός με τα ισχύοντα πειραματικά δεδομένα. Αν αυτά αλλάξουν στο μέλλον μπορεί να προταθεί ένας άλλος μηχανισμός για την ίδια αντίδραση. Για παράδειγμα, για πολλά χρόνια πίστευαν ότι η αντίδραση $H_2(g) + I_2(g) \rightarrow 2HI(g)$ ήταν στοιχειώδης. Το 1967 βρέθηκαν ενδιάμεσα οπότε έγινε αντιληπτό ότι διαθέτει μηχανισμό.

3. Μεθοδολογία ασκήσεων: Μέθοδος των αρχικών ταχυτήτων

Είδαμε ότι ο νόμος ταχύτητας μίας αντίδρασης είναι μία μαθηματική έκφραση που περιγράφει την εξάρτηση της ταχύτητας από τις συγκεντρώσεις των αντιδρώντων σωμάτων στην οποία εμφανίζεται και η σταθερά (k) της ταχύτητας.

Η μέθοδος των αρχικών ταχυτήτων είναι μία κοινή πρακτική για τον προσδιορισμό του νόμου ταχύτητας μιας αντίδρασης. Συνίσταται στον προσδιορισμό της αρχικής ταχύτητας (δηλαδή για $t = 0$) μιας αντίδρασης σε μία σειρά πειραμάτων καθένα από τα οποία διαφέρει σε κάποια από τις συγκεντρώσεις των αντιδρώντων συστατικών. Με τη μέθοδο αυτή μπορούμε να προσδιορίσουμε την τάξη της αντίδρασης αλλά και τη σταθερά k της ταχύτητας.

Ας δούμε τη μέθοδο αυτή αναλυτικά με βάση την εφαρμογή που ακολουθεί.

Εφαρμογή 4

Σε μία σειρά τριών πειραμάτων στην ίδια θερμοκρασία προσδιορίζεται η αρχική ταχύτητα της αντίδρασης, $O_2(g) + 2NO(g) \rightarrow 2NO_2(g)$*, με διαφορετικές αρχικές συγκεντρώσεις των δύο αντιδρώντων. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται συνοπτικά στον πίνακα που ακολουθεί.*

Πείραμα	*Αρχικές συγκεντρώσεις / M*		*Αρχική ταχύτητα* (υ_0) */ M·s*$^{-1}$
	$[O_2]_0$	$[NO]_0$	
1	*0,01*	*0,01*	$3\cdot10^{-3}$
2	*0,02*	*0,01*	$6\cdot10^{-3}$
3	*0,01*	*0,03*	$2{,}7\cdot10^{-2}$

Να προσδιορίσετε το νόμο της ταχύτητας, την τάξη της αντίδρασης καθώς και την τιμή και τη μονάδα της σταθεράς ταχύτητας k.

Έστω $\upsilon = k\cdot[O_2]^x\cdot[NO]^y$ η έκφραση του νόμου της ταχύτητας της αντίδρασης. Αντικαθιστούμε διαδοχικά τις τιμές από τα πειράματα 1, 2 και 3:

$$3\cdot10^{-3} = k\cdot0,01^x\cdot0,01^y \quad (1)$$

$$6\cdot10^{-3} = k\cdot0,02^x\cdot0,01^y \quad (2)$$

$$27\cdot10^{-3} = k\cdot0,01^x\cdot0,03^y \quad (3)$$

Με διαίρεση κατά μέλη των (1) και (2) απλοποιείται το y και υπολογίζεται το x:

$$\frac{6\cdot10^{-3}}{3\cdot10^{-3}} = \frac{k\cdot0,02^x\cdot0,01^y}{k\cdot0,01^x\cdot0,01^y},\ 2 = 2^x,\ x = 1$$

Με διαίρεση κατά μέλη των (3) και (1) απλοποιείται το x και υπολογίζεται το y:

$$\frac{27\cdot10^{-3}}{3\cdot10^{-3}} = \frac{k\cdot0,01^x\cdot0,03^y}{k\cdot0,01^x\cdot0,01^y},\ 9 = 3^y,\ y = 2$$

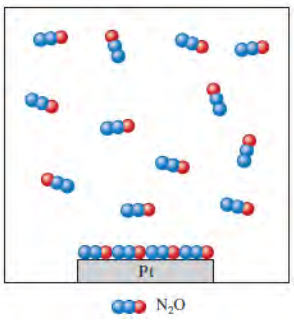
Επομένως, ο νόμος ταχύτητας είναι: $\upsilon = k\cdot[O_2]\cdot[NO]^2$ και η αντίδραση 3ης τάξης.

Για την εύρεση της τιμής της σταθεράς k αντικαθιστούμε σε μία από τις εξισώσεις (1), (2) ή (3). Π.χ. με βάση την εξίσωση (1), έχουμε:

$$3\cdot10^{-3} = k\cdot0,01\cdot0,01^2 \quad (1) \Rightarrow k = \frac{3\cdot10^{-3}}{10^{-6}} = 3\cdot10^3\ L^2\cdot mol^{-2}\cdot s^{-1}$$

Παραδείγματα αντιδράσεων που θεωρούνται 3ης τάξης:
$2FeCl_3(aq) + SnCl_2(aq) \longrightarrow 2FeCl_2(aq) + SnCl_4(aq)$
$2CH_3COOAg(aq) + HCOONa(aq) \longrightarrow 2Ag(s) + CO_2(g) + CH_3COOH(aq) + CH_3COONa(aq)$

Αντιδράσεις μηδενικής τάξης! Απαντώνται συχνά σε περιπτώσεις που μία ένωση αντιδρά στην επιφάνεια ενός καταλύτη, π.χ. η αντίδραση διάσπασης του $N_2O(g)$ σε επιφάνεια Pt(s):
$2N_2O(g) \rightarrow 2N_2(g) + O_2(g)$
Όταν η επιφάνεια του καταλύτη καλύπτεται πλήρως από τα μόρια του $N_2O(g)$, η αύξηση της συγκέντρωσης δεν έχει πια επίδραση στην ταχύτητα της αντίδρασης.

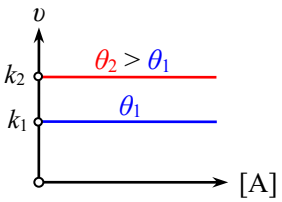


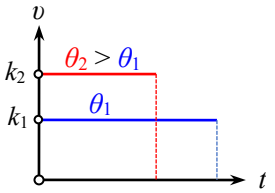
Αν η ίδια αντίδραση πραγματοποιηθεί σε υψηλή θερμοκρασία αλλά χωρίς την παρουσία καταλύτη δεν είναι πια μηδενικής τάξης!

4. Ταχύτητα αντίδρασης, διαγράμματα

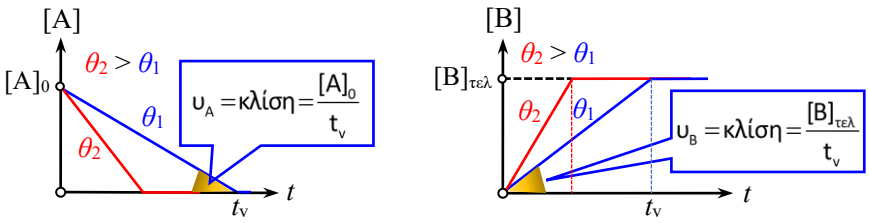
1. Αντιδράσεις μηδενικής τάξης. Έστω ότι η αντίδραση $A(g) \rightarrow B(g)$ είναι μηδενικής τάξης. Ο νόμος ταχύτητας αντίδρασης θα έχει τη μορφή $\upsilon = k\cdot[A]^0$ ή $\upsilon = k$ και επομένως η ταχύτητα της αντίδρασης θα έχει σταθερή τιμή και ίση με τη σταθερά ταχύτητας k, ανεξάρτητα από τη συγκέντρωση του A(g). Μάλιστα, στην περίπτωση αυτή η σταθερά k έχει τις ίδιες μονάδες με την ταχύτητα της αντίδρασης, δηλαδή $M\cdot s^{-1}$.

Αφού $\upsilon = k$, η ταχύτητα αντίδρασης είναι ανεξάρτητη και από τον χρόνο, αυξάνεται όμως με την αύξηση της θερμοκρασίας και επομένως η αντίδραση ολοκληρώνεται ταχύτερα. Τα διαγράμματα υ - [A] και υ - t εμφανίζονται στα σχήματα που ακολουθούν.

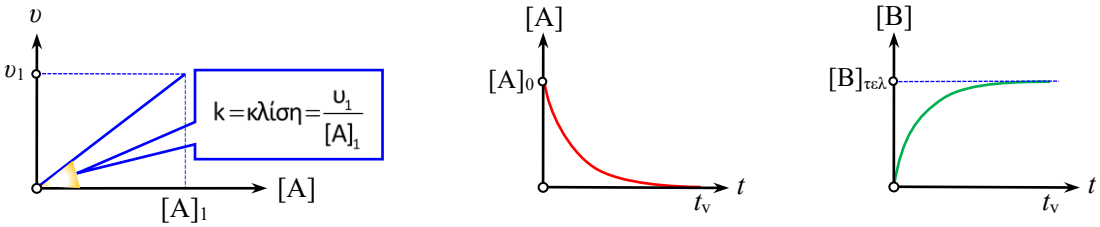




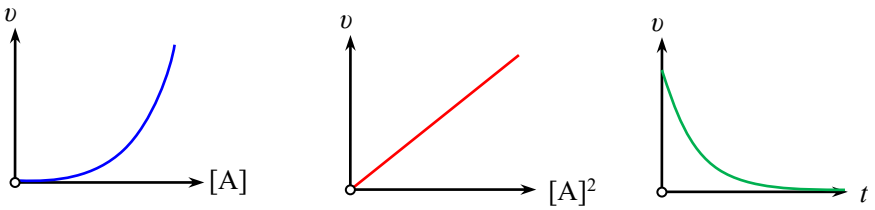
Στις αντιδράσεις αυτές ο ρυθμός κατανάλωσης του αντιδρώντος A (υ_A) είναι σταθερός και υπολογίζεται από την κλίση της ευθείας [A] = f(t) η οποία μάλιστα αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Αντίστοιχα, η κλίση της ευθείας [B] = f(t) δίνει το σταθερό ρυθμό παραγωγής του προϊόντος B (υ_B). Τα σχετικά διαγράμματα εμφανίζονται στα επόμενα σχήματα.



2. Αντιδράσεις 1ης τάξης. Για μία αντίδραση 1ης τάξης ο νόμος ταχύτητας έχει τη μορφή $\upsilon = k\cdot[A]$ και συνεπώς η ταχύτητα αντίδρασης είναι ανάλογη με τη συγκέντρωση του αντιδρώντος, [A]. Με την πάροδο του χρόνου η [A] μειώνεται με φθίνοντα ρυθμό ενώ η συγκέντρωση του προϊόντος, [B], θα αυξάνεται με φθίνοντα ρυθμό:



3. Αντιδράσεις 2ης τάξης. Για μία αντίδραση 2ης τάξης, π.χ. της μορφής $\alpha A(g) \rightarrow B(g)$ ο νόμος ταχύτητας θα είναι $\upsilon = k\cdot[A]^2$ και η γραφική παράσταση της ταχύτητας σε συνάρτηση με τη [A] θα είναι παραβολή, η οποία διέρχεται από την αρχή των αξόνων. Επίσης, η γραφική παράσταση της υ σε συνάρτηση με το $[A]^2$ θα είναι ευθεία γραμμή και θα διέρχεται επίσης από την αρχή των αξόνων:



ΛΥΜΕΝΕΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Σε ένα περιοδικό φαρμακευτικής αναφέρεται ότι ένα αντιβιοτικό (A) μεταβολίζεται στον ανθρώπινο οργανισμό με σταθερά ταχύτητας $k = 3\cdot10^{-5}\ s^{-1}$, στους 37 °C.
α) Ποιος ο νόμος ταχύτητας για το μεταβολισμό του αντιβιοτικού; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.
β) Πώς θα μεταβληθεί (αύξηση, μείωση καμία μεταβολή) η τιμή της σταθεράς ταχύτητας (k) αν το αντιβιοτικό δοθεί σε ασθενή με πυρετό;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
α) Όπως φαίνεται από τη μονάδα της σταθεράς k η αντίδραση είναι 1ης τάξης και επομένως ισχύει: $\upsilon = k\cdot[A]$. Έτσι, η μονάδα της σταθεράς ταχύτητας k για αντιδράσεις 1ης τάξης είναι s^{-1}.

β) Θα αυξηθεί, καθώς με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται η ταχύτητα της αντίδρασης.

2. Για προσδιορισμό του νόμου ταχύτητας της αντίδρασης: 2Α + Β + Γ → προϊόντα**, έγιναν** 4 **πειράματα σε δοχείο όγκου** $V = 1$ L**, στην ίδια θερμοκρασία. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων φαίνονται στο πίνακα που ακολουθεί.**

	αρχική [Α] / $mol \cdot L^{-1}$	αρχική [Β] / $mol \cdot L^{-1}$	αρχική [Γ] / $mol \cdot L^{-1}$	αρχική ταχύτητα / $mol \cdot L^{-1} \cdot min^{-1}$
Πείραμα 1	0,1	0,1	0,1	$3 \cdot 10^{-4}$
Πείραμα 2	0,3	0,2	0,1	$1,8 \cdot 10^{-3}$
Πείραμα 3	0,3	0,1	0,1	$9 \cdot 10^{-4}$
Πείραμα 4	0,3	0,2	0,2	$3,6 \cdot 10^{-3}$

α) Ποιος είναι ο νόμος της ταχύτητας της αντίδρασης;
β) Ποια η τιμή της σταθεράς ταχύτητας (*k*) της αντίδρασης;
γ) Στο πείραμα 4 **σε κάποια χρονική στιγμή** *t* **η ποσότητα του** Α **είναι ίση με** 0,1 mol**. Ποια η ταχύτητα της αντίδρασης τη χρονική αυτή στιγμή** *t***;**

ΛΥΣΗ

α) Έστω $\upsilon = k \cdot [A]^x \cdot [B]^y \cdot [\Gamma]^z$ ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης. Τον εφαρμόζουμε διαδοχικά για τα 4 πειράματα:

$$3 \cdot 10^{-4} = k \cdot 0,1^x \cdot 0,1^y \cdot 0,1^z \quad (1)$$
$$18 \cdot 10^{-4} = k \cdot 0,3^x \cdot 0,2^y \cdot 0,1^z \quad (2)$$
$$9 \cdot 10^{-4} = k \cdot 0,3^x \cdot 0,1^y \cdot 0,1^z \quad (3)$$
$$36 \cdot 10^{-4} = k \cdot 0,3^x \cdot 0,2^y \cdot 0,2^z \quad (4)$$

Διαιρώντας κατά μέλη την εξίσωση (3) με την (1), έχουμε:

$$\frac{(3)}{(1)} : \frac{9}{3} = \frac{0,3^x \cdot 0,1^y \cdot 0,1^z}{0,1^x \cdot 0,1^y \cdot 0,1^z} \Rightarrow 3 = \left(\frac{0,3}{0,1}\right)^x \Rightarrow x = 1$$

Με ανάλογο τρόπο, διαιρώντας κατά μέλη την (2) με την (3), έχουμε:

$$\frac{(2)}{(3)} : \frac{18}{9} = \frac{0,3^x \cdot 0,2^y \cdot 0,1^z}{0,3^x \cdot 0,1^y \cdot 0,1^z} \Rightarrow 2 = \left(\frac{0,2}{0,1}\right)^y \Rightarrow y = 1$$

Τέλος, διαιρώντας κατά μέλη την (4) με την (2), έχουμε:

$$\frac{(4)}{(2)} : \frac{36}{18} = \frac{0,3^x \cdot 0,2^y \cdot 0,2^z}{0,3^x \cdot 0,2^y \cdot 0,1^z} \Rightarrow 2 = \left(\frac{0,2}{0,1}\right)^z \Rightarrow z = 1$$

Επομένως, ο νόμος ταχύτητας είναι: $\upsilon = k \cdot [A] \cdot [B] \cdot [\Gamma]$

β) Η τιμή της σταθεράς ταχύτητας της αντίδρασης υπολογίζεται με αντικατάσταση σε μία οποιαδήποτε από τις σχέσεις (1) - (4), π.χ. στην (1):

$$3 \cdot 10^{-4} = k \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \Rightarrow 3 \cdot 10^{-4} = k \cdot 10^{-3} \Rightarrow k = 0,3\ L^2 \cdot mol^{-2} \cdot s^{-1}$$

γ) Κατασκευάζουμε το γνωστό πίνακα με τις ποσότητες των αντιδρώντων από την έναρξη της αντίδρασης μέχρι τη χρονική στιγμή *t*:

mol	**2Α**	**+**	**Β**	**+**	**Γ**	**→**	προϊόντα
Αρχικά ($t = 0$)	0,3		0,2		0,2		
Μεταβολές	–2x		–x		–x		
Τελικά (t)	0,3 – 2x		0,2 – x		0,2 – x		

Ισχύει: 0,3 − 2x = 0,1 ⇒ x = 0,1. Επομένως, οι συγκεντρώσεις των τριών αντιδρώντων συστατικών τη χρονική στιγμή t θα είναι: [Α] = 0,1 M, [Β] = 0,1 M, [Γ] = 0,1 M. Η ταχύτητα τη στιγμή t θα είναι: $\upsilon = k\cdot[\text{A}]\cdot[\text{B}]\cdot[\Gamma] = 0{,}3\cdot0{,}1\cdot0{,}1\cdot0{,}1 = 3\cdot10^{-4}$ (πείραμα 1).

3. Σε δοχείο όγκου 2 L **εισάγονται** 5 mol Α(g) **και** 5 mol Β(g) **και από** $t = 0$ **πραγματοποιείται σε κατάλληλες συνθήκες η αντίδραση,** 2Α(g) + Β(g) → 3Γ(g)**. Τη χρονική στιγμή** $t = 10$ **στο δοχείο προσδιορίστηκαν** 3 mol Γ(g)**.**
α) Ποιες ποσότητες των Α(g) **και** Β(g) **έχουν απομείνει στο δοχείο τη χρονική στιγμή** $t = 10$ s**;**
β) Να υπολογίσετε την ταχύτητα της αντίδρασης για το διάστημα 0-10 s**.**
γ) Μελέτες έδειξαν ότι ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης είναι $\upsilon = k\cdot[\text{A}]\cdot[\text{B}]$**.**
i. Η αντίδραση είναι απλή ή γίνεται σε στάδια; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας και να καθορίσετε την τάξη της αντίδρασης.
ii. Να εξετάσετε αν ο μηχανισμός:

Α(g) + Β(g) → Δ(g) + 2Γ(g) **(αργό στάδιο)**
Α(g) + Δ(g) → Γ(g) **(γρήγορο στάδιο)**

μπορεί να είναι ένας πιθανός μηχανισμός για την αντίδραση.

ΛΥΣΗ
α) Κατασκευάζουμε τον πίνακα της αντίδρασης από $t = 0$ μέχρι $t = 10$ s:

mol	**2Α(g)**	**+**	**Β(g)**	**→**	**3Γ(g)**
Αρχικά ($t = 0$)	5		5		—
Μεταβολές	–2x		–x		3x
Τελικά ($t = 10$ s)	5 − 2x		5 − x		3x

Με βάση τα δεδομένα της αντίδρασης θα ισχύει: 3x = 3 και άρα: x = 1 mol. Επομένως, για $t = 10$ s στο δοχείο θα υπάρχουν 5 − 2x = 3 mol Α και 5 − x = 4 mol Β.

β) Η ταχύτητα ορίζεται από τη σχέση: $\upsilon = -\frac{1}{2}\cdot\frac{\Delta[\text{A}]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[\text{B}]}{\Delta t} = \frac{1}{3}\cdot\frac{\Delta[\Gamma]}{\Delta t}$

Έτσι: $\upsilon = \frac{1}{3}\cdot\frac{\Delta[\Gamma]}{\Delta t} = \frac{1}{3}\cdot\frac{1{,}5\ \text{M}}{10\ \text{s}} = 0{,}05\ \text{M}\cdot\text{s}^{-1}$

γ) i. Αν η αντίδραση ήταν απλή ο νόμος ταχύτητας θα ήταν της μορφής: $\upsilon = k\cdot[\text{A}]^2\cdot[\text{B}]$ και η αντίδραση θα ήταν 3ης τάξης. Επειδή ο νόμος ταχύτητας είναι της μορφής: $\upsilon = k\cdot[\text{A}]\cdot[\text{B}]$ η αντίδραση είναι 2ης τάξης και άρα δεν είναι απλή και διαθέτει μηχανισμό.
ii. Σε ένα πιθανό μηχανισμό, το στάδιο που καθορίζει την ταχύτητα της (συνολικής) αντίδρασης είναι το αργό στάδιο. Στον προτεινόμενο μηχανισμό, ο νόμος ταχύτητας είναι της μορφής: $\upsilon = k\cdot[\text{A}]\cdot[\text{B}]$, δηλαδή ο νόμος ταχύτητας που ισχύει. Επομένως, ο μηχανισμός που αναφέρεται είναι πιθανόν να ισχύει.

4. Σε ένα δοχείο που κλείνεται με ευκίνητο έμβολο περιέχεται ποσότητα CO_2**. Στο δοχείο εισάγεται περίσσεια σκόνης** C(s) **σε λεπτό διαμερισμό και το σύστημα θερμαίνεται στους** 227 °C**, οπότε αρχίζει να αντιδρά σύμφωνα με την απλή αντίδραση:**

$$CO_2(g) + C(s) \rightarrow 2CO(g)$$

Η αρχική ταχύτητα της αντίδρασης είναι $\upsilon_1 = 4\cdot10^{-5}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$**, ενώ η πίεση διατηρείται σταθερή στην τιμή** 4,1 atm**. Να υπολογιστούν:**
α) Η σταθερά ταχύτητας της αντίδρασης.
β) Οι συγκεντρώσεις των αερίων στο δοχείο τη χρονική στιγμή (t_2**) κατά την οποία η ταχύτητα της αντίδρασης είναι** $\upsilon_2 = 10^{-5}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$**.**
Δίνεται: $R = 0{,}082\ \text{L}\cdot\text{atm}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$**.**

ΛΥΣΗ
α) Κατά την έναρξη της αντίδρασης το μοναδικό αέριο που υπάρχει στο δοχείο της αντίδρασης είναι το CO_2. Από την καταστατική εξίσωση των (ιδανικών) αερίων, έχουμε:

$$P\cdot V_1 = n_1\cdot R\cdot T,$$

όπου n_1 τα αρχικά mol του CO_2. Από την εξίσωση αυτή προκύπτει:

$$P = \frac{n_1}{V_1}\cdot RT = [CO_2]_1\cdot RT \Rightarrow [CO_2]_1 = \frac{P}{R\cdot T} = \frac{4{,}1}{0{,}082\cdot 500} = 0{,}1\ \text{M}$$

Η σταθερά ταχύτητας της αντίδρασης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\upsilon_1 = k\cdot[CO_2]_1,\ k = \frac{\upsilon_1}{[CO_2]_1} = 4\cdot10^{-4}\ \text{s}^{-1}$$

β) Τη χρονική στιγμή t_2 ισχύει: $[CO_2]_2 = \frac{\upsilon_2}{k} = \frac{10^{-5}}{4\cdot10^{-4}} = 0{,}025\ \text{M}$

Στη χρονική αυτή στιγμή στο δοχείο θα συνυπάρχουν το CO_2 που δεν έχει αντιδράσει ακόμη σε συγκέντρωση $[CO_2]_2$ και το CO που έχει παραχθεί σε συγκέντρωση $[CO]_2$. Από την καταστατική εξίσωση, έχουμε:

$$P\cdot V_2 = (n_{CO_2} + n_{CO})\cdot R\cdot T \Rightarrow P = \frac{(n_{CO_2} + n_{CO})}{V_2}\cdot R\cdot T = ([CO_2] + [CO])\cdot R\cdot T$$

$$[CO_2] + [CO] = \frac{P}{R\cdot T} = \frac{4{,}1}{0{,}082\cdot 500} = 0{,}1\ \text{M}$$

Από τη γνωστή συγκέντρωση του CO_2, προκύπτει: $[CO]_2 = 0{,}075$ M.

5. Σε δοχείο σταθερού όγκου 2 L **εισάγεται ισομοριακό αέριο μίγμα** H_2 **και** Cl_2 **συνολικής μάζας** 14,6 g**. Το μίγμα θερμαίνεται και πραγματοποιείται υπό σταθερή θερμοκρασία η αντίδραση που περιγράφεται με την εξίσωση** (1) **που ακολουθεί.**

$$H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g),\ \Delta H = -44\ \text{kcal} \quad (1)$$

Για την αντίδραση αυτή ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης είναι: $\upsilon = k\cdot[H_2]\cdot[Cl_2]$ **με σταθερά ταχύτητας** $k = 5\ \text{mol}^{-1}\cdot\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$**. Διαπιστώθηκε ότι μέχρι τη στιγμή** $t_1 = 20$ s **έχει παραχθεί ποσό θερμότητας** $q_1 = 5{,}28$ kcal **ενώ μέχρι τη στιγμή** $t_2 = 40$ s **έχει παραχθεί επιπλέον ποσό θερμότητας** $q_2 = 1{,}76$ kcal**.**

α) Να υπολογιστεί ο αριθμός των mol του HCl **που έχει παραχθεί μέχρι τη χρονική στιγμή** $t_1 = 20$ s **καθώς και η ταχύτητα (**υ_1**) της αντίδρασης τη χρονική στιγμή** t_1**.**
β) Να υπολογιστεί ο αριθμός των mol του HCl **που έχει παραχθεί μέχρι τη χρονική στιγμή** $t_2 = 40$ s **καθώς και η ταχύτητα (**υ_2**) της αντίδρασης τη χρονική στιγμή** t_2**.**
γ) Να εξηγήσετε γιατί $\upsilon_2 < \upsilon_1$ **και γιατί** $q_2 < q_1$**.**
Τα ποσά θερμότητας και η ενθαλπία αντιστοιχούν στις ίδιες συνθήκες.

ΛΥΣΗ
α) Έστω x ο αριθμός mol κάθε συστατικού στο αρχικό μίγμα H_2 ($M_r = 2$) και Cl_2 ($M_r = 71$). Ισχύει:

$$2x + 71x = 14{,}6,\ 73x = 14{,}6,\ x = 0{,}2 \text{ mol.}$$

mol	$H_2(g)$ +	$Cl_2(g)$ →	$2HCl(g)$, $\Delta H = -44$ kcal
Αρχικά ($t = 0$)	0,2	0,2	—
Μεταβολές	−y	−y	2y
$t_1 = 20$ s	0,2 − y	0,2 − y	2y

Με βάση το ποσό θερμότητας που εκλύεται από $t = 0$ μέχρι $t_1 = 20$ s ισχύει:

$$44y = 5{,}28,\ y = 0{,}12 \text{ mol}$$

Άρα, τη στιγμή $t_1 = 20$ s στο δοχείο της αντίδρασης θα συνυπάρχουν: 0,2 – y = 0,08 mol H_2, 0,2 – y = 0,08 mol Cl_2 και 2y = 0,24 mol HCl. Η ταχύτητα της αντίδρασης θα υπολογιστεί από τη σχέση: $\upsilon = k\cdot[H_2]\cdot[Cl_2]$. Αντικαθιστώντας: $\upsilon_1 = 5\cdot0{,}04\cdot0{,}04 = 8\cdot10^{-3}$ M·s^{-1}.

β) Για το χρονικό διάστημα $\Delta t = t_2 - t_1$ συμπληρώνουμε τον εξής πίνακα:

mol	$H_2(g)$ +	$Cl_2(g)$ →	$2HCl(g)$, $\Delta H = -44$ kcal
Αρχικά ($t_1 = 20$ s)	0,08	0,08	0,24
Μεταβολές	−ω	−ω	2ω
Τελικά ($t_2 = 40$ s)	0,08 − ω	0,08 − ω	0,24 + 2ω

Με βάση το ποσό θερμότητας που εκλύεται από $t_1 = 20$ s μέχρι $t_2 = 40$ s, ισχύει:

$$44\omega = 1{,}76,\ \omega = 0{,}04 \text{ mol}$$

Τη στιγμή $t_1 = 20$ s στο δοχείο υπάρχουν 0,08 – ω = 0,04 mol H_2, 0,08 – ω = 0,04 mol Cl_2 και (0,24 + 2ω) = 0,32 mol HCl. Η ταχύτητα της αντίδρασης τη στιγμή χρονική t_1 υπολογίζεται από τη σχέση: $\upsilon = k\cdot[H_2]\cdot[Cl_2]$:

$$\upsilon_2 = 5\cdot0{,}02\cdot0{,}02 = 2\cdot10^{-3} \text{ M}\cdot\text{s}^{-1}$$

γ) Παρατηρούμε ότι προφανώς ισχύει: $\upsilon_2 < \upsilon_1$, καθόσον με την πάροδο του χρόνου μειώνονται οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων, οπότε μειώνεται και η ταχύτητα της αντίδρασης. Επίσης, ισχύει: $q_2 < q_1$, δηλαδή ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας μειώνεται με την πάροδο του χρόνου καθώς μειώνεται ο ρυθμός παραγωγής των προϊόντων και ο ρυθμός κατανάλωσης των αντιδρώντων.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

12.1. Η τιμή της σταθεράς ταχύτητας (k) της αντίδρασης:

$$A(g) + B(g) \rightarrow \Gamma(g) + \Delta(g),$$

μπορεί να αυξηθεί με:
Α) αύξηση της [Β] Β) αύξηση της θερμοκρασίας
Γ) αύξηση των [Α] και [Β] Δ) μείωση της [Δ]

12.2. Η σταθερά ταχύτητας (k) μιας αντίδρασης:
Α) έχει μονάδα το $M \cdot s^{-1}$ σε κάθε περίπτωση
Β) δεν εξαρτάται από τη θερμοκρασία
Γ) είναι αριθμητικά ίση με την ταχύτητα της αντίδρασης όταν οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων είναι 1 M
Δ) Όλες οι προηγούμενες προτάσεις είναι σωστές

12.3. Αν η ταχύτητα μιας αντίδρασης δίνεται από τη σχέση, $\upsilon = k \cdot [A] \cdot [B]$, τότε:
Α) τα μοναδικά αντιδρώντα είναι τα σώματα Α και Β
Β) η αντίδραση είναι 2ης τάξης
Γ) οι συντελεστές των Α και Β στη στοιχειομετρική εξίσωση είναι 1 και 1, αντίστοιχα
Δ) η αντίδραση είναι απλή

12.4. Κατά την πραγματοποίηση της απλής χημικής αντίδρασης, $H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g)$, ισχύει ότι:
Α) η ταχύτητα της αντίδρασης αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου
Β) η ποσότητα του HCl αυξάνεται με σταθερό ρυθμό
Γ) ο ρυθμός μεταβολής της [HCl] αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου
Δ) η ταχύτητα της αντίδρασης δεν είναι σταθερή καθόλη τη διάρκειά της [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

12.5. Ποια από τις επόμενες μεταβολές δεν αυξάνει τη σταθερά ταχύτητας (k) μιας αντίδρασης;
Α) Ελάττωση της E_a
Β) Αύξηση της θερμοκρασίας
Γ) Προσθήκη καταλύτη
Δ) Αύξηση της συγκέντρωσης των αντιδρώντων

12.6. Ποια από τις μαθηματικές εκφράσεις που ακολουθούν είναι ο νόμος ταχύτητας της απλής αντίδρασης,

$$CaO(s) + CO_2(g) \rightarrow CaCO_3(s);$$

Α) $\upsilon = k \cdot [CaO] \cdot [CO_2]$ Β) $\upsilon = k \cdot [CO_2]$
Γ) $\upsilon = k \cdot [CaCO_3]$ Δ) $\upsilon = k/[CO_2]$

12.7. Στον πίνακα που ακολουθεί εμφανίζονται οι συγκεντρώσεις της ουσίας Α στην αντίδραση: $\alpha A(g) \rightarrow B(g)$, σε διάφορες χρονικές στιγμές.

Χρόνος / min	0	2	4	6	8
[A] / $mol \cdot L^{-1}$	1	0,8	0,6	0,4	0,2

Από τη μελέτη του πίνακα αυτού προκύπτει ότι η αντίδραση που περιγράφεται από την εξίσωση: $\alpha A \rightarrow B$, είναι:
Α) 1ης τάξης Β) 2ης τάξης
Γ) 3ης τάξης Δ) μηδενικής τάξης

12.8. Για την αντίδραση, $2A + B \rightarrow$ προϊόντα, ο νόμος ταχύτητας είναι $\upsilon = k \cdot [A]^2 \cdot [B]$. Ποια από τις μεταβολές που ακολουθούν θα προκαλέσει τη μεγαλύτερη αύξηση στην ταχύτητα της αντίδρασης;
Α) Τετραπλασιασμός της [Β]
Β) Διπλασιασμός της [Β]
Γ) Τριπλασιασμός της [Α]
Δ) Διπλασιασμός της συγκέντρωσης και των δύο αντιδρώντων

12.9. Ποια από τις παρακάτω φράσεις αποδίδει καλύτερα τον όρο «μηχανισμός μιας αντίδρασης»;
Α) Το πιο αργό στάδιο της αντίδρασης
Β) Τα ενεργοποιημένα σύμπλοκα σε μία αντίδραση
Γ) Το σύνολο των απλών αντιδράσεων - σταδίων που περιγράφουν τη διεξαγωγή μιας πολύπλοκης αντίδρασης
Δ) Το σύνολο των ενδιαμέσων σε μία αντίδραση

12.10. Η αντίδραση, $2N_2O_5(g) \rightarrow 4NO_2(g) + O_2(g)$, έχει σταθερά ταχύτητας $k = 3 \cdot 10^{-3}\ s^{-1}$. Η αντίδραση αυτή:
Α) είναι 1ης τάξης Β) είναι 2ης τάξης
Γ) είναι μηδενικής τάξης Δ) μπορεί να είναι 2ης τάξης

12.11. Ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης, $C_2H_4(g) + H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g)$ είναι: $\upsilon = k \cdot [C_2H_4] \cdot [H_2]$. Σε ένα μίγμα των αντιδρώντων τα δύο συστατικά είναι σε στοιχειομετρική αναλογία και η πίεση στο δοχείο P. Αν η πίεση αυξηθεί απότομα σε $3P$ με μεταβολή όγκου υπό σταθερή θερμοκρασία, πόσες φορές θα αυξηθεί η ταχύτητα της αντίδρασης;
Α) 3 φορές Β) 6 φορές Γ) 9 φορές Δ) 12 φορές

12.12. Η αντίδραση $A(g) \rightarrow 2B(g)$ είναι αντίδραση μηδενικής τάξης και ολοκληρώνεται σε 10 min οπότε έχουν παραχθεί 2 mol του προϊόντος Β. Για τη χρονική στιγμή t_1 που έχει παραχθεί 1 mol του Β θα ισχύει:
Α) $t_1 > 7{,}5$ min Β) $t_1 = 5$ min
Γ) $t_1 < 5$ min Δ) $5 < t_1 < 7{,}5$ min

12.13. Το καθοριστικό στάδιο μιας απλής αντίδρασης είναι:
Α) το πιο αργό στάδιο
Β) το πιο γρήγορο στάδιο
Γ) αυτό με την μικρότερη ενέργεια ενεργοποίησης (E_a)
Δ) Δεν υπάρχει καθοριστικό στάδιο σε μια απλή αντίδραση

12.14. Για την αντίδραση που ακολουθεί:

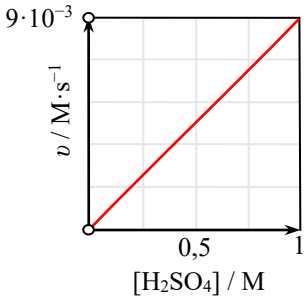
$$CO(g) + NO_2(g) \rightarrow CO_2(g) + NO(g),$$

ο νόμος ταχύτητας είναι: $\upsilon = k \cdot [NO_2]^2$. Σε δοχείο με έμβολο εισάγουμε α mol CO και 2α mol NO_2 υπό σταθερή πίεση και θερμοκρασία. Για την αντίδραση αυτή, ποια από τις παρακάτω προτάσσεις δεν είναι σωστή;
Α) Ο ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης του CO είναι ίσος με το ρυθμό μεταβολής της συγκέντρωσης του NO_2
Β) Η μονάδα της σταθεράς ταχύτητας k είναι το $mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}$
Γ) Είναι 2ης τάξης
Δ) Κατά τη διάρκεια της αντίδρασης ο όγκος του δοχείου παραμένει σταθερός

12.15. Σε μία σειρά πειραμάτων διεξάγεται η αντίδραση:

$$Mg(s) + H_2SO_4(aq) \longrightarrow MgSO_4(aq) + H_2(g)$$

Η αρχική ταχύτητα της αντίδρασης σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση του $H_2SO_4(aq)$ εμφανίζεται δίπλα. Με βάση τις πληροφορίες αυτές τι από τα παρακάτω ισχύει;



Α) Η αντίδραση είναι μηδενικής τάξης
Β) Με την αύξηση της θερμοκρασίας η κλίση της ευθείας αυξάνεται
Γ) Η αντίδραση είναι δεύτερης τάξης
Δ) Η σταθερά ταχύτητας έχει τιμή $k = 0{,}09\ M^{-1}\cdot s^{-1}$

12.16. Για την αντίδραση, $2NO(g) + Cl_2(g) \longrightarrow 2NOCl(g)$, έχει προταθεί ο εξής μηχανισμός:

$NO + Cl_2 \longrightarrow NOCl_2$ (αργό στάδιο)
$NOCl_2 + NO \longrightarrow 2NOCl$ (γρήγορο στάδιο)

Ποιος από τους νόμους ταχύτητας που ακολουθούν είναι συνεπής με τον παραπάνω μηχανισμό;

Α) $\upsilon = k\cdot[NO]^2\cdot[Cl_2]$ Β) $\upsilon = k\cdot[NO]\cdot[Cl_2]$
Γ) $\upsilon = k\cdot[NO]\cdot[NOCl_2]$ Δ) $\upsilon = k\cdot[NO]^2$

12.17. Να χαρακτηρίσετε τις προτάσεις που ακολουθούν ως σωστές (Σ) ή λανθασμένες (Λ).

α) Η αντίδραση: $2NO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2NO_2(g)$ είναι 3ης τάξης είτε είναι απλή είτε πολύπλοκης μορφής.
β) Αν για την απλή αντίδραση $\alpha A(g) \longrightarrow B(g)$ ο νόμος ταχύτητας είναι: $\upsilon = k\cdot[A]$ συμπεραίνουμε ότι $\alpha = 1$.
γ) Σε μία αντίδραση 1ης τάξης η ταχύτητα της αντίδρασης παραμένει σταθερή σε όλη τη διάρκειά της.
δ) Η σταθερά της ταχύτητας αντίδρασης (k) δεν εξαρτάται από τη θερμοκρασία, στην οποία πραγματοποιείται η αντίδραση. [ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2025]
ε) Η σταθερά ταχύτητας (k) μιας αντίδρασης ισούται αριθμητικά με την αρχική ταχύτητα (υ_0) της αντίδρασης.
στ) Η απλή αντίδραση $C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$ είναι 1ης τάξης.
ζ) Αν σε μία αντίδραση δεν υπάρχουν ενδιάμεσα τότε είναι απλή.

12.18. Η ένωση X(g) διασπάται στην ένωση Y(g) σύμφωνα με την αντίδραση: $2X(g) \longrightarrow Y(g)$. Κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής της αντίδρασης υπό σταθερή θερμοκρασία μετράμε σε κάποιες χρονικές στιγμές τις συγκεντρώσεις των X(g) και Y(g) καθώς και την ταχύτητα της αντίδρασης την αντίστοιχη χρονική στιγμή. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

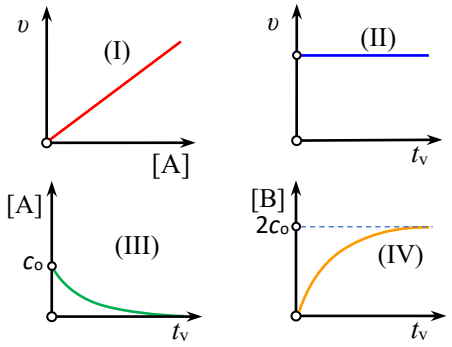
[X] (M)	[Y] (M)	υ (M·s^{-1})
Α. 0,08	α. 0,045	1. $1{,}5\cdot10^{-4}$
Β. 0,06	β. 0,020	2. $3{,}0\cdot10^{-4}$
Γ. 0,02	γ. 0,040	3. $9{,}0\cdot10^{-4}$
Δ. 0,01	δ. 0,010	4. $1{,}2\cdot10^{-3}$

α) Να αντιστοιχήσετε την κάθε τιμή της συγκέντρωσης της ένωσης X της 1ης στήλης με τη συγκέντρωση της ένωσης Y της 2ης στήλης καθώς και με την ταχύτητα της αντίδρασης (υ) της 3ης στήλης στην αντίστοιχη χρονική στιγμή.
β) Να εξηγήσετε αν η αντίδραση είναι απλή ή όχι.

12.19. Η απλή αντίδραση, $2A(g) \longrightarrow 2B(g) + \Gamma(g)$, διεξάγεται σε δοχείο σταθερού όγκου και υπό σταθερή θερμοκρασία. Παρατηρείται ότι 50 s από την έναρξη της αντίδρασης η ταχύτητα της αντίδρασης υποτετραπλασιάστηκε.

α) Αυτό σημαίνει ότι μετά από παρέλευση 50 s:
Α) η [A] υποδιπλασιάστηκε
Β) η [A] υποτετραπλασιάστηκε
Γ) η [Γ] τετραπλασιάστηκε
Δ) η σταθερά ταχύτητας (k) της υποτετραπλασιάστηκε
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

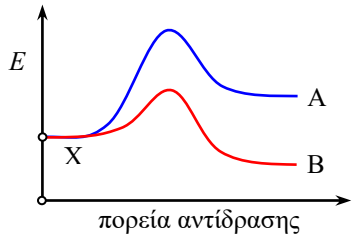
12.20. Για την αντίδραση 1ης τάξης, $A(g) \longrightarrow 2B(g)$, ποιο από τα διαγράμματα που ακολουθούν <u>δεν</u> είναι σωστό;



1. Το διάγραμμα (I) 2. Το διάγραμμα (II)
3. Το διάγραμμα (III) 4. Το διάγραμμα (IV)

Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

12.21. Σε δοχείο διεξάγονται, υπό σταθερή θερμοκρασία, οι δύο απλές αντιδράσεις, $X(g) \longrightarrow A(g)$ (1) και $X(g) \longrightarrow B(g)$ (2). Τα ενεργειακά διαγράμματα των δύο αντιδράσεων δίνονται στο σχήμα που ακολουθεί.



α) Να χαρακτηρίσετε τις αντιδράσεις (1) και (2) ως εξώθερμες ή ενδόθερμες.
β) Κατά τη διάρκεια των δύο αντιδράσεων παρατηρείται ότι ο ρυθμός παραγωγής του B είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό παραγωγής του A.
i. Να δώσετε μία εξήγηση για το γεγονός αυτό με βάση τα δεδομένα του διαγράμματος.
ii. Να συγκρίνετε τις σταθερές ταχύτητας k_1 και k_2 των αντιδράσεων (1) και (2), αντίστοιχα και να σημειώσετε τη μονάδα τους.

12.22. Ο νόμος ταχύτητα της αντίδρασης, $2X(g) + Y(g) \rightarrow 2Z(g)$, είναι: $\upsilon = k\cdot[X]^2\cdot[Y]$. Σε τρία δοχεία Α, Β, Γ με όγκους V, V και $2V$ αντίστοιχα εισάγονται αρχικά, στο δοχείο Α α mol X(g) και α mol Y(g), στο δοχείο Β α mol X(g) και 2α mol Y(g) και στο δοχείο Γ 2α mol X(g) και 2α mol Y(g). Η θερμοκρασία στα τρία δοχεία είναι σταθερή και ίση με T.
α) Για την αρχική ταχύτητα της αντίδρασης στα δοχεία Α, Β, Γ θα ισχύει:
i. $\upsilon_A = 2\upsilon_B = 2\upsilon_\Gamma$ ii. $2\upsilon_A = \upsilon_B = 2\upsilon_\Gamma$
iii. $\upsilon_A = 2\upsilon_B = \upsilon_\Gamma$ iv. $\upsilon_A < \upsilon_B < \upsilon_\Gamma$
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

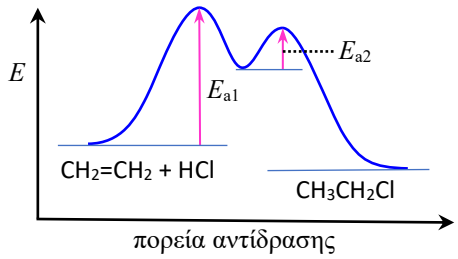
12.23. Ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης, $A(g) + 2B(g) \rightarrow 2\Gamma(g)$, είναι $\upsilon = k\cdot[A]\cdot[B]$. Διεξάγονται 3 διαφορετικά πειράματα με τις εξής συνθήκες:
Πείραμα 1. $[A]_0 = 0{,}02$ M, $[B]_0 = 0{,}02$ M, $\theta = 20$ °C.
Πείραμα 2. $[A]_0 = 0{,}01$ M, $[B]_0 = 0{,}02$ M, $\theta = 30$ °C.
Πείραμα 3. $[A]_0 = 0{,}01$ M, $[B]_0 = 0{,}01$ M, $\theta = 40$ °C.
α) Για τις αρχικές ταχύτητες υ_{01}, υ_{02}, υ_{03} της αντίδρασης στα παραπάνω πειράματα θα ισχύει:
i. $\upsilon_{01} = \upsilon_{02} = \upsilon_{03}$ ii. $\upsilon_{01} > \upsilon_{02} > \upsilon_{03}$
iii. $\upsilon_{01} < \upsilon_{02} < \upsilon_{03}$ iv. $\upsilon_{01} = \upsilon_{02} < \upsilon_{03}$
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.
Η σταθερά ταχύτητας (k) της αντίδρασης διπλασιάζεται με κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 °C.

12.24. Ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης, $A(g) + 3B(g) \rightarrow 2\Gamma(g)$, είναι $\upsilon = k\cdot[A]\cdot[B]^2$. Στα τρία πειράματα προσδιορίζεται η αρχική ταχύτητα της αντίδρασης σε δεδομένες αρχικές συγκεντρώσεις των δύο αντιδρώντων. Στα δύο πειράματα η θερμοκρασία είναι θ_1 και στο τρίτο θ_2. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πειράματα	$[A]_0$ / M	$[B]_0$ / M	υ_0 / M·s^{-1}
1	0,01	0,02	$8\cdot10^{-6}$
2	0,01	0,06	$7{,}2\cdot10^{-5}$
3	0,02	0,02	$2\cdot10^{-5}$

Να εξηγήσετε:
α) Σε ποιο από τα πειράματα η θερμοκρασία είναι θ_2.
β) Ποια από τις θερμοκρασίες θ_1 και θ_2 είναι η μεγαλύτερη.

12.25. Η αντίδραση, $CH_2{=}CH_2(g) + HCl(g) \rightarrow CH_3CH_2Cl(g)$,. διεξάγεται με τον εξής μηχανισμό:
1ο στάδιο $HCl + CH_2{=}CH_2 \rightarrow CH_3CH_2^+ + Cl^-$ E_{a1}
2ο στάδιο $CH_3CH_2^+ + Cl^- \rightarrow CH_3CH_2Cl$ E_{a2}
Το ενεργειακό διάγραμμα και των δύο σταδίων εμφανίζεται στο γράφημα που ακολουθεί.



α) Ποιο από τα δύο στάδια είναι το καθοριστικό στάδιο της αντίδρασης; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.
β) Ποιος ο νόμος ταχύτητας και ποια η τάξη της αντίδρασης;
γ) Να εξηγήσετε αν συνολική αντίδραση, $CH_2{=}CH_2 + HCl \rightarrow CH_3CH_2Cl$ είναι εξώθερμη ή ενδόθερμη.

12.26. Μία ομάδα μαθητών μελετά την ταχύτητα της αντίδρασης: $Mg(s) + 2HCl(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$. Σε όλα τα πειράματα η θερμοκρασία είναι η ίδια καθώς και η ποσότητα του Mg(s) και το μόνο που διαφέρει είναι η αρχική συγκέντρωση του HCl(aq), που είναι το αντιδρών σε περίσσεια. Σε κάθε πείραμα προσδιορίζεται ο χρόνος (t_v) που απαιτείται για την πλήρη αντίδραση του Mg(s). Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πείραμα	$[HCl(aq)]_{αρχ.}$ / M	t_v / s
1	2	25
2	1,5	30
3	1	100
4	0,5	400

α) Ποιος είναι ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης;
i. $\upsilon = k\cdot[HCl]$ ii. $\upsilon = k\cdot[HCl]^2$
iii. $\upsilon = k\cdot[Mg]\cdot[HCl]$ iv. $\upsilon = k\cdot[HCl]^{-1}$
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

12.27. Η αντίδραση: $OCl^-(aq) + I^-(aq) \rightarrow OI^-(aq) + Cl^-(aq)$, διεξάγεται με μηχανισμό 3 σταδίων από τα οποία τα δύο πρώτα είναι τα εξής:
Στάδιο 1: $OCl^- + H_2O \rightarrow HOCl + OH^-$
Στάδιο 2: $I^- + HOCl \rightarrow HOI + Cl^-$
α) Ποια η χημική εξίσωση του 3ου σταδίου;
β) Ποια είναι τα ενδιάμεσα της αντίδρασης;

12.28. Σε δοχείο σταθερού όγκου και υπό σταθερή θερμοκρασία διεξάγεται η αντίδραση που ακολουθεί.

$$2NO(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO_2(g)$$

Ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης είναι: $\upsilon = k\cdot[NO]^2\cdot[O_2]$. Σε κάποια χρονική στιγμή (t_1) που ισχύει: $[NO] = 0{,}4$ M και $[O_2] = 0{,}2$ M, η ταχύτητα της αντίδρασης είναι υ_1.
α) Σε μία επόμενη χρονική στιγμή (t_2) που ισχύει: $[NO] = 0{,}2$ M, ποια θα είναι η ταχύτητα της αντίδρασης (υ_2);
1. $\upsilon_2 = \upsilon_1/2$ 2. $\upsilon_2 = \upsilon_1/4$
3. $\upsilon_2 = \upsilon_1/8$ 4. $\upsilon_2 = \upsilon_1$
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

12.29. Το $NaClO(aq)$ αντιδρά με το $H_2O_2(aq)$ σύμφωνα με την εξίσωση που ακολουθεί.

$$NaOCl(aq) + H_2O_2(aq) \rightarrow H_2O(l) + O_2(g) + NaCl(aq)$$

Η αντίδραση είναι 1ης τάξης και ως προς τα δύο αντιδρώντα (συνολικά 2ης τάξης). Σε μία σειρά πειραμάτων αναμιγνύονται 20 mL διαλύματος 0,4 M $H_2O_2(aq)$ με V mL διαλύματος NaOCl(aq) 0,5 M. Σε ποιον προστιθέμενο V διαλύματος NaOCl(aq) η αρχική ταχύτητα της αντίδρασης θα είναι η μικρότερη;
i. 20 mL ii. 30 mL iii. 80 mL
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

Προβλήματα

12.30. Ο «Δρ. Στόουν» είναι γνωστό ιαπωνικό κόμικ. Σύμφωνα με το σενάριο, όλοι οι άνθρωποι ξαφνικά μαρμάρωσαν. Ο Senku, ο ήρωας της ιστορίας και λάτρης της χημείας, βρίσκει τη φόρμουλα για την αντιστροφή της μαρμάρωσης, ένα μίγμα HNO_3 και CH_3CH_2OH. Τα συστατικά αυτά αντιδρούν σύμφωνα με την εξίσωση:



$$CH_3CH_2OH + HNO_3 \rightarrow CH_3CH_2ONO_2 + H_2O$$

Ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης προσδιορίζεται με τη μέθοδο των αρχικών ταχυτήτων τα δεδομένα της οποίας συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πείραμα	Αρχική συγκέντρωση / M		Αρχική ταχύτητα / M·s^{-1}
	[CH_3CH_2OH]	[HNO_3]	
1	1,0	0,5	$1,44\cdot10^{-4}$
2	1,5	0,5	$2,16\cdot10^{-4}$
3	2,0	1,0	$1,152\cdot10^{-3}$

Να προσδιοριστεί ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης καθώς και η τιμή και η μονάδα της σταθεράς ταχύτητας (k).

12.31. Τα δεδομένα του πίνακα σχετίζονται με μία σειρά πειραμάτων στην ίδια θερμοκρασία για την αντίδραση, $H_2O_2(aq) + 3I^-(aq) + 2H^+(aq) \rightarrow I_3^-(aq) + 2H_2O(\ell)$.

	H_2O_2 / M	I^- / M	H^+ / M	Αρχική ταχύτητα / M·s^{-1}
1	0,01	0,01	$5\cdot10^{-4}$	$1,15\cdot10^{-6}$
2	0,02	0,01	$5\cdot10^{-4}$	$2,3\cdot10^{-6}$
3	0,02	0,02	$5\cdot10^{-4}$	$4,6\cdot10^{-6}$
4	0,02	0,02	10^{-3}	$4,6\cdot10^{-6}$

α) Ποιος ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης και η ποια η τάξη της;
β) Ποια η τιμή της σταθεράς ταχύτητας (k);
γ) Σε διάλυμα που διεξάγεται η παραπάνω αντίδραση στην ίδια θερμοκρασία, έχουμε σε κάποια χρονική στιγμή t_1 τις εξής συγκεντρώσεις: [H_2O_2] = 0,01 M και [I^-] = 0,02 M. Ποια η ταχύτητα της αντίδρασης τη χρονική στιγμή t_1;

12.32. Σε κλειστό δοχείο όγκου V = 2 L εισάγονται αρχικά 0,4 mol NO και 0,3 mol H_2, και από t = 0 πραγματοποιείται υπό σταθερή θερμοκρασία η αντίδραση (1) που ακολουθεί.

$$2NO(g) + 2H_2(g) \rightarrow N_2(g) + 2H_2O(g) \quad (1)$$

Η αντίδραση αυτή πραγματοποιείται στα εξής στάδια:

$$2NO(g) + H_2(g) \rightarrow N_2(g) + H_2O_2(g) \text{ (αργό στάδιο)}$$
$$H_2O_2(g) + H_2(g) \rightarrow 2H_2O(g) \text{ (γρήγορο στάδιο)}$$

α) Ποιος είναι ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης (1);
β) Για t = 10 s, να υπολογίσετε:
i. Τη συγκέντρωση κάθε αερίου που υπάρχει στο δοχείο.
ii. Την ταχύτητα της αντίδρασης (1).
Η σταθερά της ταχύτητας της αντίδρασης (1) είναι k = 4 L^2·mol^{-2}·s^{-1} και ότι η μέση ταχύτητά της για τα πρώτα 10 s είναι $\upsilon = 5\cdot10^{-3}$ M·s^{-1}.

12.33. Σε διαλύματα σε CCl_4 η διάσπαση του N_2O_5 πραγματοποιείται στους 45 °C με βάση την εξίσωση:

$$2N_2O_5 \rightarrow 4NO_2 + O_2(g)$$

Τη χρονική στιγμή t_1 ισχύουν [N_2O_5] = 0,90 M και η ταχύτητα της αντίδρασης είναι $\upsilon_1 = 2,70\cdot10^{-4}$ M·s^{-1} ενώ τη χρονική στιγμή t_2 ισχύουν [N_2O_5] = 0,45 M και η ταχύτητα της αντίδρασης είναι $\upsilon_2 = 1,35\cdot10^{-4}$ mol·L^{-1}·s^{-1}.
α) i. Ποιος ο ρυθμός κατανάλωσης του N_2O_5 τη στιγμή t_1;
ii. Ποιος ο ρυθμός παραγωγής του NO_2 τη χρονική στιγμή t_2; Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας.
β) Ποιος ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης και ποια η τάξη της; Να σημειώσετε τη μονάδα της σταθεράς ταχύτητας (k).

12.34. Σε δοχείο όγκου V = 1 L εισάγουμε 3 mol A(g) και 1 mol B(g) και διεξάγεται υπό σταθερή θερμοκρασία T η απλή αντίδραση, $2A(g) + B(g) \rightarrow 2\Gamma(g)$, με αρχική ταχύτητα $\upsilon_o = 1,8\cdot10^{-3}$ mol·L^{-1}·s^{-1}.
α) Ποια είναι η τιμή και η μονάδα της σταθεράς ταχύτητας (k) της αντίδρασης στη θερμοκρασία T;
β) Ποια θα είναι η ταχύτητα της αντίδρασης υ_1 όταν στο δοχείο υπάρχουν 0,5 mol B;
γ) Ποια θα είναι η ταχύτητα της αντίδρασης υ_2 όταν στο δοχείο υπάρχει 1 mol A;

12.35. Ένας τρόπος για την απομάκρυνση του H_2S από τοξικά απόβλητα που το περιέχουν είναι η αντίδρασή του με Cl_2 σύμφωνα με τη χημική εξίσωση που ακολουθεί.

$$H_2S(aq) + Cl_2(aq) \rightarrow S(s) + 2HCl(aq)$$

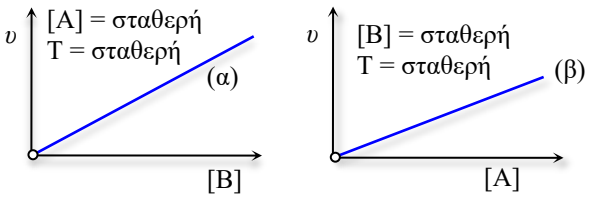
Η αντίδραση είναι 1ης τάξης και ως προς τα δύο αντιδρώντα με σταθερά ταχύτητας $k = 3,5\cdot10^{-2}$ M^{-1}·s^{-1} σε θερμοκρασία θ. Σε κάποια χρονική στιγμή (t) κατά τη διάρκεια της αντίδρασης (σε θερμοκρασία θ) η [$H_2S(aq)$] είναι ίση με $2\cdot10^{-4}$ M και η [$Cl_2(aq)$] ίση με 0,02 M. Ποιος ο ρυθμός παραγωγής του HCl(aq) εκείνη τη χρονική στιγμή (t);

Για …δυνατούς λύτες!

12.36. Για την αντίδραση που ακολουθεί εκτελέσαμε τις παρακάτω σειρές πειραμάτων Ι και ΙΙ.

$$2A(aq) + B(aq) \rightarrow 2\Gamma(aq)$$

Ι. Προσδιορίσαμε την ταχύτητα της αντίδρασης σε M·s^{-1} για διαφορετικές τιμές της [B] με σταθερή τη [A]. Από τις μετρήσεις αυτές προέκυψε το γράφημα (α) που ακολουθεί.
ΙΙ. Κατασκευάσαμε με ανάλογο τρόπο το γράφημα (β) της συνάρτησης υ = f ([A]) για σταθερή τιμή της [B].



Με βάση τα παραπάνω γραφήματα να προσδιορίσετε:
α) Την τάξη της αντίδρασης.
β) Την τιμή και τη μονάδα της σταθεράς k της ταχύτητας αν είναι γνωστό ότι στο 2ο διάγραμμα ισχύει [B] = 0,4 M και επίσης η κλίση της ευθείας (β) είναι ίση με 0,06.

12.37. 200 mL διαλύματος HIO_3 0,3 M αναμιγνύονται με 200 mL διαλύματος H_2SO_3 0,3 M και στο διάλυμα (Δ) που προκύπτει όγκου 400 mL πραγματοποιείται η αντίδραση με την εξίσωση που ακολουθεί.

$$HIO_3(aq) + 3H_2SO_3(aq) \rightarrow HI(aq) + 3H_2SO_4(aq)$$

Η αρχική ταχύτητα έχει τιμή $\upsilon_0 = 1{,}8\cdot10^{-5}$ mol·L^{-1}·s^{-1}. Η αντίδραση πραγματοποιείται με τον παρακάτω μηχανισμό δύο σταδίων.

$HIO_3 + H_2SO_3 \rightarrow HIO_2 + H_2SO_4$ (αργό στάδιο)

$HIO_2 + 2H_2SO_3 \rightarrow HI + 2H_2SO_4$ (γρήγορο στάδιο)

α) Ποια η τιμή και η μονάδα της σταθεράς ταχύτητας (k);
β) Ποιες οι συγκεντρώσεις των ενώσεων που περιέχει το διάλυμα Δ μετά το τέλος της αντίδρασης;

12.38. Σε κενό δοχείο όγκου 2 L και σε θερμοκρασία θ °C εισάγεται ποσότητα στερεής οργανικής ένωσης Χ και 0,6 mol αέριας ένωσης Ψ, οπότε πραγματοποιείται η απλή αντίδραση με χημική εξίσωση: $X(s) + 2\Psi(g) \rightarrow \Omega(g)$. Τη χρονική στιγμή t_1 η ποσότητα του Ω στο δοχείο είναι 0,1 mol. Τη χρονική στιγμή t_2 ολοκληρώνεται η χημική αντίδραση και το σύνολο των αερίων μορίων είναι 0,4 mol.
α) Να υπολογίσετε τη στιγμιαία ταχύτητα της αντίδρασης τη χρονική στιγμή t_1.
β) Να υπολογίσετε τη στιγμιαία ταχύτητα κατανάλωσης του Ψ τη χρονική στιγμή t_1.
γ) Να υπολογίσετε τη σύσταση όλων των σωμάτων της αντίδρασης τη χρονική στιγμή t_2.
Δίνεται η σταθερά ταχύτητας της αντίδρασης στους θ °C, $k = 10^{-3}$ M^{-1}·s^{-1}. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2024]

12.39. Σε δοχείο όγκου 5 L εισάγονται 2 mol Α και 2,5 mol Β σε θερμοκρασία $\theta = 227$ °C και από $t = 0$ διεξάγεται η αντίδραση, $2A(g) + B(g) \rightarrow 2\Gamma(g)$, $\Delta H = -60$ kJ, η οποία είναι 1ης τάξης ως προς το Α(g) και 1ης τάξης ως προς το Β(g). Η αρχική ταχύτητα της αντίδρασης είναι $\upsilon_0 = 4\cdot10^{-3}$ M·s^{-1}.
α) Ποια η τιμή και η μονάδα της σταθεράς k στους 227 °C;
β) Τη χρονική στιγμή $t_1 = 50$ s έχει σχηματιστεί 1 mol Γ. Να υπολογιστούν:
i. Η ταχύτητα της αντίδρασης και η ταχύτητα σχηματισμού του Γ τη χρονική στιγμή t_1.
ii. Η μέση ταχύτητα της αντίδρασης για το χρονικό διάστημα 0-50 s.
iii. Το ποσό θερμότητας που έχει ελευθερωθεί μέχρι τη χρονική στιγμή t_1.
γ) Τη χρονική στιγμή t_2 η ολική πίεση στο δοχείο βρέθηκε ίση με 28,7 atm.
i. Να αποδειχθεί ότι η συνολική ποσότητα των τριών αερίων τη χρονική στιγμή t_2 είναι 3,5 mol.
ii. Να προσδιοριστεί η ταχύτητα της αντίδρασης τη χρονική στιγμή t_2.
Δίνεται: $R = 0{,}082$ L·atm/(mol·K).

12.40. Μελετάται η χημική κινητική της αντίδρασης που ακολουθεί με τη μέθοδο των αρχικών ταχυτήτων.

$$xA_2(g) + B_2(g) \rightarrow 2BA_x(g)$$

Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πείραμα	Αρχική συγκέντρωση / mol·L^{-1}		Αρχική ταχύτητα (υ_o) / mol·L^{-1}·s^{-1}
	$[A_2]$	$[B_2]$	
1	10^{-2}	$2\cdot10^{-2}$	$5\cdot10^{-6}$
2	10^{-2}	$6\cdot10^{-2}$	$1{,}5\cdot10^{-5}$
3	$4\cdot10^{-2}$	$2\cdot10^{-2}$	$8\cdot10^{-5}$

α) Να προσδιορίσετε το νόμο ταχύτητας της αντίδρασης καθώς και την τάξη της.
β) Ποια η σταθερά ταχύτητας (k) της αντίδρασης;
γ) Κατά τη διάρκεια του πειράματος 3 σε κάποια χρονική στιγμή ισχύει $[BA_x] = 0{,}02$ mol·L^{-1} και την ίδια στιγμή η ταχύτητα της αντίδρασης είναι $\upsilon = 2{,}5\cdot10^{-6}$ mol·L^{-1}·s^{-1}.
i. Ποια είναι η τιμή του x;
ii. Να εξετάσετε αν η αντίδραση είναι απλή ή όχι.

12.41. Η αιθανόλη, C_2H_5OH, απομακρύνεται από το αίμα, σύμφωνα με την αντίδραση, $C_2H_5OH \rightarrow$ προϊόντα. Τα δεδομένα που ακολουθούν αφορούν στο ρυθμό (υ) με τον οποίο απομακρύνεται η C_2H_5OH από το αίμα ενός άνδρα.

$[C_2H_5OH]$ / M	$4{,}4\cdot10^{-2}$	$3{,}3\cdot10^{-2}$	$2{,}2\cdot10^{-2}$
υ / mol·L^{-1}·h^{-1}	$2{,}0\cdot10^{-2}$	$2{,}0\cdot10^{-2}$	$2{,}0\cdot10^{-2}$

α) Να προσδιορίσετε το νόμο ταχύτητας της αντίδρασης μεταβολισμού της αιθανόλης και την τάξη της.
β) Αν τη στιγμή $t = 0$ ισχύει $[C_2H_5OH] = 4{,}4\cdot10^{-2}$ M, μετά από πόσες ώρες η συγκέντρωση της αιθανόλης στο αίμα θα έχει μηδενιστεί;

12.42. Σε δοχείο όγκου (V) εισάγεται ποσότητα του αερίου Α(g) και διεξάγεται η αντίδραση που ακολουθεί.

$$3A(g) \rightarrow 2B(g) + \Gamma(g)$$

Για την αντίδραση αυτή έγιναν δύο μετρήσεις της αρχικής ταχύτητας (υ_0) σε σχέση με την αρχική πίεση στο δοχείο (P_0) στην ίδια θερμοκρασία (T). Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πείραμα	P_0 / atm	υ_0 / mol·L^{-1}·s^{-1}
1	0,4	$3{,}2\cdot10^{-3}$
2	0,1	$2\cdot10^{-4}$

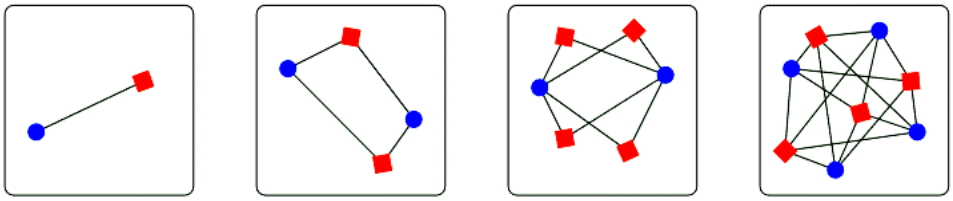
α) Ποιος είναι ο νόμος της ταχύτητας της αντίδρασης;
β) Να υπολογιστεί η τιμή και η μονάδα της σταθεράς ταχύτητας (k) της αντίδρασης.
Να θεωρήσετε: $R\cdot T = 40$ L·atm/mol.
γ) Να εξηγήσετε αν κατά τη διάρκεια της αντίδρασης η πίεση αυξάνεται, μειώνεται ή μένει σταθερή.

12.43. Δίνεται η αντίδραση που ακολουθεί.

$$2NO(g) + 2H_2(g) \rightarrow 2H_2O(g) + N_2(g)$$

Σε δοχείο όγκου V που βρίσκεται σε σταθερή θερμοκρασία εισάγονται τα αέρια NO και H_2 σε συγκεντρώσεις $[NO] = [H_2] = 10^{-3}$ M. Η αρχική ταχύτητα της αντίδρασης είναι $\upsilon_0 = 0{,}6$ M·s^{-1}. Σε μία επόμενη χρονική στιγμή η συγκέντρωση του NO(g) είναι $5\cdot10^{-4}$ M και η ταχύτητα της αντίδρασης είναι $\upsilon_1 = 0{,}075$ M·s^{-1}. Να προσδιοριστούν:
α) Η τάξη της αντίδρασης.
β) Η τιμή και η μονάδα της σταθεράς ταχύτητας (k).

12.44. Στα 4 δοχεία που ακολουθούν διεξάγεται αντίδραση μεταξύ των αερίων Α(g) και Β(g). Ο αριθμός των κύκλων της μορφής (●) είναι ανάλογος της συγκέντρωσης του αντιδρώντος Α(g) και ο αριθμός των τετραγώνων (■) είναι ανάλογος της συγκέντρωσης του αντιδρώντος Β(g). Επίσης, ο αριθμός των ευθύγραμμων τμημάτων είναι ανάλογος του αριθμού των αποτελεσματικών συγκρούσεων. Με βάση τα παραπάνω, ποιο συμπέρασμα προκύπτει για την τάξη της αντίδρασης;

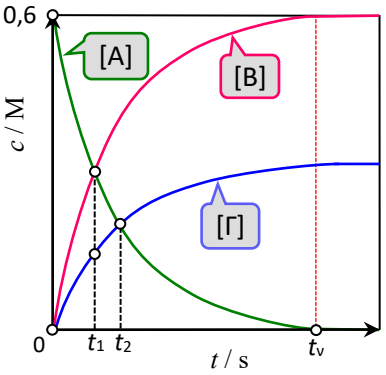


Α) Μηδενικής τάξης και ως προς τα δύο αντιδρώντα
Β) Πρώτης τάξης ως προς το Α(g) και πρώτης τάξης ως προς το Β(g)
Γ) Πρώτης τάξης ως το Α(g) και δεύτερης τάξης ως προς το Β(g)
Δ) Δεύτερης τάξης ως το Α(g) και πρώτης τάξης ως προς το Β(g)

12.45. Σε κλειστό δοχείο εισάγεται ποσότητα αερίου Α(g) που διασπάται παράγοντας την ένωση Β(g) και την ένωση Γ(g) σύμφωνα με τις απλές αντιδράσεις που ακολουθούν.

$A(g) \rightarrow 2B(g)$ και $A(g) \rightarrow Γ(g)$

Οι δυο αντιδράσεις έχουν την ίδια τιμή της σταθεράς ταχύτητας ($k_1 = k_2$) και ολοκληρώνονται ταυτόχρονα τη στιγμή $t_v = 40$ s. Οι καμπύλες αντίδρασης για τα σώματα Α(g), Β(g) και Γ(g) δίνονται στο σχήμα που ακολουθεί.



α) Για το χρονικό διάστημα 0-40 s, να υπολογιστούν:
i. Ο μέσος ρυθμός κατανάλωσης του Α(g).
ii. Ο μέσος ρυθμός παραγωγής των σωμάτων Β(g) και Γ(g).
β) Τη στιγμή t_1 η συγκέντρωση του Α(g) είναι ίση με 0,3 Μ. Να υπολογιστεί η [Γ(g)] τη στιγμή t_1.
γ) Να υπολογιστούν οι συγκεντρώσεις των Α(g), Β(g) και Γ(g) τη στιγμή t_2.

Χημεία και… τέρατα: «Παιχνίδια με σαύρες!»



Σε κάποιες χώρες του κόσμου τα παιδιά έχουν έναν αποτελεσματικό τρόπο να πιάνουν μικρές σαύρες με τη βοήθεια μόνο ενός δοχείου με παγωμένο νερό. Παρακολουθούν τις σαύρες και τους πετούν το παγωμένο νερό μειώνοντας με τον τρόπο αυτό τη θερμοκρασία του σώματός τους. Αδύναμες να κουνηθούν και να διαφύγουν γίνονται εύκολη λεία στα χέρια των μικρών «τυράννων» που τα βάζουν σε γυάλες με άμμο και φύλλα για τη διατροφή τους. Οι σαύρες στη συνέχεια ζεσταίνονται και κινούνται κανονικά. Στο τέλος της ημέρας τις αφήνουν και πάλι ελεύθερες.

Αντίθετα με τα θηλαστικά στα οποία η θερμοκρασία του σώματος διατηρείται σταθερή με τη μεταβολική δραστηριότητα, οι σαύρες εξαρτώνται πολύ από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος καθώς οι κινήσεις τους εξαρτώνται από χημικές αντιδράσεις που διεξάγονται στο εσωτερικό των μυών τους. Όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλή η ταχύτητα των αντιδράσεων είναι μικρή και οι μύες έχουν μικρή λειτουργικότητα.

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 12

Στις παρακάτω ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής 1-9 να σημειώσετε απλώς τη σωστή απάντηση.

1. Η σταθερά ταχύτητας (k) μιας αντίδρασης εξαρτάται:
Α) από τις συγκεντρώσεις των αντιδρώντων
Β) από τη φύση των προϊόντων
Γ) από την πίεση που αναπτύσσεται στο δοχείο
Δ) από τη θερμοκρασία και τη φύση των αντιδρώντων
[ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2023]

2. Δίνεται η χημική εξίσωση της απλής αντίδρασης:
$A_2(g) + B_2(g) \rightarrow 2AB(g)$
Η αντίδραση είναι:
Α) μηδενικής τάξης Β) πρώτης τάξης
Γ) δεύτερης τάξης Δ) τρίτης τάξης
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2025]

3. Η σταθερά ταχύτητας (k) της αντίδρασης $A + B \rightarrow Γ$ έχει τιμή 10^{-2} mol·L^{-1}·s^{-1} και συνεπώς η αντίδραση είναι:
Α) μηδενικής τάξης
Β) πρώτης τάξης
Γ) δεύτερης τάξης
Δ) τρίτης τάξης [ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2024]

4. Η αντίδραση $A(g) \rightarrow B(g) + Γ(g)$ είναι μηδενικής τάξης και έχει σταθερά ταχύτητας k. Αν η αρχική συγκέντρωση του Α είναι $[A]_0$ και μετά από χρόνο t είναι $[A]_t$, τότε ισχύει:
Α) $[A]_t / [A]_0 = k \cdot t$ Β) $[A]_t - [A]_0 = k \cdot t$
Γ) $[A]_0 - [A]_t = k \cdot t$ Δ) $[A]_t = k \cdot t$

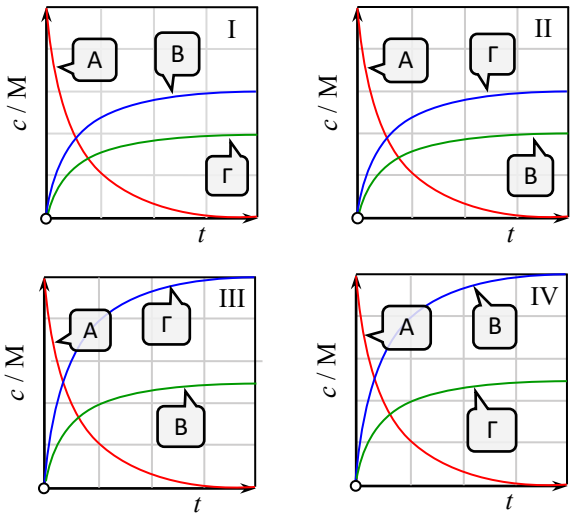
5. Για την απλή αντίδραση, $2A(g) + B(s) \rightarrow Γ(g)$, η ταχύτητα σχηματισμού του Γ δίνεται από τη σχέση:
Α) $\upsilon = k \cdot [A]^2 \cdot [B]$ Β) $\upsilon = k \cdot [A] \cdot [B]$
Γ) $\upsilon = k \cdot [A]^2$ Δ) $\upsilon = k \cdot [Γ]$
[ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2026]

6. Για την καταστροφή του όζοντος στην στρατόσφαιρα έχει προταθεί ο μηχανισμός:
1ο στάδιο: $Cl + O_3 \longrightarrow ClO + O_2$
2ο στάδιο: $ClO + O \longrightarrow Cl + O_2$
Σχετικά με το μηχανισμό αυτό, ποια από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι η σωστή;
Α) Ο καταλύτης της αντίδρασης είναι το ClO
Β) Το O_2 είναι ένα ενδιάμεσο της αντίδρασης
Γ) Η συνολική εξίσωση της αντίδρασης είναι: $O_3 + O \longrightarrow 2O_2$
Δ) Ο αριθμός των mol του O_2 που παράγονται είναι ίσος με τον αριθμό των mol του O_3 που καταναλώθηκαν

7. Μία αντίδραση ακολουθεί το μηχανισμό των δύο σταδίων που ακολουθούν.
Στάδιο 1: $NO_2(g) + NO_2(g) \rightarrow NO(g) + NO_3(g)$ αργό
Στάδιο 2: $NO_3(g) + CO(g) \rightarrow CO_2(g) + NO_2(g)$ γρήγορο
Ποια από τις μεταβολές συγκεντρώσεων που ακολουθούν θα αυξήσει την ταχύτητα της αντίδρασης;
Α) Αύξηση της [CO] Β) Αύξηση της [NO_2]
Γ) Μείωση της [NO] Δ) Μείωση της [NO_3]

8. Μία αντίδραση γίνεται με τον παρακάτω μηχανισμό.
Στάδιο 1: $N_2O(g) \rightarrow N_2(g) + O(g)$
Στάδιο 2: $N_2O(g) + O(g) \rightarrow N_2(g) + O_2(g)$
Ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης είναι $\upsilon = k \cdot [N_2O]$. Με βάση τα δεδομένα αυτά ποια από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι η σωστή;
Α) Η συνολική εξίσωση της αντίδρασης είναι:
$N_2O(g) \rightarrow N_2(g) + O(g)$
Β) Το αργό στάδιο της αντίδρασης είναι το στάδιο 1
Γ) Το $N_2(g)$ είναι το ενδιάμεσο της αντίδρασης
Δ) Το O(g) λειτουργεί ως καταλύτης

9. Σε δοχείο εισάγεται ένωση A(g) σε συγκέντρωση c (M) και διεξάγονται παράλληλα οι δύο απλές αντιδράσεις (1) και (2), με σταθερές ταχύτητας k_1 και k_2, αντίστοιχα ($k_1 > k_2$).
$A(g) \rightarrow B(g)$ (1) $A(g) \rightarrow Γ(g)$ (2)
Ποιο από τα διαγράμματα που ακολουθούν αποδίδει καλύτερα τις συγκεντρώσεις των A(g), B(g) και Γ(g) σε σχέση με το χρόνο;



10. Η σαπωνοποίηση του $CH_3COOC_2H_5$ (αιθανικός αιθυλεστέρας) είναι απλή αντίδραση και περιγράφεται από την εξίσωση που ακολουθεί.
$CH_3COOC_2H_5 + NaOH \rightarrow CH_3COONa + C_2H_5OH$
Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της αντίδρασης είναι σταθερή και οι αρχικές συγκεντρώσεις ($t = 0$) των δύο αντιδρώντων είναι από 0,02 M. Τη χρονική στιγμή $t = 10$ min η συγκέντρωση του εστέρα έχει υποδιπλασιαστεί.
α) Σε σχέση με την αρχική ταχύτητα της αντίδρασης (υ_0), η ταχύτητα της αντίδρασης τη στιγμή $t = 10$ min (υ_1) θα έχει:
i. μείνει σταθερή ii. διπλασιαστεί
iii. υποδιπλασιαστεί iv. υποτετραπλασιαστεί
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

11. Δίνεται η υποθετική αντίδραση: 2Α(g) + Β(g) → Γ(g) + Δ(g).
α) Ποια θα ήταν η έκφραση για το νόμο ταχύτητας στην περίπτωση απλής ή στοιχειώδους αντίδρασης; Γιατί είναι λιγότερο πιθανό η αντίδραση να είναι απλή;
β) Με βάση πειραματικά δεδομένα βρέθηκε ότι ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης είναι: $\upsilon = k\cdot[B]$.
i. Να γράψετε την τάξη της αντίδρασης και τις μονάδες της σταθεράς k.
ii. Πώς επηρεάζεται η τιμή της σταθεράς k με την αύξηση της [Β] και πώς με την αύξηση της θερμοκρασίας;
γ) Με βάση πειραματικά δεδομένα στην ίδια θερμοκρασία, κατασκευάζουμε διάγραμμα $\upsilon = f([B])$. Πώς από το διάγραμμα αυτό μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή της σταθεράς k στη συγκεκριμένη θερμοκρασία;

……

……

δ) Ποιος από τους παρακάτω μηχανισμούς είναι συνεπής με το νόμο ταχύτητας $\upsilon = k\cdot[B]$;
Α) Α + Β → Μ (πολύ αργή), Α + Μ → Γ + Δ (γρήγορη)
Β) 2Α → Μ (γρήγορη), Β + Μ → Γ + Δ (αργή)
Γ) Β → Μ (πολύ αργή), Μ + Α → Ν (γρήγορη), Ν + Α → Γ + Δ (γρήγορη)
Δ) Β → Μ (γρήγορη), Μ + Α → Ν (πολύ αργή), Ν + Α → Γ + Δ (γρήγορη)
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

……

……

12. Το SO_2 αντιδρά με το O_3 (όζον) σύμφωνα με την αντίδραση που ακολουθεί.

$$SO_2(g) + O_3(g) \rightarrow SO_3(g) + O_2(g)$$

Σε ένα πείραμα μελετήθηκε η ταχύτητα της αντίδρασης και στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα πειραματικά δεδομένα. Όλες οι αντιδράσεις πραγματοποιήθηκαν στην ίδια θερμοκρασία σε δοχείο όγκου 500 mL.

$[SO_2]_{αρχ.}$ / mol·L^{-1}	$[O_3]_{αρχ.}$ / mol·L^{-1}	$\upsilon_{αρχ.}$ / mol·L^{-1}·min^{-1}
0,25	0,40	0,05
0,25	0,20	0,05
0,50	0,30	0,20

α) Να υπολογίσετε την τάξη της αντίδρασης για κάθε αντιδρών.
β) Να υπολογίσετε τη σταθερά ταχύτητας k.
Στο τρίτο πείραμα για το χρονικό διάστημα 0 έως 2 min ο μέσος ρυθμός σχηματισμού του SO_3 υπολογίστηκε ίσος με 4 g·min^{-1}.
γ) Να υπολογίσετε τη συγκέντρωση του O_3 στο τέλος των δύο λεπτών. Για το SO_3, $M_r = 80$. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

……

……

……

……

……

……

……

……

……



ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΑ (5)
ΧΗΜΙΚΗ ΚΙΝΗΤΙΚΗ

Θέμα Α

Για τις παρακάτω ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής Α1-Α5 να γράψετε απλώς το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση.

Α1. Σε κλειστό δοχείο διεξάγεται η αντίδραση με τη χημική εξίσωση που ακολουθεί.

$$2NO(g) + 2H_2(g) \rightarrow N_2(g) + 2H_2O(g)$$

Κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της αντίδρασης:

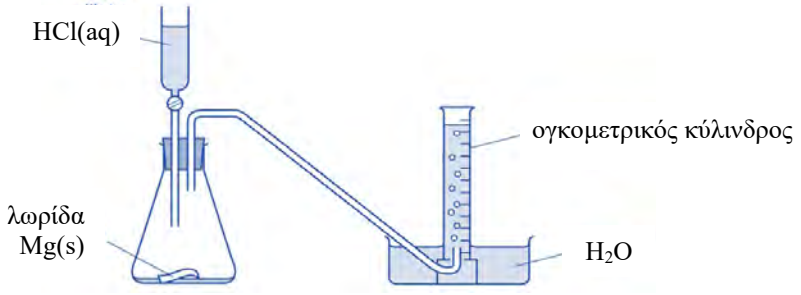
Α) ο ρυθμός κατανάλωσης του NO(g) είναι ίσος με την ταχύτητα της αντίδρασης

Β) ο ρυθμός παραγωγής του $N_2(g)$ είναι ίσος με το ρυθμό κατανάλωσης του $H_2(g)$

Γ) ο ρυθμός κατανάλωσης του NO(g) είναι διπλάσιος από το ρυθμό κατανάλωσης του $H_2(g)$

Δ) ο ρυθμός παραγωγής του $H_2O(g)$ είναι ίσος με το ρυθμό κατανάλωσης του NO(g)

Α2. Η διάταξη του σχήματος χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ταχύτητας της αντίδρασης, $Mg(s) + 2HCl(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$.



Ποια από τις παρακάτω μεταβολές θα προκαλέσει μείωση της ταχύτητας της αντίδρασης;

Α) Η προσθήκη H_2O στη φιάλη που περιέχει τη λωρίδα Mg(s) και το διάλυμα HCl(aq)

Β) Η θέρμανση του διαλύματος της αντίδρασης

Γ) Η χρήση διαλύματος HCl(aq) μεγαλύτερης συγκέντρωσης

Δ) Η χρήση Mg(s) σε λεπτόκκοκη μορφή

Α3. Στην αντίδραση που ακολουθεί διαπιστώθηκε ότι το $HNO_2(aq)$ λειτουργεί ως κατα-λύτης της αντίδρασης. Ποια από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι η σωστή;

$$NO_3^-(aq) + 2Br^-(aq) + 3H^+(aq) \rightarrow Br_2(aq) + HNO_2(aq) + H_2O$$

Α) Η κατάλυση είναι ετερογενής

Β) Η κατάλυση μπορεί να ερμηνευτεί με τη θεωρία της προσρόφησης

Γ) Πρόκειται για το φαινόμενο της αυτοκατάλυσης

Δ) Δεν ισχύει καμία από τις παραπάνω προτάσεις

Α4. Για την αντίδραση, $3A(g) \rightarrow 2B(g)$, ισχύει: $\frac{d[A]}{dt} = \lambda \cdot \frac{d[B]}{dt}$. Ποια η τιμή του λ;

Α) $\lambda = -3/2$ Β) $\lambda = 3/2$ Γ) $\lambda = 2/3$ Δ) $\lambda = -2/3$

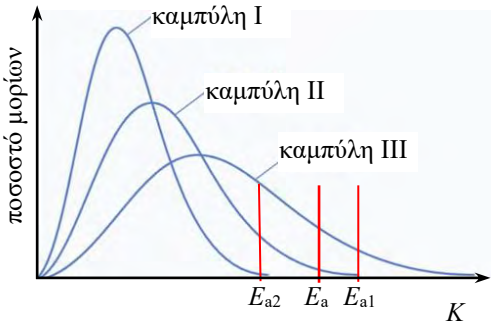
Α5. Η καμπύλη ΙΙ και η τιμή E_a παριστάνουν την κατανομή των ενεργειών του αερίου Α(g) και την ενέργεια ενεργοποίησης στη μη καταλυόμενη αντίδραση 2Α(g) → Β(g). Τι θα συμβεί αν χρησιμοποιηθεί καταλύτης;

Α) Η κατανομή των ενεργειών θα αποδίδεται από την καμπύλη ΙΙ και η ενέργεια ενεργοποίησης από την E_{a2}

Β) Η κατανομή των ενεργειών θα αποδίδεται από την καμπύλη ΙΙ και η ενέργεια ενεργοποίησης από την E_{a1}

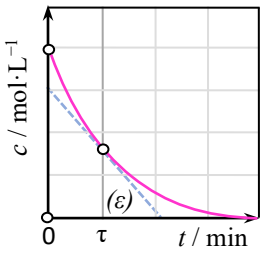
Γ) Η κατανομή των ενεργειών θα αποδίδεται από την καμπύλη Ι και η ενέργεια ενεργοποίησης από την E_{a1}

Δ) Η κατανομή των ενεργειών θα αποδίδεται από την καμπύλη ΙΙΙ και η ενέργεια ενεργοποίησης από την E_{a2}



Θέμα Β

Β1. Σε δοχείο σταθερού όγκου εισάγονται ισομοριακές ποσότητες από τα αέρια Α(g) και Β(g) και διεξάγεται η αντίδραση: Α(g) + 2Β(g) → 2Γ(g). Η συγκέντρωση ενός αντιδρώντος σε σχέση με το χρόνο παριστάνεται στο διπλανό διάγραμμα.



α) Η κλίση της εφαπτομένης ευθείας (ε) της καμπύλης τη χρονική στιγμή τ μας δίνει:

i. το ρυθμό κατανάλωσης του Α(g) τη στιγμή τ, σε M·min^{-1}

ii. το ρυθμό κατανάλωσης του Β(g) τη στιγμή τ, σε M·min^{-1}

iii. το ρυθμό παραγωγής του προϊόντος Γ(g) τη στιγμή τ, σε M·min^{-1}

iv. τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης το χρονικό διάστημα (0 - τ), σε M·min^{-1}

β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

Β2. Για την αντίδραση, $2NO_2(g) \rightarrow 2NO(g) + O_2(g)$, έχουμε: $\Delta H = 115$ kJ και $E_a = 265$ kJ.

α) Να χαρακτηρίσετε την αντίδραση ως εξώθερμη ή ενδόθερμη.

β) Να κατασκευάσετε το ενεργειακό διάγραμμα της αντίδρασης ως συνάρτηση της πορείας της αντίδρασης και να σημειώσετε με κατάλληλα βέλη την ενθαλπία της αντίδρασης και την ενέργεια ενεργοποίησης.

γ) Ποια η τιμή της ενθαλπίας και ποια η τιμή της ενέργειας ενεργοποίησης για την αντίστροφη αντίδραση, $2NO(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO_2(g)$

Β3. Σε δοχείο εισάγεται ποσότητα του Α(g) σε συγκέντρωση 1 Μ το οποίο από $t = 0$ διασπάται σύμφωνα με την απλή αντίδραση: Α(g) → 2Β(g). Τη στιγμή $t = 10$ s η συγκέντρωση του αερίου Α(g) είναι 0,6 Μ. Ποια μπορεί να είναι η τιμή της συγκέντρωσης του Α τη στιγμή $t = 20$ s;

Α) 0,2 Μ Β) 0,4 Μ Γ) 0,1 Μ Δ) 0

Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

Β4. Για την αντίδραση μεταξύ του υπεροξειδίου του υδρογόνου, $H_2O_2(aq)$ και των ιόντων $I^-(aq)$ έχει προταθεί ο παρακάτω μηχανισμός τριών σταδίων.

Στάδιο 1: $H_2O_2(aq) + I^-(aq) \rightarrow IO^-(aq) + H_2O(\ell)$ αργό

Στάδιο 2: $IO^-(aq) + H_3O^+(aq) \rightarrow HIO(aq) + H_2O(\ell)$ γρήγορο

Στάδιο 3: $HIO(aq) + H_3O^+(aq) + I^-(aq) \rightarrow I_2(aq) + 2H_2O(\ell)$ γρήγορο

α) Ποια είναι η συνολική εξίσωση της αντίδρασης; Ποια είναι τα ενδιάμεσα του μηχανισμού;

β) Ποιος ο νόμος ταχύτητας και ποια η τάξη της αντίδρασης;

γ) Αν αυξήσουμε τη $[H_3O^+]$ στο διάλυμα της αντίδρασης, χωρίς άλλη μεταβολή, πώς θα μεταβληθεί η ταχύτητα της αντίδρασης (αύξηση, μείωση, καμία μεταβολή);

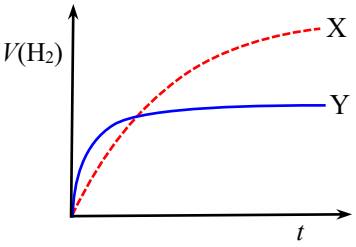
Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας σε όλα τα ερωτήματα.

Θέμα Γ

Γ1. Σε μία αντίδραση κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 °C τριπλασιάζει την ταχύτητά της. Πόσες φορές θα αυξηθεί η ταχύτητα της αντίδρασης αν η θερμοκρασία αυξηθεί κατά 40 °C; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

Γ2. Ο Fe(s) αντιδρά με το HCl(aq) σύμφωνα με την αντίδραση:

$$Fe(s) + 2HCl(aq) \rightarrow FeCl_2(aq) + H_2(g)$$



Στο διπλανό γράφημα η καμπύλη X παριστάνει το (συνολικό) όγκο του παραγόμενου αερίου σε σχέση με το χρόνο κατά την αντίδραση 1 g Fe(s) σε μορφή κόκκων με περίσσεια HCl(aq) στους 30 °C.

α) Ποια από τις αλλαγές που ακολουθούν θα έχει ως αποτέλεσμα την καμπύλη Y;

i. Χρήση 0,5 g Fe(s) με τη μορφή κόκκων στους 20 °C

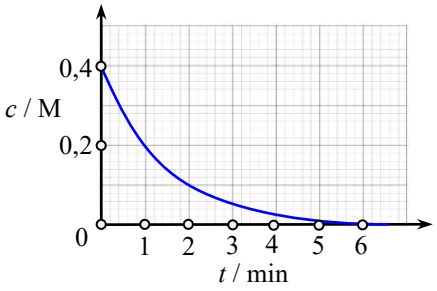
ii. Χρήση 0,5 g Fe(s) με τη μορφή κόκκων στους 40 °C

iii. Χρήση 1 g Fe(s) με τη μορφή κόκκων στους 20 °C

iv. Χρήση 1 g Fe(s) με τη μορφή σκόνης στους 20 °C

β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

Γ3. Σε δοχείο εισάγονται 0,8 mol A(g) και 0,8 mol B(g) που αντιδρούν σε κατάλληλες συνθήκες σύμφωνα με τη χημική εξίσωση: $A(g) + 2B(g) \rightarrow 2\Gamma(g) + \Delta(s)$. Το παρακάτω διάγραμμα παριστάνει τη συγκέντρωση ενός από τα σώματα που συμμετέχει στην αντίδραση σε σχέση με τον χρόνο.



α) Σε ποιο από τα σώματα αντιστοιχεί η καμπύλη του διαγράμματος; Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

β) Σε ποια χρονική στιγμή η συγκέντρωση του B(g) γίνεται ίση με τη συγκέντρωση του Γ(g);

γ) Να υπολογιστεί ο ρυθμός κατανάλωσης του A(g) το χρονικό διάστημα 0-2 min.

δ) Να υπολογιστεί η τελική ποσότητα του σώματος Δ(s).

Γ4. 100 mL διαλύματος ουσίας A(aq) συγκέντρωσης 1 M αναμιγνύονται με 400 mL διαλύματος ουσίας B(aq) συγκέντρωσης 0,5 M και προκύπτει νέο διάλυμα όγκου 500 mL. Μετά την ανάμιξη τα δύο συστατικά αντιδρούν σύμφωνα με την εξίσωση που ακολουθεί.

$$A(aq) + 2B(aq) \rightarrow AB_2(aq)$$

Η αντίδραση είναι 1ης τάξης ως προς το αντιδρών A και επίσης 1ης τάξης ως προς το αντιδρών B ενώ η σταθερά ταχύτητας είναι $k = 0{,}08\ L \cdot mol^{-1} \cdot s^{-1}$.

α) Ποια είναι η αρχική ταχύτητα της αντίδρασης;

β) Ποια η ταχύτητα της αντίδρασης όταν η ποσότητα από το αντιδρών A έχει υποδιπλασιαστεί;

Θέμα Δ

Δ1. Ποσότητα αερίου NO διοχετεύεται σε δοχείο που περιέχει O_2. Σε θερμοκρασία 25 °C και πίεση P = 1 atm πραγματοποιείται η μονόδρομη αντίδραση,

$$2NO(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO_2(g),$$

για την οποία δίνονται τα παρακάτω πειραματικά δεδομένα.

Πείραμα	$[NO]_{αρχ}$ / mol·L^{-1}	$[O_2]_{αρχ}$ / mol·L^{-1}	$υ_{αρχ}$ / mol·L^{-1}·s^{-1}
1	$2\cdot10^{-2}$	$5\cdot10^{-3}$	$3{,}2\cdot10^{-3}$
2	$4\cdot10^{-2}$	$5\cdot10^{-3}$	$12{,}8\cdot10^{-3}$
3	$2\cdot10^{-2}$	$2{,}5\cdot10^{-3}$	$1{,}6\cdot10^{-3}$

α) Να γράψετε τον νόμο ταχύτητας της αντίδρασης.
β) Να υπολογίσετε την αριθμητική τιμή της σταθεράς ταχύτητας της αντίδρασης και τις μονάδες της. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

Δ2. Ισομοριακό μίγμα NO(g) και H_2(g) καταλαμβάνει όγκο 22,4 L σε STP. Το μίγμα εισάγεται σε δοχείο όγκου 10 L και θερμαίνεται σε κατάλληλη θερμοκρασία T οπότε πραγματοποιείται η αντίδραση:

$$2NO(g) + H_2(g) \longrightarrow N_2O(g) + H_2O(g),\ \Delta H = -400\ \text{kJ}$$

Ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης προσδιορίστηκε ότι είναι: $υ = k\cdot[NO]^2\cdot[H_2]$, όπου k = 300 M^{-2}·s^{-1} στη θερμοκρασία του πειράματος. Κατά τη διάρκεια των πρώτων 10 s διεξαγωγής της αντίδρασης ελευθερώθηκε ποσό θερμότητας ίσο με 80 kJ. Να υπολογιστούν:
α) Η μέση ταχύτητα της αντίδρασης από 0-10 s.
β) Η ταχύτητα της αντίδρασης τη χρονική στιγμή t = 10 s.
γ) Η ταχύτητα της αντίδρασης τη χρονική στιγμή κατά την οποία το ποσό συνολικό ποσό θερμότητας που έχει ελευθερωθεί είναι ίσο με 100 kJ.

Δ3. Δίνεται η μονόδρομη αντίδραση που ακολουθεί.

$$2NO(g) + 2H_2(g) \longrightarrow N_2(g) + 2H_2O(g)$$

Η αντίδραση είναι 2ης τάξης ως προς το NO(g) και 1ης τάξης ως προς το H_2(g). Ποια από τις ακόλουθες συνθήκες θα έχει ως αποτέλεσμα την μεγαλύτερη αρχική ταχύτητα αντίδρασης στην ίδια θερμοκρασία;
i. 0,2 mol NO(g) και 0,2 mol H_2(g) σε δοχείο όγκου 2 L
ii. 0,1 mol NO(g) και 0,5 mol H_2(g) σε δοχείο όγκου 2 L
iii. 0,2 mol NO(g) και 0,2 mol H_2(g) σε δοχείο όγκου 1 L
iv. 0,1 mol NO(g) και 0,3 mol H_2(g) σε δοχείο όγκου 1 L
v. 0,1 mol NO(g) και 0,5 mol H_2(g) σε δοχείο όγκου 1 L
Να αιτιολογήσετε πλήρως την απάντησή σας.



ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΑ (6)
ΔΙΑΜΟΡΙΑΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ, ΩΣΜΩΣΗ – ΘΕΡΜΟΧΗΜΕΙΑ – ΧΗΜΙΚΗ ΚΙΝΗΤΙΚΗ

Θέμα Α

Για τις παρακάτω ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής Α1-Α5 να γράψετε απλώς το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση.

Α1. Σε ποιες από τις παρακάτω αλληλεπιδράσεις I, II και III μεταξύ μορίων εμφανίζεται δεσμός υδρογόνου;

I. Μόρια H_2O με μόρια H_2O II. Μόρια NH_3 με μόρια NH_3 III. Μόρια NH_3 με μόρια H_2O

Α) Σε όλες τις περιπτώσεις Β) Μόνο στις περιπτώσεις I και II

Γ) Μόνο στην περίπτωση I Δ) Μόνο στις περιπτώσεις I και III

Α2. Η αιθανόλη, $C_2H_5OH(\ell)$, χρησιμοποιείται και ως καύσιμο αυτοκινήτων και μάλιστα θεωρείται πιο αποδοτική σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα. Ποια από τις παρακάτω χημικές εξισώσεις αποδίδει τη θερμοχημική εξίσωση καύσης της αιθανόλης, $C_2H_5OH(\ell)$;

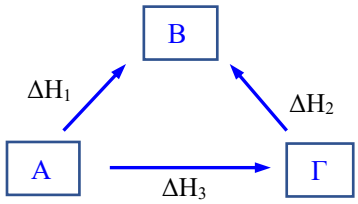
Α) $2C_2H_5OH(\ell) \rightarrow 4C(s) + 6H_2(g) + O_2(g)$, $\Delta H^\circ = +555{,}2$ kJ

Β) $2C_2H_5OH(\ell) \rightarrow 4C(s) + 6H_2(g) + O_2(g)$, $\Delta H^\circ = -555{,}2$ kJ

Γ) $C_2H_5OH(\ell) + 7/2O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(g)$, $\Delta H^\circ = +1234{,}8$ kJ

Δ) $C_2H_5OH(\ell) + 3O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(g)$, $\Delta H^\circ = -1234{,}8$ kJ

Α3. Με βάση τον διπλανό θερμοχημικό κύκλο, προκύπτει:



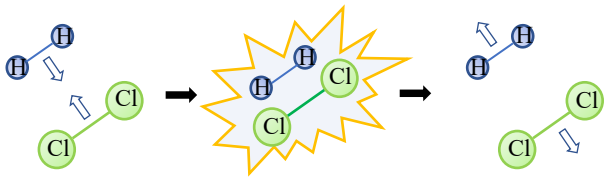
Α) $\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3$ Β) $\Delta H_2 + \Delta H_3 = \Delta H_1$

Γ) $\Delta H_2 - \Delta H_3 = \Delta H_1$ Δ) $\Delta H_3 - \Delta H_2 = \Delta H_1$

Α4. Κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της αντίδρασης,

$H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g)$,

ένα μόριο $H_2(g)$ και ένα μόριο $Cl_2(g)$ συγκρούονται σύμφωνα με το σχήμα που ακολουθεί.



Η σύγκρουση που περιγράφεται στο σχήμα:

Α) δεν είναι αποτελεσματική καθώς δεν έχει την κατάλληλη ενέργεια

Β) δεν είναι αποτελεσματική καθώς ο προσανατολισμός δεν είναι ευνοϊκός

Γ) είναι αποτελεσματική γιατί έχει το σωστό προσανατολισμό

Δ) είναι αποτελεσματική γιατί έχει την κατάλληλη ενέργεια

Α5. Η δράση ενός καταλύτη οφείλεται στη μείωση της:

Α) ενέργειας ενεργοποίησης της αντίδρασης Β) ενθαλπίας των προϊόντων

Γ) ενθαλπίας των αντιδρώντων Δ) ενθαλπίας της αντίδρασης

Θέμα Β

Β1. Το πεντάνιο ($CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$) και το 2,2-διμεθυλοπροπάνιο είναι δύο ισομερή αλκάνια.

α) Για τα σημεία βρασμού (σ.β.) των δύο αυτών ενώσεων ισχύει ότι:

Α) οι δύο ενώσεις έχουν τα ίδια σημεία βρασμού γιατί έχουν την ίδια σχετική μοριακή μάζα (M_r)

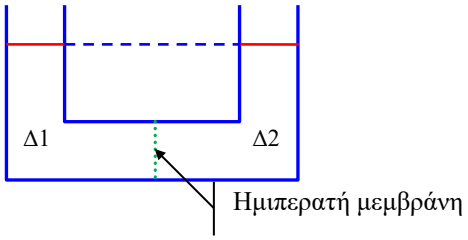
Β) το πεντάνιο έχει μεγαλύτερο σημείο βρασμού από το 2,2-διμεθυλοπροπάνιο

Γ) το πεντάνιο έχει μικρότερο σημείο βρασμού από το 2,2-διμεθυλοπροπάνιο

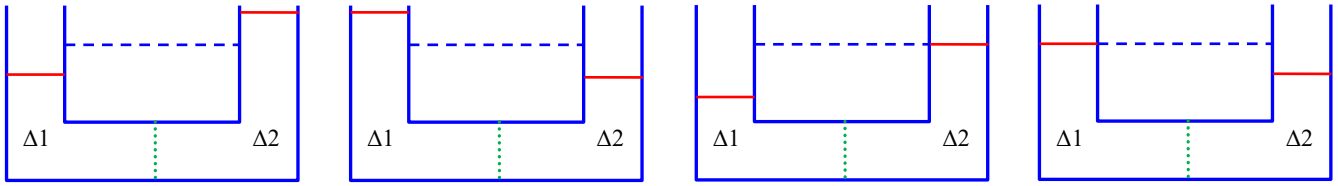
Δ) δεν μπορούμε να τα συγκρίνουμε καθώς τα δύο αλκάνια διαθέτουν διαμοριακές αλληλεπιδράσεις διαφορετικού τύπου

β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

Β2. Διαθέτουμε δύο υδατικά διαλύματα, το Δ1 και το Δ2 της ίδιας % w/v περιεκτικότητας και του ίδιου όγκου. Το Δ1 είναι διάλυμα γλυκόζης ($C_6H_{12}O_6$, $M_r = 180$) και το Δ2 είναι διάλυμα ζάχαρης ($C_{12}H_{22}O_{11}$, $M_r = 342$). Τα δύο διαλύματα εισάγονται στο σωλήνα σχήματος που ακολουθεί και χωρίζονται από ημιπερατή μεμβράνη. ΄



α) Σε μία μετέπειτα χρονική στιγμή και πολύ μετά την έναρξη του φαινομένου, πώς θα έχει μεταβληθεί η διάταξη;



β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

Β3. Η αντίδραση που περιγράφεται από την εξίσωση, $2A(g) + B(g) \rightarrow 2Γ(g)$ θεωρείται απλή. Σε τρία δοχεία Ι, ΙΙ και ΙΙΙ με όγκο V, $2V$ και $2V$, αντίστοιχα, εισάγονται οι παρακάτω ποσότητες των δύο αντιδρώντων στην ίδια θερμοκρασία.

2α mol A(g) 2α mol B(g) I	2α mol A(g) 8α mol B(g) II	4α mol A(g) 2α mol B(g) III

α) Σχετικά με την αρχική ταχύτητα (υ_0) της αντίδρασης στα τρία δοχεία, ποια από τις παρακάτω σχέσεις είναι η σωστή;

i. $\upsilon_{01} = 2\upsilon_{02} = 2\upsilon_{03}$ ii. $2\upsilon_{01} = 2\upsilon_{02} = \upsilon_{03}$ iii. $4\upsilon_{01} = \upsilon_{02} = \upsilon_{03}$ iv. $4\upsilon_{01} = \upsilon_{02} = 2\upsilon_{03}$

β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

γ) Σε ποιο από τα τρία δοχεία Ι, ΙΙ ή ΙΙΙ θα είναι μικρότερη η [Γ(g)] μετά την ολοκλήρωση της αντίδρασης;

Β4. Η αντιμονίνη (SbH_3) είναι άχρωμο αέριο, με δυσάρεστη οσμή και μπορεί να οξειδωθεί σύμφωνα με τη θερμοχημική εξίσωση (1) που ακολουθεί.

$$2SbH_3(g) + 3O_2(g) \rightarrow Sb_2O_3(g) + 3H_2O(\ell),\ \Delta H^\circ = -1870\ kJ \quad (1)$$

α) Να υπολογιστεί η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού της αντιμονίνης. Δίνονται:
– $\Delta H_f^\circ(Sb_2O_3) = -720\ kJ\cdot mol^{-1}$
– $\Delta H_f^\circ(H_2O(\ell)) = -285\ kJ\cdot mol^{-1}$

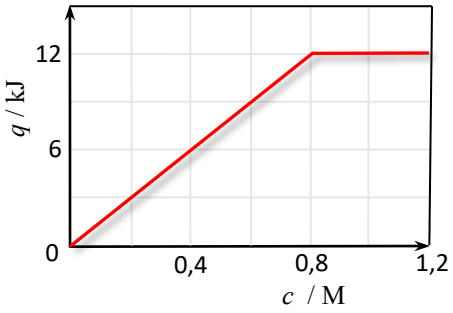
β) Να εξηγήσετε πώς θα μεταβληθεί η αλγεβρική τιμή της ΔH° της αντίδρασης (1) αν σε αυτή σχηματιστεί $H_2O(g)$ αντί για $H_2O(\ell)$.

Θέμα Γ

Γ1. Διαθέτουμε μία σειρά διαλυμάτων $AgNO_3(aq)$ ίδιου όγκου 100 mL αλλά διαφορετικών συγκεντρώσεων. Στα διαλύματα αυτά προσθέτουμε την ίδια ποσότητα Cu(s) και διεξάγεται η εξώθερμη αντίδραση που ακολουθεί.

$$Cu(s) + 2AgNO_3(aq) \rightarrow 2Ag(s) + Cu(NO_3)_2(aq)$$

Το εκλυόμενο ποσό θερμότητας από την αντίδραση ως συνάρτηση της συγκέντρωσης c (M) των διαλυμάτων $AgNO_3(aq)$ δίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



α) Να εξηγήσετε γιατί το ποσό θερμότητας αυξάνεται γραμμικά μέχρι την τιμή $c = 0,8$ M και στη συνέχεια παραμένει σταθερό.

β) Να υπολογίσετε την ενθαλπία (ΔH) της αντίδρασης καθώς και την ποσότητα (σε mol) του Cu(s) που προστέθηκε αρχικά στα διαλύματα $AgNO_3(aq)$.

Τα ποσά θερμότητας και η ενθαλπία της αντίδρασης αντιστοιχούν στις ίδιες συνθήκες.

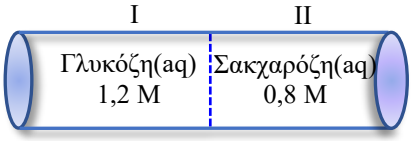
Γ2. Σε δοχείο σταθερού όγκου $V = 2$ L εισάγουμε 0,04 mol N_2O_5, οπότε υπό σταθερή θερμοκρασία διεξάγεται η αντίδραση: $2N_2O_5(g) \rightarrow 4NO_2(g) + O_2(g)$. Τη χρονική στιγμή $t_1 = 400$ s η συγκέντρωση του NO_2 είναι διπλάσια από τη συγκέντρωση του N_2O_5.

α) Να υπολογιστούν οι συγκεντρώσεις αντιδρώντων και προϊόντων τη χρονική στιγμή t_1.

β) Να υπολογιστεί η μέση ταχύτητα της αντίδρασης από 0 - 400 s, καθώς και οι μέσοι ρυθμοί κατανάλωσης ή παραγωγής αντιδρώντων και προϊόντων.

γ) Να υπολογίσετε τις τελικές συγκεντρώσεις (για $t = t_v$) των προϊόντων της αντίδρασης.

δ) Να εκτιμήσετε αν κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής της αντίδρασης η πίεση στο δοχείο αυξάνεται, μειώνεται ή μένει σταθερή. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.



Γ3. Στη συσκευή του σχήματος τα διαμερίσματα I και II διαχωρίζονται με κινητή ημιπερατή μεμβράνη. Στο διαμέρισμα I είναι γεμάτο με διάλυμα γλυκόζης 1,2 M όγκου 500 mL και στο διαμέρισμα II με διάλυμα σακχαρόζης 0,8 M όγκου επίσης 500 mL.

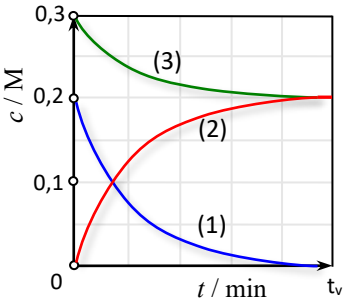
α) Να εξηγήσετε προς ποιο διαμέρισμα θα εξελιχθεί το φαινόμενο της ώσμωσης.

β) Μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα το φαινόμενο της ώσμωσης σταματά λόγω εξίσωσης των συγκεντρώσεων. Να υπολογιστούν οι όγκοι των δύο διαλυμάτων στο διαμέρισμα I και στο διαμέρισμα II όταν σταματήσει το φαινόμενο της ώσμωσης.

Θέμα Δ

Δ1. Σε δοχείο όγκου 2 L διεξάγεται η αντίδραση που περιγράφεται από την εξίσωση:

$$A(g) + 2B(g) \rightarrow 2\Gamma(g) + \Delta(g),\ \Delta H^o = -200\ kJ$$



Οι καμπύλες (1), (2) και (3) που εμφανίζονται στο διπλανό κοινό διάγραμμα δείχνουν τις μεταβολές των συγκεντρώσεων για τρία από τα τέσσερα σώματα της παραπάνω αντίδρασης.

α) i. Ποιες καμπύλες αντιστοιχούν σε ποια σώματα; Σε ποιο σώμα ανήκει η καμπύλη που λείπει;

ii. Ποιες ποσότητες (σε mol) θα έχουμε στο τέλος της αντίδρασης ($t = t_v$) από τα αντιδρώντα και τα προϊόντα;

β) Να υπολογιστεί το ποσό θερμότητας που ελευθερώνεται από την έναρξη της αντίδρασης μέχρι τη στιγμή κατά την οποία οι συγκεντρώσεις των σωμάτων Β και Γ είναι ίσες.

γ) Για την εύρεση του νόμου της ταχύτητας έχουμε τα εξής πειραματικά δεδομένα:

	αρχική [A] / M	αρχική [B] / M	αρχική ταχύτητα / $M \cdot s^{-1}$
1	0,1	0,1	$2 \cdot 10^{-3}$
2	0,1	0,2	$4 \cdot 10^{-3}$
3	0,2	0,1	$4 \cdot 10^{-3}$

i. Ποια η μαθηματική έκφραση του νόμου ταχύτητας και ποια η τάξη της;

ii. Ποια η τιμή και οι μονάδες της σταθεράς ταχύτητας (k);

iii. Να εξηγήσετε αν η αντίδραση μπορεί να θεωρηθεί απλή ή όχι.

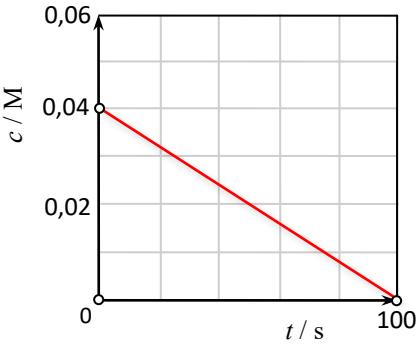
δ) Πειραματικά βρέθηκε ότι η αντίδραση συμβαίνει με τον εξής μηχανισμό:

$$A + B \rightarrow 2\Gamma + E \quad (1^o\ \text{στάδιο})$$
$$E + B \rightarrow \Gamma + \Delta \quad (2^o\ \text{στάδιο})$$

Κάποιο από τα παραπάνω στάδια είναι πολύ πιο αργό από το άλλο. Ποιο; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

Δ2. Σε θερμοκρασία 600 K και παρουσία $Al_2O_3(s)$ η αιθανόλη (CH_3CH_2OH) διασπάται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$CH_3CH_2OH(g) \rightarrow C_2H_4(g) + H_2O(g)$$



Η μεταβολή της συγκέντρωσης της CH_3CH_2OH με το χρόνο δίνεται στο διπλανό διάγραμμα.

α) Να εξηγήσετε πώς μεταβάλλεται (αυξάνεται, μειώνεται, μένει σταθερή) η ταχύτητα της αντίδρασης με την πάροδο του χρόνου και να υπολογίσετε την τιμή της.

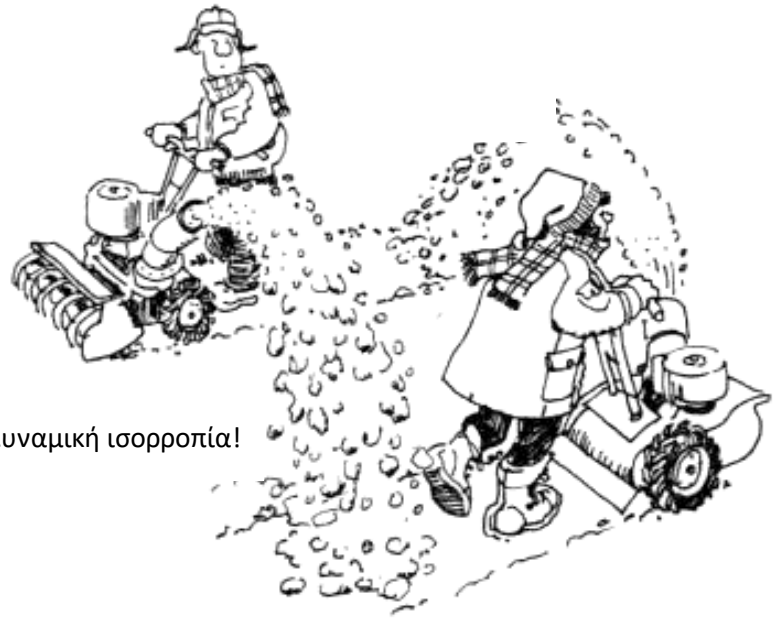
β) Σε ποια χρονική στιγμή η συγκέντρωση της CH_3CH_2OH έχει υποδιπλασιαστεί; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

Δ3. Ποσότητα $H_2(g)$ ίση με x mol εισάγεται σε κλειστό δοχείο που περιέχει 300 mol αερίου CO(g). Τα δύο αέρια αντιδρούν σύμφωνα με τις παρακάτω θερμοχημικές εξισώσεις (1) και (2) που ακολουθούν.

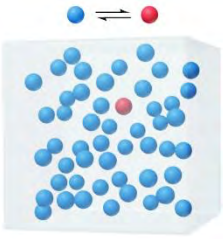
$$CO(g) + 2H_2(g) \rightarrow CH_3OH(g),\ \Delta H_1 = -120\ kJ\ (1)$$
$$CO(g) + 3H_2(g) \rightarrow CH_4(g) + H_2O(g),\ \Delta H_2 = -200\ kJ\ (2)$$

Τελικά, στο δοχείο προσδιορίζονται μόνο τα αέρια $CH_3OH(g)$, $CH_4(g)$ και $H_2O(g)$ ενώ το συνολικό ποσό θερμότητας που έχει ελευθερωθεί είναι ίσο με $5{,}2 \cdot 10^4$ kJ. Να προσδιοριστεί η τιμή του x. Τα ποσά θερμότητας και η ενθαλπίες αντιστοιχούν στις ίδιες συνθήκες.

Χημική Ισορροπία



Δυναμική ισορροπία!



13 Χημική Ισορροπία - Απόδοση Αντίδρασης

ΘΕΜΑΤΑ ΘΕΩΡΙΑΣ

1. Μονόδρομες (ποσοτικές) αντιδράσεις

Μέχρι τώρα σε όλες τις περιπτώσεις αντιδράσεων υποθέταμε ότι τα αντιδρώντα μετατρέπονται πλήρως στα προϊόντα. Με άλλα λόγια, αργά ή γρήγορα η ποσότητα του ενός τουλάχιστον από τα αντιδρώντα μηδενίζεται.

Σε δοχείο όγκου V εισάγονται 2 mol $H_2(g)$ και 2 mol $Cl_2(g)$. Τα στοιχεία αυτά αντιδρούν ζωηρά παρουσία ηλιακού φωτός σχηματίζοντας HCl(g):

mol	$H_2(g)$	+ $Cl_2(g)$	→ $2HCl(g)$
Αρχικά ($t = 0$)	2	2	—
Μεταβολές	–2	–2	4
Τελικά (t_v)	—	—	4

Στο τέλος της αντίδρασης τόσο το H_2 όσο και το Cl_2 έχουν εξαφανιστεί και το μοναδικό συστατικό που ανιχνεύεται στο δοχείο είναι το HCl σε ποσότητα 4 mol.

Ακόμη και αν είχαμε χρησιμοποιήσει περίσσεια ενός αντιδρώντος, στο τέλος αντίδρασης το άλλο αντιδρών θα είχε εξαντληθεί:

mol	$H_2(g)$	+ $Cl_2(g)$	→ $2HCl(g)$
Αρχικά ($t = 0$)	4	2	—
Μεταβολές	–2	–2	4
Τελικά (t_v)	2	—	4

Τέτοιες αντιδράσεις χαρακτηρίζονται ως **μονόδρομες (ποσοτικές).** Γενικά, στις αντιδράσεις αυτές η ταχύτητα είναι μέγιστη στην αρχή ($t = 0$) ενώ στο τέλος της αντίδρασης ($t = t_v$) η ταχύτητα μηδενίζεται.

2. Αμφίδρομες αντιδράσεις – Χημική ισορροπία

Ας δούμε τώρα τι είναι οι αμφίδρομες αντιδράσεις μέσα από δύο «εικονικά» πειράματα.

Πείραμα 1. Σε δοχείο όγκου $V = 2$ L εισάγονται 2 mol $H_2(g)$ και 2 mol ατμών ιωδίου, $I_2(g)$ στους θ °C, οπότε τα δύο στοιχεία αντιδρούν σύμφωνα με την εξίσωση:

$$H_2(g) + I_2(g) \rightarrow 2HI(g).$$

Σύμφωνα με τη στοιχειομετρία της αντίδρασης η θεωρητικά αναμενόμενη ποσότητα HI στο τέλος της αντίδρασης θα είναι ίση με 4 mol. Αρχικά, παρατηρείται πράγματι μία συνεχής αύξηση της ποσότητας του HI και συνεχής μείωση των ποσοτήτων του H_2 και του I_2, αλλά η ποσότητα του HI δεν φθάνει ποτέ την αναμενόμενη τιμή των 4 mol:

mol	$H_2(g)$	+ $I_2(g)$	→ $2HI(g)$
Αρχικά ($t = 0$)	2	2	—
Μεταβολές	–1,6	–1,6	3,2
Τελικά (t_v)	0,4	0,4	3,2

Έτσι, από κάποια στιγμή και μετά η αντίδραση φαίνεται να «παγώνει» και οι ποσότητες των σωμάτων σταθεροποιούνται. Δεν παράγεται ποτέ η θεωρητική ποσότητα των 4 mol του προϊόντος (HI).

Πείραμα 2. Σε άλλο δοχείο όγκου $V = 2$ L στους θ ºC (στην ίδια θερμοκρασία) εισάγονται 4 mol HI(g). Με την πάροδο του χρόνου διεξάγεται η αντίδραση: $2HI(g) \rightarrow H_2(g) + I_2(g)$, δηλαδή, η αντίστροφη αντίδραση σε σχέση με το προηγούμενο πείραμα. Όμως, ούτε στην περίπτωση αυτή η μετατροπή είναι πλήρης καθώς από κάποια στιγμή και μετά οι ποσότητες όλων των σωμάτων δεν μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου:

mol	$2HI(g)$ →	$H_2(g)$ +	$I_2(g)$
Αρχικά ($t = 0$)	4	—	—
Μεταβολές	–0,8	0,4	0,4
Τελικά ($t = t_v$)	3,2	0,4	0,4

Θα παρατηρήσατε, ελπίζω, ότι στην τελική κατάσταση οι ποσότητες H_2, I_2 και HI είναι ίδιες στα δύο πειράματα 1 και 2. Είναι τυχαίο; Δε νομίζω…

Οι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται και προς τις δύο κατευθύνσεις (τα προϊόντα έχουν την ικανότητα να επανασχηματίζουν τα αντιδρώντα) λέγονται **αμφίδρομες αντιδράσεις.** Οι αντιδράσεις αυτές σε κλειστό σύστημα και υπό σταθερές συνθήκες οδηγούν σε **κατάσταση χημικής ισορροπίας** στην οποία συνυπάρχουν ποσότητες απ' όλα τα αντιδρώντα και τα προϊόντα. Μάλιστα, οι ποσότητες αυτές παραμένουν αναλλοίωτες με την πάροδο του χρόνου εκτός αν αλλάξουν οι συνθήκες του πειράματος.

Μία αμφίδρομη αντίδραση συμβολίζεται με δύο βέλη αντίθετης φοράς, π.χ.:

$$2HI(g) \underset{\upsilon_2}{\overset{\upsilon_1}{\rightleftharpoons}} H_2(g) + I_2(g)$$

Η κατάσταση της χημικής ισορροπίας χαρακτηρίζεται ως **δυναμική** καθώς οι δύο αντίθετες αντιδράσεις δεν σταματούν αλλά εξελίσσονται με τις ίδιες ταχύτητες, δηλαδή η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά είναι ίση με την ταχύτητα της αντίδρασης προς τα αριστερά: $\upsilon_1 = \upsilon_2$. Με άλλα λόγια, ο ρυθμός διάσπασης του HI(g) είναι ίσος με το ρυθμό επανασχηματισμού του, οπότε η ποσοτητά του στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας είναι σταθερή, όπως και οι ποσότητες του $H_2(g)$ και του $I_2(g)$.

Οι πολύ αργές αντιδράσεις δίνουν την εσφαλμένη αντίληψη κατάστασης χημικής ισορροπίας, καθώς η μεταβολή των συγκεντρώσεων των αντιδρώντων είναι πολύ αργή. Για τη διευκρίνιση του φαινομένου χρησιμοποιούμε κατάλληλο καταλύτη. Αν η σύσταση του μίγματος μεταβληθεί με την προσθήκη του καταλύτη πρόκειται για μια αργή αντίδραση. Σε διαφορετική περίπτωση, το μίγμα αντιδρώντων και προϊόντων αντιστοιχεί σε χημική ισορροπία.

Θεωρητικά, όλες οι χημικές αντιδράσεις είναι αμφίδρομες αλλά το φαινόμενο αυτό μπορεί να μην ισχύει στην περίπτωση κατά στην οποία το ποσό των αντιδρώντων που έχει παραμείνει χωρίς να αντιδράσει δεν είναι ανιχνεύσιμο. Έτσι, αν ένα τουλάχιστον από τα αντιδρώντα δεν μπορεί να προσδιοριστεί στο τέλος της αντίδρασης, η αντίδραση χαρακτηρίζεται ως μονόδρομη ή ποσοτική.

Εφαρμογή 1

Στους θ °C η ένωση A(g) διασπάται σύμφωνα με την εξίσωση:

$A(g) \rightarrow 3B(g)$

Σε κλειστό δοχείο εισάγονται 2 mol A(g) στους θ °C και μετά από κάποιο χρονικό διάστημα σχηματίζονται 3 mol B(g), ποσότητα που δεν αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου. Να εξηγήσετε αν η αντίδραση, $A(g) \rightarrow 3B(g)$ είναι μονόδρομη ή αμφίδρομη.

Αν η αντίδραση ήταν ποσοτική (μονόδρομη) από 2 mol Α θα σχηματίζονταν 6 mol του προϊόντος Β:

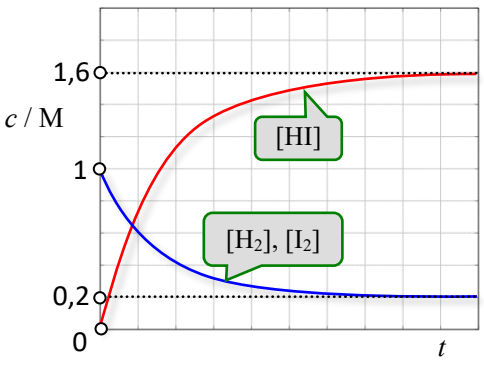
mol	**A(g)**	**→**	**3B(g)**
Αρχικά ($t = 0$)	2		—
Τελικά	—		6

Εφόσον σχηματίζονται τελικά 3 mol Β, η αντίδραση θα είναι αμφίδρομη:

mol	**A(g)**	**⇌**	**3B(g)**
Αρχικά ($t = 0$)	2		—
Μεταβολές	−1		3
Χ.Ι.	1		3

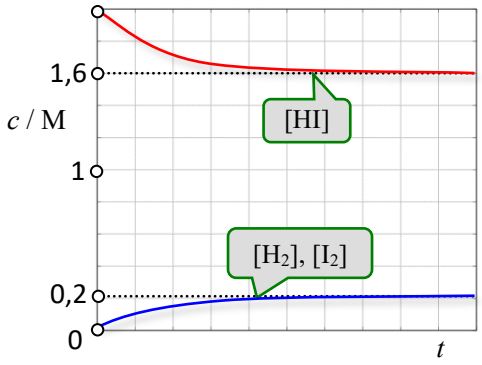
3. Τα βασικά χαρακτηριστικά μιας χημικής ισορροπίας

α) Οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων και των προϊόντων παραμένουν σταθερές. Στη χημική ισορροπία συνυπάρχουν ποσότητες από όλα τα αντιδρώντα και τα προϊόντα, οι οποίες παραμένουν σταθερές με την πάροδο του χρόνου αν και εξελίσσονται συνεχώς και οι δύο αντίθετης φοράς αντιδράσεις. Έτσι, π.χ. οι καμπύλες αντίδρασης που αντιστοιχούν στα πειράματα 1 και 2 ($V = 2$ L) της προηγούμενης παραγράφου είναι οι εξής:



$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$

(πείραμα 1)



$2HI(g) \rightleftharpoons H_2(g) + I_2(g)$

(πείραμα 2)

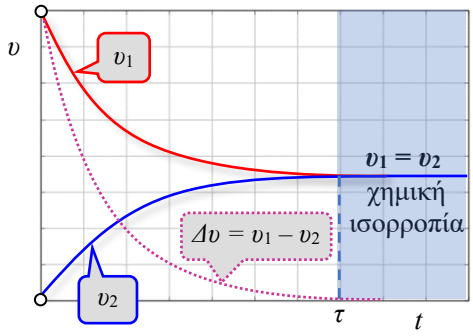
Παρατηρούμε ότι η κατάσταση ισορροπίας είναι ανεξάρτητη από την κατεύθυνση που προσεγγίζεται, ανεξάρτητα δηλαδή αν χρησιμοποιούνται 2 mol H_2 και 2 mol I_2 ή 4 mol HI, ως αντιδρώντα.

β) Οι ταχύτητες των δύο αντίθετης φοράς αντιδράσεων είναι ίσες. Σε δοχείο εισάγουμε αρχικά ποσότητες H_2 και I_2 και εξελίσσεται η αντίδραση:

$$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$$

Αρχικά (για $t = 0$) εξελίσσεται μόνο η αντίδραση προς τα δεξιά και μάλιστα η ταχύτητά της είναι μέγιστη. Την ίδια στιγμή η ταχύτητα της αντίστροφης αντίδρασης είναι μηδέν καθώς δεν έχει ακόμη σχηματιστεί HI(g). Με την πάροδο του χρόνου και μέχρι την αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας, η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά (υ_1) μειώνεται ενώ η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα αριστερά (υ_2) αυξάνεται. Τελικά, στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας (από τη χρονική στιγμή τ και μετά) οι τιμές των δύο ταχυτήτων εξισώνονται και στη συνέχεια παραμένουν σταθερές, δηλαδή: $\upsilon_1 = \upsilon_2 \neq 0$. Η κατάσταση αυτή χαρακτηρίζεται ως **δυναμική** ισορροπία.

Γιατί η υ_1 μειώνεται με την πάροδο του χρόνου ενώ η υ_2 αυξάνεται;





Στο διάδρομο του γυμναστηρίου. Τρέχετε αλλά δεν μετακινείστε ούτε μπροστά ούτε πίσω!

Η ταχύτητα που τρέχετε είναι ίδια με την ταχύτητα του διαδρόμου προς τα πίσω. Η κατάσταση χαρακτηρίζεται ως κατάσταση δυναμικής ισορροπίας.

γ) Ομογενείς και ετερογενείς ισορροπίες. Όταν τα συστατικά μιας χημικής ισορροπίας (αντιδρώντα και προϊόντα) είναι όλα στην ίδια φάση, για παράδειγμα στην αέρια ή στην υγρή φάση, η ισορροπία χαρακτηρίζεται ως ομογενής. Σε διαφορετική περίπτωση χαρακτηρίζεται ως ετερογενής. Π.χ.:

$2HI(g) \rightleftharpoons H_2(g) + I_2(g)$ ομογενής ισορροπία

$CH_3COOH(\ell) + CH_3CH_2OH(\ell) \rightleftharpoons CH_3COOCH_2CH_3(\ell) + H_2O(\ell)$ ομογενής ισορροπία

$\mathbf{Fe_3O_4(s)} + 4H_2(g) \rightleftharpoons \mathbf{3Fe(s)} + 4H_2O(g)$ ετερογενής ισορροπία

Εφαρμογή 2

Σε κλειστό δοχείο εισάγονται ποσότητες $N_2(g)$ και $H_2(g)$ στους θ °C παρουσία Fe(s) ως καταλύτη, οπότε μετά από χρονικό διάστημα t_1 αποκαθίσταται η ισορροπία:

$$N_2(g) + 3H_2(g) \underset{\upsilon_2}{\overset{\upsilon_1}{\rightleftharpoons}} 2NH_3(g)$$

α) *Πότε η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά θα είναι: i. μεγαλύτερη, ii. ίση με την ταχύτητα της αντίδρασης προς τα αριστερά; Είναι δυνατόν να ισχύει: $\upsilon_2 > \upsilon_1$;*

β) *Να χαρακτηρίσετε την ισορροπία ως ομογενή ή ετερογενή.*

α) Σύμφωνα με τα προηγούμενα, μέχρι να αποκατασταθεί η χημική ισορροπία, δηλαδή για το χρονικό διάστημα $[0, t_1)$ θα ισχύει: $\upsilon_1 > \upsilon_2$. Από τη στιγμή της αποκατάστασης της χημικής ισορροπίας και μετά θα ισχύει: $\upsilon_1 = \upsilon_2$. Δεν είναι δυνατόν να παρατηρηθεί: $\upsilon_2 > \upsilon_1$ κάτω από τις συνθήκες του δεδομένου πειράματος.

β) Η ισορροπία χαρακτηρίζεται ως ομογενής καθώς τόσο τα αντιδρώντα, N_2 και H_2, όσο και το προϊόν, NH_3, είναι στην ίδια φάση (αέρια).

4. Απόδοση μιας χημικής αντίδρασης

Στις περισσότερες περιπτώσεις δεν λαμβάνουμε τη θεωρητική ποσότητα ενός προϊόντος, δηλαδή την ποσότητα που προκύπτει με βάση τη στοιχειομετρία της αντίδρασης, για έναν ή για περισσότερους από τους παρακάτω λόγους:

α) Θερμοδυναμικός: Η αντίδραση οδηγεί σε κατάσταση χημικής ισορροπίας και δεν ολοκληρώνεται ποτέ.

β) Κινητικός: Η αντίδραση έχει πολύ μικρή ταχύτητα και απαιτεί μεγάλο χρονικό διάστημα για τη θεωρητική ολοκλήρωσή της.

γ) Απώλειες προϊόντος κατά την εργαστηριακή διαδικασία απομόνωσής του από το μίγμα της αντίδρασης.

δ) Παράλληλες αντιδράσεις στις οποίες τα ίδια αντιδρώντα δίνουν διαφορετικά προϊόντα.

Ας ξαναγυρίσουμε στο 1ο παράδειγμα της παραγράφου 2 που συνοψίζεται στον πίνακα που ακολουθεί:

Φυσικά (προς το παρόν) δεν μπορούμε να ξέρουμε πόσα mol από τα αντιδρώντα πρέπει να αντιδράσουν, ώστε το σύστημα να οδηγηθεί στη χημική ισορροπία!

mol	$H_2(g)$	+	$I_2(g)$	⇌	$2HI(g)$
Αρχικά	2		2		—
Μεταβολές	–1,6		–1,6		3,2
Χ.Ι.	0,4		0,4		3,2

Θεωρητικά (αν η αντίδραση ήταν μονόδρομη), θα περιμέναμε να αντιδράσουν τα 2 mol H_2 με τα 2 mol I_2 προς σχηματισμό 4 mol HI. Πρακτικά, όμως, λόγω της χημικής ισορροπίας που αποκαθίσταται παράγονται μόνο 3,2 mol HI, όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα. Με άλλα λόγια, σχηματίστηκε το $(3{,}2/4)\cdot 100 = 80\%$ της ποσότητας του HI σε σχέση με τη θεωρητική ποσότητα που αντιστοιχεί σε μονόδρομη (ποσοτική) αντίδραση. Λέμε ότι η αντίδραση έχει απόδοση 80%.

Γενικότερα, για να περιγράψουμε το πόσο έχει «προχωρήσει» μια αντίδραση χρησιμοποιούμε τον όρο συντελεστής απόδοσης.

Συντελεστής απόδοσης (*α*) μιας αντίδρασης είναι ο λόγος της ποσότητας (σε g ή σε mol) ενός οποιουδήποτε προϊόντος που παράγεται πρακτικά σε μία αντίδραση προς την ποσότητα του ίδιου προϊόντος που θα παραγόταν θεωρητικά, αν η αντίδραση ήταν μονόδρομη (ποσοτική).

Η απόδοση της αντίδρασης είναι η ίδια για οποιοδήποτε προϊόν της αντίδρασης.

Δηλαδή, ο συντελεστής απόδοσης μιας αντίδρασης δίνεται από τη σχέση:

$$\alpha = \frac{\text{πρακτικό ποσό ενός προϊόντος}}{\text{θεωρητικό ποσό τού ίδιου προϊόντος}}$$

Η απόδοση μιας αντίδρασης προκύπτει αν πολλαπλασιάσουμε το συντελεστή *α* με το 100:

$$\alpha\,\% = \alpha \cdot 100$$

Όταν στα αντιδρώντα έχουμε μία μόνο ένωση, ο συντελεστής απόδοσης της αντίδρασης αναφέρεται και ως **βαθμός διάσπασης**.

Για το συντελεστή απόδοσης ισχύει: $0 < \alpha \leq 1$. Αν $\alpha = 0$ η αντίδραση δε πραγματοποιείται καθόλου ενώ αν $\alpha = 1$ σημαίνει ότι η αντίδραση έχει ολοκληρωθεί κατά 100% (ποσοτική αντίδραση).

Η απόδοση μιας αντίδρασης υπολογίζεται και από το βαθμό μετατροπής του περιοριστικού αντιδρώντος, χωρίς τον υπολογισμό της θεωρητικής ποσότητας ενός προϊόντος.

Περιοριστικό αντιδρών: Το αντιδρών που θεωρητικά μπορεί να αντιδράσει πλήρως. Αναφέρεται και ο όρος αντιδρών σε έλλειμμα.

Βαθμός μετατροπής ενός αντιδρώντος είναι το πηλίκο των mol του αντιδρώντος που αντέδρασαν προς τα αρχικά mol του ίδιου αντιδρώντος. Ο βαθμός μετατροπής είναι ίσος με το συντελεστή απόδοσης (α) της αντίδρασης μόνο για το περιοριστικό αντιδρών. Αν τα αντιδρώντα είναι σε στοιχειομετρική αναλογία οι βαθμοί μετατροπής είναι ίσοι μεταξύ τους και ίσοι με την απόδοση (α) της αντίδρασης.

Ας δούμε την εφαρμογή που ακολουθεί.

Εφαρμογή 3

Σε κενό δοχείο εισάγονται 4 mol SO_2 και 3 mol O_2 και σε κατάλληλες συνθήκες αποκαθίσταται η χημική ισορροπία: $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$. Αν στην κατάσταση της ισορροπίας έχουν σχηματιστεί 3 mol SO_3, να υπολογιστούν:
α) *Οι ποσότητες (σε mol) των δύο άλλων αερίων στην κατάσταση της ισορροπίας.*
β) *Η απόδοση (α) της αντίδρασης.*

Όταν οι ποσότητες των αντιδρώντων σωμάτων ακολουθούν την αναλογία των συντελεστών τους στην εξίσωση της αντίδρασης λέμε ότι οι ποσότητές τους είναι σε στοιχειομετρική αναλογία. Π.χ. στη διπλανή αντίδραση οι ποσότητες 4 mol SO_2 και 2 mol O_2 είναι σε στοιχειομετρική αναλογία. Όταν έχουμε (αρχικά) 4 mol SO_2 και $n > 2$ mol O_2 λέμε ότι έχουμε περίσσεια O_2. Επίσης, όταν έχουμε 4 mol SO_2 και $n <$ 2 mol O_2 λέμε ότι έχουμε περίσσεια SO_2.

α) Καταστρώνουμε τον πίνακα της χημικής ισορροπίας.

mol	$2SO_2$	+	O_2	⇌	$2SO_3$
Αρχικά	4		3		—
Μεταβολές	−2x		−x		2x
Χ.Ι.	4 – 2x		3 – x		2x

Ισχύει: $2x = 3 \Rightarrow x = 1{,}5$ mol. Έτσι στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας θα συνυπάρχουν: $4 - 2x = 1$ mol SO_2, $3 - x = 1{,}5$ mol O_2 και φυσικά 3 mol SO_3.

Η απόδοση μιας αντίδρασης (αμφίδρομης ή και μονόδρομης που δεν έχει όμως ολοκληρωθεί για διάφορους λόγους) είναι σημαντικός παράγοντας, κυρίως για τη βιομηχανία, όπου μαζί με το χρόνο διεξαγωγής μιας αντίδρασης καθορίζουν σε σημαντικό ποσοστό την τιμή του τελικού προϊόντος.

β) Το O_2 είναι σε περίσσεια καθώς τα 4 mol SO_2 απαιτούν για πλήρη αντίδραση 2 mol O_2. Προκύπτει, λοιπόν, ότι η θεωρητική ποσότητα του SO_3 είναι 4 mol. Με βάση τον ορισμό της απόδοσης για το μοναδικό προϊόν της αντίδρασης, ισχύει:

$$\alpha = \frac{\text{πρακτικό ποσό}}{\text{θεωρητικό ποσό}} = \frac{3}{4} = 0{,}75\ (75\%)$$

Η απόδοση της αντίδρασης μπορεί να υπολογιστεί και με βάση το βαθμό μετατροπής (β) του περιοριστικού αντιδρώντος:

$$\beta_{SO_2} = \alpha = \frac{\text{αριθμός mol } SO_2 \text{ που αντέδρασε}}{\text{αρχικός αριθμός mol } SO_2} = \frac{2x}{4} = 0{,}75$$

Στην περίπτωση που τα αντιδρώντα είναι σε στοιχειομετρική αναλογία, θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε την απόδοση της αντίδρασης με βάση οποιοδήποτε αντιδρών.

Προσέξτε ότι ο βαθμός μετατροπής του αντιδρώντος σε περίσσεια (εδώ το O_2) <u>δεν</u> ισούται την απόδοση της αντίδρασης (είναι μικρότερος):

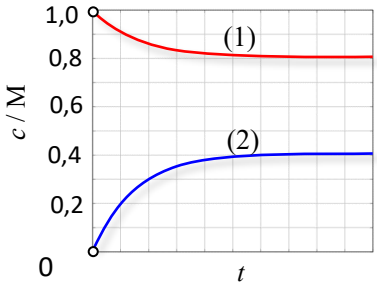
$$\beta_{O_2} = \frac{x}{3} = 0{,}5 < \alpha$$

Με άλλα λόγια ισχύει ότι:
Ο συντελεστής απόδοσης μιας αντίδρασης είναι ο μεγαλύτερος από τους βαθμούς μετατροπής των αντιδρώντων (που αντιστοιχεί στο περιοριστικό αντιδρών).

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

1. Σε δοχείο σταθερού όγκου εισάγονται ισομοριακές ποσότητες $N_2(g)$ και $H_2(g)$ οπότε υπό σταθερή θερμοκρασία αποκαθίσταται η χημική ισορροπία:

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$



Στο διπλανό διάγραμμα εμφανίζονται οι συγκεντρώσεις δύο αερίων της ισορροπίας σε σχέση με το χρόνο.

α) Με βάση τα δεδομένα αυτά:

1. προκύπτει ότι η απόδοση της αντίδρασης είναι 60%

2. προκύπτει ότι η απόδοση της αντίδρασης είναι 50%

3. προκύπτει ότι η απόδοση της αντίδρασης είναι 20%

4. η απόδοση δεν μπορεί να υπολογιστεί καθώς λείπει η καμπύλη του τρίτου αερίου

β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Επιλογή 1.

β) Η καμπύλη (2) αντιστοιχεί στο μοναδικό προϊόν της αντίδρασης, την $NH_3(g)$ ενώ η καμπύλη (1) αντιστοιχεί στο αντιδρών $N_2(g)$, καθώς η μείωση της συγκέντρωσής του είναι η μισή σε σχέση με την αύξηση της συγκέντρωσης του προϊόντος.

mol/L	$N_2(g)$	+ $3H_2(g)$	⇌ $2NH_3(g)$
Αρχικά	1	1	—
Μεταβολές	−0,2	−0,6	0,4
Χ.Ι.	0,8	0,4	0,4

Η θεωρητική ποσότητα της NH_3 είναι (2/3) mol (γιατί;) και επομένως ισχύει:

$$\alpha = 0{,}4/(2/3) = 0{,}6\ (60\%)$$

2. Ποσότητα $CaCO_3(s)$ μάζας 500 g θερμαίνεται στους 800 °C οπότε διασπάται με απόδοση 80% σε $CaO(s)$ και $CO_2(g)$. Πόσα g CaO παράχθηκαν και πόσα g $CaCO_3$ παρέμειναν χωρίς να διασπαστούν;



$CaCO_3(s)$ $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$

ΛΥΣΗ

Για το $CaCO_3$, $M_r = 100$ και άρα η αρχική ποσότητά του θα είναι:

$$n = 500 / 100 = 5\ \text{mol}$$

mol	$CaCO_3(s)$	⇌	$CaO(s)$	+	$CO_2(g)$
Αρχικά	5		—		—
Μεταβολές	–x		x		x
Χ.Ι.	5 – x		x		x

$$\alpha = 0{,}8 = \frac{x}{5} \Rightarrow x = 0{,}8 \cdot 5 = 4\ \text{mol}$$

Άρα θα παραχθούν 4 mol ή 4·56 = 224 g CaO. Η ποσότητα του $CaCO_3$ που δεν διασπάστηκε είναι: (5 − x)·100 = 100 g.

3. Σε δοχείο όγκου σταθερού όγκου $V = 4{,}1$ L **εισάγεται ισομοριακό μίγμα** $N_2(g)$ **και** $H_2(g)$ **συνολικής μάζας** 180 g**. Το μίγμα θερμαίνεται στους** 527 °C **παρουσία καταλύτη και αποκαθίσταται η χημική ισορροπία με την εξίσωση που ακολουθεί.**

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$

Το μίγμα στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας περιέχει 2 mol NH_3**.**
α) i. Ποια ποσότητα της NH_3 **(σε mol) θα σχηματιζόταν αν η αντίδραση ήταν ποσοτική (μονόδρομη); ii. Ποια θα ήταν η τελική πίεση στο δοχείο στο τέλος της στην περίπτωση μονόδρομης αντίδρασης;**
β) Ποια η απόδοση της αντίδρασης και ποια η ολική πίεση του μίγματος στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας;
$R = 0{,}082$ L·atm·mol^{-1}·K^{-1}**.**

ΛΥΣΗ
α) i. $M_r(N_2) = 28$, $M_r(H_2) = 2$. Εφόσον το μίγμα είναι ισομοριακό, θα αποτελείται (έστω) από y mol N_2 και y mol H_2 και θα ισχύει:

$$28y + 2y = 180 \Rightarrow 30y = 180 \Rightarrow y = 6 \text{ mol}$$

Το N_2 είναι σε περίσσεια. Υπολογίζουμε τη θεωρητική ποσότητα της NH_3:

mol	$N_2(g)$	+ $3H_2(g)$	$\rightarrow 2NH_3(g)$
Αρχικά	6	6	—
Μεταβολές	−2	−6	4
Τελικά	4	—	4

Πόσα mol H_2 έπρεπε να βάλω για να μην υπάρχει περίσσεια N_2;

Η θεωρητική ποσότητα της NH_3 είναι 4 mol.

ii. Τα συνολικά mol στο τέλος της αντίδρασης θα ήταν: 4 + 4 = 8. Από την καταστατική εξίσωση:

$$P = \frac{n_{ολ} \cdot R \cdot T}{V} = \frac{8 \cdot 0{,}082 \cdot 800}{4{,}1} = 128 \text{ atm}$$

β) Όταν αποκατασταθεί χημική ισορροπία, θα ισχύει:

mol	$N_2(g)$	+ $3H_2(g)$	$\rightleftharpoons 2NH_3(g)$
Αρχικά	6	6	—
Μεταβολές	–x	−3x	2x
Χ.Ι.	6 − x	6 − 3x	2x

Η απόδοση της αντίδρασης θα μπορούσε να υπολογιστεί και από το βαθμό μετατροπής του περιοριστικού αντιδρώντος (εδώ το H_2). Θα καταλήγαμε στο ίδιο αποτέλεσμα (επιβεβαιώστε). Στην περίπτωση αυτή πρέπει να τονιστεί ποιο είναι το περιοριστικό αντιδρών.

Ισχύει: 2x = 2 ⇒ x = 1 mol. Η απόδοση υπολογίζεται ως εξής:

$$\alpha = \frac{\text{πρακτικό ποσό } NH_3}{\text{θεωρητικό ποσό } NH_3} = \frac{2x}{4} = \frac{2}{4} = 0{,}5\ (50\%)$$

Ο συνολικός αριθμός mol στην περίπτωση αυτή είναι: $n_{ολ}' = 12 - 2x = 10$ mol. Επομένως, η πίεση του αερίου μίγματος στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας θα είναι:

$$P' = \frac{n_{ολ}' \cdot R \cdot T}{V} = \frac{10 \cdot 0{,}082 \cdot 800}{4{,}1} = 160 \text{ atm}$$

4. Σε δοχείο εισάγονται ποσότητες των αερίων $SO_2(g)$ και $O_2(g)$ και με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται η χημική ισορροπία με την εξίσωση που ακολουθεί.

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$$

Στην κατάσταση της ισορροπίας το μίγμα των τριών αερίων $SO_2(g)$, $O_2(g)$ και $SO_3(g)$ είναι ισομοριακό. Να υπολογιστεί η απόδοση (α) της αντίδρασης.

ΛΥΣΗ

Έστω x mol και y mol οι αρχικές ποσότητες του $SO_2(g)$ και του $O_2(g)$, αντίστοιχα.

mol	$2SO_2(g)$	$+ O_2(g)$	$\rightleftharpoons$	$2SO_3(g)$
Αρχικά	x	y		—
Μεταβολές	–2ω	–ω		2ω
Χ.Ι.	x – 2ω	y – ω		2ω

Ισχύουν: $x - 2\omega = y - \omega = 2\omega$ και επομένως: $x = 4\omega$, $y = 3\omega$

Το $SO_2(g)$ είναι το περιοριστικό αντιδρών και επομένως θα ισχύει:

$$\alpha = 2\omega/x = 2\omega/4\omega = 0,5\ (50\%)$$

Όταν έχουμε στα αντιδρώντα ένα μόνο συστατικό η απόδοση της αντίδρασης αναφέρεται ως βαθμός διάσπασης.

5. Σε δοχείο σταθερού όγκου $V = 0,82$ L εισάγονται 0,04 mol N_2O_4 και στους 127 °C αποκαθίσταται η χημική ισορροπία:

$$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$$

Η ολική πίεση στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας βρέθηκε ίση με 2 atm.
α) Πόσα mol από κάθε αέριο υπάρχουν στην κατάσταση της ισορροπίας;
β) Ποιος είναι ο βαθμός διάσπασης του N_2O_4 στις συνθήκες του πειράματος;
γ) Ποια η %v/v σύσταση του μίγματος ισορροπίας σε NO_2;
$R = 0,082\ L \cdot atm \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$.

ΛΥΣΗ

α) Για την παραπάνω χημική ισορροπία κατασκευάζουμε τον πίνακα που ακολουθεί:

mol	$N_2O_4(g)$	$\rightleftharpoons$	$2NO_2(g)$
Αρχικά	0,04		—
Μεταβολές	–x		2x
Χ.Ι.	0,04 – x		2x

Στην ισορροπία ο ολικός αριθμός mol είναι: $0,04 - x + 2x = 0,04 + x$. Σύμφωνα με την καταστατική εξίσωση των αερίων:

$$P_{ολ} \cdot V = n_{ολ} \cdot R \cdot T \Rightarrow$$

$$2 \cdot 0,82 = (0,04 + x) \cdot 0,082 \cdot 400 \Rightarrow x = 0,01\ mol$$

Επομένως, στην ισορροπία θα συνυπάρχουν 0,03 mol N_2O_4 και 0,02 mol NO_2.

β) Ο βαθμός διάσπασης του N_2O_4 δίνεται από τη σχέση:

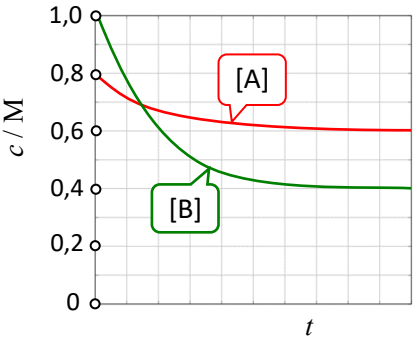
$$\alpha = \frac{x}{0,04} = \frac{0,01}{0,04} = 0,25 \text{ ή } 25\%$$

γ) Ο συνολικός αριθμός mol στην ισορροπία είναι: 0,03 + 0,02 = 0,05 mol. Επειδή στα αέρια η αναλογία όγκων είναι και αναλογία mol, θα ισχύει:

$$\%v/v\ NO_2 = \frac{0,02}{0,05} \cdot 100 = 40\%$$

6. Σε δοχείο σταθερού όγκου V εισάγονται ποσότητες από τα αέρια A(g) **και** B(g)**, υπό σταθερή θερμοκρασία** θ °C **και αποκαθίσταται η χημική ισορροπία:**

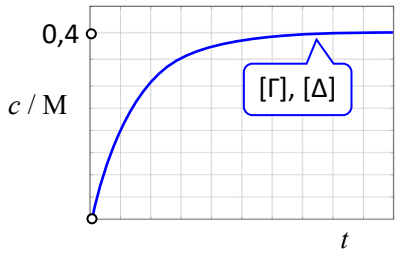
$$A(g) + \lambda B(g) \rightleftharpoons \mu\Gamma(g) + 2\Delta(g)$$



Για την αντίδραση αυτή οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων συστατικών A(g) **και** B(g) **σε σχέση με το χρόνο εμφανίζονται στο διπλανό γράφημα.**
α) i. Να προσδιορίσετε την τιμή του συντελεστή λ**.**
ii. Αν κατά τη διάρκεια της αντίδρασης η ολική πίεση στο δοχείο παραμένει σταθερή, ποιος ο συντελεστής μ **του συστατικού** Γ(g)**;**
β) Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα να κατασκευάσετε το αντίστοιχο διάγραμμα για τα προϊόντα Γ(g) **και** Δ(g)**.**
γ) Να υπολογίσετε την απόδοση της αντίδρασης.

ΛΥΣΗ
α) i. Από το γράφημα προκύπτει ότι μέχρι την αποκατάσταση της ισορροπίας αντέδρασαν 0,2 mol·L^{-1} του αντιδρώντος A(g) και 0,6 mol·L^{-1} του αντιδρώντος B(g), δηλαδή τριπλάσια ποσότητα σε σχέση με το A(g). Επομένως, λ = 3.
ii. Εφόσον η πίεση στο δοχείο μένει σταθερή, ο συνολικός αριθμός των μορίων των αερίων δεν μεταβάλλεται, οπότε: 1 + 3 = μ + 2 ⇒ μ = 2.

β)



γ) Με βάση τα διαγράμματα για τα αντιδρώντα και τα προϊόντα θα έχουμε:

mol	**A(g)**	**+ 3B(g)**	**⇌ 2Γ(g)**	**+ 2Δ(g)**
Αρχικά	$0,8V$	V	—	—
Μεταβολές	$-0,2V$	$-0,6V$	$0,4V$	$0,4V$
Χ.Ι.	$0,6V$	$0,4V$	$0,4V$	$0,4V$

Το αντιδρών Α είναι σε περίσσεια (γιατί;) οπότε η απόδοση της αντίδρασης μπορεί να υπολογιστεί με βάση το αντιδρών Β ως εξής:

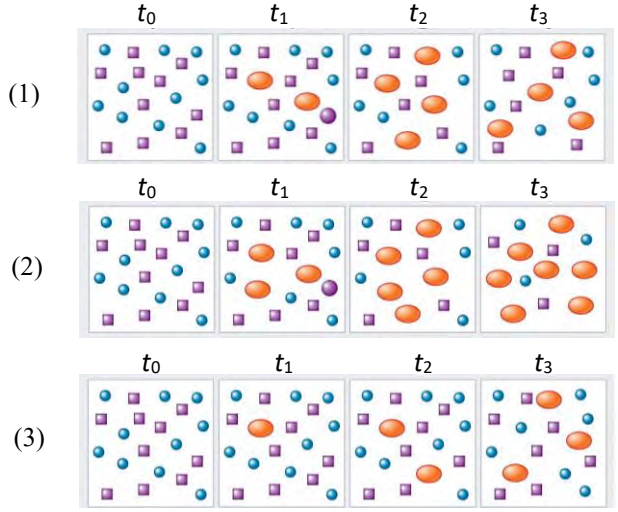
$$\alpha = \frac{0,6V}{V} = 0,6\ (60\%)$$

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

13.1. Γενικά, μία χημική αντίδραση είναι μονόδρομη όταν:
Α) δεν ολοκληρώνεται ποτέ
Β) εξαντλούνται οι ποσότητες όλων των αντιδρώντων
Γ) εξαντλείται η ποσότητα ενός τουλάχιστον από τα αντιδρώντα
Δ) έχει απόδοση $\alpha < 1$

13.2. Ποσότητα $NO_2(g)$ εισάγεται σε κλειστό δοχείο και από τη χρονική στιγμή $t = 60$ s και μετά αποκαθίσταται η χημική ισορροπία: $2NO_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g) + O_2(g)$. Τι θα συμβεί στην ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά από τη χρονική στιγμή $t = 60$ s και μετά;
Α) Θα αυξάνεται Β) Θα μειώνεται
Γ) Θα παραμένει σταθερή Δ) Θα είναι ίση με το 0

13.3. Σε τρία διαφορετικά δοχεία 1, 2 και 3 εισάγονται ποσότητες από τα αέρια Α(g) και Β(g) και συμβαίνει η αντίδραση: $A(g) + B(g) \rightleftharpoons \Gamma(g)$. Στο σχήμα που ακολουθεί αναπαριστάνεται και στα τρία δοχεία (1), (2) και (3) η σύσταση του μίγματος τις διαδοχικές χρονικές στιγμές t_0, t_1, t_2 και t_3. Στο σχήμα αυτό το αέριο Α(g) παριστάνεται με μικρούς κύκλους, το αέριο Β(g) με μικρά τετράγωνα και το αέριο Γ(g) με μικρές ελλείψεις.



Σε ποιο από τα τρία δοχεία το σύστημα έχει φθάσει σε χημική ισορροπία για $t \le t_3$;
Α) Στο δοχείο 1 Β) Στο δοχείο 2 Γ) Στο δοχείο 3
Δ) Σε κανένα από τα τρία δοχεία

13.4. Ποια από τις παρακάτω προτάσεις που αφορούν τη χημική ισορροπία είναι λανθασμένη;
Α) Στην κατάσταση ισορροπίας οι ταχύτητες των δύο αντιδράσεων προς τα δεξιά και προς τα αριστερά είναι ίσες
Β) Στην κατάσταση της ισορροπίας συνυπάρχουν ποσότητες από όλα τα σώματα που συμμετέχουν στην ισορροπία (αντιδρώντα και προϊόντα)
Γ) Η κατάσταση μιας χημικής ισορροπίας είναι δυναμική
Δ) Στην κατάσταση χημικής ισορροπίας δεν πραγματοποιείται καμία χημική αντίδραση

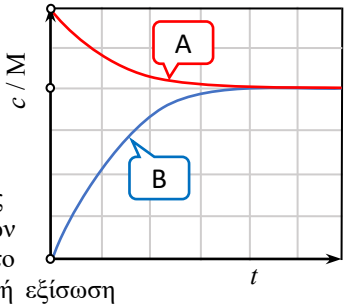
13.5. Σε κλειστό δοχείο σε θερμοκρασία T έχει αποκατασταθεί η ισορροπία: $A(g) + B(g) \rightleftharpoons \Gamma(g) + \Delta(g)$. Αν υ_1 και υ_2 είναι οι ταχύτητες των αντιδράσεων προς τα δεξιά και προς τα αριστερά αντίστοιχα, θα ισχύει:
Α) $\upsilon_1 = \upsilon_2 = 0$ Β) $\upsilon_1 = \upsilon_2 \neq 0$ Γ) $\upsilon_1 > \upsilon_2$
Δ) $\upsilon_1 < \upsilon_2$ Ε) $\upsilon_1 > 0$ και $\upsilon_2 < 0$

13.6. Σε δοχείο εισάγονται 1 mol H_2 και 2 mol I_2, τα οποία αντιδρούν στους θ °C, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$$

i. Για τον αριθμό n των mol του HI που θα υπάρχουν στο δοχείο μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας, θα ισχύει:
Α) $n = 2$ Β) $n > 2$ Γ) $n < 2$ Δ) $n = 4$
ii. Για το συνολικό αριθμό mol των τριών αερίων ($n_{ολ}$), μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας, θα ισχύει:
Α) $n_{ολ.} < 3$ Β) $n_{ολ.} = 3$ Γ) $n_{ολ.} > 3$ Δ) $n_{ολ.} = 2$

13.7. Σε κενό δοχείο εισάγεται ποσότητα της ένωσης Α, η οποία αρχίζει να μετατρέπεται στην ένωση Β υπό σταθερή θερμοκρασία. Το διπλανό διάγραμμα παριστάνει τις συγκεντρώσεις των ενώσεων Α και Β σε σχέση με το χρόνο. Ποια είναι η χημική εξίσωση της αντίδρασης που πραγματοποιήθηκε;



Α) $A \rightarrow B$ Β) $A \rightleftharpoons 2B$
Γ) $2A \rightleftharpoons B$ Δ) $2A \rightarrow B$

13.8. Σε δοχείο εισάγουμε ποσότητες από τα αέρια Α και Β, και αποκαθίσταται η ισορροπία:

$$A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons 2\Gamma(g) + \Delta(g)$$

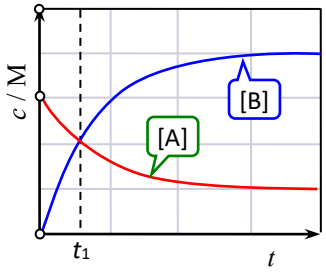
Για το συστατικό Α ο λόγος του αριθμού των mol που αντέδρασε μέχρι την αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας προς τον αρχικό αριθμό mol του Α είναι ίσος με την απόδοση α της αντίδρασης:
Α) μόνον όταν το Α είναι το περιοριστικό αντιδρών
Β) μόνον όταν η αρχική αναλογία mol με το συστατικό Β είναι η στοιχειομετρική
Γ) μόνον όταν το Α είναι σε περίσσεια
Δ) σε κάθε περίπτωση

13.9. Σε δοχείο εισάγονται ποσότητες των αερίων $SO_2(g)$ και $O_2(g)$ και με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται η χημική ισορροπία που περιγράφεται με τη χημική εξίσωση που ακολουθεί.

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$$

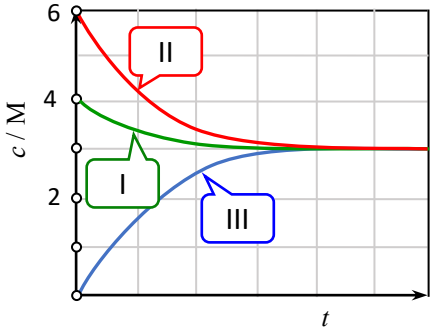
Το ποσοστό του $O_2(g)$ που αντέδρασε μέχρι την αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας είναι 40%. Σε κάθε περίπτωση η απόδοση της αντίδρασης θα είναι:
Α) $\alpha = 0{,}4$ Β) $\alpha \ge 0{,}4$
Γ) $\alpha \le 0{,}4$ Δ) $\alpha < 0{,}4$

13.10. Για την αντίδραση, $A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$, δίνονται στο διπλανό σχήμα οι συγκεντρώσεις του Α(g) και του Β(g) ως συνάρτηση του χρόνου. Η αντίδραση διεξάγεται σε δοχείο σταθερού όγκου και υπό σταθερή θερμοκρασία T. Τη στιγμή t_1 η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά είναι ίση με υ_1 και η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα αριστερά ίση με υ_2. Τι από τα παρακάτω ισχύει;



Α) $\upsilon_1 = \upsilon_2$ Β) $\upsilon_1 < \upsilon_2$ Γ) $\upsilon_1 > \upsilon_2$
Δ) Δεν μπορεί να γίνει σύγκριση

13.11. Σε κλειστό δοχείο σταθερού όγκου εισάγονται ποσότητες από τις ενώσεις Α και Β, οπότε με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται η ισορροπία: $A(g) + xB(g) \rightleftharpoons 3\Gamma(g)$. Στο διάγραμμα που ακολουθεί παριστάνονται οι καμπύλες αντίδρασης των 3 συστατικών της από $t = 0$ μέχρι την αποκατάσταση της ισορροπίας ($t = t_v$).



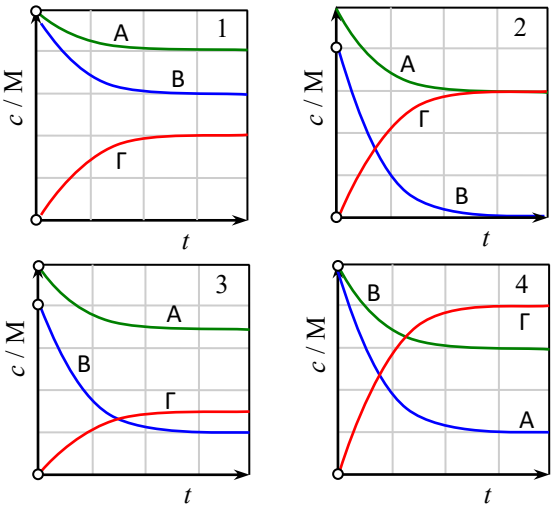
Με βάση τα δεδομένα αυτά τι από τα παρακάτω ισχύει:
Α) Οι αρχικές ποσότητες των Α και Β είναι ισομοριακές
Β) Ο συντελεστής x είναι ίσος με 2
Γ) Η καμπύλη ΙΙ αντιστοιχεί στο σώμα Β
Δ) Για κάθε χρονική στιγμή $t < t_v$ θα ισχύει: [B] < [A]

13.12. Δίνεται η χημική ισορροπία: $A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons 2\Gamma(g)$. Σε κενό δοχείο σταθερού όγκου εισάγεται ποσότητα της ένωσης Γ, οπότε με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται η παραπάνω ισορροπία. Τι από τα παρακάτω είναι σωστό;
Α) Στην ισορροπία θα ισχύει: [B] = 2·[A]
Β) Στην ισορροπία θα ισχύει: [A] = [B]
Γ) Στην ισορροπία θα ισχύει: [A] = 2·[B]
Δ) Αρχικά, η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά (υ_1) είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα της αντίδρασης προς τα αριστερά (υ_2), με την πάροδο όμως του χρόνου αποκαθίσταται χημική ισορροπία στη οποία ισχύει: $\upsilon_1 = \upsilon_2$

13.13. Ποιο από τα παρακάτω διαγράμματα συγκεντρώσεων αντιδρώντων και προϊόντων σε σχέση με το χρόνο αποδίδει την εξέλιξη της χημικής ισορροπίας,

$$A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons \Gamma(g),$$

από την έναρξη της αντίδρασης μέχρι την αποκατάσταση της ισορροπίας;



Α) Το διάγραμμα 1 Β) Το διάγραμμα 2
Γ) Το διάγραμμα 3 Δ) Το διάγραμμα 4

13.14. Να εξηγήσετε ποιες από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι λανθασμένες.
α) Οι μονόδρομες αντιδράσεις έχουν πάντοτε μεγάλη ταχύτητα και οι αμφίδρομες έχουν πάντοτε μικρή ταχύτητα.
β) Για το συντελεστή απόδοσης μιας αμφίδρομης αντίδρασης ισχύει πάντα: $\alpha < 1$.
γ) Στην κατάσταση χημικής ισορροπίας οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων και των προϊόντων είναι πάντοτε ίσες μεταξύ τους.
δ) Στην κατάσταση ισορροπίας, εφόσον οι συνθήκες παραμένουν σταθερές, οι συγκεντρώσεις όλων των αντιδρώντων και των προϊόντων παραμένουν σταθερές.
ε) Στην κατάσταση χημικής ισορροπίας οι ταχύτητες των δύο αντιδράσεων που εκφράζουν οι δύο αντίθετες κατευθύνσεις έχουν μηδενιστεί. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2024]

13.15. Σε κλειστό δοχείο εισάγονται ισομοριακές ποσότητες $N_2(g)$ και $H_2(g)$ και με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται η χημική ισορροπία με την εξίσωση που ακολουθεί.

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$

Στην κατάσταση της ισορροπίας ισχύει: $[H_2] < [NH_3]$.
α) Για την απόδοση της αντίδρασης θα ισχύει:
i. $\alpha > 0,6$ ii. $\alpha < 0,6$ iii. $\alpha < 0,1$ iv. $0,1 < \alpha < 0,2$
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.
β) Να συγκρίνετε τη $[NH_3]$ με τη $[N_2]$ στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας (μεγαλύτερη, μικρότερη, ίση). Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

13.16. Σε 4 διαφορετικά δοχεία Α-Δ ίσου όγκου εισάγονται ποσότητες CO(g), $NO_2(g)$, $CO_2(g)$ και NO(g), σύμφωνα με τον πίνακα που ακολουθεί.

Δοχείο	CO (mol)	NO_2 (mol)	CO_2 (mol)	NO (mol)
Α	1	1	0	0
Β	1	0	1	1
Γ	1	1	1	0
Δ	0	1	1	1

Με την πάροδο του χρόνου και στα 4 δοχεία αποκαθίσταται η ισορροπία: $CO(g) + NO_2(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + NO(g)$. Σε ποιο από τα 4 δοχεία θα υπάρχει τελικά η μεγαλύτερη [CO(g)];
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

13.17. Το προϊόν Γ σχηματίζεται από την ένωση Α με βάση τις διαδοχικές αντιδράσεις (1) και (2) που ακολουθούν.

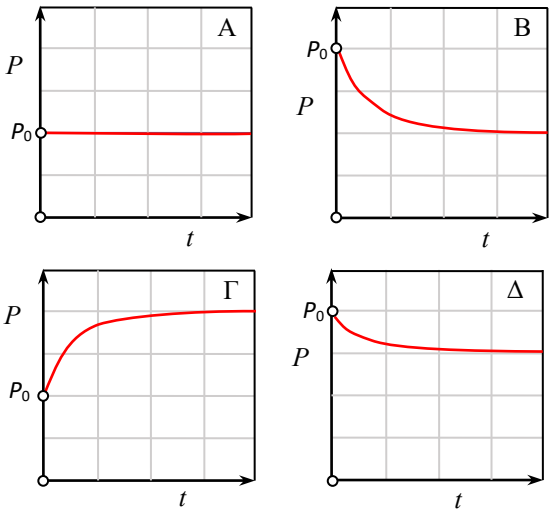
$$A \rightleftharpoons 2B \quad (1) \text{ και } B \rightleftharpoons \Gamma \quad (2)$$

α) Αν η πρώτη αντίδραση έχει απόδοση 60% και η δεύτερη απόδοση 90%, ποια είναι η απόδοση της όλης διαδικασίας, δηλαδή της μετατροπής της ουσίας Α στην ουσία Γ;
1. 30% 2. 54% 3. 67% 4. 150%
β) Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

13.18. Δοχείο σταθερού όγκου περιέχει CO(g) που σε σταθερή θερμοκρασία διασπάται σύμφωνα με την αντίδραση:

$$2CO(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + C(s)$$

Η πίεση στο δοχείο πριν την έναρξη της αντίδρασης είναι ίση με P_0.
α) Ποιο από τα διαγράμματα Α-Δ που ακολουθούν αποδίδει την πίεση στο δοχείο ως συνάρτηση του χρόνου, από την έναρξη της αντίδρασης μέχρι την αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας;



β) Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

Προβλήματα

13.19. Μίγμα που αποτελείται από 10 mol CO και 4 mol H_2 εισάγεται σε δοχείο 10 L σε σταθερή θερμοκρασία T και αποκαθίσταται η ισορροπία: $CO(g) + 2H_2(g) \rightleftharpoons CH_3OH(g)$.
Η απόδοση της αντίδρασης βρέθηκε ίση με 20%.
α) Να υπολογίσετε τις συγκεντρώσεις όλων των συστατικών στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας.
β) Ποιο το % ποσοστό του CO που μετατράπηκε σε CH_3OH;

13.20. Το 1774 ο Σουηδός χημικός Carl Wilhelm Scheele παρασκεύασε $Cl_2(g)$ με βάση την αντίδραση που ακολουθεί.

$$4NaCl(aq) + 2H_2SO_4(aq) + MnO_2(s) \rightarrow$$
$$\rightarrow 2Na_2SO_4(aq) + MnCl_2(aq) + 2H_2O(\ell) + Cl_2(g)$$

Για την αναπαραγωγή του πειράματος αναμιγνύονται 50 mL διαλύματος NaCl 2 M με 25 mL διαλύματος H_2SO_4 6 M και στο διάλυμα που προκύπτει προστίθενται 4,35 g MnO_2. Ποιος ο όγκος του $Cl_2(g)$ που σχηματίζεται μετρημένος σε STP αν η αντίδραση έχει απόδοση $\alpha = 0,8$;

13.21. Το $SO_2(g)$ μετασχηματίζεται σε $SO_3(g)$ σύμφωνα με τη χημική εξίσωση που ακολουθεί.

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$$

Σε δοχείο εισάγονται αρχικά 0,2 mol $SO_2(g)$ και 0,25 mol $O_2(g)$ και αποκαθίσταται η παραπάνω χημική ισορροπία στην οποία προσδιορίστηκαν 0,15 mol $SO_3(g)$.
α) Να κατασκευάσετε τον πίνακα της αντίδρασης με τις αρχικές ποσότητες, τις μεταβολές τους και τις ποσότητες στη χημική ισορροπία.
β) Να προσδιορίσετε το περιοριστικό αντιδρών και να υπολογίσετε την απόδοση της αντίδρασης.

13.22. Αέριο μίγμα καταλαμβάνει όγκο 33,6 L (σε STP) και περιέχει 40% v/v H_2 και 60% v/v N_2. Το μίγμα εισάγεται σε κλειστό δοχείο και σε κατάλληλες συνθήκες αποκαθίσταται η χημική ισορροπία με την εξίσωση που ακολουθεί.

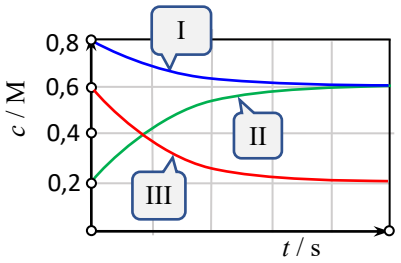
$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$

Η απόδοση της αντίδρασης είναι 10%. Να υπολογιστεί η μάζα της NH_3 που σχηματίστηκε.

13.23. Σε δοχείο σταθερού όγκου και σε θερμοκρασία T εισάγονται ποσότητες από τα αέρια $SO_2(g)$, $O_2(g)$ και $SO_3(g)$ και αποκαθίσταται η χημική ισορροπία:

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$$

Το διάγραμμα που ακολουθεί παριστάνει τις συγκεντρώσεις των τριών αερίων σε συνάρτηση με το χρόνο.



α) i. Προς ποια κατεύθυνση διεξάγεται η αντίδραση μέχρι την αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας;
ii. Σε ποια σώματα της ισορροπίας αντιστοιχούν οι καμπύλες I, II και III;
β) Τη χρονική στιγμή t_1 κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της αντίδρασης, βρέθηκε ότι: $[SO_2] = [SO_3]$. Να υπολογίσετε τις συγκεντρώσεις των τριών ουσιών τη χρονική στιγμή t_1.

13.24. Ισομοριακό μίγμα αποτελείται από τα αέρια SO_2 και NO_2 και έχει συνολική μάζα 33 g. Το μίγμα εισάγεται σε κλειστό δοχείο, οπότε αποκαθίσταται η χημική ισορροπία που περιγράφεται με την εξίσωση που ακολουθεί.

$$SO_2(g) + NO_2(g) \rightleftharpoons SO_3(g) + NO(g)$$

Στην ισορροπία έχουν σχηματιστεί 0,2 mol SO_3. Ποιες οι ποσότητες (σε mol) των άλλων αερίων στην ισορροπία και ποια η απόδοση της αντίδρασης;

13.25. Σε δοχείο 10 L εισάγονται λ mol $SO_2(g)$ και μ mol $O_2(g)$ και αποκαθίσταται η ισορροπία,

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$$

στην οποία προσδιορίστηκαν οι εξής συγκεντρώσεις: $[SO_2] = 0,4$ M, $[O_2] = 0,6$ M και $[SO_3] = 0,8$ M.
α) Να υπολογιστούν οι αρχικές ποσότητες λ και μ.
β) Να υπολογιστεί η απόδοση της αντίδρασης.

13.26. α) Σε δοχείο σταθερού όγκου εισάγονται ποσότητες $SO_2(g)$ και $O_2(g)$ οπότε υπό σταθερή θερμοκρασία (T) αποκαθίσταται η χημική ισορροπία:

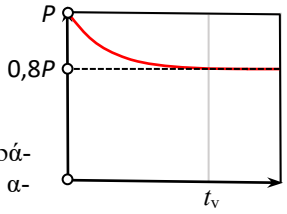
$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$$

Βρέθηκε ότι μέχρι την ισορροπία έχει αντιδράσει το 80% της αρχικής ποσότητας του $SO_2(g)$ και το 50% της αρχικής ποσότητας του $O_2(g)$. Ποια είναι η απόδοση της αντίδρασης;
β) Σε δοχείο εισάγονται ισομοριακές ποσότητες SO_2 και O_2 και αποκαθίσταται η παραπάνω χημική ισορροπία.
Αν το ποσοστό του O_2 που αντέδρασε μέχρι την αποκατάσταση της ισορροπίας είναι ίσο με 25%, η απόδοση της αντίδρασης θα είναι:
1. $\alpha = 0,15$ 2. $\alpha = 0,25$ 3. $\alpha = 0,5$ 4. $\alpha = 0,75$
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

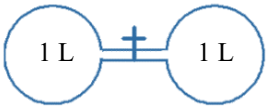
13.27. Σε δοχείο σταθερού όγκου V εισάγονται ισομοριακές ποσότητες των σωμάτων A(s) και B(g) οπότε υπό σταθερή θερμοκρασία T αποκαθίσταται η ισορροπία:

$$A(s) + 2B(g) \rightleftharpoons \Gamma(g)$$

Η μεταβολή της πίεσης στο δοχείο από την έναρξη της αντίδρασης ($t = 0$) μέχρι την αποκατάσταση της ισορροπίας ($t = t_v$) εμφανίζεται στο διπλανό γράφημα. Ποια είναι η απόδοση της αντίδρασης;



13.28. Οι φιάλες του σχήματος έχουν όγκο 1 L η καθεμία και συνδέονται με κλειστή στρόφιγγα. Η αριστερή φιάλη περιέχει 0,045 mol $A_2(g)$ και η δεξιά φιάλη 0,04 mol B(g). Ανοίγουμε τη στρόφιγγα και πραγματοποιείται η αντίδραση, υπό σταθερή θερμοκρασία:



$$A_2(g) + 2B(g) \rightleftharpoons 2AB(g)$$

Μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας, ισχύει: $[AB(g)] = 0,015$ M.
α) Να υπολογιστούν οι συγκεντρώσεις των σωμάτων $A_2(g)$ και B(g) στην κατάστασης της χημικής ισορροπίας.
β) Να υπολογιστεί η απόδοση της αντίδρασης.

13.29. Σε δοχείο εισάγονται 29,7 g φωσγενίου ($COCl_2$) σε θερμοκρασία θ °C και με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται η χημική ισορροπία με την εξίσωση που ακολουθεί.

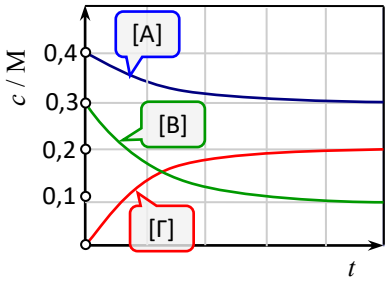
$$COCl_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + Cl_2(g)$$

Στην κατάσταση της ισορροπίας προσδιορίστηκαν 4,2 g CO. Να υπολογιστούν:
α) Οι ποσότητες (σε mol) των τριών αερίων της χημικής ισορροπίας.
β) Η απόδοση της αντίδρασης.
γ) Η %v/v σύσταση του μίγματος ισορροπίας σε CO.

13.30. Σε δοχείο όγκου $V = 2$ L εισάγονται ποσότητες από τα αέρια A(g) και B(g) τα οποία αντιδρούν, σε κατάλληλες συνθήκες, σύμφωνα με τη χημική εξίσωση που ακολουθεί.

$$A(g) + xB(g) \rightleftharpoons y\Gamma(g)$$

Στο παρακάτω διάγραμμα εμφανίζονται οι καμπύλες αντίδρασης για τα τρία σώματα που συμμετέχουν στην ισορροπία.



α) Ποιοι οι συντελεστές x και y των σωμάτων B και Γ;
β) Ποια η θεωρητική ποσότητα σχηματισμού του Γ;
γ) Ποια η απόδοση της αντίδρασης;

13.31. Η αντίδραση του HCl(g) με το $O_2(g)$ είναι αμφίδρομη και παράγει $Cl_2(g)$ και $H_2O(g)$.
α) Ποια είναι η χημική εξίσωση της αντίδρασης σωστά ισοσταθμισμένης;
β) Ισομοριακό μίγμα HCl(g) και $O_2(g)$ εισάγεται σε δοχείο σταθερού όγκου (V) και με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται η παραπάνω χημική ισορροπία, υπό σταθερή θερμοκρασία (T). Μέχρι τη κατάσταση της ισορροπίας έχει αντιδράσει το 20% της αρχικής ποσότητας του $O_2(g)$. Ποια θα είναι η απόδοση της αντίδρασης;
γ) Να υπολογιστεί ο λόγος της πίεσης στο δοχείο στην κατάσταση της ισορροπίας (P_2) προς την αρχική πίεση (P_1).

13.32. Στην αέρια κατάσταση και σε θερμοκρασία T το θείο είναι με την μορφή μορίων του τύπου S_x (x ακέραιος αριθμός). Για τον προσδιορισμό της τιμής του x θεωρούμε ποσότητα $H_2S(g)$ η οποία σε θερμοκρασία T αποσυντίθεται σύμφωνα με την εξίσωση που ακολουθεί.

$$xH_2S(g) \rightleftharpoons xH_2(g) + S_x(g)$$

Η περιεκτικότητα του μίγματος της χημικής ισορροπίας σε $H_2(g)$ είναι (200/9) % v/v ενώ η απόδοση της αντίδρασης είναι 25%. Να υπολογιστεί η τιμή του x.

13.33. Σε κλειστό δοχείο εισάγονται 6 mol $A_2(g)$ και y mol $B_2(g)$ και σε κατάλληλες συνθήκες αποκαθίσταται η χημική ισορροπία με την εξίσωση που ακολουθεί.

$$A_2(g) + 3B_2(g) \rightleftharpoons 2AB_3(g)$$

Η απόδοση της αντίδρασης είναι 60% και στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας το μίγμα των τριών αερίων $A_2(g)$, $B_2(g)$ και $AB_3(g)$ είναι ισομοριακό. Να υπολογιστούν:
α) Η τιμή του y.
β) Η ποσότητα σε mol της ένωσης AB_3 στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας.

13.34. Μέταλλα όπως το Pd και ο Pt έχουν χρησιμοποιηθεί σε καταλυτικούς μετατροπείς αυτοκινήτων για τη μετατροπή του CO(g) των καυσαερίων σε CO_2(g) σύμφωνα με την αντίδραση που ακολουθεί.

$$2CO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2CO_2(g)$$

Ένας χημικός μηχανικός ερευνά την αποτελεσματικότητα ενός νέου καταλύτη. Σύμφωνα με τη μέθοδό του, σε μία φιάλη σταθερού όγκου που περιέχει τον υπό εξέταση καταλύτη εισάγει αέριο μίγμα CO(g) και O_2(g) σε αναλογία mol 2 : 1. Η αρχική πίεση είναι 1 atm ενώ η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή. Μετά από ορισμένο διάστημα η πίεση σταθεροποιείται στην τιμή 0,75 atm. Ποιο ποσοστό του CO(g) μετατράπηκε σε CO_2(g) και ποια η απόδοση της αντίδρασης;

13.35. Το τριοξείδιο του θείου (SO_3) μπορεί να προκύψει με την αντίδραση που περιγράφεται με τη χημική εξίσωση που ακολουθεί.

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$$

Σε δοχείο εισάγονται 100 mol SO_2(g) και 275 mol αέρα, που αποτελείται από 80% v/v N_2(g) και 20% v/v O_2(g), και με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται η παραπάνω χημική ισορροπία. Η απόδοση της αντίδρασης βρέθηκε ίση με 90%.

α) Να υπολογιστούν οι ποσότητες (σε mol) όλων των αερίων στο δοχείο στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας.

β) Να υπολογιστεί η % v/v αναλογία του αερίου μίγματος σε SO_3(g) στο δοχείο της ισορροπίας (με τη μορφή κλάσματος).

13.36. Σε δοχείο έχει αποκατασταθεί η ισορροπία:

$$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$$

Στο δοχείο της ισορροπίας εισάγεται μικρή ποσότητα *N_2O_4 (O_2N*—*NO_2). Στο μόριο αυτό τα δύο άτομα αζώτου του N_2O_4 έχουν αντικατασταθεί με το βαρύτερο ισότοπο του αζώτου ^{15}N που επισημαίνεται ως N* και παρουσιάζει ανάλογη χημική συμπεριφορά. Μετά την αποκατάσταση της νέας ισορροπίας στο δοχείο ανιχνεύονται ενώσεις με σχετικές μοριακές μάζες 46, 47, 92, 93, 94. Να εξηγηθεί ο σχηματισμός της ένωσης με M_r = 93. Σχετικές ατομικές μάζες, N:14, N*:15, O:16.

13.37. Σε δοχείο όγκου 4 L εισάγονται 5 mol A(g) και 6 mol B(g), οπότε στους θ °C αποκαθίστανται οι ισορροπίες:

$$A(g) + B(g) \rightleftharpoons \Gamma(g) \quad \text{και} \quad 2\Gamma(g) \rightleftharpoons \Delta(g) + E(g)$$

Μετά την αποκατάσταση και των δύο χημικών ισορροπιών η συγκέντρωση του Δ(g) στο δοχείο βρέθηκε ίση με 0,375 M και η συγκέντρωση του Γ(g) ίση με 0,25 M. Να υπολογιστούν οι συγκεντρώσεις των σωμάτων E(g), A(g) και B(g) μετά την αποκατάσταση και των δύο χημικών ισορροπιών.

.....

.....

.....

.....

.....

***Χημεία και… τέρατα:* «Πόλεμος και επιστήμη!»**

Ίσως δε μπορούμε να φανταστούμε ότι η έννοια των αντιστρεπτών αντιδράσεων και της χημικής ισορροπίας οφείλεται εν μέρει στο Γάλλο στρατηλάτη Ναπολέοντα!

Το 1798 ο μέγας Ναπολέοντας ζήτησε από τον εξέχοντα Γάλλο χημικό Claude Louis Berthollet να τον συνοδεύσει στην εκστρατεία του στην Αίγυπτο ως επιστημονικός σύμβουλος. Εκεί, ο Berthollet παρατήρησε σε μία λίμνη με αλάτι (NaCl) σχηματιζόταν ανθρακικό νάτριο (Na_2CO_3) με μια αντίδραση αντίστροφη της πολύ γνωστής, από εκείνη την εποχή, αντίδρασης:

$$Na_2CO_3 + CaCl_2 \rightarrow CaCO_3 + 2NaCl$$



Διαπίστωσε ότι αν και στο εργαστήριο η αντίδραση γινόταν πλήρως προς τα δεξιά, η αντίδραση μπορούσε να γίνει και προς την αντίθετη κατεύθυνση. Απέδωσε το φαινόμενο αυτό στη μεγάλη συγκέντρωση του νερού σε NaCl, χωρίς όμως να μπορεί να φανταστεί την έννοια της χημικής ισορροπίας.

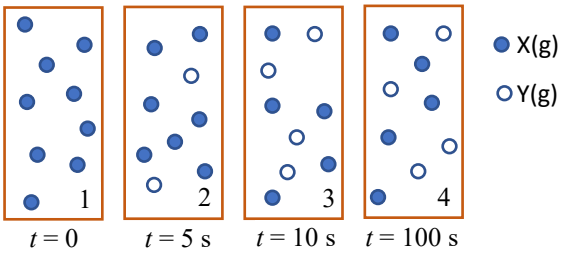
Αργότερα, στα μέσα του 1800 οι Berthelot και Gilles έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων επηρέαζαν τις συγκεντρώσεις των προϊόντων στις διάφορες χημικές αντιδράσεις, ενώ αργότερα οι Guldberg και Waage έδειξαν ότι μία αντίδραση μπορεί να οδηγηθεί σε χημική ισορροπία από οποιαδήποτε κατεύθυνση.

Το 1877 ο van't Hoff θεμελίωσε την ισχύ του νόμου της χημικής ισορροπίας. Έδειξε ότι η κατάσταση της χημικής ισορροπίας είναι συνάρτηση των συγκεντρώσεων των αντιδρώντων και μάλιστα ότι στην έκφραση του νόμου της ισορροπίας οι συγκεντρώσεις εμφανίζονται ως δυνάμεις των συντελεστών των αντιδρώντων και των προϊόντων της χημικής εξίσωσης.

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 13

Στις παρακάτω ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής 1-6, να σημειώσετε απλώς τη σωστή απάντηση.

1. Η αλληλουχία των διαγραμμάτων 1-4 που ακολουθούν αντιστοιχεί στην εξέλιξη της αντίδρασης, X(g) ⇌ Y(g), με την πάροδο του χρόνου.



Τι από τα παρακάτω ισχύει σε κάθε περίπτωση;
Α) Τη χρονική στιγμή $t = 2$ min η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα της αντίδρασης προς τα αριστερά
Β) Τη χρονική στιγμή $t = 7$ s έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία
Γ) Τη χρονική στιγμή $t = 10$ s έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία
Δ) Τη χρονική στιγμή $t = 2$ min η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά είναι μικρότερη από την ταχύτητα της αντίδρασης προς τα αριστερά

2. Σε δοχείο εισάγονται 1,2 mol σώματος Α και 0,5 mol σώματος Β και πραγματοποιείται η αντίδραση:

$$3A(g) + B(s) \rightleftharpoons \Gamma(g)$$

Ποια είναι η θεωρητική ποσότητα του προϊόντος Γ(g);
Α) 0,5 mol Β) 1,2 mol Γ) 0,4 mol Δ) 1,7 mol

3. Σε κλειστό δοχείο εισάγουμε ποσότητες CO(g) και $Cl_2(g)$ στους $\theta\,^oC$, οπότε από τη χρονική στιγμή t_v και μετά αποκαθίσταται η χημική ισορροπία:

$$CO(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons COCl_2(g)$$

Αν υ_1 και υ_2 είναι οι ταχύτητες των αντιδράσεων προς τα δεξιά και προς τ' αριστερά αντίστοιχα, θα ισχύει:
Α) $\upsilon_1 > \upsilon_2$ για $t < t_v$ και $\upsilon_1 = \upsilon_2 = 0$ για $t \geq t_v$
Β) $\upsilon_1 < \upsilon_2$ για $t < t_v$ και $\upsilon_1 = \upsilon_2$ για $t \geq t_v$
Γ) $\upsilon_1 > \upsilon_2$ για $t < t_v$ και $\upsilon_1 = \upsilon_2 \neq 0$ για $t \geq t_v$
Δ) $\upsilon_1 < \upsilon_2$ για $t < t_v$ και $\upsilon_1 = \upsilon_2 = 0$ για $t \geq t_v$

4. Σε δοχείο 1 L εισάγονται 0,1 mol O_2 και 0,1 mol SO_3 και με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται η χημική ισορροπία με την εξίσωση που ακολουθεί.

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$$

Ποια από τις επόμενες σχέσεις θα είναι οπωσδήποτε σωστή στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας;
Α) $[SO_2] = [O_2] = [SO_3]$ Β) $[O_2] < [SO_3]$
Γ) $[SO_3] < [O_2]$ Δ) $[O_2] = 2\cdot[SO_3]$

5. Σε δοχείο σταθερού όγκου εισάγονται ποσότητες $SO_2(g)$ και $NO_2(g)$ και αποκαθίσταται η χημική ισορροπία,

$$SO_2(g) + NO_2(g) \rightleftharpoons SO_3(g) + NO(g),$$

σε θερμοκρασία T. Για την αντίδραση αυτή οι αρχικές συγκεντρώσεις και οι συγκεντρώσεις στην κατάσταση της ισορροπίας δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

(M)	$[SO_2]$	$[NO_2]$	$[SO_3]$	[NO]
Αρχικές	α	β	–	–
Χ.Ι.	x	y	ω	ω

Ποια από τις παρακάτω σχέσεις θα ισχύει;
Α) x = ω Β) x = y Γ) α − x = ω
Δ) x + y = 2ω Ε) β − y = 2ω

6. Σε δοχείο εισάγονται 3 mol A(g) και x mol B(g) και με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται η χημική ισορροπία:

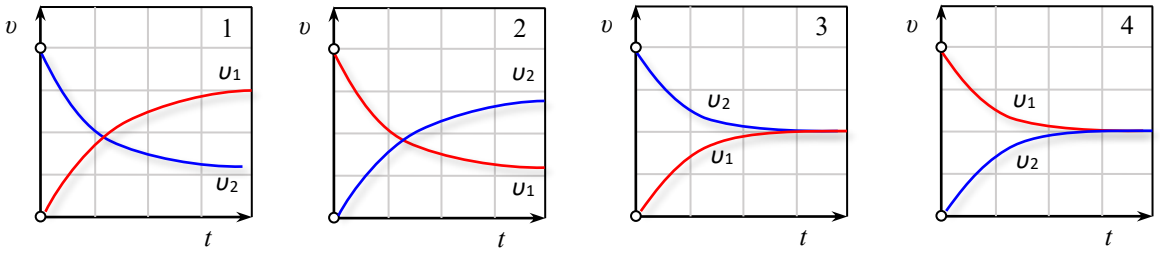
$$2A(g) + B(g) \rightleftharpoons \Gamma(g)$$

Στην κατάσταση της ισορροπίας η ποσότητα του Γ(g) είναι ίση με 1 mol. Για την αντίδραση αυτή σε κάθε περίπτωση θα ισχύει ότι:
Α) η αρχική ποσότητα του Β είναι μεγαλύτερη από 1 mol
Β) η ποσότητα του Α στη ισορροπία είναι ίση με 2 mol
Γ) η απόδοση της αντίδρασης θα είναι $\alpha = (200/3)$ %
Δ) η απόδοση της αντίδρασης θα είναι $\alpha = (100/x)$ %

---

7. Δίνεται η χημική εξίσωση: $N_2(g) + 3H_2(g) \underset{\upsilon_2}{\overset{\upsilon_1}{\rightleftharpoons}} 2NH_3(g)$

Σε κλειστό κενό δοχείο εισάγονται ποσότητες των αερίων $H_2(g)$ και $NH_3(g)$ σε ορισμένη θερμοκρασία.
α) Ποιο από τα παρακάτω διαγράμματα 1-4 αποδίδει τις ταχύτητες υ_1, υ_2 σε συνάρτηση με τον χρόνο;
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]



8. Σε δοχείο εισάγονται λ mol $SO_2(g)$ και μ mol $O_2(g)$ οπότε σε κατάλληλες συνθήκες αποκαθίσταται η χημική ισορροπία που ακολουθεί.

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$$

Στην κατάσταση της ισορροπίας στο δοχείο προσδιορίστηκαν 2 mol $SO_3(g)$.

α) Να κατασκευάσετε τον πίνακα της αντίδρασης σε mol (αρχικές ποσότητες, μεταβολές, ποσότητες στη χημική ισορροπία).

β) Με βάση τον πίνακα της αντίδρασης να εξηγήσετε ποιες από τις παρακάτω προτάσεις, I, II, III και IV είναι σωστές και ποιες όχι.

I. Για τις αρχικές ποσότητες λ και μ ισχύει: λ > 2 και μ > 1.

II. Αν λ ≥ 2μ, τότε η απόδοση της αντίδρασης είναι: $\alpha = 1/\mu$

III. Αν λ ≤ 2μ, τότε η απόδοση της αντίδρασης είναι: $\alpha = 2/\lambda$

IV. Όλες οι προτάσεις I, II, III είναι σωστές.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

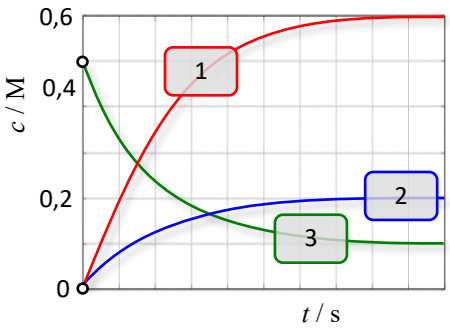
.....

9. Σε δοχείο σταθερού όγκου 1 L εισάγουμε 0,5 mol A(g), οπότε αποκαθίσταται η χημική ισορροπία: $2A(g) \rightleftharpoons B(g) + \lambda\Gamma(g)$. Οι καμπύλες αντίδρασης για τα σώματα Α, Β και Γ δίνονται στα διπλανά διαγράμματα.

α) Σε ποιο από τα σώματα της αντίδρασης αντιστοιχεί η κάθε καμπύλη 1, 2 και 3; Ποια η τιμή του συντελεστή λ;

β) Ποιες ποσότητες (σε mol) από τα προϊόντα Β και Γ θα σχηματίζονταν αν η αντίδραση ήταν μονόδρομη;

γ) Να προσδιοριστεί η απόδοση (α) της αντίδρασης.



.....

.....

.....

.....

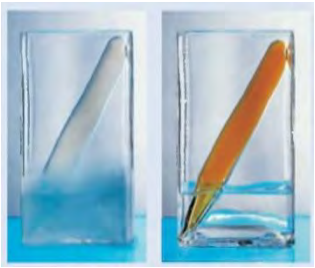
.....

.....

.....

.....

10. Η αντίδραση του HCl(g) με το O_2(g) είναι αμφίδρομη και παράγει Cl_2(g) και H_2O(g).
α) Να γραφεί η χημική εξίσωση της αντίδρασης με τους μικρότερους ακέραιους συντελεστές.
β) Σε δοχείο εισάγεται μίγμα HCl(g) και O_2(g) με αναλογία mol 2:1 και με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται η παραπάνω χημική ισορροπία υπό σταθερή θερμοκρασία (T). Μέχρι τη κατάσταση της ισορροπίας έχει αντιδράσει το 40% της αρχικής ποσότητας του O_2(g). Ποια είναι η απόδοση της αντίδρασης;
γ) Να υπολογιστεί ο λόγος της πίεσης στο δοχείο στην κατάσταση της ισορροπίας (P_2) προς την αρχική πίεση (P_1).



14 Χημική Ισορροπία - Αρχή Le Chatelier

ΘΕΜΑΤΑ ΘΕΩΡΙΑΣ

1. Εισαγωγή

Είδαμε στην προηγούμενη ενότητα τι συμβαίνει όταν σε μία αμφίδρομη αντίδραση έχει αποκατασταθεί χημική ισορροπία:

- Τα αντιδρώντα και τα προϊόντα συνυπάρχουν και μάλιστα οι ποσότητές τους παραμένουν αναλλοίωτες με την πάροδο του χρόνου, εκτός αν αλλάξουν οι συνθήκες του πειράματος.
- Οι δύο αντίθετης φοράς αντιδράσεις εξελίσσονται ταυτόχρονα και μάλιστα με τις ίδιες ταχύτητες ($\upsilon_1 = \upsilon_2$, δυναμική ισορροπία).

Τι θα γίνει, όμως, αν σε μία χημική ισορροπία αλλάξουν οι συνθήκες που την καθορίζουν; Προσέξτε το παράδειγμα που ακολουθεί.

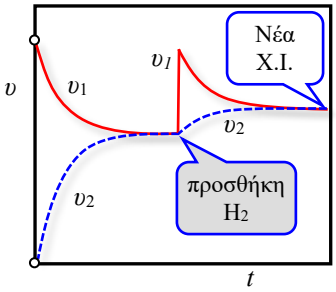
Ας υποθέσουμε ότι σε ένα κλειστό δοχείο έχει αποκατασταθεί η «γνωστή» ισορροπία,

$$H_2(g) + I_2(g) \underset{\upsilon_2}{\overset{\upsilon_1}{\rightleftharpoons}} 2HI(g) \quad (\upsilon_1 = \upsilon_2)$$

υπό σταθερή θερμοκρασία και πίεση. Προσθέτουμε «ξαφνικά» στο δοχείο κάποια επιπλέον ποσότητα $H_2(g)$, οπότε η συγκέντρωση του $H_2(g)$ θα αυξηθεί απότομα. Έτσι, η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά (υ_1) θα γίνει μεγαλύτερη από την ταχύτητα της αντίδρασης προς τα αριστερά (υ_2) με αποτέλεσμα η ποσότητα του HI να αυξάνεται:

προσθήκη H_2

$$H_2(g) + I_2(g) \underset{\upsilon_2}{\overset{\upsilon_1}{\rightleftharpoons}} 2HI(g)$$



Με την πάροδο του χρόνου η υ_1 μειώνεται ενώ η υ_2 αυξάνεται, οπότε θα έλθει κάποια στιγμή όπου οι δύο ταχύτητες θα εξισωθούν και πάλι και θα αποκατασταθεί νέα ισορροπία στην οποία οι νέες συγκεντρώσεις των H_2, I_2 και HI θα παραμένουν από κει και πέρα αναλλοίωτες. Καθώς στη νέα αυτή θέση της ισορροπίας υπάρχει μεγαλύτερη ποσότητα HI, λέμε ότι η χημική ισορροπία «μετατοπίστηκε» προς τα δεξιά.

2. Παράγοντες που επηρεάζουν τη θέση μιας χημικής ισορροπίας

Γενικά, η θέση μιας χημικής ισορροπίας επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες (συντελεστές):

α) Συγκέντρωση των αντιδρώντων ή των προϊόντων.
β) Πίεση.
γ) Θερμοκρασία.

Η μετατόπιση της θέσης μιας χημικής ισορροπίας (αν δηλαδή θα εκδηλωθεί αντίδραση προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά με στόχο την αποκατάσταση νέας ισορροπίας) με την μεταβολή κάποιου παράγοντα που την καθορίζει, μπορεί να προβλεφθεί με βάση την αρχή Le Chatelier. Σύμφωνα με την αρχή αυτή:

«Όταν μεταβάλλουμε έναν από τους συντελεστές μιας χημικής ισορροπίας (συγκέντρωση, πίεση, θερμοκρασία) η θέση της ισορροπίας αυτής μετατοπίζεται προς εκείνη την κατεύθυνση που τείνει να αναιρέσει τη μεταβολή που επιφέραμε».

«Ακατανόητη», ε; Ας δούμε κάθε ένα παράγοντα ξεχωριστά.

3. Η συγκέντρωση ως παράγοντας της χημικής ισορροπίας

Θα χρησιμοποιήσουμε το «κλασσικό» μας παράδειγμα. Ας υποθέσουμε ότι σε κάποιο δοχείο, που ήδη έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία,

$$2HI(g) \rightleftharpoons H_2(g) + I_2(g)$$

συνυπάρχουν 16 mol HI, 2 mol H_2 και 2 mol I_2. Μεταβάλλουμε τη συγκέντρωση του HI με προσθήκη π.χ. 4 mol HI επιπλέον.

mol	**2HI(g)**	⇌	**H_2(g)**	+	**I_2(g)**
Χ.Ι.	16		2		2
Προσθήκη	+4				

Με την προσθήκη αυτή, λοιπόν, η ισορροπία διαταράσσεται. Για να αποκατασταθεί νέα ισορροπία, και σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier, εξελίσσεται αντίδραση προς τα δεξιά που έχει ως αποτέλεσμα της διάσπαση κάποιας ποσότητας HI από αυτήν που προσθέσαμε. Με άλλα λόγια, η ισορροπία τείνει να αναιρέσει τη μεταβολή που επιφέραμε:

mol	**2HI(g)**	⇌	**H_2(g)**	+	**I_2(g)**
Αρχική Χ.Ι.	16		2		2
Προσθήκη	+4				
Μεταβολές	–2x		+x		+x
Νέα Χ.Ι.	20 – 2x		2 + x		2 + x

Γενικά, σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier, η μεταβολή της συγκέντρωσης ενός ή περισσοτέρων συστατικών της χημικής ισορροπίας έχει ως αποτέλεσμα τη μετατόπιση της ισορροπίας:

Η αρχή Le Chatelier σχετίζεται με τις ιδέες του Αριστοτέλη και του Θεόφραστου, σύμφωνα με τις οποίες η φύση αντιδρά σε οποιαδήποτε αλλαγή που συνιστά παραβίαση των κανονισμών της.



Henri Louis Le Chatelier. Γάλλος χημικός που γεννήθηκε και έζησε στο Παρίσι (1850-1936).

Για να εφαρμοστεί η αρχή Le Chatelier θα πρέπει να έχω ήδη χημική ισορροπία και να «πειράξω» ένα από τους παράγοντες που την καθορίζουν (συγκέντρωση, πίεση, θερμοκρασία).

Αυξήσαμε την ποσότητα HI; Η ισορροπία «πηγαίνει» προς εκείνη την κατεύθυνση που καταναλώνεται HI, δηλαδή προς τα δεξιά.

Η λέξη «τείνει» εννοεί ότι με την προσθήκη των επιπλέον 4 mol HI η αντίδραση οδεύει προς τα δεξιά, με σκοπό η ποσότητα του HI στη νέα Χ.Ι. να «πλησιάσει» εκ νέου την αρχική ποσότητα των 16 mol, χωρίς όμως να το «καταφέρει»!

Σημαντική «πολεμική» έχει υποστεί η αρχή Le Chatelier, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, καθώς «χωλαίνει» σε κάποιες περιπτώσεις. Μάλιστα, ο ίδιος ο Le Chatelier είχε αναγκαστεί να αλλάξει διατυπώσεις στην προσπάθειά του να εφαρμόζεται πάντα.

- Προς τα δεξιά, αν αυξήσουμε τη συγκέντρωση ενός αντιδρώντος.
- Προς τα αριστερά, αν μειώσουμε τη συγκέντρωση ενός αντιδρώντος.
- Προς τα αριστερά, αν αυξήσουμε τη συγκέντρωση ενός προϊόντος.
- Προς τα δεξιά, αν μειώσουμε τη συγκέντρωση ενός προϊόντος.

Εφαρμογή 1

Έστω ότι σε κάποιο δοχείο σταθερού όγκου, υπό σταθερή θερμοκρασία, έχει αποκατασταθεί η ισορροπία: $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$. *Πώς θα μετατοπιστεί η θέση της χημικής ισορροπίας:*
α) *Αν προσθέσουμε επιπλέον ποσότητα* N_2.
β) *Αν προσθέσουμε επιπλέον ποσότητα* NH_3.
γ) *Αν αφαιρέσουμε κάποια ποσότητα* NH_3 *(π.χ. με υγροποίησή της, οπότε απομακρύνεται από την ισορροπία).*

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
α) Θα εξελιχθεί αντίδραση προς τα δεξιά, ώστε να καταναλωθεί μέρος της ποσότητας του N_2 που προσθέσαμε.
β) Θα εξελιχθεί αντίδραση προς τα αριστερά, ώστε να καταναλωθεί μέρος της ποσότητας της NH_3 που προσθέσαμε.
γ) Θα εξελιχθεί αντίδραση προς τα δεξιά, ώστε να αναπληρωθεί μέρος της ποσότητας της NH_3 που αφαιρέσαμε με την υγροποίηση.

Εφαρμογή 2

Σε δοχείο σταθερού όγκου και υπό σταθερή θερμοκρασία έχει αποκατασταθεί η ισορροπία: $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$. *Τι μπορούμε να προσθέσουμε ή να αφαιρέσουμε ώστε η ισορροπία να μετατοπιστεί προς τα δεξιά και να προκύψει μεγαλύτερη ποσότητα CaO;*

Τα στερεά θεωρείται ότι έχουν σταθερή συγκέντρωση (1 M), ανεξάρτητα με την ποσότητά τους. Έτσι, αν σε μία ισορροπία που συμπεριλαμβάνει στερεό σώμα, αυξήσουμε ή μειώσουμε τη ποσότητά του, η ισορροπία δε διαταράσσεται.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
Δε μπορούμε να προσθέσουμε επιπλέον ποσότητα $CaCO_3(s)$ γιατί η προσθήκη στερεού δε μεταβάλλει τη θέση της χημικής ισορροπίας. Μπορούμε, όμως, να αφαιρέσουμε ποσότητα $CO_2(g)$, οπότε σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα δεξιά, παράγοντας επιπλέον ποσότητα $CaO(s)$.

4. Η πίεση ως παράγοντας της χημικής ισορροπίας

Η πίεση είναι παράγοντας της χημικής ισορροπίας, αλλά για να ισχύει αυτό θα πρέπει να συντρέχουν οι εξής προϋποθέσεις:

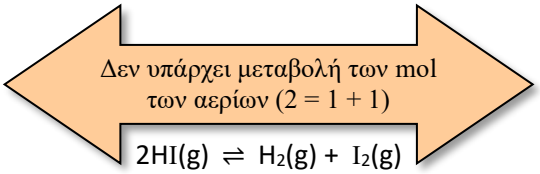
1. Να συμμετέχουν στην ισορροπία αέριες ουσίες (έστω και ένα αέριο ως αντιδρών ή προϊόν).
2. Κατά την αντίδραση να παρατηρείται μεταβολή του συνολικού αριθμού των mol των αερίων.
3. Να μεταβάλλουμε την πίεση με μεταβολή του όγκου του δοχείου στο οποίο διεξάγεται η αντίδραση.

Αν ισχύουν οι παραπάνω προϋποθέσεις, τότε η αρχή Le Chatelier εφαρμόζεται ως εξής:

Σε ένα σύστημα που βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας, η αύξηση της πίεσης με μείωση του όγκου του δοχείου υπό σταθερή θερμοκρασία, μετατοπίζει την ισορροπία προς την κατεύθυνση όπου έχουμε τα λιγότερα mol αερίων. Επίσης, η μείωση της πίεσης μετατοπίζει την ισορροπία προς την κατεύθυνση που έχουμε περισσότερα mol των αερίων.

Ας διασαφηνίσουμε την «ιστορία» με δύο παραδείγματα:

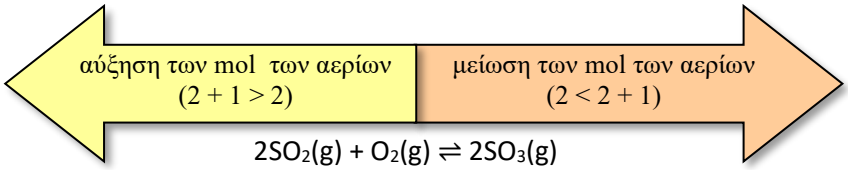
Παράδειγμα 1: Σε δοχείο έχει αποκατασταθεί η ισορροπία: $2HI(g) \rightleftharpoons H_2(g) + I_2(g)$. Πώς θα μεταβληθεί η θέση της χημικής ισορροπίας, αν για παράδειγμα μειώσουμε την πίεση στο δοχείο (με αύξηση του όγκου) διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία; Η 1η και η 3η από τις παραπάνω προϋποθέσεις ισχύουν. Για να εξετάσουμε και τη δεύτερη:



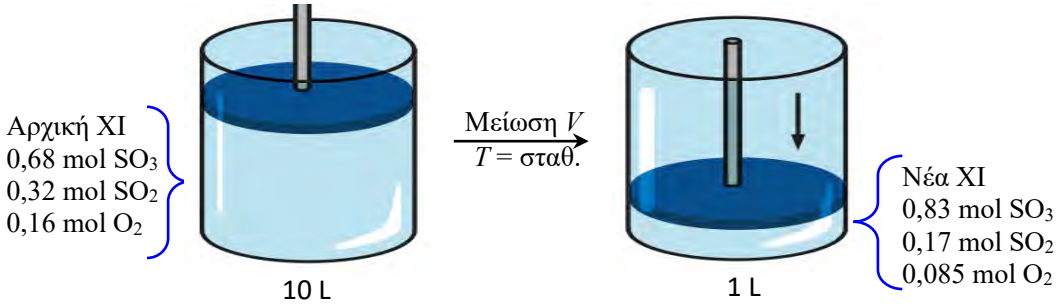
Καθώς δεν παρατηρείται μεταβολή του αριθμού των mol των αερίων από τα αριστερά προς τα δεξιά (ή και το αντίστροφο), η πίεση δεν παίζει ρόλο στη θέση της ισορροπίας και η μεταβολή της δε μεταβάλλει τις **ποσότητες** των αντιδρώντων και των προϊόντων.

Παράδειγμα 2: Σε δοχείο έχει αποκατασταθεί η ισορροπία: $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$. Πώς θα μεταβληθεί η θέση της χημικής ισορροπίας αν αυξήσουμε την πίεση στο δοχείο (με μείωση του όγκου) διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία;

Στην περίπτωση αυτή ισχύουν όλες οι προϋποθέσεις:



Έτσι, σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier, η αύξηση της πίεσης θα οδηγήσει στην ισορροπία προς τον μικρότερο (συνολικά) αριθμό mol αερίων, δηλαδή προς τα δεξιά, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό την απόδοση σχηματισμού του SO_3.



Σχήμα 1. *Με τη μείωση του όγκου του δοχείου η πίεση αυξάνεται και η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα λιγότερα mol αερίων, εδώ προς τα δεξιά, με αποτέλεσμα την αύξηση της ποσότητας του προϊόντος και μείωση των ποσοτήτων των αντιδρώντων,*

Εφαρμογή 3

Σε ποια από τις δύο παρακάτω ισορροπίες, η πίεση είναι παράγοντας της ισορροπίας;

Προσέξτε ότι ο Fe και το Fe_3O_4 είναι στερεά!

$$2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$$
$$3\mathbf{Fe(s)} + 4H_2O(g) \rightleftharpoons \mathbf{Fe_3O_4(s)} + 4H_2(g)$$

Στην ισορροπία αυτή, πώς μεταβάλλεται η θέση της, αν μειώσουμε τον όγκο του δοχείου, υπό σταθερή θερμοκρασία;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Παρατηρούμε ότι στη 2η ισορροπία δεν έχουμε μεταβολή του αριθμού των mol των αερίων: 4 mol $H_2O(g)$ έναντι 4 mol $H_2(g)$. Αντίθετα, στην 1η ισορροπία έχουμε 3 mol συνολικά αερίων στο πρώτο μέλος, έναντι 2 mol αερίων στο δεύτερο μέλος. Έτσι στην 1η ισορροπία η πίεση είναι παράγοντας της χημικής ισορροπίας και αν σε αυτή μειώσουμε τον όγκο του δοχείου, υπό σταθερή θερμοκρασία, η πίεση θα αυξηθεί και η θέση της ισορροπίας θα μετατοπιστεί προς τα δεξιά (λιγότερα mol αερίων).

Σημείωση: Στη 2η ισορροπία, η μείωση του όγκου του δοχείου απλώς θα αυξήσει τις συγκεντρώσεις των δύο αερίων χωρίς όμως να μεταβάλλει τις ποσότητές τους!

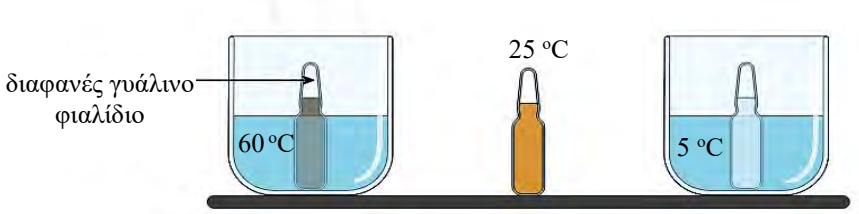
5. Η θερμοκρασία ως παράγοντας της χημικής ισορροπίας

Η αντίδραση προς τα δεξιά είναι ενδόθερμη ($\Delta H > 0$), ενώ αυτή προς τα αριστερά είναι εξώθερμη ($\Delta H < 0$)!
Το πρόσημο της ενθαλπίας σε μία αμφίδρομη αντίδραση αντιστοιχεί για την αντίδραση προς τα δεξιά.

Σε κλειστό φιαλίδιο σταθερού όγκου έχει αποκατασταθεί η ισορροπία:

$$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g),\ \Delta H > 0$$
(άχρωμο) (καστανό)

Παρατηρούμε ότι το περιεχόμενο του φιαλιδίου είναι σχεδόν διαφανές στους 5 °C, πιο σκούρο σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες και έντονα καστανό στους 60 °C!



Με άλλα λόγια, η αύξηση της θερμοκρασίας του συστήματος της χημικής ισορροπίας οδηγεί την αντίδραση προς τα δεξιά (παραγωγή επιπλέον ποσότητας NO_2) ενώ αντίστροφα η μείωση της θερμοκρασίας οδηγεί την αντίδραση προς τα αριστερά (μείωση της ποσότητας του NO_2 με ταυτόχρονη μείωση της έντασης του χρωματισμού).

Η αντίδραση προς τα δεξιά είναι εξώθερμη, ενώ αυτή προς τα αριστερά είναι ενδόθερμη (ΔH = +198 kJ)!

Τα πράγματα, όμως, είναι «ανάποδα» στη χημική ισορροπία:

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g),\ \Delta H = -198\ \text{kJ}$$

Στην περίπτωση αυτή παρατηρούμε ότι αν μειώσουμε τη θερμοκρασία της αντίδρασης η χημική ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά, ενώ αν αυξήσουμε τη θερμοκρασία της αντίδρασης η χημική ισορροπία μετατοπίζεται προς τα αριστερά. Πάντως και στην περίπτωση αυτή τα φαινόμενα εξηγούνται με βάση την αρχή Le Chatelier σύμφωνα με την οποία:

Η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί την ισορροπία προς την κατεύθυνση που απορροφάται θερμότητα (ενδόθερμη κατεύθυνση), ενώ η μείωση της θερμοκρασίας οδηγεί την ισορροπία προς την κατεύθυνση που εκλύεται θερμότητα (εξώθερμη κατεύθυνση).

Εφαρμογή 4





Τα ιόντα του δισθενούς κοβαλτίου, Co^{2+}, απαντώνται στα υδατικά τους διαλύματα με τη μορφή των συμπλόκων ιόντων, $[Co(H_2O)_6]^{2+}$ που έχουν ροζ χρώμα. Αν σε ένα τέτοιο διάλυμα προσθέσουμε ιόντα χλωρίου (π.χ. με τη μορφή NaCl) αποκαθίσταται η ισορροπία:

$$Co(H_2O)_6^{2+}(aq) + 4Cl^-(aq) \rightleftharpoons CoCl_4^{2-}(aq) + 6H_2O(\ell)$$

(ροζ) *(μπλε)*

Το διάλυμα της ισορροπίας στη συνηθισμένη θερμοκρασία είναι μπλε, ενώ αν ψυχθεί (π.χ. με πάγο) γίνεται ροζ. Να εξηγήσετε αν η αντίδραση προς τα δεξιά είναι ενδόθερμη ή εξώθερμη.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Παρατηρούμε ότι η μείωση της θερμοκρασίας οδηγεί την ισορροπία προς τα αριστερά. Άρα, η αντίδραση προς τα αριστερά θα είναι εξώθερμη και προς τα δεξιά ενδόθερμη.

6. Εισαγωγή αδρανούς αερίου σε μία χημική ισορροπία

Αδρανές αέριο (π.χ. ένα ευγενές αέριο, He, Ne, Ar κτλ.) είναι αυτό που δεν αντιδρά με κανένα από τα συστατικά μιας χημικής ισορροπίας. Η προσθήκη ενός τέτοιου αερίου σε ένα χημικό σύστημα σε ισορροπία μπορεί να προκαλέσει ή να μην προκαλέσει μετατόπιση της θέσης μιας ισορροπίας.

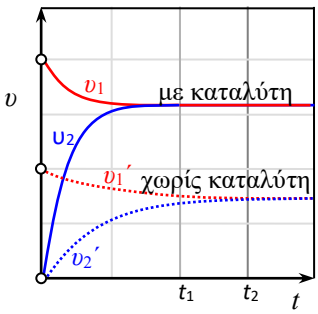
Ας θεωρήσουμε την ισορροπία: $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$. Διακρίνουμε τις εξής δύο περιπτώσεις:

1η περίπτωση: Το αδρανές αέριο (π.χ. το He) εισάγεται υπό σταθερό όγκο. Στην περίπτωση αυτή οι συγκεντρώσεις των συστατικών της χημικής ισορροπίας δε μεταβάλλονται, αν και η συνολική πίεση αυξάνεται (θυμηθείτε τι είπαμε παραπάνω για την πίεση ως παράγοντα μιας χημικής ισορροπίας: θα πρέπει να μεταβάλλεται με μεταβολή του όγκου!). Επομένως, **δεν** υπάρχει μετατόπιση στη θέση της χημικής ισορροπίας.

2η περίπτωση: Το αδρανές αέριο εισάγεται υπό σταθερή πίεση, οπότε έχουμε αύξηση όγκου. Και στην περίπτωση αυτή ο όγκος του δοχείου αυξάνεται, όλες οι συγκεντρώσεις μειώνονται και το σύστημα δεν είναι πια σε ισορροπία. Η χημική ισορροπία θα μετατοπιστεί προς την κατεύθυνση που παράγονται περισσότερα mol αερίων, δηλαδή στην περίπτωσή μας προς τα αριστερά, μέχρις ότου να αποκατασταθεί νέα χημική ισορροπία.

7. Επίδραση καταλύτη σε μία χημική ισορροπία

Η προσθήκη καταλύτη σε μία ισορροπία επιταχύνει την αντίδραση τόσο προς τα δεξιά όσο και προς τα αριστερά αλλά οι ποσότητες των αντιδρώντων και των προϊόντων στην ισορροπία παραμένουν αμετάβλητες. Με άλλα λόγια, η προσθήκη καταλύτη δεν μεταβάλλει τη θέση της ισορροπίας ούτε την απόδοση της αντίδρασης. Αυτά ισχύουν τόσο στην ομογενή όσο και στην ετερογενή κατάλυση.

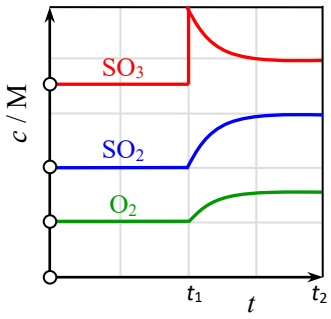


8. Αρχή Le Chatelier και διαγράμματα συγκεντρώσεων και ταχυτήτων - χρόνου

Θα εξετάσουμε τα διαγράμματα συγκέντρωσης - χρόνου καθώς και ταχύτητας - χρόνου σε σχέση με τις μεταβολές που επηρεάζουν τη θέση μιας χημικής ισορροπίας.

α) Μεταβολή της συγκέντρωσης αντιδρώντος ή προϊόντος. Ας υποθέσουμε ότι σε ένα δοχείο έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία που ακολουθεί.

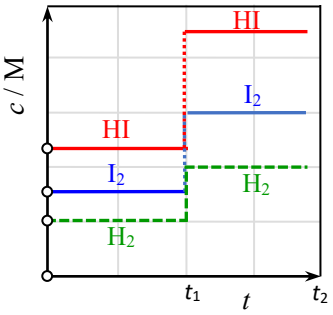
$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$$



Τη χρονική στιγμή t_1 προσθέτουμε επιπλέον ποσότητα $SO_3(g)$ χωρίς άλλη μεταβολή. Με βάση την αρχή Le Chatelier η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα αριστερά μέχρι την αποκατάσταση νέας χημικής ισορροπίας, από τη χρονική στιγμή t_2 και μετά, όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα. Προσέξτε ότι οι μεταβολές των συγκεντρώσεων των συστατικών της ισορροπίας αντιστοιχούν στους συντελεστές της αντίδρασης. Προσέξτε επίσης ότι η προσθήκη επιπλέον ποσότητας ενός αντιδρώντος ή προϊόντος υποδηλώνεται με την <u>απότομη</u> αύξηση της συγκέντρωσής του.

β) Μεταβολή της πίεσης. Σε ένα δοχείο έχει αποκατασταθεί η ισορροπία:

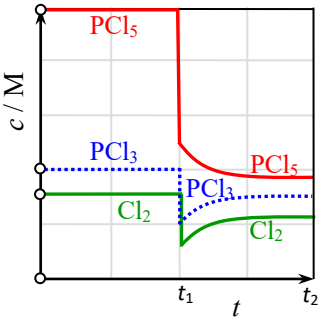
$$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$$



Τη χρονική στιγμή t_1 αυξάνουμε την πίεση στο δοχείο με υποδιπλασιασμό του όγκου του και χωρίς μεταβολή στη θερμοκρασία. Οι συγκεντρώσεις των συστατικών της αρχικής ισορροπίας αρχικά διπλασιάζονται απότομα (λόγω του υποδιπλασιασμού του όγκου) και καθώς η θέση της ισορροπίας δεν αλλάζει (τα mol των αερίων δεν μεταβάλλονται από τα αντιδρώντα στα προϊόντα) θα παραμείνουν έτσι. Προσέξτε ότι η αύξηση της πίεσης υποδηλώνεται από την αναλογική απότομη αύξηση των συγκεντρώσεων και των τριών συστατικών της ισορροπίας (αν και θα μπορούσαν να προστεθούν και κατάλληλες ποσότητες των τριών συστατικών).

Ας υποθέσουμε τώρα ότι σε ένα άλλο δοχείο έχει αποκατασταθεί η ισορροπία:

$$PCl_3(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons PCl_5(g)$$

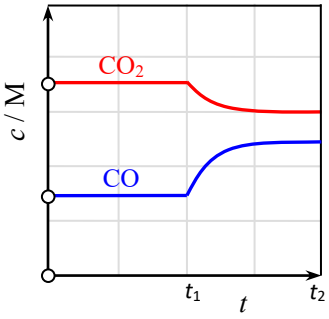


Τη χρονική στιγμή t_1 μειώνουμε απότομα την πίεση στο δοχείο με διπλασιασμό του όγκου του και χωρίς μεταβολή της θερμοκρασίας με αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις των τριών συστατικών να υποδιπλασιαστούν. Στη συνέχεια και σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα αριστερά οπότε οι συγκεντρώσεις του Cl_2 και του PCl_3 θα αυξηθούν και η συγκέντρωση του PCl_5 θα μειωθεί.

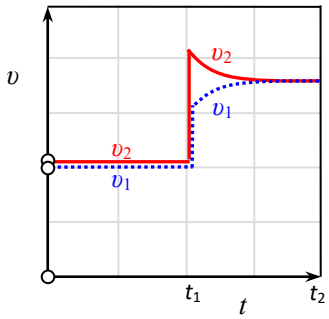
γ) Μεταβολή της θερμοκρασίας. Ας υποθέσουμε ότι σε ένα δοχείο έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία που ακολουθεί.

$$C(s) + CO_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g),\ \Delta H > 0$$

Τη χρονική στιγμή t_1 αυξάνουμε τη θερμοκρασία οπότε με βάση την αρχή Le Chatelier η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά μέχρι την αποκατάσταση νέας χημικής ισορροπίας, από τη χρονική στιγμή t_2 και μετά. Έτσι, η συγκέντρωση του CO θα αυξηθεί και του CO_2 θα μειωθεί, όπως φαίνεται στο διπλανό διάγραμμα. Σημειώστε ότι η ποσότητα του C(s) θα μειωθεί, αλλά η συγκέντρωσή του θεωρείται σταθερή.



δ) Διαγράμματα ταχυτήτων - χρόνου. Σε δοχείο όγκου V στο οποίο έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία, $A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2\Gamma(g)$, $\Delta H < 0$ αυξάνουμε τη θερμοκρασία. Πώς θα μεταβληθεί η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά (υ_1) και η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα αριστερά (υ_2) μέχρι τη νέα ισορροπία;



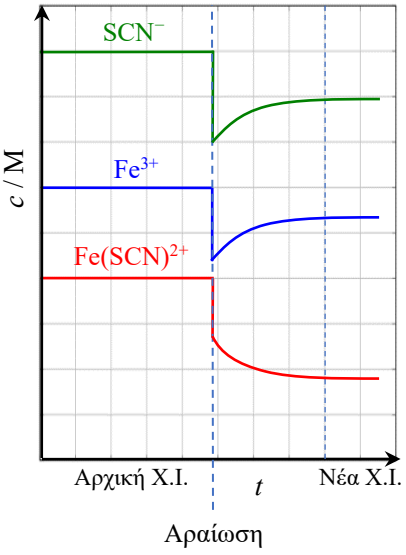
Στην αρχική ισορροπία η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά θα είναι ίση με την ταχύτητα της αντίδρασης προς τα αριστερά. Με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνονται και οι δύο ταχύτητες και προς τα δεξιά και προς τα αριστερά. Παράλληλα, η ισορροπία κατευθύνεται προς τα αριστερά, λόγω της αρχής Le Chatelier και επομένως η υ_2 θα πρέπει να αυξηθεί περισσότερο. Καθοδόν προς τη νέα ισορροπία η υ_2 μειώνεται και η υ_1 αυξάνεται ώστε στη νέα ισορροπία οι δύο ταχύτητες να γίνουν πάλι ίσες.

9. Μετατόπιση μιας χημικής ισορροπίας με αραίωση του διαλύματος

Η μετατόπιση της θέσης μιας χημικής ισορροπίας σε διάλυμα, π.χ. υδατικό, με την αραίωση του διαλύματος μοιάζει με την περίπτωση της μείωσης της πίεσης με αύξηση του όγκου του δοχείου σε ισορροπίες στις οποίες συμμετέχουν αέρια. Έτσι, με την αραίωση του διαλύματος υπό σταθερή θερμοκρασία ο όγκος του διαλύματος αυξάνεται και οι συγκεντρώσεις όλων των συστατικών της ισορροπίας μειώνονται απότομα. Και στην περίπτωση αυτή η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς την κατεύθυνση του μεγαλύτερου αριθμού διαλυμένων σωματιδίων. Έστω για παράδειγμα η ισορροπία:

$$Fe^{3+}(aq) + SCN^-(aq) \rightleftharpoons FeSCN^{2+}(aq)$$

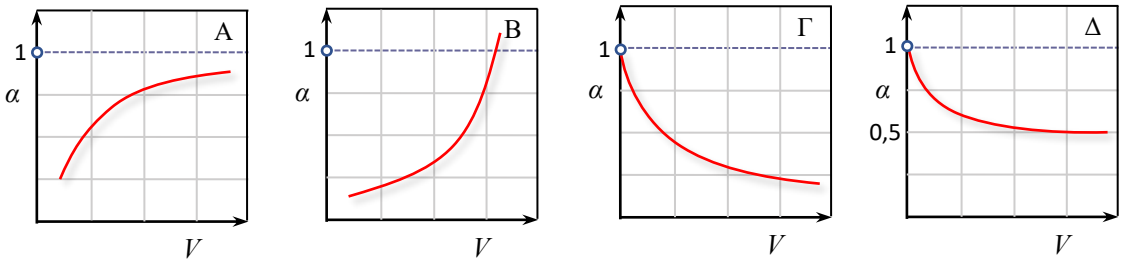
Με την αραίωση του διαλύματος, οι συγκεντρώσεις του $Fe^{3+}(aq)$, του $SCN^-(aq)$ και του $FeSCN^{2+}(aq)$ μειώνονται απότομα (και αναλογικά) οπότε σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα αριστερά, όπου είναι τα περισσότερα διαλυμένα σωματίδια (1 + 1 = 2, έναντι 1), μέχρι την αποκατάσταση νέας χημικής ισορροπίας. Το συνολικό φαινόμενο εμφανίζεται στο διπλανό διάγραμμα.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

1. Σε δοχείο όγκου V εισάγονται 2 mol A(g) **και αποκαθίσταται η χημική ισορροπία:** $A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$**, υπό σταθερή θερμοκρασία.**

α) Ποιο από τα διαγράμματα που ακολουθούν περιγράφει καλύτερα την απόδοση (α) της αντίδρασης ως συνάρτηση του όγκου του δοχείου;



β) Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Η επιλογή Α.

β) Με την αύξηση του όγκου του δοχείου μειώνεται η πίεση και σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier η ισορροπία οδεύει προς τα δεξιά (περισσότερα mol αερίων). Σχηματίζεται έτσι μεγαλύτερη ποσότητα προϊόντος και η απόδοση της αντίδρασης αυξάνεται. Στην καμπύλη Β ο συντελεστής απόδοσης ξεπερνάει την τιμή 1 (απορρίπτεται).

2. Έστω η ισορροπία που περιγράφεται από την εξίσωση:

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g),\ \Delta H = -47 \text{ kcal}$$

Ποια από τις επόμενες μεταβολές σε ένα μίγμα ισορροπίας SO_2, O_2 **και** SO_3 **θα προκαλέσει αύξηση της ποσότητας του** SO_3**; Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας.**

α) Αύξηση της θερμοκρασίας.

β) Ελάττωση του όγκου του δοχείου υπό σταθερή θερμοκρασία.

γ) Αφαίρεση ποσότητας O_2 **από το δοχείο (V, T σταθερά).**

δ) Προσθήκη αδρανούς (ευγενούς) αερίου, π.χ. He **(V, T σταθερά).**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Για να αυξηθεί η ποσότητα του SO_3 θα πρέπει η ισορροπία να μετατοπιστεί προς τα δεξιά.

α) Η αύξηση της θερμοκρασίας θα μετατοπίσει τη θέση της χημικής ισορροπίας προς τα αριστερά (προς την ενδόθερμη κατεύθυνση).

β) Η ελάττωση του όγκου του δοχείου υπό σταθερή θερμοκρασία θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης και τη μετατόπιση της θέσης της χημικής ισορροπίας προς τα δεξιά.

γ) Αφαίρεση ποσότητας O_2 από το δοχείο υπό σταθερό όγκο και υπό σταθερή θερμοκρασία θα οδηγήσει την ισορροπία προς τα αριστερά.

δ) Η προσθήκη αδρανούς αερίου υπό σταθερό όγκο και υπό σταθερή θερμοκρασία δεν θα μεταβάλλει τη θέση της χημικής ισορροπίας.

Επομένως, σωστή επιλογή είναι η β.

3. Σε δοχείο έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία με την εξίσωση που ακολουθεί, στην οποία συνυπάρχουν α mol $ClF_3(g)$, β mol $F_2(g)$ **και** γ mol $Cl_2(g)$**.**

$$2ClF_3(g) \rightleftharpoons 3F_2(g) + Cl_2(g),\ \Delta H > 0$$

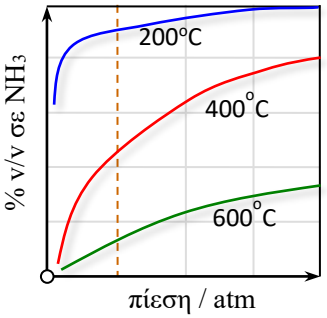
Με τη μείωση της θερμοκρασίας αποκαθίσταται νέα χημική ισορροπία στην οποία η ποσότητα του $ClF_3(g)$ **έχει μεταβληθεί κατά** 0,01 mol**.**
α) Ποιες θα είναι οι ποσότητες των τριών αερίων στη νέα ισορροπία;
1. ClF_3**:** (α + 0,01) mol**,** F_2**:** (β − 0,015) mol**,** Cl_2**:** (γ − 0,005 mol)
2. ClF_3**:** (α + 0,01) mol**,** F_2**:** (β − 0,01) mol**,** Cl_2**:** (γ – 0,01 mol)
3. ClF_3**:** (α − 0,01) mol**,** F_2**:** (β + 0,015) mol**,** Cl_2**:** (γ + 0,005 mol)
4. ClF_3**:** (α − 0,01) mol**,** F_2**:** (β + 0,01) mol**,** Cl_2**:** (γ + 0,01 mol)
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
α) Επιλογή 1.

β) Με τη μείωση της θερμοκρασίας και σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier η ισορροπία μετατοπίζεται προς την εξώθερμη κατεύθυνση, στην περίπτωση αυτή προς τα αριστερά. Έτσι, η ποσότητα του $ClF_3(g)$ αυξάνεται. Τα δεδομένα συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

mol	**$2ClF_3(g) \rightleftharpoons 3F_2(g) + Cl_2(g)$, $\Delta H > 0$**		
Αρχική Χ.Ι.	α	β	γ
Μείωση θερμοκρασίας	+0,01	–0,015	−0,005
Νέα Χ.Ι.	α + 0,01	β − 0,015	γ – 0,005

4. Σε δοχείο έχει αποκατασταθεί η ισορροπία: $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$**. Μετρήσαμε την** %v/v **περιεκτικότητα του μίγματος ισορροπίας σε** NH_3 **σε διάφορες πιέσεις και θερμοκρασίες και τα αποτελέσματα εμφανίζονται στο διπλανό διάγραμμα.**
Να εξηγήσετε το διάγραμμα σε σχέση:
α) Με τη θερμοκρασία, εξηγώντας αν η αντίδραση σχηματισμού της NH_3 **είναι εξώθερμη ή ενδόθερμη.**
β) Με την πίεση.



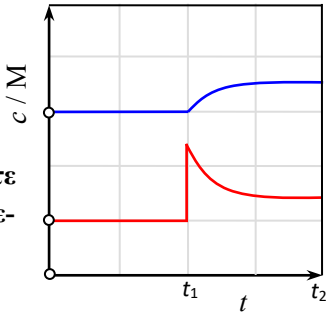
ΑΠΑΝΤΗΣΗ
α) Παρατηρούμε ότι στην ίδια πίεση, με την αύξηση της θερμοκρασίας η %v/v περιεκτικότητα του μίγματος ισορροπίας σε NH_3 μειώνεται που σημαίνει ότι η ισορροπία μετακινείται προς τα αριστερά. Σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier με την αύξηση της θερμοκρασίας η ισορροπία μετατοπίζεται προς την ενδόθερμη κατεύθυνση και επομένως η αντίδραση σχηματισμού της NH_3 θα πρέπει να είναι εξώθερμη ($\Delta H < 0$).

β) Στην ίδια θερμοκρασία, με την αύξηση της πίεσης η %v/v περιεκτικότητα του μίγματος ισορροπίας σε NH_3 αυξάνεται που σημαίνει ότι η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά. Πράγματι, σε μία ισορροπία στην οποία συμμετέχουν αέρια, η αύξηση της πίεσης μετατοπίζει την ισορροπία προς τα λιγότερα mol αερίων, στην προκειμένη περίπτωση προς τα δεξιά (1 + 3 > 2) σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier.

5. Σε δοχείο όγκου V, που βρίσκεται στους θ °C, περιέχονται x mol N_2O_4 **και** y mol NO_2 **σε κατάσταση ισορροπίας σύμφωνα με την εξίσωση:**

$$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g),\ \Delta H > 0$$

Τη χρονική στιγμή t_1 μεταβάλλεται ένας από τους συντελεστές της ισορροπίας, οπότε οι συγκεντρώσεις των δύο αερίων μεταβάλλονται σε συνάρτηση με το χρόνο σύμφωνα με το διπλανό διάγραμμα. Να εξηγήσετε ποιον από τους συντελεστές της χημικής ισορροπίας μεταβάλλαμε και με ποιο τρόπο (αύξηση ή μείωση).



ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Τη χρονική στιγμή t_1 η συγκέντρωση ενός από τα δύο συστατικά αυξάνεται ακαριαία. Άρα, προφανώς, αυξήσαμε τη συγκέντρωση του συστατικού αυτού. Το συστατικό αυτό θα πρέπει να είναι το NO_2 καθώς από τη χρονική στιγμή t_1 μέχρι τη χρονική στιγμή t_2, οπότε και αποκαθίσταται η νέα χημική ισορροπία, η μεταβολή στη συγκέντρωσή του είναι διπλάσια από τη μεταβολή της συγκέντρωσης του άλλου συστατικού (του N_2O_4).

Πράγματι. Αν στο δοχείο της αντίδρασης προσθέσουμε επιπλέον ποσότητα NO_2 η συγκέντρωσή του θα αυξηθεί και η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα αριστερά. Έτσι, μετά τη στιγμιαία αύξηση της $[NO_2]$ αυτή θα αρχίσει να μειώνεται μέχρι τη χρονική στιγμή t_2, οπότε και θα έχει αποκατασταθεί νέα ισορροπία. Βέβαια, σε όλη τη διάρκεια της αποκατάστασης της νέας ισορροπίας (από t_1 μέχρι t_2), η $[N_2O_4]$ θα αυξάνεται συνεχώς.

Ο συντελεστής στο NO_2 είναι 2, ενώ στο N_2O_4 είναι 1. Αυτό σημαίνει ότι η μεταβολή της συγκέντρωσης του NO_2 (αύξηση ή μείωση) θα είναι διπλάσια από τη μεταβολή στη συγκέντρωση του N_2O_4 (μείωση ή αύξηση). Και αυτό ανεξάρτητα αν η ισορροπία μετατοπίζεται δεξιά ή αριστερά.

6. Σε δύο διαφορετικά δοχεία Δ_1 και Δ_2 με όγκους V_1 και V_2, αντίστοιχα, έχουν αποκατασταθεί οι ισορροπίες:

$$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g) \quad \textbf{και} \quad N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$

Η ολική πίεση έχει και στα δύο συστήματα έχει την ίδια τιμή P. Αν διπλασιάσουμε τους όγκους και των δύο δοχείων, διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία, για τις τελικές πιέσεις P_1 και P_2, μετά την αποκατάσταση των νέων ισορροπιών στα δύο δοχεία Δ_1 και Δ_2 αντίστοιχα, θα ισχύει:

Α) $P_1 = P/2$ **και** $P/2 < P_2 < P$ **Β)** $P_1 = P$ **και** $P_2 > P/2$

Γ) $P_1 = P_2 = P/2$ **Δ)** $P_1 = P_2 = P$

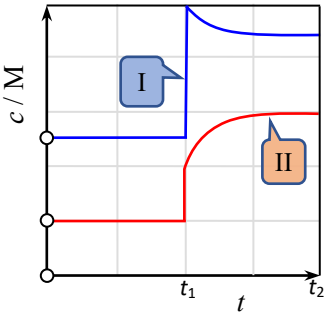
ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Η πρώτη ισορροπία δεν επηρεάζεται από τη μεταβολή της πίεσης καθώς ο αριθμός των mol των αερίων δεξιά και αριστερά είναι ο ίδιος. Αν στην ισορροπία αυτή διπλασιάσουμε τον όγκο του δοχείου υπό σταθερή τη θερμοκρασία, η πίεση από P θα γίνει ακαριαία $P/2$, αλλά καθώς η ισορροπία δε μετατοπίζεται θα παραμείνει στην τιμή αυτή.

Τα πράγματα είναι διαφορετικά για τη δεύτερη ισορροπία. Αν στην ισορροπία αυτή διπλασιάσουμε τον όγκο του δοχείου, υπό σταθερή θερμοκρασία, πάλι η πίεση από P θα γίνει ακαριαία $P/2$. Αλλά η μείωση της πίεσης θα οδηγήσει την ισορροπία προς τα αριστερά (προς τα περισσότερα mol αερίων). Έτσι, στο νέο όγκο $2V_2$ τα συνολικά mol θα αυξάνονται συνεχώς μέχρι να αποκατασταθεί νέα χημική ισορροπία, οπότε και η τελική πίεση θα είναι μεγαλύτερη από $P/2$. Καθώς, όμως, η μεταβολή τείνει να αναιρεθεί, η πίεση δεν πρόκειται να φθάσει ποτέ την αρχική τιμή P. Με άλλα λόγια, σωστή είναι η επιλογή Α.

7. Σε δοχείο έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία:

$$A(s) + 2B(g) \rightleftharpoons 2\Gamma(g) + \Delta(g),\ \Delta H > 0$$



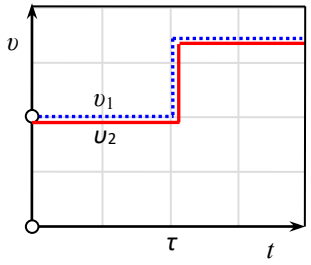
Τη χρονική στιγμή t_1 μεταβάλλουμε έναν παράγοντα της χημικής ισορροπίας και αποκαθίσταται νέα χημική ισορροπία από τη χρονική στιγμή t_2 και μετά. Στο διπλανό γράφημα αποδίδονται οι μεταβολές των συγκεντρώσεων για δύο από τα τέσσερα σώματα της ισορροπίας.
α) Ποια μεταβολή έγινε στο σύστημα της ισορροπίας τη χρονική στιγμή t_1;
i. Εισαγωγή καταλύτη
ii. Μείωση του όγκου του δοχείου υπό σταθερή θερμοκρασία
iii. Αύξηση της θερμοκρασίας
iv. Εισαγωγή επιπλέον ποσότητας B(g)
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας αναφέροντας σε ποια σώματα αντιστοιχούν οι καμπύλες I **και** II**.**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
α) Επιλογή ii.

β) Αρχικά με τη μείωση του όγκου οι συγκεντρώσεις των B(g), Γ(g) και Δ(g) αυξάνονται απότομα. Στη συνέχεια και σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier, η ισορροπία οδεύει προς τα αριστερά (λιγότερα mol αερίων) και επομένως οι συγκεντρώσεις των Γ(g) και Δ(g) μειώνονται ενώ η συγκέντρωση του B(g) αυξάνεται. Καθώς η αύξηση της [B] πρέπει να είναι διπλάσια από τη μείωση της [Δ] και ίση με τη μείωση της [Γ] η καμπύλη I θα αντιστοιχεί στο Δ(g) και η καμπύλη II στο B(g). Το A είναι στερεό και επομένως η συγκέντρωσή του θεωρείται σταθερή.

8. Σε δοχείο σε κατάλληλη θερμοκρασία έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία:

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g),\ \Delta H < 0$$



Στο διπλανό διάγραμμα εμφανίζονται η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά (υ_1) και η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα αριστερά (υ_2) σε σχέση με το χρόνο.
α) Ποιο το είδος της μεταβολής που μπορεί να έγινε τη χρονική στιγμή τ;
i. Αύξηση της θερμοκρασίας (V = σταθερό)
ii. Αύξηση του όγκου του δοχείου (T = σταθερή)
iii. Προσθήκη κατάλληλου καταλύτη
iv. Προσθήκη επιπλέον ποσότητας $N_2(g)$ **(V,T = σταθερά)**
β) Να επιλέξετε την σωστή απάντηση και να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
α) Επιλογή iii.

β) Ο καταλύτης αυξάνει και τις δύο αντίθετης φοράς αντιδράσεις το ίδιο ώστε να μην μετατοπιστεί η θέση της χημικής ισορροπίας (ο καταλύτης δεν είναι παράγοντας της χημικής ισορροπίας).

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

14.1. Η ένωση $Ni(CO)_4(g)$ σχηματίζεται με βάση την αντίδραση που ακολουθεί και χρησιμοποιείται στην παραγωγή καθαρού Ni.

$$Ni(s) + 4CO(g) \rightleftharpoons Ni(CO)_4(g),\ \Delta H < 0$$

Το σύστημα της ισορροπίας έχει $\theta = 200\ ^\circ C$. Ποια από τις παρακάτω μεταβολές δεν επηρεάζει τη θέση της ισορροπίας;
Α) Προσθήκη επιπλέον ποσότητας Ni(s)
Β) Προσθήκη επιπλέον ποσότητας $Ni(CO)_4(g)$
Γ) Αύξηση της θερμοκρασίας στους 250 °C
Δ) Μείωση του όγκου του δοχείου

14.2. Σε δοχείο έχει αποκατασταθεί η ισορροπία:

$$3Fe(s) + 4H_2O(g) \rightleftharpoons Fe_3O_4(s) + 4H_2(g),\ \Delta H < 0$$

Ποια από τις παρακάτω μεταβολές έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ποσότητας του H_2 που περιέχεται στο δοχείο;
Α) Η αύξηση της πίεσης Β) Η αύξηση της θερμοκρασίας
Γ) Η εισαγωγή υδρατμών Δ) Η προσθήκη καταλύτη

14.3. Σε δοχείο έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία:

$$N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$$

Με την αύξηση του όγκου του δοχείου υπό σταθερή θερμοκρασία:
Α) δεν μετατοπίζεται η θέση της χημικής ισορροπίας
Β) η χημική ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά
Γ) η χημική ισορροπία μετατοπίζεται προς τα αριστερά
Δ) αυξάνεται ο αριθμός mol του NO(g)

14.4. Σε δοχείο σταθερού όγκου έχει αποκατασταθεί η ισορροπία: $3Fe(s) + 4H_2O(g) \rightleftharpoons Fe_3O_4(s) + 4H_2(g),\ \Delta H < 0$
Αν αυξήσουμε τη θερμοκρασία:
i. Ο συνολικός αριθμός των mol των αερίων:
Α) θα αυξηθεί Β) δεν θα μεταβληθεί Γ) θα μειωθεί
Δ) εξαρτάται από την απόδοση της αντίδρασης
ii. Πώς θα μεταβληθεί η ολική πίεση στο δοχείο;
Α) Θα αυξηθεί Β) Θα μειωθεί Γ) Δεν θα μεταβληθεί
Δ) Δεν μπορούμε να γνωρίζουμε αν και πώς θα μεταβληθεί

14.5. Σε δοχείο σταθερού όγκου έχει αποκατασταθεί η ισορροπία: $4HCl(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2H_2O(g) + 2Cl_2(g),\ \Delta H < 0$.
Προσθέτουμε ποσότητα Cl_2 μειώνοντας παράλληλα τη θερμοκρασία του συστήματος. Πώς θα μεταβληθεί η συγκέντρωση του HCl;
Α) Θα αυξηθεί Β) Θα μειωθεί
Γ) Δε θα μεταβληθεί Δ) Δε μπορούμε να ξέρουμε

14.6. Σε ποια από τις ισορροπίες που ακολουθούν η μείωση του όγκου του δοχείου υπό σταθερή θερμοκρασία αυξάνει την απόδοση της αντίδρασης;
Α) $C(s) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2(g)$
Β) $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$
Γ) $4NH_3(g) + 5O_2(g) \rightleftharpoons 4NO(g) + 6H_2O(g)$
Δ) $3O_2(g) \rightleftharpoons 2O_3(g)$

14.7. Για την ισορροπία που ακολουθεί,

$$4NH_3(g) + 3O_2(g) \rightleftharpoons 2N_2(g) + 6H_2O(g),\ \Delta H = -1268\ kJ$$

ποια μεταβολή θα μετατοπίσει την ισορροπία προς τα δεξιά;
Α) Αύξηση της θερμοκρασίας.
Β) Μείωση του όγκου του δοχείου της αντίδρασης υπό σταθερή θερμοκρασία
Γ) Προσθήκη καταλύτη
Δ) Απομάκρυνση ποσότητας του $H_2O(g)$ (με προσθήκη αφυδατικής ουσίας)

14.8. Σε δοχείο σταθερού όγκου έχει αποκατασταθεί η ισορροπία: $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g),\ \Delta H < 0$. Ποια από τις ακόλουθες μεταβολές θα προξενήσει αύξηση της συγκέντρωσης του SO_2;
Α) Προσθήκη επιπλέον ποσότητας O_2
Β) Προσθήκη επιπλέον ποσότητας SO_3
Γ) Απομάκρυνση με κατάλληλο τρόπο ποσότητας SO_3
Δ) Μείωση της θερμοκρασίας

14.9. Ο αιθανικός μεθυλεστέρας υδρολύεται ως εξής:
$CH_3COOCH_3(\ell) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons CH_3COOH(\ell) + CH_3OH(\ell),\ \Delta H = +3\ kJ$. Ποιος από τους τρόπους που ακολουθούν μπορεί να αυξήσει την ποσότητα του $CH_3COOH(\ell)$ στην ισορροπία;
Α) Μείωση της θερμοκρασίας
Β) Προσθήκη επιπλέον ποσότητας $H_2O(\ell)$
Γ) Προσθήκη επιπλέον ποσότητας $CH_3OH(\ell)$
Δ) Προσθήκη κατάλληλου καταλύτη, π.χ. H_2SO_4

14.10. Με την προσθήκη καταλύτη σε μια αμφίδρομη χημική αντίδραση:
Α) αυξάνεται η ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης
Β) αυξάνεται η ταχύτητα της αντίδρασης και προς τις δύο κατευθύνσεις
Γ) αυξάνεται η ταχύτητα της αντίδρασης μόνο προς τη μία κατεύθυνση
Δ) αυξάνεται η απόδοση της αντίδρασης [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

14.11. Για την ισορροπία,

$$Ag^+(aq) + Fe^{2+}(aq) \rightleftharpoons Ag(s) + Fe^{3+}(aq),\ \Delta H < 0,$$

ποια από τις μεταβολές που ακολουθούν θα έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό μεγαλύτερης ποσότητας Ag(s);
Α) Αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων Fe^{2+}
Β) Αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων Fe^{3+}
Γ) Αύξηση της θερμοκρασίας του διαλύματος
Δ) Απομάκρυνση μέρους της ποσότητας του Ag(s)

14.12. Το πρώτο βήμα της βιομηχανικής παρασκευής του HNO_3 περιλαμβάνει την εξώθερμη αντίδραση της NH_3 με το O_2, στους 900 °C, παρουσία καταλύτη:

$$4NH_3(g) + 5O_2(g) \rightleftharpoons 4NO(g) + 6H_2O(g)$$

Ποια από τις ακόλουθες ενέργειες οδηγεί σε αύξηση της απόδοσης παραγωγής του NO;
Α) Αύξηση της πίεσης
Β) Χρήση περίσσειας O_2
Γ) Αύξηση της θερμοκρασίας
Δ) Προσθήκη ποσότητας ευγενούς αερίου, π.χ. He, υπό σταθερό όγκο και υπό σταθερή θερμοκρασία

14.13. Σε δοχείο βρίσκονται 4 mol $N_2(g)$, 2,5 mol $H_2(g)$ και 4 mol $NH_3(g)$ σε χημική ισορροπία σύμφωνα με την εξίσωση που ακολουθεί.

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g),\ \Delta H < 0$$

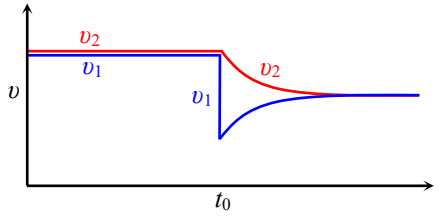
Ποια από τις παρακάτω μεταβολές έχει πραγματοποιηθεί ώστε στην νέα ισορροπία να υπάρχουν 6 mol $NH_3(g)$;
Α) Μείωση του όγκου του δοχείου με σταθερή θερμοκρασία
Β) Μείωση της θερμοκρασίας του συστήματος
Γ) Προσθήκη κατάλληλης επιπλέον ποσότητας $H_2(g)$ χωρίς αλλαγή στον όγκο και στη θερμοκρασία
Δ) Οποιαδήποτε από τις παραπάνω τρεις μεταβολές

14.14. Σε δοχείο όγκου V στο οποίο έχει αποκατασταθεί η ισορροπία, $A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2\Gamma(g)$, $\Delta H < 0$ αυξάνουμε τη θερμοκρασία. Πώς θα μεταβληθεί η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά (υ_1) και η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα αριστερά (υ_2) αμέσως μετά την αύξηση της θερμοκρασίας;
Α) Αυξάνονται και οι δύο ταχύτητες αλλά η υ_1 αυξάνεται περισσότερο από τη υ_2
Β) Αυξάνονται και οι δύο ταχύτητες αλλά η υ_2 αυξάνεται περισσότερο από τη υ_1
Γ) Η υ_1 αυξάνεται αλλά η υ_2 μειώνεται
Δ) Η υ_2 αυξάνεται αλλά η υ_1 μειώνεται

14.15. Σε δοχείο έχει αποκατασταθεί η ισορροπία:

$$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$$

Τη χρονική στιγμή t_0 πραγματοποιείται στο σύστημα μία μεταβολή και με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται μία νέα ισορροπία. Η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά (υ_1) και η ταχύτητα προς τα αριστερά (υ_2) σε σχέση με το χρόνο εμφανίζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί.

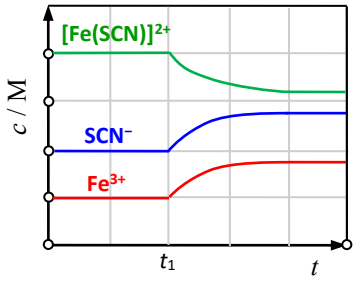


Ποια από τις παρακάτω μεταβολές έγινε τη στιγμή t_0;
Α) Προσθήκη καταλύτη
Β) Απομάκρυνση ποσότητας $H_2(g)$
Γ) Αύξηση του όγκου του δοχείου
Δ) Μείωση της θερμοκρασίας

14.16. Το διάγραμμα που ακολουθεί αναφέρεται στη χημική ισορροπία:

$$Fe^{3+}(aq) + SCN^-(aq) \rightleftharpoons [Fe(SCN)]^{2+}(aq),\ \Delta H > 0$$

Ποια από τις παρακάτω μεταβολές έγινε τη χρονική στιγμή t_1 στο σύστημα της ισορροπίας;
Α) Προσθήκη επιπλέον ιόντων $Fe^{3+}(aq)$
Β) Μείωση της θερμοκρασίας



Γ) Απομάκρυνση ποσότητας ιόντων $[Fe(SCN)]^{2+}(aq)$ από την ισορροπία
Δ) Αύξηση της πίεσης, υπό σταθερή θερμοκρασία

14.17. Σε υδατικό διάλυμα έχει αποκατασταθεί η ισορροπία:

$$Ca(OH)_2(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + 2OH^-(aq),\ \Delta H < 0$$

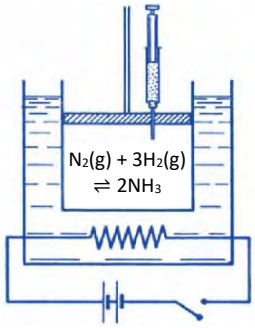
Αν το διάλυμα θερμανθεί, τι από τα παρακάτω θα ισχύει;
Α) Η ποσότητα του $Ca(OH)_2(s)$ θα παραμείνει αναλλοίωτη
Β) Η ποσότητα του $Ca(OH)_2(s)$ θα αυξηθεί
Γ) Η ποσότητα του $Ca(OH)_2(s)$ θα μειωθεί
Δ) Η ποσότητα του $Ca(OH)_2(s)$ θα διαλυθεί πλήρως

14.18. Σε δοχείο έχει αποκατασταθεί η ισορροπία:

$$2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$$

Αν το μίγμα της ισορροπίας παρουσιάζει σκοτεινότερο χρώμα σε υψηλές θερμοκρασίες και σε χαμηλές πιέσεις, ποια από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστή;
Α) Η αντίδραση είναι εξώθερμη προς τα δεξιά και το NO_2 έχει σκοτεινότερο χρώμα από το N_2O_4
Β) Η αντίδραση είναι εξώθερμη προς τα δεξιά και το N_2O_4 έχει σκοτεινότερο χρώμα από το NO_2
Γ) Η αντίδραση είναι ενδόθερμη προς τα δεξιά και το NO_2 έχει σκοτεινότερο χρώμα από το N_2O_4
Δ) Η αντίδραση είναι ενδόθερμη προς τα δεξιά και το N_2O_4 έχει σκοτεινότερο χρώμα από το NO_2

14.19. Στο δοχείο του σχήματος έχει αποκατασταθεί η ισορροπία, $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$. Η θερμοκρασία του δοχείου διατηρείται σταθερή με τη βοήθεια θερμοστάτη που ρυθμίζει τη θερμοκρασία του νερού που περιβάλλει το δοχείο. Αν με τη σύριγγα εισάγουμε στο δοχείο μικρή ποσότητα νερού (η NH_3 είναι πολύ διαλυτή στο νερό) με σταθερή τη θέση του εμβόλου:



Α) θα αυξηθεί η ποσότητα του $H_2(g)$ και του $N_2(g)$
Β) η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα δεξιά
Γ) η ισορροπία δεν επηρεάζεται
Δ) η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα αριστερά

14.20. Σε δοχείο έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία:

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g),$$

Το μίγμα των 3 αερίων ασκεί πίεση 50 atm. Αν διπλασιάσουμε τον όγκο του δοχείου, υπό σταθερή τη θερμοκρασία, η τελική πίεση στο δοχείο μπορεί να έχει την τιμή:
Α) 50 atm Β) 100 atm Γ) 25 atm Δ) 40 atm

14.21. Σε δοχείο μεταβλητού όγκου έχει αποκατασταθεί, σε θερμοκρασία T, η ισορροπία: $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$. Η συγκέντρωση του $PCl_5(g)$ στο δοχείο είναι ίση με 0,4 M. Διπλασιάζουμε τον όγκο του δοχείου, υπό σταθερή θερμοκρασία. Στη νέα χημική ισορροπία που θα αποκατασταθεί, η συγκέντρωση του $PCl_5(g)$ μπορεί να είναι ίση με:
Α) 0,18 M Β) 0,24 M Γ) 0,4 M Δ) 0,6 M

14.22. Να αιτιολογήσετε αν οι προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές ή όχι.
α) Αν σε ένα δοχείο μεταβλητού όγκου, όπου έχει αποκατασταθεί η ισορροπία: $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$, $\Delta H > 0$, διπλασιάσουμε τον όγκο του δοχείου, υπό σταθερή θερμοκρασία, η ολική πίεση δε μεταβάλλεται ενώ η ποσότητα του NO αυξάνεται.
β) Αν διπλασιάσουμε τον όγκο του δοχείου, στο οποίο έχει αποκατασταθεί η ισορροπία:

$$CO(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2(g),$$

τότε η τελική $[CO_2]$ θα έχει υποδιπλασιαστεί σε σχέση με την αρχική.
γ) Αν σε δοχείο σταθερού όγκου στο οποίο έχει αποκατασταθεί η ισορροπία, $H_2O(\ell) \rightleftharpoons H_2O(g)$, ελαττώσουμε τη θερμοκρασία, η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά.
δ) Η προσθήκη καταλύτη αυξάνει την απόδοση της εξώθερμης αντίδρασης.
ε) Αν σε δοχείο όγκου V όπου έχει αποκατασταθεί η ισορροπία: $COCl_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + Cl_2(g)$, αυξήσουμε τον όγκο σε $2V$, η ολική πίεση των αερίων στη νέα ισορροπία θα έχει υποδιπλασιαστεί.
στ) Αν αυξήσουμε τη θερμοκρασία της χημικής ισορροπίας: $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$, $\Delta H = 180$ kJ η απόδοση του σχηματισμού του NO(g) θα αυξηθεί.
ζ) Μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας, $2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$, $\Delta H < 0$ σε καθορισμένες συνθήκες, δεν εκλύεται συνολικά ούτε απορροφάται ποσό θερμότητας από και προς το περιβάλλον.

14.23. Σε δοχείο σταθερού όγκου έχει αποκατασταθεί στους θ °C η χημική ισορροπία που ακολουθεί.

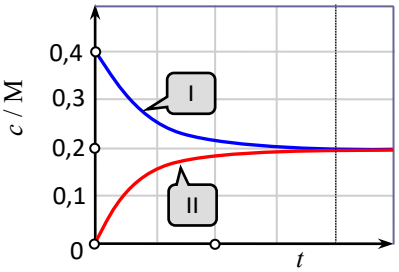
$$CO_2(g) + NO(g) \rightleftharpoons CO(g) + NO_2(g),\ \Delta H = 226 \text{ kJ}$$

Η ποσότητα του NO(g) στην κατάσταση της ισορροπίας είναι n_0 mol. Επιφέρουμε στο μίγμα ισορροπίας κάθε μία από τις παρακάτω μεταβολές, οπότε οι ποσότητες σε mol του NO στις νέες ισορροπίες που θα αποκατασταθούν είναι αντίστοιχα, n_1, n_2, n_3, n_4 και n_5 mol.
α) Προσθέτουμε 0,2 mol CO (θ = σταθερή).
β) Προσθέτουμε 0,6 mol CO_2(g) (θ = σταθερή).
γ) Προσθέτουμε 0,5 mol CO (θ = σταθερή).
δ) Προσθέτουμε 0,6 mol CO_2(g) και παράλληλα αυξάνουμε τη θερμοκρασία.
ε) Προσθέτουμε 0,5 mol CO και παράλληλα ελαττώνουμε τη θερμοκρασία.
Να διατάξετε τις ποσότητες n_o, n_1, n_2, n_3, n_4 και n_5 κατ' αύξουσα σειρά.

14.24. Σε κλειστό δοχείο πραγματοποιείται η αντίδραση:

$$\lambda A(g) + B(s) \rightleftharpoons 2\Gamma(g),\ \Delta H > 0$$

Παρατηρήθηκε ότι από την έναρξη της αντίδρασης μέχρι την αποκατάσταση της ισορροπίας απορροφήθηκε ποσό θερμότητας q.
α) Η ισορροπία αυτή είναι ομογενής ή ετερογενής; Ποια καμπύλη του διαγράμματος που ακολουθεί αντιστοιχεί σε ποιο σώμα; Ποια η τιμή του συντελεστή λ για το σώμα Α;

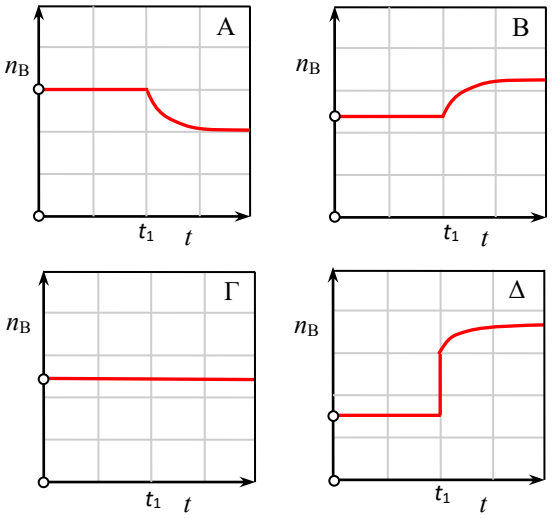


β) Πώς θα μεταβληθεί η θέση της παραπάνω ισορροπίας με:
i. Αύξηση της θερμοκρασίας του συστήματος, υπό σταθερό όγκο.
ii. Μείωση του όγκου του δοχείου, υπό σταθερή θερμοκρασία.

14.25. Σε δοχείο εισάγεται ποσότητα A(g) που διασπάται και αποκαθίσταται η χημική ισορροπία που ακολουθεί.

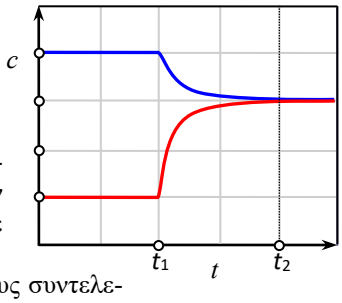
$$2A(g) \rightleftharpoons B(s) + \Gamma(g)$$

Τη χρονική στιγμή t_1 υποδιπλασιάζουμε τον όγκο του δοχείου υπό σταθερή θερμοκρασία και από τη στιγμή t_2 και μετά αποκαθίσταται νέα ισορροπία στην ίδια θερμοκρασία.
α) Ποιο από τα διαγράμματα που ακολουθούν αποδίδει τη μεταβολή των mol του σώματος B(s) σε σχέση με το χρόνο;



β) Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

14.26. Σε δοχείο όγκου V έχει αποκατασταθεί στους θ °C η χημική ισορροπία: $2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$, $\Delta H < 0$. Τη χρονική στιγμή t_1 μεταβάλλεται ένας από τους συντελεστές της ισορροπίας και από τη στιγμή t_2 και μετά αποκαθίσταται νέα ισορροπία. Στο διπλανό διάγραμμα εμφανίζονται οι συγκεντρώσεις των δύο αερίων της ισορροπίας σε σχέση με το χρόνο.



Να εξηγήσετε, ποιον από τους συντελεστές της χημικής ισορροπίας μεταβάλλαμε και με ποιο τρόπο.

14.27. Ποσότητα HI(g) εισάγεται σε δοχείο σταθερού όγκου με ισομοριακή ποσότητα αέριας NH_3, οπότε αποκαθίσταται σε ορισμένη θερμοκρασία η ισορροπία που ακολουθεί.

$$NH_3(g) + HI(g) \rightleftharpoons NH_4I(s)$$

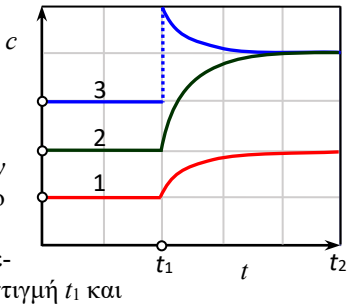
α) Πώς μεταβάλλεται η θέση της χημικής ισορροπίας, αν αφαιρεθεί μικρή ποσότητα στερεού NH_4I; Θεωρούμε ότι ο όγκος που καταλαμβάνει το αέριο μίγμα στο δοχείο και η θερμοκρασία δεν μεταβάλλονται με την απομάκρυνση του στερεού NH_4I.
β) Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

14.28. Σε δοχείο έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία:

$$C(s) + CO_2(g) \underset{\upsilon_2}{\overset{\upsilon_1}{\rightleftharpoons}} 2CO(g)$$

α) Με την αύξηση του όγκου του δοχείου, υπό σταθερή θερμοκρασία και μέχρι την αποκατάσταση της νέας ισορροπίας:
i. η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά (υ_1) θα είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα προς τα αριστερά (υ_2)
ii. οι δύο αντίθετης φοράς ταχύτητες δεν θα μεταβληθούν
iii. η ποσότητα του C(s) δεν θα μεταβληθεί
iv. η ποσότητα C(s) αυξάνεται
β) Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

14.29. Σε δοχείο έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία: $A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons \Gamma(g)$, $\Delta H > 0$.



Τη χρονική στιγμή t_1 μεταβάλλεται ένας παράγοντας και αποκαθίσταται νέα ισορροπία από τη στιγμή t_2 και μετά. Οι συγκεντρώσεις των τριών σωμάτων σε σχέση με το χρόνο εμφανίζονται δίπλα.
α) Να εξηγήσετε το είδος της μεταβολής που έγινε τη χρονική στιγμή t_1 και να αντιστοιχήσετε τις καμπύλες συγκεντρώσεων 1, 2 και 3 με τα σώματα A(g), B(g) και Γ(g).
β) Πώς θα μεταβαλλόταν η θέση της ισορροπίας: i. με αύξηση της θερμοκρασίας, υπό σταθερό όγκο και ii. με αύξηση του όγκου υπό σταθερή θερμοκρασία.

14.30. Σε δοχείο με έμβολο περιέχονται α mol PCl_5, β mol PCl_3 και γ mol Cl_2 σε κατάσταση χημικής ισορροπίας:

$$PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g), \Delta H > 0.$$

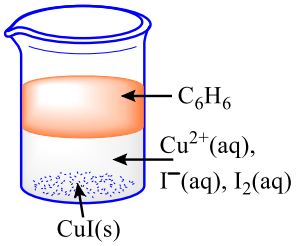
α) Προς ποια κατεύθυνση μετατοπίζεται η ισορροπία, αν:
i. Αυξηθεί η θερμοκρασία υπό σταθερό όγκο.
ii. Αυξηθεί ο όγκος του δοχείου, με σταθερή θερμοκρασία.
β) Σε άλλο δοχείο σταθερού όγκου εισάγεται μίγμα $PCl_5(g)$, $PCl_3(g)$ και $Cl_2(g)$ υπό σταθερή θερμοκρασία. Παρατηρείται ότι η ολική πίεση στο δοχείο αυξάνεται συνεχώς μέχρι μια ορισμένη τιμή και στη συνέχεια παραμένει σταθερή. Να ερμηνεύσετε τα πειραματικά αυτά δεδομένα.

14.31. Σε δοχείο περιέχονται σε κατάσταση χημικής ισορροπίας 2 mol A(g), β mol B(g) και γ mol Γ(g) σύμφωνα με τη χημική εξίσωση: $2A(g) \rightleftharpoons 2B(g) + \Gamma(g)$, $\Delta H < 0$. Με μεταβολή ενός παράγοντα της ισορροπίας αποκαθίσταται νέα ισορροπία στην οποία προσδιορίζονται 3 mol A(g).
α) Ποια από τις παρακάτω μεταβολές έχει πραγματοποιηθεί;
i. Προσθήκη επιπλέον 0,8 mol Γ(g) χωρίς άλλη μεταβολή
ii. Προσθήκη επιπλέον 0,8 mol B(g) χωρίς άλλη μεταβολή
iii. Μείωση της θερμοκρασίας χωρίς άλλη μεταβολή
iv. Αύξηση του όγκου του δοχείου χωρίς άλλη μεταβολή
β) Να αιτιολογήσετε την ισχύ της επιλογής σας καθώς και γιατί δεν ισχύουν οι άλλες επιλογές.

14.32. Στη φιάλη του σχήματος έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία (1):

$$2Cu^{2+}(aq) + 4I^-(aq) \rightleftharpoons 2CuI(s) + I_2(aq)$$

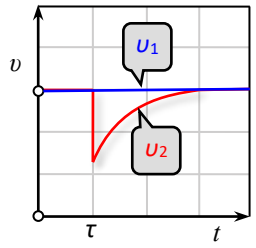
Στη φιάλη προστίθεται ποσότητα βενζολίου, C_6H_6, ένα υγρό αδιάλυτο στο νερό που σχηματίζει μία στιβάδα πάνω από την υδατική και το οποίο διαλύει επιλεκτικά μόνο το I_2 από τα συστατικά της ισορροπίας. Με την προσθήκη του C_6H_6 και την ανακίνηση της φιάλης η στιβάδα του C_6H_6 γίνεται κόκκινη (λόγω μεταφοράς ποσότητας I_2 από την υδατική φάση) ενώ στην υδατική φάση αποκαθίσταται νέα ισορροπία στην οποία υπάρχει:



Α) μεγαλύτερη $[Cu^{2+}(aq)]$ αλλά μικρότερη ποσότητα CuI(s)
Β) μικρότερη $[Cu^{2+}(aq)]$ αλλά η ίδια ποσότητα CuI(s)
Γ) μικρότερη $[Cu^{2+}(aq)]$ αλλά μεγαλύτερη ποσότητα CuI(s)
Δ) μεγαλύτερη $[Cu^{2+}(aq)]$ αλλά η ίδια ποσότητα CuI(s)
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

14.33. Ποσότητα $PbI_2(s)$ προστίθεται σε φιάλη με νερό και αποκαθίσταται η ισορροπία:

$$PbI_2(s) \underset{\upsilon_2}{\overset{\upsilon_1}{\rightleftharpoons}} Pb^{2+}(aq) + 2I^-(aq)$$



Οι δύο αντίθετης φοράς ταχύτητες (υ_1 και υ_2) σε σχέση με το χρόνο εμφανίζονται στο διπλανό διάγραμμα.
Τι συνέβη τη χρονική στιγμή τ;
1. Μειώθηκε η θερμοκρασία του περιεχομένου της φιάλης
2. Διαλύθηκε μικρή ποσότητα $Pb(NO_3)_2$
3. Απομακρύνθηκε μικρή ποσότητα $PbI_2(s)$
4. Προστέθηκε μικρή ποσότητα επιπλέον νερού στη φιάλη
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

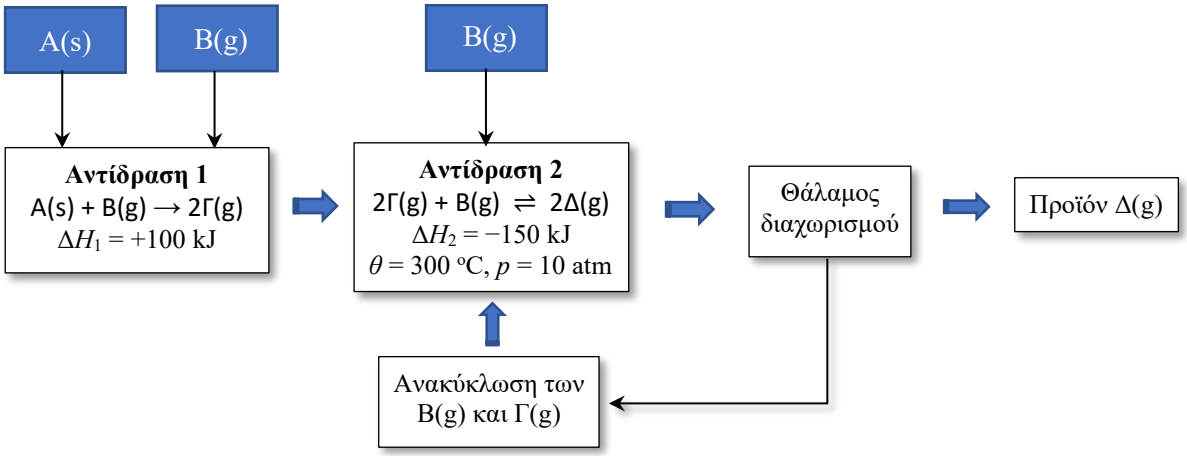
14.34. Σε δοχείο σταθερού όγκου που βρίσκεται σε περιβάλλον σταθερής θερμοκρασίας έχουν αποκατασταθεί οι χημικές ισορροπίες (1), (2) και (3) που ακολουθούν.

$$A(g) + B(g) \rightleftharpoons \Gamma(g) \quad (1)$$
$$A(g) + E(g) \rightleftharpoons \Delta(g) \quad (2)$$
$$Z(g) \rightleftharpoons \Sigma(s) + B(g) \quad (3)$$

Στο δοχείο προσθέτουμε επιπλέον ποσότητα E(g), χωρίς μεταβολή της θερμοκρασίας και με την πάροδο του χρόνου αποκαθίστανται και πάλι οι παραπάνω ισορροπίες. Να εξηγήσετε πώς θα μεταβληθεί (αύξηση, μείωση, καμία μεταβολή) η ποσότητα του Σ(s) με την προσθήκη της επιπλέον ποσότητας του E(g).

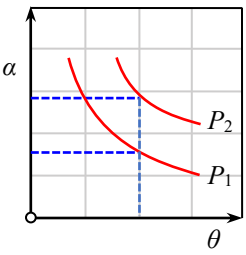
14.35. Σε δοχείο σταθερού όγκου έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία, 2Α(g) + Β(g) ⇌ 2Γ(g), στην οποία συνυπάρχουν 3 mol Α(g), 3 mol Β(g) και 4 mol Γ(g). Η πίεση στο δοχείο είναι ίση με P_1 = 10 atm. Διπλασιάζουμε τον όγκο του δοχείου και με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται νέα χημική ισορροπία στην ίδια θερμοκρασία.
α) Ποια από τις σχέσεις που ακολουθούν είναι η σωστή για την πίεση (P_2) στη νέα ισορροπία;
i. P_2 = 5 atm ii. 5 atm < P_2 < 6 atm iii. P_2 > 6 atm iv. P_2 > 10 atm
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

14.36. Μία δοκιμαστική βιομηχανική διαδικασία περιλαμβάνει τα στάδια που περιγράφονται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



α) Να χαρακτηρίσετε τις αντιδράσεις (1) και (2) ως εξώθερμες ή ενδόθερμες.
β) i. Να αναφέρετε πώς με βάση το αντιδρών Α(s) μπορούμε να αυξήσουμε την ταχύτητα της αντίδρασης (1). ii. Πώς θα μεταβληθεί (αύξηση, μείωση, καμία μεταβολή) η ταχύτητα της αντίδρασης (1) αν αυξήσουμε τη θερμοκρασία;
γ) Αυξάνουμε τη θερμοκρασία στον αντιδραστήρα που διεξάγεται η αντίδραση (2), χωρίς μεταβολή του όγκου. Πώς θα μεταβληθούν (αύξηση, μείωση, καμία μεταβολή), i. οι δύο αντίθετης φοράς ταχύτητες (υ_1 και υ_2) και ii. η ποσότητα του προϊόντος Δ(g) στη νέα χημική ισορροπία σε σχέση με την αρχική;
δ) Μειώνουμε την πίεση στον αντιδραστήρα της αντίδρασης (2) με μεταβολή του όγκου και χωρίς μεταβολή της θερμοκρασίας. Πώς θα μεταβληθούν (αύξηση, μείωση, καμία μεταβολή), i. οι δύο αντίθετης φοράς ταχύτητες (υ_1 και υ_2) και ii. η ποσότητα του προϊόντος Δ(g) στη νέα χημική ισορροπία σε σχέση με την αρχική;

14.37. Σε δοχείο μεταβλητού όγκου πραγματοποιείται η χημική ισορροπία: 2Α(g) + Β(g) ⇌ 2Γ(g).
Στο διπλανό διάγραμμα δίνονται δύο γραφικές παραστάσεις της απόδοσης α σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία θ σε δύο διαφορετικές τιμές πίεσης P_1 και P_2.



α) Να εξηγήσετε αν η αντίδραση είναι εξώθερμη ή ενδόθερμη.
β) Να εξηγήσετε ποια από τις δύο πιέσεις P_1, P_2 είναι μεγαλύτερη. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

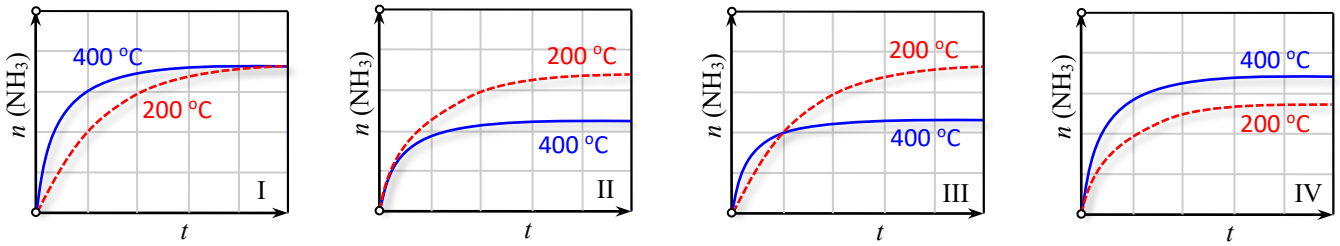
14.38. Σε δοχείο σταθερού όγκου έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία:
Α(g) + Β(s) ⇌ Γ(g),
στην οποία συνυπάρχουν 0,1 mol Α(g), 0,1 mol Β(s) και 0,1 mol Γ(g). Η πίεση στο δοχείο είναι ίση με P. Πόσα επιπλέον mol Α(g) πρέπει να προστεθούν στο δοχείο της ισορροπίας ώστε στη νέα χημική ισορροπία που θα αποκατασταθεί, στην ίδια θερμοκρασία, η πίεση στο δοχείο να γίνει ίση με $2P$;



14.39. Σε δοχείο εισάγονται ποσότητες $N_2(g)$ και $H_2(g)$ που αντιδρούν υπό σταθερή θερμοκρασία 200 °C και υπό σταθερή πίεση 100 atm, οπότε με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται η χημική ισορροπία:

$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3$, $\Delta H < 0$

α) Ποιο από τα παρακάτω διαγράμματα I, II, III ή IV θα αποδίδει την ποσότητα της σχηματιζόμενης $NH_3(g)$ σε σχέση με το χρόνο, με τις ίδιες αρχικές ποσότητες $N_2(g)$ και $H_2(g)$ που αντιδρούν σε σταθερή θερμοκρασία 400 °C και σταθερή πίεση 100 atm συγκριτικά με την ποσότητα της $NH_3(g)$ που σχηματίζεται σε σταθερή θερμοκρασία 200 °C υπό σταθερή πίεση 100 atm;



β) Να αιτιολογήσετε πλήρως την επιλογή σας.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Χημεία και… τέρατα: «Οι κότες με τα… λεπτά αυγά!»



Είναι γνωστό ότι τα κοτόπουλα δεν ιδρώνουν και για το λόγο αυτό όταν ζεσταίνονται λαχανιάζουν. Αυτό το κοινότυπο φαινόμενο έχει όμως μία σημαντική επίπτωση στους παραγωγούς αυγών. Όταν κάνει ζέστη οι κότες γεννούν αυγά με πολύ λεπτά τσόφλια τα οποία σπάζουν εύκολα. Όσο και αν από πρώτη άποψη το φαινόμενο αυτό φαίνεται περίεργο, είναι στην ουσία μία επίπτωση της αρχής Le Chatelier στο γνωστό σύστημα της χημικής ισορροπίας των ανθρακικών ιόντων σε υδατικά διαλύματα:

$CO_2(g) \rightleftharpoons CO_2(aq) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq)$ (1)

$H_2CO_3(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons HCO_3^-(aq) + H_3O^+(aq)$ (2)

$HCO_3^-(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons CO_3^{2-}(aq) + H_3O^+(aq)$ (3)

$CO_3^{2-}(aq) + Ca^{2+}(aq) \rightleftharpoons CaCO_3(s)$ (4)

Όταν οι κότες λαχανιάζουν οι ισορροπίες (1) - (4) διαταράσσονται από την γρήγορη αποβολή $CO_2(g)$ και μετακινούνται όλες προς τα αριστερά με αποτέλεσμα τη μικρότερη παραγωγή $CaCO_3(s)$ από το οποίο αποτελούνται τα τσόφλια. Τελικά, τα αυγά που γεννιώνται διαθέτουν λεπτότερα τσόφλια. Ο Ted Odom απόφοιτος του Πανεπιστημίου του Illinois βρήκε μια πολύ απλή λύση στο πρόβλημα: Έδωσε ανθρακούχο νερό στις κότες! Τώρα, όλες οι ισορροπίες οδεύουν προς την αντίθετη κατεύθυνση και τελικά προκύπτουν αυγά με πιο σκληρά τσόφλια. Επιπλέον, το ανθρακούχο νερό φαίνεται να άρεσε πολύ στις κότες και το πρόβλημα λύθηκε οριστικά. Το μόνο αναπάντητο ερώτημα που έμεινε είναι αν η κότα έκανε το αυγό ή το αυγό την κότα…

[David B. Brown, John A. MacKay III, *Journal of Chemical Education*, 1983, 60(3), σελ. 198]

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 14

Στις παρακάτω ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής 1-6, να σημειώσετε απλώς τη σωστή απάντηση.

1. Σε ποιες συνθήκες ευνοείται περισσότερο η διάσπαση του $CaCO_3(s)$, σύμφωνα με την εξίσωση που ακολουθεί;

$$CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g),\ \Delta H = 178\ kJ$$

Α) $\theta = 1000\ ^oC$, $P = 1$ atm Β) $\theta = 100\ ^oC$, $P = 10$ atm
Γ) $\theta = 25\ ^oC$, $P = 10$ atm Δ) $\theta = 25\ ^oC$, $P = 1$ atm

2. Σε δύο δοχεία σταθερού όγκου βρίσκονται σε ισορροπία $CO_2(g)$, C(s) και CO(g), σύμφωνα με την αντίδραση:

$$CO_2(g) + C(s) \rightleftharpoons 2CO(g)$$

Στο πρώτο δοχείο προσθέτουμε CO(g) και C(s), ενώ στο δεύτερο προσθέτουμε $CO_2(g)$ και CO(g).
Α) Και στα δύο δοχεία η χημική ισορροπία θα μετατοπιστεί οπωσδήποτε προς τα δεξιά
Β) Και στα δύο δοχεία η χημική ισορροπία θα μετατοπιστεί οπωσδήποτε προς τα αριστερά
Γ) Σε κανένα από τα δύο δοχεία δεν επαρκούν τα δεδομένα προκειμένου να αποφανθούμε προς τα πού θα μετατοπιστεί η χημική ισορροπία
Δ) Στο πρώτο δοχείο η χημική ισορροπία θα μετατοπιστεί οπωσδήποτε προς τα αριστερά, ενώ στο δεύτερο δεν επαρκούν τα δεδομένα για να αποφανθούμε [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

3. Σε δοχείο εισάγονται 1 mol C(s) και 1 mol $CO_2(g)$ και με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται η χημική ισορροπία:

$$C(s) + CO_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g),\ \Delta H > 0$$

Ποια από τις μεταβολές που ακολουθούν θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου αποκατάστασης της ισορροπίας **χωρίς** μεταβολές στις ποσότητες των τριών συστατικών στην ισορροπία;
Α) Η αύξηση της θερμοκρασίας
Β) Η μείωση της θερμοκρασίας
Γ) Η αύξηση του όγκου του δοχείου της αντίδρασης
Δ) Η αύξηση της επιφάνειας επαφής του C(s)

4. Σε δοχείο έχει αποκατασταθεί η ισορροπία:

$$4HBr(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2H_2O(g) + 2Br_2(g),\ \Delta H = -276\ kJ$$

Ποια από τις ενέργειες που ακολουθούν θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ποσότητας των υδρατμών;
Α) Η προσθήκη καταλύτη
Β) Η μεταφορά του μίγματος της ισορροπίας σε δοχείο μεγαλύτερου όγκου, υπό σταθερή θερμοκρασία
Γ) Η μείωση της πίεσης, υπό σταθερή θερμοκρασία
Δ) Η απομάκρυνση ποσότητας Br_2 από το δοχείο της ισορροπίας
Ε) Η αύξηση της θερμοκρασίας, υπό σταθερή πίεση

5. Σε δοχείο όγκου V περιέχονται σε ισορροπία x mol N_2, y mol O_2 και ω mol NO, σε θερμοκρασία T, σύμφωνα με την εξίσωση: $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$. Αν αφαιρέσουμε κάποια ποσότητα NO από το δοχείο, μετά την αποκατάσταση της νέας ισορροπίας, στο δοχείο θα περιέχονται α mol N_2, β mol O_2 και γ mol NO. Μεταξύ των αριθμών x, y, ω και α, β, γ θα ισχύουν οι σχέσεις:
Α) $\alpha < x,\ \beta < y,\ \gamma < \omega$ Β) $\alpha > x,\ \beta > y,\ \gamma < \omega$
Γ) $\alpha = x,\ \beta = y,\ \gamma < \omega$ Δ) $\alpha < x,\ \beta < y,\ \gamma = \omega$
Ε) $\alpha < x,\ \beta < y,\ \gamma > \omega$

6. Σε δοχείο σταθερού όγκου έχει αποκατασταθεί η ισορροπία που ακολουθεί:

$$2CO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2CO_2(g),\ \Delta H < 0$$

Στο δοχείο της ισορροπίας προστίθεται επιπλέον ποσότητα CO_2 και αποκαθίσταται νέα ισορροπία στον ίδιο όγκο και στην ίδια θερμοκρασία. Σε σχέση με την αρχική ισορροπία, πώς θα μεταβληθούν οι δύο αντίθετης φοράς ταχύτητες στη νέα ισορροπία;

	Αντίδραση προς →	Αντίδραση προς ←
Α)	Θα αυξηθεί	Θα αυξηθεί
Β)	Δε θα μεταβληθεί	Θα αυξηθεί
Γ)	Θα μειωθεί	Θα αυξηθεί
Δ)	Δε θα μεταβληθεί	Δε θα μεταβληθεί

7. Έστω η χημική ισορροπία που ακολουθεί,

$$CH_3OH(g) + H_2(g) \rightleftharpoons CH_4(g) + H_2O(\ell)$$

η οποία πραγματοποιείται σε σταθερή θερμοκρασία 80 °C. Να εξηγήσετε πώς θα μεταβληθεί (θα αυξηθεί/θα μειωθεί/θα παραμείνει σταθερή) η ποσότητα του H_2 αν αυξήσουμε τον όγκο του δοχείου. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2023]

.....

.....

.....

.....

.....

8. Το διάλυμα $CoCl_2(aq)$ έχει ένα ασθενές ροζ χρωματισμό λόγω του σχηματιζόμενου συμπλόκου $[Co(H_2O)_6]^{2+}$. Χρησιμοποιώντας το διάλυμα αυτό σαν «μελάνι» μπορούμε να γράψουμε ένα πρακτικά αόρατο μήνυμα σε ένα χαρτί. Παρουσία ιόντων Cl^- σχηματίζεται το σύμπλοκο ιόν $[CoCl_4]^-$ το οποίο είναι έντονα μπλε, σύμφωνα με τη χημική εξίσωση που ακολουθεί.

$$[Co(H_2O)_6]^{2+} + 4Cl^-(aq) \rightleftharpoons [CoCl_4]^-(aq) + 6H_2O(\ell)$$

ροζ μπλε

Το μήνυμα στο χαρτί μπορεί να «εμφανιστεί» π.χ.:
α) Με ψεκασμό με πυκνό διάλυμα NaCl(aq). Το NaCl στα υδατικά διαλύματα διίσταται πλήρως σε Na^+ και Cl^-.
β) Με θέρμανση του χαρτιού με το μήνυμα στο μάτι της κουζίνας ή με φλόγα προσεκτικά για να μην καεί.
Να εξηγήσετε την εμφάνιση του μηνύματος με τους δύο παραπάνω τρόπους προβλέποντας αν η παραπάνω ισορροπία είναι ενδόθερμη ή εξώθερμη (προς τα δεξιά).

.....

.....

.....

.....

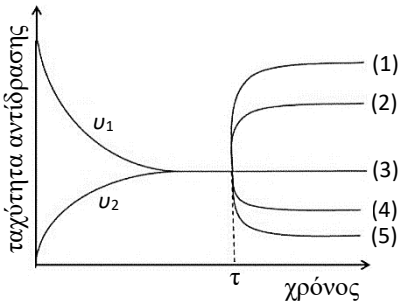
.....

.....

9. Σε ένα κλειστό δοχείο αποκαθίσταται η ακόλουθη ισορροπία:

$$H_2(g) + I_2(g) \underset{\upsilon_2}{\overset{\upsilon_1}{\rightleftharpoons}} 2HI(g)$$

όπου υ_1, υ_2 οι ταχύτητες των δύο αντιθέτων πορειών. Στο ακόλουθο διάγραμμα δίνονται οι μεταβολές των υ_1, υ_2 με το χρόνο. Τη χρονική στιγμή τ προστίθεται στο σύστημα κατάλληλος καταλύτης, οπότε η μεταβολή της υ_1 ακολουθεί την καμπύλη (2).



α) Να εξηγήσετε ποια από τις καμπύλες (1), (2), (3), (4) και (5) θα ακολουθήσει η υ_2.
Αν στο ίδιο σύστημα τη χρονική στιγμή τ, αντί για την προσθήκη καταλύτη μεταβληθεί ο όγκος του δοχείου, τότε η υ_1 ακολουθεί την καμπύλη (4).
β) Να εξηγήσετε ποια καμπύλη θα ακολουθήσει η υ_2.
γ) Να εξηγήσετε αν αυξήθηκε ή μειώθηκε ο όγκος του δοχείου. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

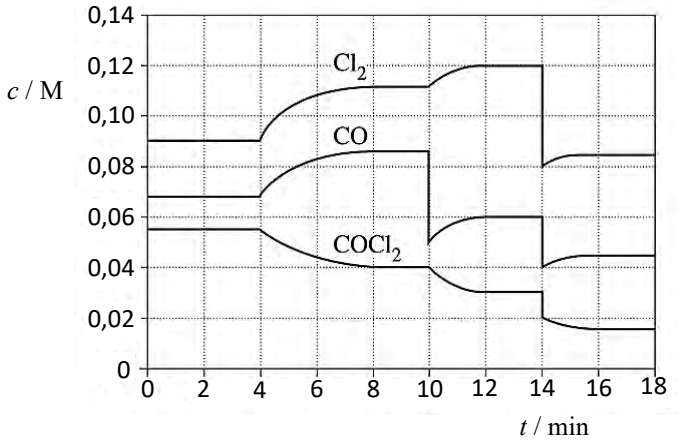
.....

.....

.....

.....

10. Σε κλειστό δοχείο έχει αποκατασταθεί η ισορροπία: $CO(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons COCl_2(g)$, $\Delta H = -110$ kJ. Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή της συγκέντρωσης των σωμάτων που μετέχουν στην ισορροπία σε συνάρτηση με το χρόνο.



Οι παράγοντες της ισορροπίας που μεταβάλλονται τις χρονικές στιγμές $t_1 = 4$ min, $t_2 = 10$ min και $t_3 = 14$ min είναι, αντίστοιχα:
Α) t_1: ελάττωση θερμοκρασίας, t_2: προσθήκη αερίου CO, t_3: ελάττωση όγκου δοχείου
Β) t_1: αύξηση θερμοκρασίας, t_2: απομάκρυνση αερίου CO, t_3: αύξηση όγκου δοχείου
Γ) t_1: προσθήκη αερίου $COCl_2$, t_2: προσθήκη αερίου CO, t_3: αύξηση όγκου δοχείου
Δ) t_1: αύξηση θερμοκρασίας, t_2: προσθήκη αερίου CO, t_3: αύξηση όγκου δοχείου [Π.Μ.Δ.Χ.]

……

……

……

11. Το θειικό οξύ (H_2SO_4) είναι η χημική ένωση που παρασκευάζεται βιομηχανικά σε μεγαλύτερη ποσότητα παγκοσμίως. Η μέθοδος επαφής είναι η κυριότερη βιομηχανική μέθοδος παραγωγής του. Η πρώτη από τις αντιδράσεις που περιλαμβάνει η μέθοδος αυτή είναι η καύση του θείου, σύμφωνα με την αντίδραση:

$$S(s) + O_2(g) \rightleftharpoons SO_2(g),\ \Delta H = -297 \text{ kJ}$$

α) Θεωρώντας τις ίδιες αρχικές ποσότητες αντιδρώντων, να επιλέξετε σε ποια από τις ακόλουθες θερμοκρασίες η αντίδραση θα έχει μεγαλύτερη απόδοση, αιτιολογώντας την απάντησή σας.

$\theta_1 = 25\ ^oC$, $\theta_2 = 200\ ^oC$, $\theta_3 = 1000\ ^oC$

Η δεύτερη αντίδραση που περιλαμβάνει η μέθοδος επαφής είναι η οξείδωση του SO_2, παρουσία $V_2O_5(s)$ ως καταλύτη, σύμφωνα με τη χημική εξίσωση:

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$$

β) Να εξηγήσετε αν η κατάλυση είναι ομογενής ή ετερογενής.
γ) Να εξηγήσετε την επίδραση του καταλύτη στο χρόνο αποκατάστασης της ισορροπίας καθώς και στη θέση της ισορροπίας.
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

……

……

……

……

……

……

12. Σε αέρια φάση μελετάμε την αντίδραση του νιτρυλοχλωρίδιο (NO_2Cl) με το μονοξείδιο του αζώτου (NO) σύμφωνα με την αντίδραση:

$NO_2Cl(g) + NO(g) \rightleftharpoons NOCl(g) + NO_2(g)$ (1)

Στην πραγματικότητα η ισορροπία (1) περιπλέκεται καθώς το παραγόμενο $NO_2(g)$ παράγει $N_2O_4(g)$ σύμφωνα με την αντίδραση (2):

$2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$ (2)

Σε δοχείο εισάγονται ποσότητες $NO_2Cl(g)$ και NO(g) και αποκαθίστανται οι ισορροπίες (1) και (2) στους 320 K. Μετά την αποκατάσταση των δύο ισορροπιών διπλασιάζουμε τον όγκο του δοχείου χωρίς μεταβολή της θερμοκρασίας. Με βάση την αρχή Le Chatelier να εξετάσετε:

α) Πώς θα μεταβληθούν τα mol του NOCl(g) στη νέα ισορροπία σε σχέση με την αρχική (αύξηση, μείωση, καμία μεταβολή).

β) Πώς θα μεταβληθεί η συγκέντρωση του N_2O_4 στη νέα ισορροπία σε σχέση με την αρχική (αύξηση, μείωση, καμία μεταβολή).

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

13. Σε δοχείο σταθερού όγκου έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία:

$A(s) + B(g) \rightleftharpoons Γ(g)$,

στην οποία συνυπάρχουν 0,5 mol A(s), 1 mol B(g) και 1 mol Γ(g). Από το δοχείο της ισορροπίας απομακρύνονται κατάλληλα 0,5 mol Γ(g) και αποκαθίσταται νέα χημική ισορροπία, στην ίδια θερμοκρασία, στην οποία οι συγκεντρώσεις των αερίων B(g) και Γ(g) είναι ίσες. Να υπολογιστούν οι ποσότητες (σε mol) όλων των σωμάτων στη νέα ισορροπία.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



15 Χημική Ισορροπία - Σταθερά Χημικής Ισορροπίας

ΘΕΜΑΤΑ ΘΕΩΡΙΑΣ

1. Νόμος χημικής ισορροπίας

Δύο Νορβηγοί καθηγητές του Πανεπιστημίου της Χριστιανίας (σημερινό Όσλο), ο Cato Maximilian Gulberg (1836-1902) και ο Peter Waage (1833-1900) διεξήγαγαν πειράματα σε πολλές χημικές ισορροπίες. Το 1864 δημοσίευσαν το νόμο της χημικής ισορροπίας που τον ανέφεραν ως νόμο δράσης των μαζών αλλά η εργασία αυτή παρέμεινε πρακτικά άγνωστη μέχρι να μεταφραστεί στα γαλλικά το 1867.



Ο Gulberg και ο Waage είχαν μεγάλο ενδιαφέρον για τη χημεία. Αλλά είχαν και ένα άλλο κοινό σημείο: Ήταν κουνιάδοι!

Σε μία σειρά δοχείων που βρίσκονται εισάγονται διαφορετικές ποσότητες H_2 και I_2 και με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται σε όλα τα δοχεία η χημική ισορροπία που ακολουθεί, στην ίδια θερμοκρασία T.

$$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$$

Παρατηρούμε ότι οι ποσότητες των αντιδρώντων και του προϊόντος που συνυπάρχουν σε κάθε δοχείο στη χημική ισορροπία είναι γενικά διαφορετικές και εξαρτώνται από τις αρχικές ποσότητες των αντιδρώντων που είχαν εισαχθεί στο κάθε δοχείο. Αν όμως υπολογίσουμε το λόγο $\frac{[HI]^2}{[H_2]\cdot[I_2]}$ σε καθένα από τα δοχεία στη χημική ισορροπία θα δούμε ότι έχει την ίδια τιμή σε όλα τα δοχεία, στην ίδια θερμοκρασία. Έτσι, η τιμή του παραπάνω λόγου αναφέρεται ως σταθερά χημικής ισορροπίας και συμβολίζεται ως K_c. Δηλαδή:

$$K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2]\cdot[I_2]}$$

Η σταθερά K_c για μία συγκεκριμένη ισορροπία εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία και είναι **ανεξάρτητη** από τις αρχικές συγκεντρώσεις των αντιδρώντων.

Γενικά, σε μία αντίδραση της μορφής: $\alpha A(g) + \beta B(g) \rightleftharpoons \gamma\Gamma(g) + \delta\Delta(g)$ σε κατάσταση χημικής ισορροπίας, ισχύει η σχέση:

$$K_c = \frac{[\Gamma]^\gamma\cdot[\Delta]^\delta}{[A]^\alpha\cdot[B]^\beta}$$

Η σχέση αυτή συνδέει τις συγκεντρώσεις των αντιδρώντων και των προϊόντων σε ένα σύστημα χημικής ισορροπίας και αναφέρεται ως **νόμος της χημικής ισορροπίας**. Στο νόμο αυτό οι συγκεντρώσεις των σωμάτων στο 2ο μέλος της αντίδρασης είναι στον αριθμητή ενώ οι συγκεντρώσεις των σωμάτων του 1ου μέλους στον παρονομαστή.

Η τιμή της σταθεράς χημικής ισορροπίας K_c μιας ισορροπίας σε μία ορισμένη θερμοκρασία αποτελεί μέτρο της απόδοσης της αντίδρασης, καθώς όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της K_c τόσο η απόδοση της αντίδρασης είναι μεγαλύτερη.

Ας δούμε μερικά παραδείγματα.

α) $2O_3(g) \rightleftharpoons 3O_2(g)$, $K_c = 10^{55}$. Στην ισορροπία αυτή η σταθερά K_c έχει πολύ μεγάλη τιμή που σημαίνει ότι η αντίδραση είναι πρακτικά πλήρως μετατοπισμένη προς τα δεξιά (μονόδρομη, $\alpha = 1$).

β) $2HF \rightleftharpoons H_2 + F_2$, $K_c = 10^{-13}$. Η πολύ μικρή τιμή της K_c δείχνει ότι η αντίδραση ελάχιστα εξελίσσεται προς τα δεξιά, με άλλα λόγια $\alpha \approx 0$.

γ) $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$, $K_c = 10$. Στην ισορροπία, η K_c έχει μία «μέση» τιμή και σε αυτή συνυπάρχουν σημαντικές ποσότητες και από τα τρία σώματα που απαρτίζουν τη χημική ισορροπία. Η απόδοση παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1, δηλαδή: $0 < \alpha < 1$.

2. Κινητική απόδειξη του νόμου της χημικής ισορροπίας

α) Για απλές (στοιχειώδεις) αντιδράσεις

Έστω η χημική ισορροπία: $2A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2\Gamma(g)$, για την οποία γνωρίζουμε ότι η αντίδραση προς τα δεξιά και η αντίδραση προς τα αριστερά γίνονται σε ένα στάδιο, είναι δηλαδή απλές αντιδράσεις. Για την ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά (υ_1) και την ταχύτητα προς τα αριστερά (υ_2) θα ισχύουν:

$$\upsilon_1 = k_1\cdot[A]^2\cdot[B],\ \upsilon_2 = k_2\cdot[\Gamma]^2$$

Στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας θα ισχύει: $\upsilon_1 = \upsilon_2$ και επομένως:

$$k_1\cdot[A]^2\cdot[B] = k_2\cdot[\Gamma]^2$$

Τελικά θα ισχύει: $\boxed{\frac{k_1}{k_2} = \frac{[\Gamma]^2}{[A]^2\cdot[B]} = K_c}$ (νόμος χημικής ισορροπίας)

Πρώτος ο van't Hoff συνέδεσε τις ταχύτητες των δύο αντίστροφης φοράς αντιδράσεων με το νόμο της χημικής ισορροπίας. Λίγα χρόνια νωρίτερα πίστευαν ακόμη ότι στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας οι δύο αντίθετης φοράς ταχύτητες μηδενίζονται!

β) Για πολύπλοκες αντιδράσεις

Ας πάρουμε την παραπάνω χημική εξίσωση, $2A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2\Gamma(g)$, με τη θεώρηση όμως τώρα ότι η αντίδραση είναι πολύπλοκη, δηλαδή γίνεται σε περισσότερα ενδιάμεσα στάδια. Για την αντίδραση αυτή θεωρούμε το μηχανισμό που ακολουθεί:

Στάδιο 1: $A(g) + B(g) \underset{k_{-1}}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} \Gamma(g) + E(g)$ (k_1 η σταθερά ταχύτητας της αντίδρασης προς τα δεξιά και k_{-1} η σταθερά ταχύτητας προς τ' αριστερά)

Στάδιο 2: $A(g) + E(g) \underset{k_{-2}}{\overset{k_2}{\rightleftharpoons}} \Gamma(g)$ (k_2 η σταθερά ταχύτητας της αντίδρασης προς τα δεξιά και k_{-2} η σταθερά ταχύτητας προς τ' αριστερά)

Με βάση το νόμο της χημικής ισορροπίας για κάθε στάδιο, έχουμε:

$$\frac{[\Gamma]\cdot[E]}{[A]\cdot[B]} = \frac{k_1}{k_{-1}} = K_{c1}\ (1)\ \text{και}\ \frac{[\Gamma]}{[A]\cdot[E]} = \frac{k_2}{k_{-2}} = K_{c2}\ (2)$$

Με πολλαπλασιασμό των (1) και (2) κατά μέλη προκύπτει:

$$\frac{[\Gamma]^2}{[A]^2\cdot[B]} = \frac{k_1}{k_{-1}}\cdot\frac{k_2}{k_{-2}} = K_{c1}\cdot K_{c2} = K_c$$

Επομένως και στην περίπτωση πολύπλοκης αντίδρασης π.χ. της μορφής,

$$2A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2\Gamma(g)$$

ο νόμος της χημικής ισορροπίας θα δίνεται από τη σχέση: $\boxed{\frac{[\Gamma]^2}{[A]^2\cdot[B]} = K_c}$

Ακόμη και αν μηχανισμός της αντίδρασης ήταν διαφορετικός, ο νόμος της χημικής ισορροπίας θα ήταν ο ίδιος!

3. Παραδείγματα του νόμου της χημικής ισορροπίας - Μονάδες της σταθεράς K_c

Ας δούμε μερικά παραδείγματα εκφράσεων του νόμου της χημικής ισορροπίας στα οποία όλα τα σώματα, αντιδρώντα και προϊόντα, είναι αέρια:

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g),\ K_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2]\cdot[H_2]^3} \quad (1)$$

$$CO(g) + 2H_2(g) \rightleftharpoons CH_3OH(g),\ K_c = \frac{[CH_3OH]}{[H_2]^2\cdot[CO]} \quad (2)$$

$$SO_2(g) + NO_2(g) \rightleftharpoons SO_3(g) + NO(g),\ K_c = \frac{[SO_3]\cdot[NO]}{[SO_2]\cdot[NO_2]} \quad (3)$$

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g),\ K_c = \frac{[SO_3]^2}{[SO_2]^2\cdot[O_2]} \quad (4)$$

Η ερώτηση της ημέρας: Ποια η μονάδα της K_c στην εξίσωση (1);

Παρατηρείστε την ισορροπία (3). Η K_c είναι καθαρός αριθμός, δεν έχει μονάδα, καθώς οι μονάδες συγκέντρωσης στον αριθμητή και παρονομαστή απλοποιούνται. Αυτό, όμως, δεν είναι γενικό συμπέρασμα. Από την εξίσωση (2) για παράδειγμα, προκύπτει ότι η K_c έχει μονάδα το M^{-2} ($L^2\cdot mol^{-2}$). Τέλος, από την εξίσωση (4) προκύπτει ότι η μονάδα της K_c της ισορροπίας αυτής είναι M^{-1} ($L\cdot mol^{-1}$).

Παρά τη θεωρητική αναφορά στις μονάδες, στα προβλήματα θα χρησιμοποιούμε μόνο την αριθμητική τιμή της K_c. Πάντως, για λόγους που εκφεύγουν από τα πλαίσια του βιβλίου, στη Θερμοδυναμική η σταθερά K_c δεν έχει μονάδες, έτσι κι αλλιώς.

Γενικά, λοιπόν, οι μονάδες της K_c είναι μεταβλητές και εξαρτώνται από την μορφή της εξίσωσης που αντιστοιχεί στην κάθε χημική ισορροπία.

Στις περιπτώσεις ισορροπιών που συμμετέχουν και στερεά σώματα (ετερογενείς ισορροπίες), οι συγκεντρώσεις τους παραλείπονται από την έκφραση της K_c, καθώς θεωρούνται σταθερές και ανεξάρτητες από την ποσότητά τους. Έτσι, π.χ.:

$$\mathbf{CaCO_3(s)} \rightleftharpoons \mathbf{CaO(s)} + CO_2(g),\ K_c = [CO_2]$$

$$\mathbf{Fe_3O_4(s)} + 4H_2(g) \rightleftharpoons 3\mathbf{Fe(s)} + 4H_2O(g),\ K_c = \frac{[H_2O]^4}{[H_2]^4}$$

Από την έκφραση της σταθεράς K_c παραλείπονται επίσης και τα καθαρά (μοναδικά) υγρά:

$$2\mathbf{HgO(s)} \rightleftharpoons 2\mathbf{Hg(ℓ)} + O_2(g),\ K_c = [O_2]$$

$$\mathbf{PbO(s)} + CO(g) \rightleftharpoons \mathbf{Pb(ℓ)} + CO_2(g),\ K_c = \frac{[CO_2]}{[CO]}$$

Γενικά οι μαθηματικές εκφράσεις της σταθεράς K_c περιλαμβάνουν μόνο τα συστατικά της ισορροπίας των οποίων οι συγκεντρώσεις μεταβάλλονται με την εξέλιξη της αντίδρασης. Με άλλα λόγια δεν περιλαμβάνουν τα στερεά ή τα καθαρά υγρά, δηλαδή τα υγρά που δεν είναι διαλυμένα σε άλλα υγρά.

Σε ισορροπίες με πολλά υγρά σώματα, αυτά συμπεριλαμβάνονται στην έκφραση της K_c:

$$CH_3COOH(ℓ) + CH_3OH(ℓ) \rightleftharpoons CH_3COOCH_3(ℓ) + H_2O(ℓ),\ K_c = \frac{[CH_3COOCH_3]\cdot[H_2O]}{[CH_3COOH]\cdot[CH_3OH]}$$

Σε περιπτώσεις χημικών ισορροπιών σε υδατική φάση (ή και σε άλλο διαλύτη), οι συγκεντρώσεις των διαλυμένων ουσιών εμφανίζονται κανονικά στην έκφραση της K_c ενώ τυχόν στερεά παραλείπονται.

$$Ag^+(aq) + Fe^{2+}(aq) \rightleftharpoons \mathbf{Ag(s)} + Fe^{3+}(aq),\ K_c = \frac{[Fe^{3+}]}{[Ag^+]\cdot[Fe^{2+}]}$$

Μία εξίσωση χημικής ισορροπίας μπορεί να γραφεί με διάφορους τρόπους. Η τιμή της K_c εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο γράφεται η εξίσωση αυτή. Ας δούμε την εφαρμογή που ακολουθεί.

Εφαρμογή 1

Αν η σταθερά K_c της ισορροπίας: $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$ έχει τιμή ίση με 4, ποια η τιμή της σταθεράς K_c για τις παρακάτω ισορροπίες, στην ίδια θερμοκρασία;

α) $2SO_3(g) \rightleftharpoons 2SO_2(g) + O_2(g)$ ***β)*** $SO_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightleftharpoons SO_3(g)$

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g),\ K_c = \frac{[SO_3]^2}{[SO_2]^2 \cdot [O_2]} = 4 \quad (1)$$

$$2SO_3(g) \rightleftharpoons 2SO_2(g) + O_2(g),\ K_c' = \frac{[SO_2]^2 \cdot [O_2]}{[SO_3]^2} \quad (2)$$

Συγκρίνοντας τις K_c και K_c', προκύπτει: $K_c' = \frac{1}{K_c} = \frac{1}{4}$

$$SO_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightleftharpoons SO_3(g),\ K_c'' = \frac{[SO_3]}{[SO_2] \cdot [O_2]^{1/2}} \quad (3)$$

Από τη σύγκριση των εξισώσεων (1) και (3), προκύπτει: $K_c'' = \sqrt{K_c} = 2$

Αν υποδιπλασιάσουμε τους συντελεστές στην αναγραφή της εξίσωσης μιας χημικής ισορροπίας η τιμή της K_c θα είναι η τετραγωνική ρίζα της παλιάς.
Επίσης, αν διπλασιάσουμε τους συντελεστές στην εξίσωση μιας χημικής ισορροπίας η τιμή της K_c θα γίνει το τετράγωνο της αρχικής.

4. Μεταβολή της σταθεράς K_c με τη θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι πρακτικά ο μοναδικός παράγοντας που επηρεάζει την τιμή της σταθεράς K_c μιας συγκεκριμένης ισορροπίας. Ο τρόπος που την επηρεάζει σχετίζεται με το αν η αντίδραση είναι ενδόθερμη ή εξώθερμη. Ας δούμε τα παραδείγματα που ακολουθούν.

α) $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g),\ \Delta H = -92\ \text{kJ},\ K_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \cdot [H_2]^3}$

Με την αύξηση της θερμοκρασίας η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα αριστερά (ενδόθερμη κατεύθυνση) με αποτέλεσμα η τιμή της K_c να μειωθεί. Αντίθετα, η μείωση της θερμοκρασίας οδηγεί την ισορροπία προς τα δεξιά και η τιμή της K_c αυξάνεται.

β) $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g),\ \Delta H = 88\ \text{kJ},\ K_c = \frac{[PCl_3] \cdot [Cl_2]}{[PCl_5]}$

Με την αύξηση της θερμοκρασίας η ισορροπία αυτή μετατοπίζεται προς τα δεξιά με αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής της K_c. Αντίθετα, η μείωση της θερμοκρασίας οδηγεί την ισορροπία προς τα αριστερά και η τιμή της K_c μειώνεται.

Έτσι, με βάση το είδος της μεταβολής της τιμής της K_c μπορούμε να καταλάβουμε αν η ισορροπία είναι ενδόθερμη ή εξώθερμη, με βάση τον πίνακα που ακολουθεί.

Αν η θερμοκρασία ⇧ και η K_c ⇧	Η αντίδραση προς τα δεξιά είναι ενδόθερμη, άρα προς τα αριστερά είναι εξώθερμη
Αν η θερμοκρασία ⇧ και η K_c ⇩	Η αντίδραση προς τα δεξιά είναι εξώθερμη, άρα προς τα αριστερά είναι ενδόθερμη
Αν η θερμοκρασία ⇩ και η K_c ⇧	Η αντίδραση προς τα δεξιά είναι εξώθερμη, άρα προς τα αριστερά είναι ενδόθερμη
Αν η θερμοκρασία ⇩ και η K_c ⇩	Η αντίδραση προς τα δεξιά είναι ενδόθερμη, άρα προς τα αριστερά είναι εξώθερμη

Εφαρμογή 2

Έστω η ισορροπία σχηματισμού του αερίου AB(g) από τα στοιχεία του $A_2(g)$ και $B_2(g)$,

$$A_2(g) + B_2(g) \rightleftharpoons 2AB(g),$$

για την οποία γνωρίζουμε τις τιμές της σταθεράς K_c της ισορροπίας στους 450 °C και στους 600 °C, ίσες με 9 και 64, αντίστοιχα. Να προβλέψετε αν η αντίδραση σχηματισμού του AB(g) είναι ενδόθερμη ή εξώθερμη, με τη θεώρηση ότι η ΔH είναι σταθερή μεταξύ 450 - 600 °C.

Παρατηρούμε ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας η τιμή της K_c αυξάνεται και άρα η χημική ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά, δηλαδή προς την πλευρά των προϊόντων. Σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier, με την αύξηση της θερμοκρασίας η ισορροπία μετατοπίζεται προς την ενδόθερμη κατεύθυνση. Άρα η αντίδραση προς τα δεξιά είναι ενδόθερμη: $A_2(g) + B_2(g) \rightleftharpoons 2AB(g)$, $\Delta H > 0$.

5. Επίδραση ενός καταλύτη στη σταθερά (K_c) μιας χημικής ισορροπίας

Οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων και των προϊόντων, η πίεση και οι καταλύτες ΔΕΝ επηρεάζουν την τιμή της K_c μιας χημικής ισορροπίας.

Η προσθήκη καταλύτη σε μία χημική ισορροπία επιταχύνει την αντίδραση το ίδιο προς τα δεξιά και προς τα αριστερά με αποτέλεσμα οι ποσότητες των αντιδρώντων και των προϊόντων να παραμένουν αμετάβλητες. Απλώς, με την προσθήκη καταλύτη η χημική ισορροπία αποκαθίσταται ταχύτερα. Με άλλα λόγια, η προσθήκη καταλύτη δεν μεταβάλλει τη θέση της ισορροπίας ούτε φυσικά την τιμή της σταθεράς K_c. Αυτό ισχύει τόσο στην ομογενή όσο και στην ετερογενή κατάλυση.

6. Μεθοδολογία: Υπολογισμοί με βάση τη σταθερά ισορροπίας K_c

Με βάση την τιμή της σταθεράς K_c και τις αρχικές ποσότητες των αντιδρώντων στο δοχείο της αντίδρασης, σε κάποια συγκεκριμένη θερμοκρασία, μπορούμε να υπολογίσουμε τις ποσότητες των αντιδρώντων και των προϊόντων στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας. Ας δούμε μία εφαρμογή.

Εφαρμογή 3

Σε δοχείο όγκου 2 L εισάγουμε 2 mol $H_2(g)$ και 2 mol $I_2(g)$. Θερμαίνουμε το σύστημα στους θ °C και αποκαθίσταται η χημική ισορροπία: $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$, $K_c(\theta\,°C) = 64$. Να υπολογιστούν οι ποσότητες όλων των σωμάτων στην κατάσταση της ισορροπίας.

Κατασκευάζουμε τον πίνακα της αντίδρασης:

mol	$H_2(g)$	+ $I_2(g)$	$\rightleftharpoons$	$2HI(g)$
Αρχικά	2	2		–
Μεταβολές	–x	–x		2x
Χ.Ι.	2 – x	2 – x		2x

Από την έκφραση του νόμου της χημικής ισορροπίας, προκύπτει:

$$K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2]\cdot[I_2]} = 64 \Rightarrow \left(\frac{2x}{2-x}\right)^2 = 8^2 \text{ (οι όγκοι απλοποιούνται)}$$

Οι ποσότητες είναι πάντα θετικές και επομένως: $\frac{2x}{2-x} = +8$, x = 1,6 mol. Επομένως, στην ισορροπία θα συνυπάρχουν: 2 − x = 0,4 mol H_2, 2 − x = 0,4 mol I_2 και 2x = 3,2 mol HI.

7. Προς ποια κατεύθυνση εξελίσσεται αντίδραση; Πηλίκο αντίδρασης

Έστω η ισορροπία, $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$, για την οποία είναι γνωστή η τιμή της σταθεράς K_c στους θ °C.

α) Σε ένα δοχείο εισάγονται αρχικά α mol H_2 και α mol I_2 στους θ °C. Προφανώς θα εξελιχθεί αντίδραση προς τα δεξιά:

mol	$H_2(g)$	+ $I_2(g)$	⇌	$2HI(g)$
Αρχικά	α	α		—
Μεταβολές	–x	–x		2x
Χ.Ι.	α – x	α – x		2x

$$K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2]\cdot[I_2]} = \left(\frac{2x}{\alpha - x}\right)^2$$ (οι όγκοι απλοποιούνται)

β) Έστω τώρα ότι στο δοχείο αντίδρασης εισάγονται αρχικά μόνο γ mol HI. Προφανώς θα εξελιχθεί αντίδραση προς τα αριστερά:

mol	$H_2(g)$	+ $I_2(g)$	⇌	$2HI(g)$
Αρχικά	—	—		γ
Μεταβολές	x	x		–2x
Χ.Ι.	x	x		γ – 2x

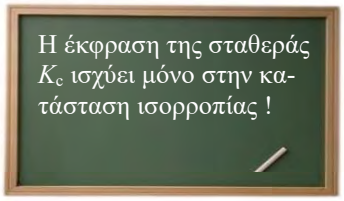
Στην κατάσταση της ισορροπίας θα ισχύει: $K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2]\cdot[I_2]} = \left(\frac{\gamma - 2x}{x}\right)^2$

γ) Έστω τώρα ότι αρχικά εισάγονται στο δοχείο ταυτόχρονα α mol H_2 και γ mol HI. Προφανώς θα εξελιχθεί αντίδραση προς τα αριστερά (ώστε να παραχθεί και κάποια ποσότητα I_2 που αρχικά δεν υπήρχε). Στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας θα συνυπάρχουν κατάλληλες ποσότητες από όλα τα σώματα που συνυπάρχουν σ' αυτή:

mol	$H_2(g)$	+ $I_2(g)$	⇌	$2HI(g)$
Αρχικά	α	—		γ
Μεταβολές	x	x		–2x
Χ.Ι.	α + x	x		γ – 2x

Στην περίπτωση αυτή θα ισχύει: $K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2]\cdot[I_2]} = \frac{(\gamma - 2x)^2}{x\cdot(\alpha + x)}$

Σε όλες λοιπόν τις περιπτώσεις κατά τις οποίες λείπει στις αρχικές ποσότητες κάποιο αντιδρών ή προϊόν δεν έχουμε πρόβλημα καθώς θα εκδηλωθεί αντίδραση προς την κατεύθυνση του σώματος που λείπει.



Προσοχή: Το πηλίκο αντίδρασης Q_c δεν είναι το ίδιο με τη σταθερά K_c. Ισούται με την K_c μόνο αν έχουμε ισορροπία!

δ) Πηλίκο αντίδρασης (Q_c). Έστω τώρα ότι αρχικά εισάγονται στο δοχείο ποσότητες και των τριών αερίων:

mol	$H_2(g)$ +	$I_2(g)$ ⇌	$2HI(g)$
Αρχικά	α	β	γ

Είναι το σύστημα σε χημική ισορροπία; Αν όχι, θα εξελιχθεί αντίδραση προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά; Πριν συνεχίσουμε λοιπόν με τον πίνακα της αντίδρασης, ελέγχουμε την τιμή του λόγου Q_c (πηλίκο αντίδρασης):

$$Q_c = \frac{[HI]^2}{[H_2]\cdot[I_2]}$$

Με βάση την υπολογιζόμενη τιμή του λόγου Q_c, υπάρχουν οι εξής 3 περιπτώσεις:

i. Αν $Q_c = K_c$, στην ίδια θερμοκρασία, το σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας (δεν θα εξελιχθεί αντίδραση προς καμία κατεύθυνση).

ii. Αν $Q_c < K_c$ τότε η αντίδραση μετατοπίζεται προς τα δεξιά, ώστε η τιμή του Q_c να αυξηθεί (μειώνεται ο παρονομαστής του κλάσματος και αυξάνεται ο αριθμητής). Όταν με τη μετατόπιση της ισορροπίας συμβεί $Q_c = K_c$ αποκαθίσταται νέα χημική ισορροπία:

Ξέρουμε ότι για να εφαρμοστεί η αρχή Le Chatelier θα πρέπει να έχω ήδη μία χημική ισορροπία και στη συνέχεια να «πειράξω» έναν από τους παράγοντες που την καθορίζουν (συγκέντρωση, πίεση, θερμοκρασία).

mol	$H_2(g)$ +	$I_2(g)$ ⇌	$2HI(g)$
Αρχικά	α	β	γ
Μεταβολές	–x	–x	+2x
Χ.Ι.	α – x	β – x	γ + 2x

iii. Αν $Q_c > K_c$, τότε η αντίδραση οδεύει προς τα αριστερά, ώστε το σύστημα να φτάσει σε νέα ισορροπία.

mol	$H_2(g)$ +	$I_2(g)$ ⇌	$2HI(g)$
Αρχικά	α	β	γ
Μεταβολές	+x	+x	–2x
Χ.Ι.	α + x	β + x	γ – 2x

8. Μεθοδολογία (1): Προβλήματα χημικής ισορροπίας και αρχή Le Chatelier

Τα πιο δύσκολα προβλήματα της χημικής ισορροπίας σχετίζονται και με την αρχή Le Chatelier, δηλαδή με τη μεταβολή στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας, αν αλλάξει ένας από τους παράγοντες που την καθορίζουν.

Στην περίπτωση μεταβολής της συγκέντρωσης ενός αντιδρώντος ή ενός προϊόντος, ο πίνακας περιλαμβάνει την αρχική χημική ισορροπία, την μεταβολή που έγινε, καθώς και τις ποσότητες όλων των σωμάτων που αντέδρασαν ή παράχθηκαν μέχρι τη νέα ισορροπία. Για τη μεταβολή της πίεσης, ο πίνακας περιλαμβάνει τις αρχικές ποσότητες, τις ποσότητες των σωμάτων που αντέδρασαν ή παράχθηκαν (με βάση την αρχή Le Chatelier) και τις ποσότητες στη νέα χημική ισορροπία. Ανάλογη διαδικασία ακολουθούμε και για τις περιπτώσεις μεταβολής της θερμοκρασίας.

Σε πολλές περιπτώσεις, η κατεύθυνση προς την οποία εκδηλώνεται αντίδραση προκύπτει με εφαρμογή της αρχής Le Chatelier, ενώ σε άλλες περιπτώσεις προκύπτει από τα δεδομένα του προβλήματος.

9. Μεθοδολογία (2): Μεταβολή της απόδοσης με την προσθήκη επιπλέον ποσότητας ενός αντιδρώντος

Σε κενό δοχείο εισάγουμε α mol $H_2(g)$ και β mol $I_2(g)$ με $\beta \geq \alpha$ και αποκαθίσταται η ισορροπία, $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$, για την οποία είναι γνωστή η τιμή της σταθεράς K_c στη θερμοκρασία θ. Κατασκευάζουμε τον πίνακα της ισορροπίας:

mol	**$H_2(g)$**	**+**	**$I_2(g)$**	**$\rightleftharpoons$**	**$2HI(g)$**
Αρχικά	α		β		—
Μεταβολές	–x		–x		2x
Χ.Ι.	α – x		β – x		2x

Επειδή $\beta \geq \alpha$ η απόδοση (α_1) θα υπολογίζεται από τη σχέση: $\alpha_1 = \frac{x}{\alpha}$

Αν στο δοχείο της ισορροπίας προσθέσουμε επιπλέον ποσότητα λ mol $I_2(g)$, η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα δεξιά με αποτέλεσμα η ποσότητα του HI(g) να αυξηθεί. Καθώς η θεωρητική ποσότητα του HI δεν άλλαξε (το I_2 θα είναι σε περίσσεια), η απόδοση της αντίδρασης θα αυξηθεί. Για τους υπολογισμούς μπορούμε να κατασκευάσουμε ένα πίνακα ισορροπίας εμφανίζοντας την επιπλέον ποσότητα του HI στις **αρχικές** ποσότητες:

mol	**$H_2(g)$**	**+**	**$I_2(g)$**	**$\rightleftharpoons$**	**$2HI(g)$**
Αρχικά	α		β + λ		—
Μεταβολές	–y		–y		2y
Χ.Ι.	α – y		β + λ – y		2y

Το $H_2(g)$ θα είναι σε έλλειμμα και άρα η απόδοση (α_2) θα δίνεται από τη σχέση:

$$\alpha_2 = \frac{y}{\alpha}$$

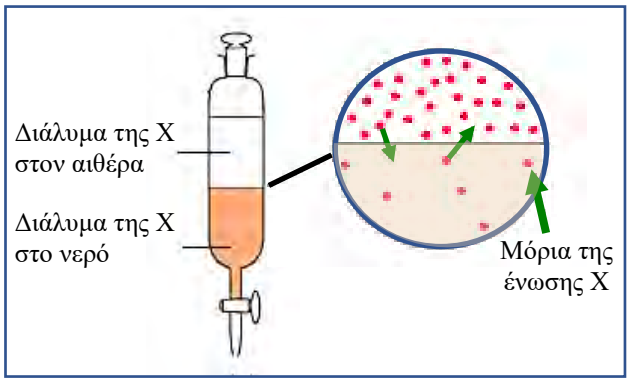
Φυσικά, αν η θερμοκρασία παραμένει σταθερή, δεν αλλάζει η τιμή της σταθεράς K_c.

Να σημειωθεί ότι όταν σε μία χημική ισορροπία προστεθεί επιπλέον ποσότητα ενός αντιδρώντος, η νέα απόδοση υπολογίζεται με βάση τις αρχικές ποσότητες που είχαν εισαχθεί στο δοχείο πριν την αποκατάσταση της πρώτης χημικής ισορροπίας.

Στην περίπτωση προσθήκης επιπλέον ποσότητας από το αντιδρών που είναι σε έλλειμμα η θεωρητική ποσότητα ενός προϊόντος αυξάνεται. Παράλληλα, όμως, αυξάνεται και η πρακτική ποσότητα του προϊόντος καθώς η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά. Έτσι, η απόδοση της αντίδρασης μπορεί να αυξηθεί, να μειωθεί ή και να παραμείνει η ίδια!

10. Ειδική περίπτωση: Ισορροπία κατανομής μιας διαλυμένης ουσίας σε μίγμα δύο μη αναμιγνυόμενων διαλυτών

Αν σε ποσότητα νερού προσθέσουμε ποσότητα διαιθυλαιθέρα ($CH_3CH_2OCH_2CH_3$) θα παρατηρήσουμε ότι οι δύο διαλύτες δεν αναμιγνύονται όσο και να ανακινήσουμε το σύστημα και σχηματίζονται δύο στιβάδες από τις οποίες η στιβάδα του αιθέρα είναι απο-πάνω (ο αιθέρας έχει μικρότερη πυκνότητα σε σχέση με το νερό). Στο μίγμα των δύο αυτών διαλυτών προσθέτουμε μία ουσία (Χ) που είναι διαλυτή και στον αιθέρα και στο νερό και ανακινούμε ισχυρά το σύστημα. Μετά το πλήρη διαχωρισμό των δύο στιβάδων θα αποκατασταθεί η δυναμική ισορροπία:



Χ(υδατικό διάλυμα) ⇌ **Χ**(αιθερικό διάλυμα)

Στην κατάσταση αυτή όσα μόρια της ουσίας Χ περνούν τη διαχωριστική επιφάνεια από το H_2O προς το διάλυμα του αιθέρα τόσα περνούν και από τον αιθέρα προς το υδατικό διάλυμα. Σαν μία οποιαδήποτε (χημική) ισορροπία, το φαινόμενο χαρακτηρίζεται από τη σταθερά της ισορροπίας (K_c) που δίνεται από τη σχέση:

$$K_c = \frac{[\text{Χ(αιθερικό διάλυμα)}]}{[\text{Χ(υδατικό διάλυμα)}]}$$

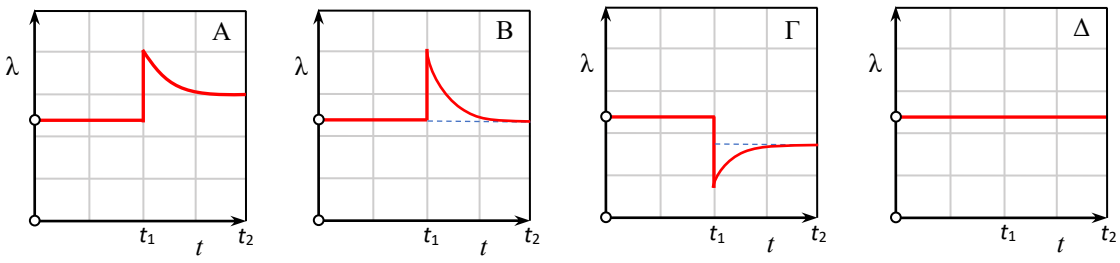
Στην περίπτωση αυτή η σταθερά ισορροπίας αναφέρεται ως συντελεστής κατανομής και εξαρτάται από τη θερμοκρασία.

Στην περίπτωση κατά την οποία η ουσία στην υδατική φάση παθαίνει μοριακή μεταβολή (ιοντισμό, πολυμερισμό κτλ.) χρησιμοποιείται η συνολική (αρχική) συγκέντρωση της ουσίας και ο σταθερός λόγος των συγκεντρώσεων αναφέρεται ως λόγος κατανομής.

Με άλλα λόγια:
Αν σε ένα σύστημα δύο διαλυτών που δεν αναμιγνύονται προστεθεί μία τρίτη ουσία που αναμιγνύεται και στους δύο διαλύτες αυτή θα κατανεμηθεί στους δύο διαλύτες κατά τέτοιο τρόπο ώστε ο λόγος των συγκεντρώσεών της στις δύο φάσεις να είναι σταθερός στο συγκεκριμένο σύστημα διαλυτών σε δεδομένη θερμοκρασία (T).

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΣΚΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΧΗΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

1. Τη χρονική στιγμή $t = 0$ σε δοχείο σταθερού όγκου έχει αποκατασταθεί η ισορροπία: A(g) ⇌ B(g)**. Τη χρονική στιγμή t_1 στο δοχείο προστίθεται επιπλέον ποσότητα** B(g) **και από τη χρονική στιγμή t_2 και μετά αποκαθίσταται νέα ισορροπία στην ίδια θερμοκρασία.**
α) Ποιο από τα παρακάτω διαγράμματα μπορεί να αντιστοιχεί στη μεταβολή του λόγου $\lambda = [B] / [A]$ **από** $t = 0$ **μέχρι** $t = t_2$**;**

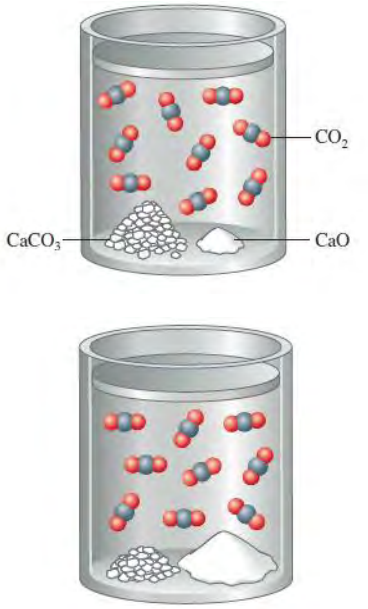


β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
α) Το διάγραμμα Β.

β) Τη χρονική στιγμή $t = 0$ η τιμή του λόγου $\lambda = [B] / [A]$ είναι ίση με τη σταθερά K_c της ισορροπίας. Τη χρονική στιγμή t_1 η τιμή του λόγου λ αυξάνεται απότομα λόγω της αύξησης της [B]. Στη συνέχεια λόγω της αρχής Le Chatelier η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα αριστερά με αποτέλεσμα η [B] να μειώνεται και η [A] αυξάνεται. Έτσι, ο λόγος λ μειώνεται μέχρι να αποκατασταθεί η νέα ισορροπία στην οποία αποκτάται η αρχική τιμή που είναι ίση με τη σταθερά K_c.

2. Σε δοχείο έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία: $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$**. Αυξάνουμε τον όγκο του δοχείου και αποκαθίσταται νέα ισορροπία στην ίδια θερμοκρασία.**
α) Πώς θα μεταβληθούν οι ποσότητες των δύο στερεών της ισορροπίας, ξεχωριστά, με την παραπάνω μεταβολή (αύξηση, μείωση, καμία μεταβολή);
β) Πώς θα μεταβληθεί η συγκέντρωση του $CO_2(g)$ **με την παραπάνω μεταβολή (αύξηση, μείωση, καμία μεταβολή) και την αποκατάσταση της νέας ισορροπίας; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.**



Στην ίδια θερμοκρασία, η $[CO_2]$ δεν μεταβάλλεται με την αλλαγή των ποσοτήτων του $CaCO_3(s)$ και του $CaO(s)$.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
α) Με την αύξηση του όγκου του δοχείου και σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά με αποτέλεσμα τη μείωση της ποσότητας του $CaCO_3(s)$ και την αύξηση της ποσότητας του $CaO(s)$.

β) Στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας ισχύει: $K_c = [CO_2]$ = σταθερή, καθώς η σταθερά K_c εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία. Επομένως, με τη μεταβολή του όγκου η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά αλλά η συγκέντρωση του CO_2 παραμένει σταθερή.

3. Υδατικό διάλυμα της ουσίας A(aq) **έχει αρχική συγκέντρωση** c_0**. Από τη χρονική στιγμή** $t = 0$ **και μετά η ουσία** A **διασπάται σύμφωνα με την εξίσωση:**

$$A(aq) \rightleftharpoons B(aq) + \Gamma(aq)$$

α) Μετά από ένα χρονικό διάστημα αποκαθίσταται χημική ισορροπία και η απόδοση της αντίδρασης είναι ίση με α**. Να αποδείξετε τη σχέση:**

$$K_c = \frac{\alpha^2 \cdot c_0}{1-\alpha},$$

όπου K_c **η σταθερά της χημικής ισορροπίας στη θερμοκρασία του πειράματος.**
β) Να εξηγήσετε πώς θα μεταβληθεί η απόδοση της αντίδρασης με την αύξηση της αρχικής συγκέντρωσης c_0 **του** A(aq)**, χωρίς αλλαγή στη θερμοκρασία.**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
α) Κατασκευάζουμε τον πίνακα της ισορροπίας (σε συγκεντρώσεις):

$mol \cdot L^{-1}$	**A(aq)**	$\rightleftharpoons$	**B(aq)**	+	**Γ(aq)**
Αρχικά	c_0		–		–
Μεταβολές	–x		x		x
Χ.Ι.	$c_0 - x$		x		x

Η απόδοση της αντίδρασης είναι: $\alpha = \frac{x \cdot V}{c_0 \cdot V} = \frac{x}{c_0}$, $x = \alpha \cdot c_0$

$$K_c = \frac{[B] \cdot [\Gamma]}{[A]} = \frac{x \cdot x}{c_0 - x} = \frac{\alpha^2 \cdot c_0^2}{c_0 - \alpha c_0} = \frac{\alpha^2 \cdot c_0}{1-\alpha}$$

β) Θα μειωθεί. Με την αύξηση της συγκέντρωσης (c_0) ο λόγος $\frac{\alpha^2}{1-\alpha}$ θα πρέπει να μειωθεί ώστε η τιμή της K_c να παραμείνει η ίδια. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μείωση της τιμής του α (μείωση του αριθμητή με παράλληλη αύξηση του παρονομαστή).

4. Σε δοχείο όγκου $V = 2$ L **περιέχονται σε κατάσταση ισορροπίας** 4 mol SO_3, 4 mol SO_2 **και** 0,5 mol O_2 **στους** 227 °C **σύμφωνα με την εξίσωση:**

$$2SO_3(g) \rightleftharpoons 2SO_2(g) + O_2(g)$$

Θερμαίνουμε το μίγμα της ισορροπίας στους 427 °C**, οπότε μετά την αποκατάσταση νέας ισορροπίας στο δοχείο περιέχονται** 9 mol **αερίων, συνολικά.**

α) Να υπολογίσετε την τιμή της σταθεράς K_c **στους** 227 °C**.**

β) Να υπολογίσετε την τιμή της σταθεράς K_c **στους** 427 °C**.**

γ) Να εξηγήσετε αν η αντίδραση, $2SO_3(g) \rightarrow 2SO_2(g) + O_2(g)$**, είναι εξώθερμη ή ενδόθερμη.**

ΛΥΣΗ

α)

mol	$2SO_3(g)$	$\rightleftharpoons$	$2SO_2(g)$	+	$O_2(g)$
Αρχική Χ.Ι. (227 °C)	4		4		0,5

Αν η αντίδραση οδεύσει προς τα δεξιά, για κάθε 2 mol SO_3 που διασπώνται, παράγονται 2 mol SO_2 και 1 mol O_2 (συνολικά 3mol). Επομένως, με τη μετατόπιση της ισορροπίας προς τα δεξιά, ο συνολικός αριθμός mol αυξάνεται. Στην αντίθετη περίπτωση θα είχαμε μείωση του συνολικού αριθμού mol.

$$K_c(227^oC) = \frac{[SO_2]^2 \cdot [O_2]}{[SO_3]^2} = \frac{\left(\frac{4}{V}\right)^2 \cdot \frac{0,5}{V}}{\left(\frac{4}{V}\right)^2} = \frac{0,5}{2} = 0,25$$

β) Στην αρχική ισορροπία έχουμε: $n_{ολ} = 4 + 4 + 0,5 = 8,5$ mol. Επειδή με την αύξηση της θερμοκρασίας ο ολικός αριθμός mol αυξήθηκε, η ισορροπία μετατοπίστηκε προς τα δεξιά, όπου ο συνολικός αριθμός mol αυξάνεται.

mol	$2SO_3(g)$	$\rightleftharpoons$	$2SO_2(g)$	+	$O_2(g)$
Αρχική Χ.Ι.	4		4		0,5
Μεταβολές	–2x		2x		x
Νέα Χ.Ι.	4 – 2x		4 + 2x		0,5 + x

$n_{ολ} = (4 - 2x) + (4 + 2x) + 0,5 + x = 9$, $x = 0,5$ mol. Άρα, στην νέα Χ.Ι. στους 427 °C θα συνυπάρχουν: $4 - 2x = 3$ mol SO_3, $4 + 2x = 5$ mol SO_2 και $0,5 + x = 1$ mol O_2.

$$K_c(427^oC) = \frac{[SO_2]^2 \cdot [O_2]}{[SO_3]^2} = \frac{\left(\frac{5}{V}\right)^2 \cdot \frac{1}{V}}{\left(\frac{3}{V}\right)^2} = \frac{25}{18}$$

γ) Παρατηρούμε ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας η ισορροπία μετατοπίστηκε προς τα δεξιά. Όμως, με την αύξηση της θερμοκρασίας και σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier, η ισορροπία μετατοπίζεται προς την ενδόθερμη κατεύθυνση. Επομένως, η αντίδραση προς τα δεξιά είναι ενδόθερμη (εξώθερμη προς τα αριστερά):

Η μεταβολή της ενθαλπίας που τυχόν αναγράφεται σε μια χημική ισορροπία αντιστοιχεί πάντα στην αντίδραση προς τα δεξιά.

$$2SO_3(g) \rightleftharpoons 2SO_2(g) + O_2(g), \Delta H > 0$$

Σημείωση: Θα μπορούσαμε να οδηγηθούμε στο ίδιο συμπέρασμα ακόμη και αν είχαμε μόνο τις τιμές των K_c στις δύο διαφορετικές θερμοκρασίες. Καθώς ισχύει: $K_c(227\,^oC) < K_c(427\,^oC)$, η αύξηση της θερμοκρασίας θα έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή μεγαλύτερης ποσότητας προϊόντων εις βάρος των αντιδρώντων και η ισορροπία οδεύει προς τα δεξιά. Επομένως, η αντίδραση προς τα δεξιά είναι ενδόθερμη.

5. Για την ισορροπία: $Br_2(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons 2BrCl(g)$**, ισχύει** $K_c = 9$**, σε θερμοκρασία** T**.**
α) Σε κενό δοχείο εισάγουμε 0,5 mol Br_2 **και** 0,5 mol Cl_2 **σε θερμοκρασία** T**. Ποιος αριθμός mol** BrCl **θα έχει σχηματιστεί στην κατάσταση της ισορροπίας;**
β) Σε άλλο δοχείο εισάγονται 2 mol BrCl **στην ίδια θερμοκρασία** T **και αποκαθίσταται νέα χημική ισορροπία. Ποιες οι ποσότητες** σε mol **όλων των συστατικών της νέας ισορροπίας;**

ΛΥΣΗ

α)

mol	$Br_2(g)$	+ $Cl_2(g)$	⇌ $2BrCl(g)$
Αρχικά	0,5	0,5	–
Μεταβολές	–x	–x	2x
Χ.Ι.	0,5 – x	0,5 – x	2x

Από την έκφραση της σταθεράς της ισορροπίας K_c (οι όγκοι απλοποιούνται), έχουμε:

$$K_c = \frac{[BrCl]^2}{[Br_2]\cdot[Cl_2]} = \left(\frac{2x}{0,5-x}\right)^2 \Rightarrow \left(\frac{2x}{0,5-x}\right)^2 = 9 \Rightarrow \frac{2x}{0,5-x} = +3$$

Κρατώντας μόνο τη λύση με το +3, προκύπτει: 2x = 1,5 – 3x, 5x = 1,5, x = 0,3 mol. Έτσι, η ποσότητα του BrCl στην ισορροπία θα είναι: 2x = 0,6 mol.

β)

mol	$Br_2(g)$	+ $Cl_2(g)$	⇌ $2BrCl(g)$
Αρχικά	–	–	2
Μεταβολές	y	y	–2y
Χ.Ι.	y	y	2 – 2y

$$K_c = \frac{[BrCl]^2}{[Br_2]\cdot[Cl_2]} = 9, \quad \frac{2-2y}{y} = +3, \quad y = 0,4 \text{ mol}$$

Στην ισορροπία θα συνυπάρχουν: 0,4 mol Br_2, 0,4 mol Cl_2 και 2 – 2y = 1,2 mol BrCl.

Στο β ερώτημα η αντίδραση γίνεται με φορά προς τα αριστερά, χωρίς όμως να αλλάξει μαθηματική έκφραση η σταθερά K_c που ισούται πάντα με 9, όταν αριθμητής είναι η [BrCl] !

6. Σε δοχείο όγκου 10 L **εισάγονται** 0,5 mol H_2 **και** 0,5 mol I_2**, τα οποία θερμαίνονται στους** 448 °C **οπότε αποκαθίσταται η ισορροπία,** $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$**, για την οποία ισχύει:** $K_c = 64$**. Να υπολογίσετε:**
α) Τη σύσταση του μίγματος στους 448 °C **μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας.**
β) Την ολική πίεση που ασκείται στο δοχείο στη χημική ισορροπία στους 727 °C**.**
$R = 0,082$ L·atm/mol·K**.**

ΛΥΣΗ

α)

mol	$H_2(g)$	+ $I_2(g)$	⇌ $2HI(g)$
Αρχικά	0,5	0,5	—
Μεταβολές	–x	–x	2x
Χ.Ι.	0,5 – x	0,5 – x	2x

$$K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2]\cdot[I_2]} = 64, \quad \frac{(2x)^2}{(0,5-x)^2} = 8^2, \quad \frac{2x}{0,5-x} = +8 \text{ (οι όγκοι απλοποιούνται)}$$

Ο συνολικός αριθμός mol δε μεταβάλλεται με την εξέλιξη της αντίδρασης προς τα δεξιά. Έτσι, στην ισορροπία έχουμε συνολικά, (0,5 − x) + (0,5 – x) + 2x = 1 mol, όσο δηλαδή και στην αρχική κατάσταση: 0,5 + 0,5 = 1 mol. Αυτό συμβαίνει όταν το άθροισμα των συντελεστών των αερίων αντιδρώντων είναι ίσο με το άθροισμα των συντελεστών των αερίων προϊόντων, δηλαδή όταν $\Delta n = 0$.

Από τη λύση της εξίσωσης (η λύση με το −8 απορρίπτεται), έχουμε: x = 0,4 mol. Επομένως, στη χημική ισορροπία συνυπάρχουν: 0,5 – x = 0,1 mol H_2, 0,5 – x = 0,1 mol I_2 και 2x = 0,8 mol HI.

β) Με την αύξηση της θερμοκρασίας η θέση της ισορροπίας θα μετατοπιστεί (προς τα δεξιά, αν η αντίδραση προς τα δεξιά είναι ενδόθερμη ή προς τα αριστερά, αν η αντίδραση προς τα δεξιά είναι εξώθερμη). Καθώς δεν γνωρίζουμε την ενθαλπία της αντίδρασης, θα πρέπει να παρατηρήσουμε ότι ανεξάρτητα της κατεύθυνσης μετατόπισης της ισορροπίας ο ολικός αριθμός mol δε μεταβάλλεται και παραμένει ίσος με τον αρχικό (0,5 + 0,5 = 1 mol). Και αυτό γιατί Δn(αερίων) = 0. Επομένως:

$$P_{ολ} \cdot V = n_{ολ} \cdot R \cdot T,\ P_{ολ} = \frac{n_{ολ} \cdot R \cdot T}{V} = \frac{1 \cdot 0{,}082 \cdot 1000}{10}\ \text{atm} = 8{,}2\ \text{atm}$$

7. Σε δοχείο εισάγουμε ποσότητες των αερίων $CO_2(g)$ **και** $H_2(g)$ **με αναλογία** mol 1:5**, αντίστοιχα και αποκαθίσταται η ισορροπία:** $CO_2(g) + H_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2O(g)$**, με** $K_c = 1$ **στους** θ °C**.**

α) Να υπολογιστεί το ποσοστό (%) του CO_2 **που αντέδρασε (με τη μορφή κλάσματος) μέχρι την αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας.**

β) Την αναλογία mol $CO_2(g)$ **και** $H_2(g)$ **που πρέπει να εισαχθούν σε άλλο δοχείο, ώστε στην ισορροπία να έχει αντιδράσει το** 90% **της αρχικής ποσότητας του** H_2**.**

Η θερμοκρασία είναι σταθερή και ίση με θ °C**.**

ΛΥΣΗ

α)

mol	$CO_2(g)$	+	$H_2(g)$	$\rightleftharpoons$	$CO(g)$	+	$H_2O(g)$
Αρχικά	x		5x		—		—
Μεταβολές	−y		−y		y		y
Χ.Ι.	x – y		5x – y		y		y

Αν $\pi = \frac{y}{x}$ (όπου π το κλάσμα των mol του CO_2 που αντιδρά) θα ισχύει: y = π·x.

$$K_c = 1 = \frac{y^2}{(x-y)\cdot(5x-y)} = \frac{\pi^2}{(1-\pi)\cdot(5-\pi)}$$ (οι όγκοι απλοποιούνται, καθώς $\Delta n = 0$)

Από την προηγούμενη σχέση, προκύπτει π = 5/6 και επομένως το ποσοστό (%) του CO_2 που μετασχηματίζεται σε CO είναι (500/6)%.

β) Έστω ότι η αναλογία mol $CO_2(g)$ και $H_2(g)$ είναι ίση με λ (στα αέρια, η αναλογία mol είναι και αναλογία όγκων).

mol	$CO_2(g)$	+	$H_2(g)$	$\rightleftharpoons$	$CO(g)$	+	$H_2O(g)$
Αρχικά	λx		x		—		—
Μεταβολές	−y		−y		y		y
Χ.Ι.	λx – y		x – y		y		y

Θα ισχύει: $0{,}9 = \frac{y}{x},\ y = 0{,}9x$

$$K_c = 1 = \frac{(0,9x)^2}{(\lambda x - y)\cdot(x - y)} = \frac{0,9^2}{(\lambda - 0,9)\cdot 0,1},\ \lambda = 9.$$

8. Σε δοχείο όγκου 20 L **εισάγονται** 6 mol $CaCO_3$ **και θερμαίνονται στους** 1227 °C**, οπότε αποκαθίσταται η χημική ισορροπία:**

$$CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$$

Η σταθερά της ισορροπίας έχει τιμή $K_c = 0,2$**, στους** 1227 °C**.**

α) Πόσα mol $CaCO_3$ **θα διασπαστούν μέχρι την αποκατάσταση της ισορροπίας;**

β) Σε ένα άλλο δοχείο όγκου 60 L **εισάγονται** 6 mol $CaCO_3$ **στους** 1227 °C**. Να εξετάσετε αν μπορεί να αποκατασταθεί χημική ισορροπία.**

γ) Ποιος είναι ο ελάχιστος όγκος για ένα δοχείο, ώστε όταν θερμανθούν 6 mol $CaCO_3$ **στους** 1227 °C **να διασπαστούν όλα;**

Ο όγκος των στερεών είναι αμελητέος σε σχέση με τον όγκο του δοχείου.



Οι ακτές του Seven Sisters στο ανατολικό Sussex τις Αγγλίας είναι από κιμωλία, δηλαδή συμπιεσμένο ανθρακικό ασβέστιο. Προέκυψαν από άλγη σε παλαιότερες γεωλογικές περιόδους.

ΛΥΣΗ

α)

mol	$CaCO_3(s)$	$\rightleftharpoons$	$CaO(s)$	+	$CO_2(g)$
Αρχικά	6		—		—
Μεταβολές	–x		x		x
Χ.Ι.	6 – x		x		x

$$K_c = [CO_2] = 0,2,\ \frac{x}{V} = 0,2,\ x = 0,2\cdot 20 = 4\ mol$$

Επομένως θα διασπαστούν 4 mol $CaCO_3(s)$ και θα παραμείνουν 6 − 4 = 2 mol $CaCO_3(s)$.

β)

mol	$CaCO_3(s)$	$\rightleftharpoons$	$CaO(s)$	+	$CO_2(g)$
Αρχικά	6		—		—
Μεταβολές	–y		y		y
Χ.Ι.	6 – y		y		y

$$K_c = [CO_2] = 0,2,\ \frac{y}{V} = 0,2,\ y = 0,2\cdot 60 = 12\ mol$$

Επομένως για την αποκατάσταση της ισορροπίας θα πρέπει να διασπαστούν 12 mol $CaCO_3(s)$. Αφού έγινε εισαγωγή 6 mol $CaCO_3(s)$ θα διασπαστεί όλη η ποσότητα αυτή και θα παραχθούν 6 mol $CaO(s)$ και 6 mol $CO_2(g)$. Η κατάσταση όμως της ισορροπίας δεν θα επιτευχθεί καθώς η $[CO_2]$ είναι ίση με 6/60 = 0,1 < K_c = 0,2.

γ) Έστω V_{min} ο ελάχιστος όγκος του δοχείο, ώστε όταν σε αυτό θερμάνουμε 6 mol $CaCO_3$ στους 1227 °C να διασπαστεί όλη η ποσότητα. Η κατάσταση αυτή αντιστοιχεί σε «οριακή» ισορροπία με την έννοια ότι η διάσπαση στην περίπτωση αυτή θα δώσει $[CO_2] = K_c = 0,2$ αλλά δεν έχει απομείνει ποσότητα $CaCO_3(s)$. Ο όγκος αυτός είναι ο ελάχιστος καθώς αν γίνει μικρότερος, τότε $[CO_2] > 0,2$ M και θα πρέπει -για να επιτευχθεί ισορροπία να μετατοπιστεί προς τα αριστερά και άρα θα παραχθεί ποσότητα $CaCO_3(s)$. Επομένως:

$$[CO_2] = 0,2\ M,\ \frac{n_{CO_2}}{V_{min}} = 0,2,\ V_{min} = \frac{6}{0,2} = 30\ L$$

9. Ποσότητες αερίων SO_2 και NO_2 διοχετεύονται σε δοχείο σταθερού όγκου $V = 1$ L και αποκαθίσταται η χημική ισορροπία:

$$SO_2(g) + NO_2(g) \rightleftharpoons SO_3(g) + NO(g)$$

Αν στην κατάσταση της ισορροπίας περιέχονται 0,2 mol SO_2**,** 0,6 mol NO_2**,** 0,6 mol SO_3 **και** 0,6 mol NO**, να υπολογίσετε:**

α) i. Τη σταθερά K_c της χημικής ισορροπίας. ii. Την απόδοση της αντίδρασης.

β) Πόσα mol SO_2 **πρέπει να προστεθούν επιπλέον στο αρχικό μίγμα** SO_2 **και** NO_2 **ώστε το** SO_2 **να βρεθεί σε περίσσεια και η απόδοση της αντίδρασης να παραμείνει η ίδια. Καθ' όλη τη διάρκεια των πειραμάτων η θερμοκρασία δεν μεταβάλλεται.**

[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

ΛΥΣΗ

α) i. Έστω x mol η αρχική ποσότητα του $SO_2(g)$ και y mol η αρχική ποσότητα του $NO_2(g)$.

mol	$SO_2(g)$	+ $NO_2(g)$	$\rightleftharpoons$ $SO_3(g)$	+ $NO(g)$
Αρχικά	x	y	—	—
Μεταβολές	–ω	–ω	ω	ω
Χ.Ι.	x – ω	y – ω	ω	ω

Ισχύουν: ω = 0,6, x – ω = 0,2, x = 0,8 και y – ω = 0,6, y = 1,2.

$$K_c = \frac{[SO_3]\cdot[NO]}{[SO_2]\cdot[NO_2]} = \frac{0,6\cdot 0,6}{0,2\cdot 0,6} = 3$$

ii. Το αντιδρών SO_2 είναι το περιοριστικό αντιδρών και επομένως:

$$\alpha = \frac{0,6}{0,8} = 0,75\ (75\%).$$

β) Έστω ότι πρέπει να προστεθούν λ mol mol SO_2 επιπλέον στο αρχικό μίγμα.

mol	$SO_2(g)$	+ $NO_2(g)$	$\rightleftharpoons$ $SO_3(g)$	+ $NO(g)$
Αρχικά	0,8 + λ	1,2	—	—
Μεταβολές	–ξ	–ξ	ξ	ξ
Χ.Ι.	0,8 + λ – ξ	1,2 – ξ	ξ	ξ

Για να είναι το SO_2 σε περίσσεια θα πρέπει να ισχύει: λ > 0,4 mol. Θα ισχύει:

$$\alpha = \frac{\xi}{1,2} = 0,75,\ \xi = 0,9\ \text{mol}$$

Στην ισορροπία θα συνυπάρχουν: (λ – 0,1) mol $SO_2(g)$, 0,3 mol $NO_2(g)$, 0,9 mol $SO_3(g)$ και 0,9 mol NO(g). Από την έκφραση της K_c θα έχουμε:

$$K_c = \frac{[SO_3]\cdot[NO]}{[SO_2]\cdot[NO_2]} = \frac{0,9\cdot 0,9}{(\lambda - 0,1)\cdot 0,3} = 3,\ \lambda = 1\ \text{mol}.$$

10. 0,01 **mol** $I_2(s)$ **εισάγεται σε δοχείο όγκου** V **και θερμοκρασίας** θ °C **που περιέχει ισομοριακή ποσότητα** $H_2(g)$**. Στη θερμοκρασία αυτή το** $I_2(s)$ **εξαχνώνεται και αποκαθίσταται η ισορροπία:** $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ **με απόδοση** 50%**. Να υπολογίσετε πόσα επιπλέον mol** I_2 **πρέπει να προστεθούν στο δοχείο, χωρίς μεταβολή της θερμοκρασίας και του όγκου, ώστε η απόδοση της αντίδρασης να γίνει** 80%**.** [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

ΛΥΣΗ

Κατασκευάζουμε τον πίνακα της ισορροπίας:

mol	$H_2(g)$	+	$I_2(g)$	⇌	$2HI(g)$
Αρχικά	0,01		0,01		—
Μεταβολές	–x		–x		2x
Χ.Ι.	0,01 – x		0,01 – x		2x

Οι αρχικές ποσότητες των δύο αντιδρώντων είναι σε στοιχειομετρική αναλογία και επομένως η απόδοση (α_1) της αντίδρασης υπολογίζεται ως εξής:

$$\alpha_1 = \frac{x}{0,01} = 0,5,\ x = 5\cdot 10^{-3}\ \text{mol}$$

Στην ισορροπία θα συνυπάρχουν: $5\cdot 10^{-3}$ mol $H_2(g)$, $5\cdot 10^{-3}$ mol $I_2(g)$ και 10^{-2} mol HI.

$$K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2]\cdot[I_2]} = \frac{\left(\frac{10^{-2}}{V}\right)^2}{\left(\frac{5\cdot 10^{-3}}{V}\right)^2} = \frac{10^{-4}}{25\cdot 10^{-6}} = \frac{100}{25} = 4$$

Με την προσθήκη της επιπλέον ποσότητας I_2, έστω λ mol, η απόδοση της αντίδρασης θα γίνει 80% ($\alpha_2 = 0,8$). Κατασκευάζουμε το νέο πίνακα της ισορροπίας θεωρώντας την επιπλέον ποσότητα του I_2 στις αρχικές ποσότητες:

mol	$H_2(g)$	+	$I_2(g)$	⇌	$2HI(g)$
Αρχικά	0,01		0,01 + λ		—
Μεταβολές	–y		–y		2y
Χ.Ι.	0,01 – y		0,01 + λ – y		2y

Καθώς το H_2 είναι σε έλλειμμα, η απόδοση της αντίδρασης εκφράζεται ως εξής:

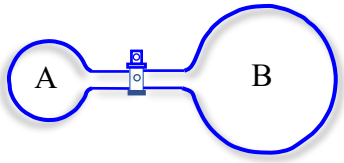
$$\alpha_2 = \frac{y}{0,01} = 0,8,\ y = 8\cdot 10^{-3}\ \text{mol}$$

Άρα, στη χημική ισορροπία θα συνυπάρχουν: $0,01 - y = 2\cdot 10^{-3}$ mol $H_2(g)$, $0,01 + \lambda - y = (2\cdot 10^{-3} + \lambda)$ mol $I_2(g)$ και $16\cdot 10^{-3}$ mol HI. Η σταθερά K_c δεν αλλάζει τιμή, καθώς η θερμοκρασία παραμένει σταθερή και επομένως:

$$K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2]\cdot[I_2]} = \frac{\left(\frac{16\cdot 10^{-3}}{V}\right)^2}{\left(\frac{2\cdot 10^{-3}}{V}\right)\cdot\left(\frac{2\cdot 10^{-3}+\lambda}{V}\right)}$$

$$4 = \frac{16^2\cdot 10^{-6}}{2\cdot 10^{-3}\cdot(2\cdot 10^{-3}+\lambda)},\ 2\cdot 10^{-3}+\lambda = 32\cdot 10^{-3},\ \lambda = 3\cdot 10^{-2}\ \text{mol}$$

11. Στο σχήμα που ακολουθεί η φιάλη B **είναι κενή και η στρόφιγγα επικοινωνίας μεταξύ των δύο φιαλών** A **και** B **είναι κλειστή.**



Η φιάλη A **έχει όγκο** $V_A = 2$ L **και σε αυτή έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία (1) που ακολουθεί σε θερμοκρασία** T**.**

$$NH_4HS(s) \rightleftharpoons NH_3(g) + H_2S(g) \quad (1)$$

Στην κατάσταση της ισορροπίας προσδιορίστηκαν 0,04 mol NH_3 **και** 0,04 mol H_2S**.**
α) Να υπολογίσετε την τιμή της σταθεράς K_c **της ισορροπίας** (1) **σε θερμοκρασία** T**.**
β) Ανοίγουμε την στρόφιγγα που συνδέει τις δύο φιάλες.
i. Τι θα πάθει η ποσότητα του στερεού NH_4HS **(θα αυξηθεί, θα μειωθεί ή θα μείνει σταθερή) με το άνοιγμα της στρόφιγγας και την αποκατάσταση της νέας ισορροπίας; ii. Πώς θα μεταβληθεί η τιμή της σταθεράς** K_c**; Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας.**
γ) Πώς θα μεταβληθούν (αύξηση, μείωση, καμία μεταβολή) οι συγκεντρώσεις της $NH_3(g)$ **και του** $H_2S(g)$ **με το άνοιγμα της στρόφιγγας και την αποκατάσταση νέας χημικής ισορροπίας;**
Η θερμοκρασία παραμένει σταθερή σε όλες τις περιπτώσεις.

ΛΥΣΗ

α) $K_c = [NH_3]\cdot[H_2S] = \frac{0,04}{2}\cdot\frac{0,04}{2} = 4\cdot10^{-4}$.

β) i. Με το άνοιγμα της στρόφιγγας θα αυξηθεί ο όγκος του δοχείου, οπότε σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier η ισορροπία θα μετακινηθεί προς τα δεξιά και επομένως η ποσότητα του $NH_4HS(s)$ θα μειωθεί.
ii. Η τιμή της σταθεράς K_c δεν θα μεταβληθεί γιατί εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία.

γ) Με το άνοιγμα της στρόφιγγας η ισορροπία θα οδεύσει προς τα δεξιά και οι ποσότητες του $H_2S(g)$ και της $NH_3(g)$ θα αυξηθούν αλλά θα παραμείνουν ίσες μεταξύ τους καθώς το γινόμενο των δύο αυτών συγκεντρώσεων είναι σταθερό και ίσο με τη σταθερά K_c.

12. Σε δοχείο όγκου V **που βρίσκεται σε θερμοκρασία** T_1 **εισάγουμε** 1 mol H_2**,** 1 mol I_2 **και** 8 mol HI **σε αέρια κατάσταση και αποκαθίσταται η ισορροπία:**

$$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g),\ \Delta H < 0,\ K_c(T_1) = 16$$

α) Να εξετάσετε αν το σύστημα βρίσκεται ή όχι σε κατάσταση ισορροπίας.
β) Να υπολογίσετε τις ποσότητες σε mol όλων των σωμάτων στη χημική ισορροπία.
γ) Σε άλλο δοχείο όγκου V **που βρίσκεται σε μικρότερη θερμοκρασία (**$T_2 < T_1$**) εισάγουμε** 3 mol H_2**,** 3 mol I_2 **και** 10 mol HI **σε αέρια κατάσταση. Να προβλέψετε την κατεύθυνση προς την οποία θα εξελιχθεί αντίδραση.**

ΛΥΣΗ

α) Υπολογίζουμε την τιμή του πηλίκου της αντίδρασης:

$$Q_c = \frac{[HI]^2}{[H_2]\cdot[I_2]} = \left(\frac{\frac{8}{V}}{\frac{1}{V}}\right)^2 = 64 > 16 = K_c$$

Άρα, το σύστημα δεν είναι σε κατάσταση ισορροπίας.

β) Επειδή $Q_c > K_c$ θα εξελιχθεί αντίδραση προς αριστερά:

mol	$H_2(g)$	+ $I_2(g)$	⇌ $2HI(g)$
Αρχικά	1	1	8
Μεταβολές	x	x	−2x
Χ.Ι.	1 + x	1 + x	8 − 2x

Στην κατάσταση χημικής ισορροπίας θα ισχύει:

$$K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2]\cdot[I_2]} = \left(\frac{\frac{8-2x}{V}}{\frac{1+x}{V}}\right)^2 = 4^2,$$

$$\left(\frac{\frac{8-2x}{V}}{\frac{1+x}{V}}\right) = +4,\ 8-2x = 4+4x,\quad x = \frac{2}{3}\ \text{mol}$$

Επομένως, στη χημική ισορροπία θα συνυπάρχουν: 5/3mol H_2, 5/3mol I_2 και 20/3mol HI.

γ) Η αντίδραση είναι εξώθερμη προς τα δεξιά και επομένως στη νέα θερμοκρασία θα ισχύει: $K_c(T_2) > K_c(T_1) = 16$.

Υπολογίζουμε την τιμή του πηλίκου της αντίδρασης:

$$Q_c = \frac{[HI]^2}{[H_2]\cdot[I_2]} = \left(\frac{\frac{10}{V}}{\frac{3}{V}}\right)^2 = \frac{100}{9} < 16$$

Άρα το σύστημα δεν βρίσκεται σε ισορροπία και θα εξελιχθεί αντίδραση προς τα δεξιά.

13. Σε δοχείο σταθερού όγκου $V = 40$ L **εισάγονται** 20 mol $SO_2(g)$ **και** x mol $O_2(g)$ **και με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται η χημική ισορροπία που ακολουθεί, σε θερμοκρασία** T**:** $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$**,** $K_c = 8$ **(στη θερμοκρασία** T**). Η απόδοση της αντίδρασης είναι** $\alpha = 0{,}5$**. Να υπολογιστεί η τιμή του** x**.**

ΛΥΣΗ

mol	$2SO_2(g)$	+ $O_2(g)$	⇌ $2SO_3(g)$
Αρχικά	20	x	—
Μεταβολές	–2y	–y	2y
Χ.Ι.	20 – 2y	x – y	2y

Περίπτωση 1: $x \geq 10$ (το SO_2 είναι σε έλλειμμα ή σε στοιχειομετρική αναλογία με το O_2). Στην περίπτωση αυτή η απόδοση θα είναι:

$$\alpha = \frac{2y}{20} = 0,5,\ y = 5\ mol$$

Επομένως, στη χημική ισορροπία θα έχουμε: 10 mol SO_2, $(x - 5)$ mol O_2 και 10 mol SO_3. Από την έκφραση της K_c έχουμε:

$$K_c = \frac{[SO_3]^2}{[SO_2]^2 \cdot [O_2]} = \frac{\left(\frac{10}{40}\right)^2}{\left(\frac{10}{40}\right)^2 \cdot \frac{x-5}{40}},\ x = 10\ mol$$ (δεκτή λύση).

Περίπτωση 2: $x \leq 10$ (το O_2 είναι σε έλλειμμα ή σε στοιχειομετρική αναλογία με το SO_2). Στην περίπτωση αυτή η απόδοση θα είναι:

$$\alpha = \frac{y}{x},\ y = 0,5x$$

Επομένως, στη χημική ισορροπία θα έχουμε: $(20 - x)$ mol SO_2, $x/2$ mol O_2 και x mol SO_3. Από την έκφραση της K_c έχουμε:

$$K_c = \frac{[SO_3]^2}{[SO_2]^2 \cdot [O_2]} = 8,\ \frac{\left(\frac{x}{40}\right)^2}{\left(\frac{20-x}{40}\right)^2 \cdot \frac{x}{2 \cdot 40}} = 8$$

Από την παραπάνω εξίσωση και μετά από πράξεις, προκύπτει: $x^2 - 50x + 400 = 0$. Από τη επίλυση της εξίσωσης ($\Delta = 900$) προκύπτουν δύο λύσεις: $x_1 = 40$ και $x_2 = 10$. Η πρώτη λύση δεν είναι αποδεκτή (δίνει αρνητική ποσότητα SO_2) και επομένως η μοναδική δεκτή λύση είναι $x = 10$ (κοινή λύση με την περίπτωση 1). Με άλλα λόγια η απόδοση θα είναι $\alpha = 0,5$ όταν τα δύο αντιδρώντα είναι σε στοιχειομετρική αναλογία.

14. Δίνονται οι χημικές ισορροπίες που ακολουθούν με τις σταθερές ισορροπίας τους σε θερμοκρασία *T*.

$Ag_2CO_3(s) \rightleftharpoons Ag_2O(s) + CO_2(g)$, $K_{c1} = 0,01$

$Li_2CO_3(s) \rightleftharpoons Li_2O(s) + CO_2(g)$, $K_{c2} = 10^{-5}$

Σε δοχείο όγκου $V = 10$ L **έχει αποκατασταθεί η** 1η **από τις δύο ισορροπίες σε θερμοκρασία** *T*. **Μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας στο δοχείο προστίθεται ποσότητα** $Li_2CO_3(s)$. **Να εξετάσετε αν η ποσότητα του** $Li_2CO_3(s)$ **θα αυξηθεί, θα μειωθεί ή θα παραμείνει σταθερή με την πάροδο του χρόνου.**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Για την κατάσταση της χημικής ισορροπίας της 1ης αντίδρασης, ισχύει:

$$K_c = [CO_2] = 0,01$$

Με την προσθήκη $Li_2CO_3(s)$:

$$Q_c = [CO_2] = 0,01 > 10^{-5}$$

Επομένως, η 2η αντίδραση θα πρέπει να εξελιχθεί προς τα αριστερά, που δεν είναι δυνατόν καθώς δεν υπάρχει $Li_2O(s)$. Έτσι, η ποσότητα του $Li_2CO_3(s)$ θα παραμείνει σταθερή.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

15.1. Ποια είναι η έκφραση της σταθεράς ισορροπίας:

$NH_4CO_2NH_2(s) \rightleftharpoons 2NH_3(g) + CO_2(g)$

Α) $K_c = [NH_3]\cdot[CO_2]$
Β) $K_c = [NH_3]^2\cdot[CO_2]$
Γ) $K_c = [NH_3]\cdot[CO_2] / [NH_4CO_2NH_2]$
Δ) $K_c = [NH_3]^2\cdot[CO_2] / [NH_4CO_2NH_2]$

15.2. Ποια η μονάδα της σταθεράς K_c της ισορροπίας:

$2NO(g) \rightleftharpoons N_2(g) + O_2(g)$

Α) Δεν έχει μονάδες, είναι καθαρός αριθμός
Β) M Γ) M^{-2} Δ) M^{-1}

15.3. Η έκφραση της σταθεράς K_c σε μία <u>ομογενή</u> χημική ισορροπία είναι η εξής:

$$K_c = \frac{[A]^2\cdot[B]}{[\Gamma]^3\cdot[\Delta]}$$

Ποια είναι η εξίσωση της χημικής ισορροπίας;
Α) $2A(aq) + B(aq) \rightleftharpoons 3\Gamma(aq) + \Delta(g)$
Β) $3\Gamma(g) + \Delta(g) \rightleftharpoons 2A(g) + B(g)$
Γ) $3\Gamma(aq) + \Delta(aq) \rightleftharpoons 2A(aq) + B(s)$
Δ) $3\Gamma(aq) + \Delta(s) \rightleftharpoons 2A(aq) + B(s)$

15.4. Η τιμή της K_c της ισορροπίας, $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$, $\Delta H < 0$, αυξάνεται με:
Α) τη χρήση καταλύτη
Β) τη μείωση της θερμοκρασίας
Γ) την αύξηση της θερμοκρασίας
Δ) την αύξηση της αρχικής συγκέντρωσης του $H_2(g)$

15.5. Η αντίδραση, $A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$, είναι απλή και προς τις δύο κατευθύνσεις. Η σταθερά ταχύτητας της αντίδρασης προς τα δεξιά είναι k_1 και προς τα αριστερά k_2. Στην κατάσταση της ισορροπίας, τι από τα παρακάτω ισχύει;
Α) $[A] = [B]^2$ Β) $[A] = [B]$
Γ) $k_1\cdot[A] = k_2\cdot[B]^2$ Δ) $k_1\cdot[A] = k_2\cdot[B]$

15.6. Σε δοχείο όγκου V έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία: $CaO(s) + CO_2(g) \rightleftharpoons CaCO_3(s)$, στην οποία συνυπάρχουν α mol CaO, β mol CO_2, και γ mol $CaCO_3$. Η σταθερά K_c της ισορροπίας δίνεται από τη σχέση:

Α) $K_c = \frac{\gamma\cdot V}{\alpha\cdot\beta}$ Β) $K_c = \frac{\gamma}{\alpha\cdot\beta}$ Γ) $K_c = \frac{V}{\beta}$ Δ) $K_c = \frac{\beta}{V}$

15.7. Στους θ °C η σταθερά K_c της ισορροπίας:

$2NH_3(g) \rightleftharpoons 3H_2(g) + N_2(g)$,

έχει τιμή ίση με 5. Για τη σταθερά K_c' της ισορροπίας:

$3H_2(g) + N_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$

στους θ °C θα ισχύει:
Α) $K_c' = 5$ Β) $K_c' > 5$ Γ) $K_c' = 0,5$ Δ) $K' = 0,2$

15.8. Σε κενό δοχείο σταθερού όγκου εισάγεται $NO_2(g)$ σε συγκέντρωση x (M) οπότε σε θερμοκρασία T αποκαθίσταται η ισορροπία, $2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$, στην οποία ισχύουν:

$[NO_2] =$ α (M) και $[N_2O_4] =$ β (M)

i. Ποια έκφραση αποδίδει τη σταθερά K_c της ισορροπίας;
Α) $K_c = (\beta/\alpha)^2$ Β) $K_c = \beta/\alpha^2$ Γ) $K_c = \beta/2\alpha$ Δ) $K_c = \alpha/\beta$

ii. Ποια σχέση συνδέει τις συγκεντρώσεις x, α και β;
Α) $x = \alpha + \beta$ Β) $x = 2\alpha + \beta$ Γ) $x = \alpha + 2\beta$ Δ) $x = \alpha + (\beta/2)$

15.9. Ποια από τις παρακάτω τιμές της σταθεράς ισορροπίας K_c δείχνει ότι η αντίδραση, $A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2\Gamma(g)$, είναι πρακτικά μονόδρομη προς τα δεξιά;
Α) 10^{14} Β) 10^{-14} Γ) 1 Δ) 0

15.10. Σε δοχείο όγκου 100 mL έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία: $2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$. Ο όγκος του δοχείου μειώνεται στα 50 mL και με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται νέα ισορροπία στην ίδια θερμοκρασία. Στη νέα ισορροπία σε σχέση με την αρχική:
Α) η τιμή της σταθεράς K_c θα έχει αυξηθεί
Β) η τιμή της σταθεράς K_c θα έχει παραμένει η ίδια
Γ) η συγκέντρωση του N_2O_4 θα έχει διπλασιαστεί
Δ) η συγκέντρωση του NO_2 θα έχει διπλασιαστεί

15.11. Δίνονται οι παρακάτω θερμοχημικές εξισώσεις.

$PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$, $\Delta H = +124$ kJ (1)

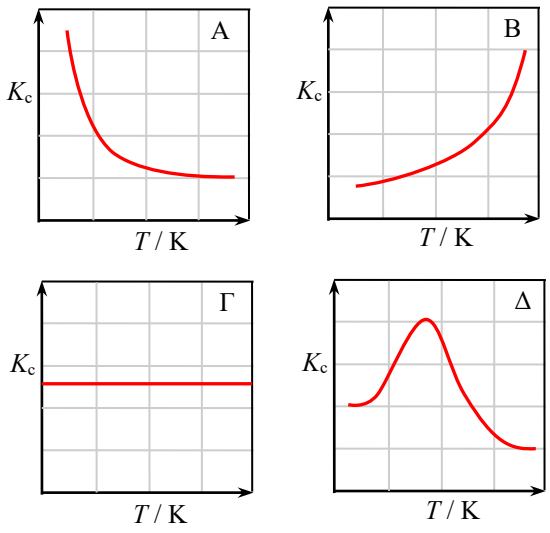
$PCl_3(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons PCl_5(g)$, $\Delta H = -124$ kJ (2)

Η σταθερά ισορροπίας της 1ης αντίδρασης είναι K_{c1} και της 2ης K_{c2}. Πώς θα μεταβληθούν οι σταθερές K_{c1} και K_{c2} με την αύξηση της θερμοκρασίας;
Α) Θα αυξηθούν και οι δύο
Β) Θα μειωθούν και οι δύο
Γ) Η K_{c1} θα αυξηθεί και η K_{c2} θα μειωθεί
Δ) Η K_{c1} θα μειωθεί και η K_{c2} θα αυξηθεί

15.12. Δίνεται η ισορροπία που ακολουθεί.

$A(s) + B(g) \rightleftharpoons \Gamma(g)$, $\Delta H > 0$

Για την ισορροπία αυτή, ποιο από τα διαγράμματα που ακολουθούν αποδίδει καλύτερα τη σχέση μεταξύ της σταθεράς K_c της ισορροπίας και της θερμοκρασίας (T);



15.13. Για τις παρακάτω χημικές ισορροπίες να γραφεί η έκφραση για τη σταθερά K_c καθώς και η μονάδα της.
α) $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$
β) $2H_2S(g) \rightleftharpoons 2H_2(g) + S_2(g)$
γ) $3Cl_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2ICl_3(s)$
δ) $C(s) + CO_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g)$
ε) $Cr(s) + 3Ag^+(aq) \rightleftharpoons 3Ag(s) + Cr^{3+}(aq)$
στ) $CaF_2(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + 2F^-(aq)$
ζ) $SnO_2(s) + 2CO(g) \rightleftharpoons Sn(s) + 2CO_2(g)$
η) $Fe^{3+}(aq) + SCN^-(aq) \rightleftharpoons [Fe(SCN)]^{2+}(aq)$
θ) $FeO(s) + CO(g) \rightleftharpoons Fe(ℓ) + CO_2(g)$
ι) $CH_3COOH(ℓ) + CH_3OH(ℓ) \rightleftharpoons CH_3COOCH_3(ℓ) + H_2O(ℓ)$
κ) $PbO(s) + CO(g) \rightleftharpoons Pb(ℓ) + CO_2(g)$

15.14. Σε δοχείο έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία: $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$, $\Delta H > 0$. Αυξάνουμε τον όγκο του δοχείου και αποκαθίσταται νέα ισορροπία στην ίδια θερμοκρασία. Στην κατάσταση της νέας ισορροπίας:
Α) η συγκέντρωση του $CO_2(g)$ δεν έχει μεταβληθεί
Β) η τιμή της σταθεράς K_c έχει αυξηθεί
Γ) η πίεση στο δοχείο έχει αυξηθεί
Δ) η ποσότητα του $CaCO_3(s)$ δεν έχει μεταβληθεί
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

15.15. Να χαρακτηρίσετε τις προτάσεις που ακολουθούν ως σωστές (Σ) ή λανθασμένες (Λ):
α) Αν μία αμφίδρομη αντίδραση έχει υψηλή τιμή της σταθεράς K_c τότε διεξάγεται με μεγάλη ταχύτητα.
β) Για την ισορροπία: $C(s) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2(g)$, η σταθερά K_c ελαττώνεται με την ελάττωση της πίεσης.
γ) Για την ισορροπία: $2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$, η μονάδα μέτρησης της σταθεράς K_c είναι το 1 L/mol.
δ) Η μονάδα της σταθεράς K_c της χημικής ισορροπίας, $Fe_2O_3(s) + 3CO(g) \rightleftharpoons 2Fe(s) + 3CO_2(g)$, είναι το mol/L.
ε) Η σταθερά (K_c) της ισορροπίας, $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$, μεταβάλλεται μόνο με τη θερμοκρασία.

15.16. α) Για την ισορροπία, $2A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2Γ(g)$, οι αντιδράσεις προς τα δεξιά και προς τα αριστερά είναι απλές. Να αποδείξετε το νόμο της χημικής ισορροπίας.
β) Στη χημική ισορροπία, $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$, οι δύο αντίθετης φοράς αντιδράσεις (υ_1 προς τα δεξιά και υ_2 προς τα αριστερά) είναι απλές. Στους 100 °C η σταθερά ταχύτητας προς τα δεξιά (k_1) είναι μικρότερη από τη σταθερά ταχύτητας προς τα αριστερά (k_2). Για την τιμή της σταθεράς ισορροπίας (K_c) στους 100 °C τι από τα παρακάτω θα ισχύει;
1. $K_c = 1$ 2. $K_c > 1$ 3. $K_c < 1$
Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

15.17. α) Δίνονται οι ισορροπίες που ακολουθούν.

$$\frac{1}{2}N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons NO_2(g),\ K_{c1}$$

$$2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g),\ K_{c2}$$

Να βρεθεί η σχέση της σταθεράς K_c της ισορροπίας:

$$N_2O_4(g) \rightleftharpoons N_2(g) + 2O_2(g),$$

με τις σταθερές K_{c1} και K_{c2}.
β) Γνωρίζοντας τις σταθερές K_{c1} και K_{c2} των αντιδράσεων (1) και (2), να υπολογίσετε τη σταθερά K_{c3}.

$$C(s) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2(g),\ K_{c1} = 2{,}2\ (1)$$

$$CO_2(g) + 2H_2(g) \rightleftharpoons 2H_2O(g) + C(s),\ K_{c2} = 0{,}25\ (2)$$

$$CO_2(g) + H_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2O(g),\ K_{c3} = ;$$

Όλες οι σταθερές αντιστοιχούν στην ίδια θερμοκρασία.

15.18. Να προβλέψετε πώς μεταβάλλεται με την αύξηση της θερμοκρασίας η τιμή της σταθεράς (K_c) της ισορροπίας:

$$2POCl_3(g) \rightleftharpoons 2PCl_3(g) + O_2(g)$$

Δίνονται οι θερμοχημικές εξισώσεις:

$$2P(s) + O_2(g) + 3Cl_2(g) \longrightarrow 2POCl_3(g),\ \Delta H^o = -1080\ kJ$$

$$2P(s) + 3Cl_2(g) \longrightarrow 2PCl_3(g),\ \Delta H^o = -580\ kJ$$

15.19. Σε δοχείο έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία: $4CuO(s) \rightleftharpoons 2Cu_2O(s) + O_2(g)$. Αυξάνεται ο όγκος του δοχείου και αποκαθίσταται νέα ισορροπία στην ίδια θερμοκρασία.
α) Ποια από τις παρακάτω επιλογές αποδίδει το είδος της μεταβολής στη $[O_2(g)]$, στην ποσότητα του $O_2(g)$ και στην τιμή της σταθεράς K_c από την αρχική στη νέα ισορροπία;

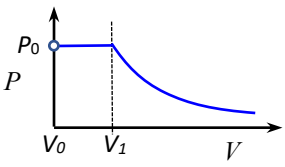
	$[O_2(g)]$	$n(O_2)$	K_c
1.	Μειώνεται	Μένει η ίδια	Αυξάνεται
2.	Μένει η ίδια	Μειώνεται	Μένει η ίδια
3.	Μένει η ίδια	Αυξάνεται	Μένει η ίδια
4.	Μειώνεται	Αυξάνεται	Μένει η ίδια

β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

15.20. Σε κυλινδρικό δοχείο όγκου V_0 έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία που ακολουθεί υπό σταθερή θερμοκρασία T. Η πίεση στο δοχείο είναι ίση με P_0.

$$CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$$

Αυξάνουμε αργά τον όγκο του κυλίνδρου υπό σταθερή θερμοκρασία. Στο διπλανό διάγραμμα εμφανίζεται η πίεση στο δοχείο ως συνάρτηση του όγκου του.



α) Να εξηγήσετε γιατί η πίεση στο δοχείο μένει σταθερή με την αύξηση του όγκου του δοχείου μέχρι μία τιμή (V_1) ενώ στη συνέχεια μειώνεται. Ποια θα είναι τα σώματα που θα υπάρχουν στο δοχείο όταν $V > V_1$;
β) Να εξετάσετε την ισχύ της πρότασης που ακολουθεί: «Με την αύξηση του όγκου του δοχείου και μέχρι ο όγκος να γίνει ίσος με V_1 η συνολική μάζα των στερεών μειώνεται».

15.21. Σε δοχείο έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία:

$$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$$

Μειώνουμε τον όγκο του δοχείου υπό σταθερή θερμοκρασία και αποκαθίσταται νέα ισορροπία. Να εξετάσετε πώς μεταβάλλονται οι συγκεντρώσεις $[N_2O_4]$ και $[NO_2]$ (αύξηση, μείωση, καμία μεταβολή) από την αρχική στην τελική χημική ισορροπία.

15.22. Η αποσύνθεση του HI(g) περιγράφεται από τη χημική ισορροπία που ακολουθεί.

$$2HI(g) \rightleftharpoons H_2(g) + I_2(g),\ \Delta H = +9{,}5\ kJ$$

Σε δύο δοχεία Α και Β έχει αποκατασταθεί η παραπάνω ισορροπία σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες. Οι αρχικές ποσότητες των τριών σωμάτων και κάποιες ποσότητες στην ισορροπία στα δύο αυτά πειράματα εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Δοχείο	Αρχικές ποσότητες (mol)			Ποσότητες στη ΧΙ (mol)		
	HI	H_2	I_2	HI	H_2	I_2
Α	0,06	0	0	α	0,01	β
Β	0	0,04	0,04	0,04	γ	δ

α) Να προσδιορίσετε τις ποσότητες α, β, γ και δ των σωμάτων που λείπουν στον παραπάνω πίνακα.
β) Να εκτιμήσετε σε ποιο από τα δοχεία η χημική ισορροπία είναι σε μεγαλύτερη θερμοκρασία.

15.23. Σε δοχείο σταθερού όγκου ποσότητα $COCl_2(g)$ διασπάται σύμφωνα με τη χημική εξίσωση:

$$COCl_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + Cl_2(g)$$

Η απόδοση στην ισορροπία είναι α_1%. Στο δοχείο εισάγεται επιπλέον ποσότητα $COCl_2(g)$ και αποκαθίσταται νέα χημική ισορροπία στην ίδια θερμοκρασία με συνολική απόδοση α_2%. Η σχέση που συνδέει τις αποδόσεις α_1% και α_2% είναι:
i. $\alpha_1\% > \alpha_2\%$ ii. $\alpha_1\% = \alpha_2\%$ iii. $\alpha_1\% < \alpha_2\%$
α) Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση.
β) Να δικαιολογήσετε την επιλογή σας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

15.24. Η αιμοσφαιρίνη (Hb) ανήκει σε μια οικογένεια πρωτεϊνών που μεταφέρουν οξυγόνο από τους πνεύμονες στους ιστούς δεσμεύοντάς το σε ομάδες αίμης, σύμφωνα με την ισορροπία (1): $Hb + O_2 \rightleftharpoons HbO_2$, $K_{c1} = 2{,}9$ (1)
Ένα γνωστό δηλητήριο είναι το CO(g), το οποίο δεσμεύεται από την αιμοσφαιρίνη, σύμφωνα με την ισορροπία (2):

$$Hb + CO \rightleftharpoons HbCO,\ K_{c2} = 630 \quad (2)$$

Με βάση τις ανωτέρω ισορροπίες να εξηγήσετε τη βλαβερή δράση του CO στον άνθρωπο. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

15.25. Σε κλειστό και κενό δοχείο όγκου $V = 10$ L εισάγονται λ mol αερίου N_2 και μ mol αερίου H_2 οπότε σε κατάλληλη θερμοκρασία αποκαθίσταται η ισορροπία:

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g),\ K_c = 2$$

Στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας οι συγκεντρώσεις του $H_2(g)$ και της $NH_3(g)$ είναι $[H_2] = 1$ M και $[NH_3] = 1$ M. Να υπολογίσετε:
α) Τις αρχικές ποσότητες λ και μ.
β) Την απόδοση της αντίδρασης.

15.26. Δοχείο σταθερού όγκου περιέχει την ένωση Α(g) σε συγκέντρωση 0,04 M. Σε κατάλληλη θερμοκρασία (T) και με την πάροδο του χρόνου η ένωση Α(g) μετατρέπεται στην ένωση Β(g) σύμφωνα με τη χημική εξίσωση: $A(g) \rightleftharpoons \beta B(g)$, όπου β ο συντελεστής της ένωσης Β(g). Στην κατάσταση της ισορροπίας οι συγκεντρώσεις είναι [A] = 0,02 M και [B] = 0,04 M. Να προσδιοριστούν:
α) Η τιμή του συντελεστή β.
β) Η σταθερά K_c της ισορροπίας στη θερμοκρασία T.

15.27. Σε δοχείο σταθερού όγκου εισάγονται ποσότητες των αερίων $SO_2(g)$ και $O_2(g)$ σε συγκεντρώσεις 2 mol·L^{-1} και 1,5 mol·L^{-1}, αντίστοιχα και με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται στους 600 °C η χημική ισορροπία:

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$$

Στην κατάσταση της ισορροπίας η $[SO_3]$ είναι 1,5 mol·L^{-1}. Να υπολογιστεί η τιμή της σταθεράς (K_c) της ισορροπίας στους 600 °C καθώς και η απόδοση της αντίδρασης.

15.28. Ποσότητα $N_2O_4(g)$ μάζας 46 g εισάγεται σε δοχείο Δ_1 όγκου 2 L και διασπάται κατά 20% προς NO_2.
α) Να υπολογιστεί η σταθερά K_c της ισορροπίας:

$$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$$

β) Ποιος πρέπει να είναι ο όγκος άλλου δοχείου Δ_2, στο οποίο αν εισαχθούν 46 g N_2O_4 θα διασπαστούν κατά 50%;
Η θερμοκρασία είναι η ίδια και στα δύο δοχεία.

15.29. Σε υδατικό διάλυμα έχει αποκατασταθεί η ισορροπία:

$$Li_2CO_3(s) \rightleftharpoons 2Li^+(aq) + CO_3^{2-}(aq)$$

Στην κατάσταση της ισορροπίας προσδιορίστηκαν 0,01 mol $Li_2CO_3(s)$ καθώς και οι συγκεντρώσεις, $[Li^+] = 0{,}2$ M και $[CO_3^{2-}] = 0{,}1$ M. Να υπολογιστεί η τιμή της σταθεράς ισορροπίας (K_c) στη θερμοκρασία του πειράματος.

15.30. Το CH_4 είναι το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου και έχει πολλές χρήσεις. Ένας τρόπος σύνθεσής του περιγράφεται με την αντίδραση:

$$C(s) + 2H_2(g) \rightleftharpoons CH_4(g)$$

Σε κλειστό δοχείο όγκου $V = 10$ L εισάγονται ισομοριακές ποσότητες C(s) και $H_2(g)$, οπότε σε θερμοκρασία T αποκαθίσταται η παραπάνω ισορροπία με σταθερά $K_c = 0{,}1$. Η απόδοση της αντίδρασης είναι 50%. Να υπολογίσετε τα αρχικά mol των αντιδρώντων που εισήχθησαν στο δοχείο.
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

15.31. Σε δοχείο σταθερού όγκου $V = 2$ L εισάγονται 1 mol Α(s) και 0,6 mol Β(g), σε θερμοκρασία 127 °C και αποκαθίσταται η ισορροπία: $A(s) + B(g) \rightleftharpoons \Gamma(g) + \Delta(g)$, στην οποία το αέριο μίγμα ισορροπίας ασκεί πίεση ίση με 16,4 atm, στους 127 °C. Να υπολογιστούν:
α) Η απόδοση της αντίδρασης (με τη μορφή κλάσματος).
β) Η τιμή της σταθεράς ισορροπίας K_c στους 127 °C.
γ) Η % v/v περιεκτικότητα του αερίου μίγματος ισορροπίας.
$R = 0{,}082$ L·atm/(mol·K).

15.32. Σε δοχείο όγκου $V = 10$ L εισάγεται 1 mol CH_3OH στους 500 K και αποκαθίσταται η χημική ισορροπία με την εξίσωση που ακολουθεί.

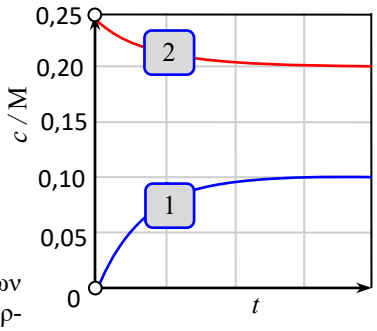
$$CH_3OH(g) \rightleftharpoons CO(g) + 2H_2(g),$$

στην οποία προσδιορίζονται 1,5 mol H_2.

α) Πόσα mol CH_3OH υπάρχουν στην ισορροπία; Ποια είναι η απόδοση της αντίδρασης;
β) Ποια η τιμή της K_c της ισορροπίας στους 500 K;
γ) Σε άλλο δοχείο όγκου 1 L εισάγουμε 1 mol CH_3OH και 6,75 mol CO, στους 500 K. Πόσα mol H_2 πρέπει να εισάγουμε ταυτόχρονα στο δοχείο, ώστε το σύστημα να είναι σε χημική ισορροπία, δηλαδή να μην εξελιχθεί αντίδραση;

15.33. Σε δοχείου σταθερού όγκου $V = 20$ L εισάγονται ποσότητες A(s) και B(g) και αποκαθίσταται η ισορροπία που ακολουθεί .σε θερμοκρασία T.

$$A(s) + B(g) \rightleftharpoons 2\Gamma(g)$$



Η απόδοση της αντίδρασης είναι $a = 0,25$. Στο διπλανό διάγραμμα εμφανίζονται οι συγκεντρώσεις των δύο αερίων της ισορροπίας σε συνάρτηση με το χρόνο.
Να υπολογιστούν:
α) Η αρχική ποσότητα (σε mol) του A(s).
β) Η σταθερά της χημικής ισορροπίας στη θερμοκρασία T.

15.34. Σε δοχείο σταθερού όγκου (V) εισάγονται x mol αερίου σώματος Α και με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται η χημική ισορροπία: $A(g) \rightleftharpoons 2B(g) + \Gamma(s)$. Η απόδοση της αντίδρασης είναι ίση με 0,5. Σε άλλο δοχείο ίσου όγκου εισάγονται y mol A(g) και αποκαθίσταται η παραπάνω ισορροπία στην ίδια θερμοκρασία. Η απόδοση της αντίδρασης είναι ίση με 0,6. Να υπολογιστεί ο λόγος x/y.

15.35. Σε δοχείο σταθερού όγκου εισάγονται 0,9 mol Cl_2 και 0,5 mol I_2. Τα δύο σώματα αντιδρούν σε κατάλληλη θερμοκρασία και προκύπτει ένωση του τύπου ICl_x, σύμφωνα με την ισορροπία: $xCl_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2ICl_x(g)$. Στην κατάσταση της ισορροπίας στο δοχείο προσδιορίστηκαν 0,6 mol $Cl_2(g)$ και 0,2 mol $I_2(g)$. Να υπολογιστούν:
α) Η ποσότητα του σώματος ICl_x στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας καθώς και η τιμή του x.
β) Η απόδοση της αντίδρασης.
γ) Η τιμή της σταθεράς K_c στη θερμοκρασία του πειράματος.

15.36. Το χλωροφόρμιο ($CHCl_3$) και το νερό είναι υγροί διαλύτες που δεν αναμιγνύονται. Η καφεΐνη είναι διεγερτική ουσία που απαντάται στον καφέ και όταν διαλυθεί στο σύστημα $CHCl_3/H_2O$ αποκαθίσταται η ισορροπία:

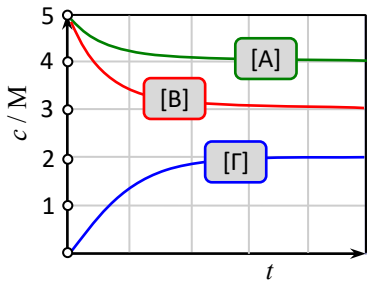
καφεΐνη (υδατικό διάλυμα) $\rightleftharpoons$ καφεΐνη (διάλυμα $CHCl_3$)

Για την ισορροπία αυτή ισχύει: $K_c = 4$ (σε θερμοκρασία T). Σε υδατικό διάλυμα καφεΐνης όγκου 40 mL που περιέχει 0,5 g καφεΐνης προσθέτουμε 10 mL χλωροφορμίου. Ανακινούμε το σύστημα έντονα και στη συνέχεια το αφήνουμε να ηρεμήσει. Να υπολογιστεί η μάζα της καφεΐνης που μεταφέρθηκε στη στιβάδα του χλωροφορμίου. Η θερμοκρασία των διαλυμάτων είναι ίση με T.

15.37. Σε δοχείο 2 L διεξάγεται η αντίδραση που περιγράφεται με τη χημική εξίσωση που ακολουθεί:

$$\alpha A(g) + \beta B(g) \rightleftharpoons \gamma\Gamma(g),$$

όπου α, β και γ οι συντελεστές των αντίστοιχων σωμάτων (μικρότεροι δυνατοί ακέραιοι). Οι συγκεντρώσεις των αερίων σε σχέση με το χρόνο, από την έναρξη της αντίδρασης μέχρι την αποκατάσταση της ισορροπίας, απεικονίζονται στο διπλανό διάγραμμα.



α) i. Ποιες ενώσεις είχαν εισαχθεί αρχικά στο δοχείο και πόσα mol από την κάθε μία;
ii. Να προσδιορίσετε τους συντελεστές α, β και γ των τριών σωμάτων της παραπάνω ισορροπίας.
β) Να υπολογίσετε την απόδοση της αντίδρασης καθώς και την τιμή της σταθεράς K_c της ισορροπίας στη θερμοκρασία του πειράματος.

15.38. Σε τρεις διαφορετικές φιάλες 1, 2 και 3 έχει αποκατασταθεί η ίδια ισορροπία: $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$, $\Delta H > 0$. Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται οι συγκεντρώσεις των συστατικών της ισορροπίας στις τρεις φιάλες.

Φιάλη	$[H_2]$ (M)	$[I_2]$ (M)	[HI] (M)
1	0,2	0,1	0,8
2	0,05	0,1	0,5
3	0,25	0,5	2

α) Να υπολογίσετε τις τιμές της σταθεράς K_c της ισορροπίας στις τρεις φιάλες.
β) Να εξηγήσετε σε ποια φιάλη η ισορροπία έχει αποκατασταθεί σε διαφορετική θερμοκρασία.
γ) Να συγκρίνετε την θερμοκρασία στις 3 φιάλες.

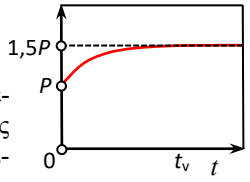
15.39. Σε δοχείο όγκου 5 L εισάγονται 50 g $CaCO_3$, τα οποία θερμαίνονται στους 727 °C και αρχίζουν να διασπώνται προς CaO και CO_2. Μετά την αποκατάσταση της ετερογενούς ισορροπίας: $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$, η πίεση στο δοχείο σταθεροποιήθηκε στις 3,28 atm.
α) Να υπολογίσετε τη σταθερά K_c της ισορροπίας καθώς και το ποσοστό διάσπασης του $CaCO_3$.
β) Σε δοχείο όγκου 20 L εισάγονται 50 g $CaCO_3(s)$ στους 727 °C. Να αποδείξετε ότι στην περίπτωση αυτή δεν είναι δυνατό να αποκατασταθεί χημική ισορροπία.
$R = 0,082$ (L·atm)/(mol·K).

15.40. Σε δοχείο σταθερού όγκου έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία με την εξίσωση που ακολουθεί.

$$A(s) + B(g) \rightleftharpoons \Gamma(g)$$

Στην κατάσταση της ισορροπίας συνυπάρχουν 0,5 mol A(s), 1 mol B(g) και 1 mol Γ(g). Από το δοχείο της ισορροπίας απομακρύνονται 0,5 mol Γ(g) και αποκαθίσταται νέα χημική ισορροπία στην ίδια θερμοκρασία. Να υπολογιστούν οι ποσότητες (σε mol) όλων των σωμάτων στη νέα ισορροπία.

15.41. Σε δοχείο σταθερού όγκου εισάγεται ποσότητα ένωσης Α(g), η οποία διασπάται υπό σταθερή θερμοκρασία σύμφωνα με την εξίσωση: $A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$. Η αρχική συγκέντρωση της ένωσης Α(g) είναι ίση με c_0 και η αρχική πίεση είναι ίση με P. Η μεταβολή της πίεσης στο δοχείο από την έναρξη της αντίδρασης ($t = 0$) μέχρι την αποκατάσταση της ισορροπίας ($t = t_v$) εμφανίζονται στο διπλανό γράφημα.



α) Να υπολογιστεί η απόδοση της αντίδρασης.
β) Να αποδείξετε ότι για τη σταθερά K_c της ισορροπίας ισχύει: $K_c = 2c_0$.

15.42. Δίνεται η αντίδραση:

$$CS_2(g) + 3Cl_2(g) \rightleftharpoons S_2Cl_2(g) + CCl_4(g),\ \Delta H = -238\ kJ$$

λ mol CS_2(g) και μ mol Cl_2(g) εισάγονται σε δοχείο όγκου V = 1,2 L σε θερμοκρασία T. Μετά την αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας στο δοχείο προσδιορίστηκαν 4 mol CS_2(g), 0,6 mol Cl_2(g), 0,6 mol S_2Cl_2(g) και 0,6 mol CCl_4(g).
α) Να υπολογίσετε τις τιμές των λ και μ.
β) Να υπολογίσετε τη σταθερά K_c της ισορροπίας στη θερμοκρασία T καθώς και την απόδοση της αντίδρασης.

15.43. Η αμμωνία (NH_3) είναι ένα σπουδαίο βιομηχανικό αέριο με πολλές χρήσεις. Ισομοριακό αέριο μίγμα N_2 και H_2 εισάγεται σε θερμαινόμενο σωλήνα θερμοκρασίας θ °C παρουσία καταλύτη, οπότε συντίθεται η αμμωνία NH_3, σύμφωνα με την παρακάτω χημική εξίσωση:

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$

Το εξερχόμενο αέριο μίγμα εισάγεται σε δοχείο όγκου V και η σύστασή του παραμένει σταθερή.
α) Αν το μίγμα περιέχει 20%v/v NH_3, να βρείτε την απόδοση της αντίδρασης που πραγματοποιήθηκε.
β) Τα συνολικά mol των αερίων στο δοχείο είναι 10 και η πιο πάνω αντίδραση έχει K_c = 20/27 στους θ °C. Να υπολογίσετε τον όγκο V του δοχείου. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

15.44. Σε δοχείο όγκου V και σε θερμοκρασία θ °C πραγματοποιείται η αντίδραση που περιγράφεται από τη χημική εξίσωση που ακολουθεί.

$$FeO(s) + CO(g) \rightleftharpoons Fe(s) + CO_2(g)$$

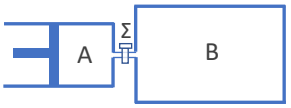
Στη θέση της χημικής ισορροπίας υπάρχουν 0,25 mol CO, 1,25 mol CO_2, 0,25 mol FeO και 1,25 mol Fe. Να υπολογίσετε την ποσότητα του CO_2 σε mol, που πρέπει να απομακρυνθεί από το δοχείο της αντίδρασης στην ίδια θερμοκρασία, ώστε η ποσότητα του CO στη νέα θέση ισορροπίας να είναι το 1/5 της ποσότητας του CO στην αρχική θέση της χημικής ισορροπίας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2023]

15.45. Σε δοχείο όγκου V_1 εισάγεται ποσότητα N_2O_4(g) που διασπάται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$$

Στη χημική ισορροπία έχει διασπαστεί το 50% της αρχικής ποσότητας του N_2O_4(g). Μεταβάλλουμε τον όγκο του δοχείου υπό σταθερή θερμοκρασία και στη νέα ισορροπία έχει διασπαστεί το 60% της αρχικής ποσότητας του N_2O_4(g).
α) Να εξηγήσετε αν ο όγκος του δοχείου αυξήθηκε ή μειώθηκε.
β) Να υπολογίσετε το λόγο (V_2/V_1), όπου V_2 ο όγκος του δοχείου στη νέα χημική ισορροπία.

15.46. Στη διάταξη του σχήματος η στρόφιγγα (Σ) είναι αρχικά κλειστή και το δοχείο Β κενό. Το δοχείο Α έχει όγκο V_A = 1 L και σε αυτό συνυπάρχουν σε κατάσταση χημικής ισορροπίας 4 mol Α(g), 4 mol Β(g) και 8 mol Γ(g), σύμφωνα με την εξίσωση: $A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons 2\Gamma(g)$.



Ανοίγουμε τη στρόφιγγα (Σ) και συμπιέζοντας το έμβολο μεταφέρουμε όλο το αέριο μίγμα της χημικής ισορροπίας από το δοχείο Α στο δοχείο Β. Αποκαθίσταται νέα χημική ισορροπία στην οποία προσδιορίζονται 6 mol Γ(g). Να προσδιοριστεί ο όγκος του δοχείου Β. Η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή.

15.47. Δίνεται η χημική ισορροπία που ακολουθεί.

$$Ag_2CO_3(s) \rightleftharpoons Ag_2O(s) + CO_2(g),\ K_c = 0{,}01\ (227\ ^oC)$$

α) Σε κλειστό δοχείο εισάγονται 2 mol Ag_2CO_3(s) σε θερμοκρασία 227 °C. Ποιος θα πρέπει να είναι ο όγκος του δοχείου ώστε στην κατάσταση της ισορροπίας να έχει διασπαστεί το πολύ 1% της αρχικής ποσότητας του Ag_2CO_3(s);
β) Ποια η ελάχιστη μάζα CO_2(g) που πρέπει να εισαχθεί σε άλλο δοχείο 10 L, που περιέχει ποσότητα Ag_2CO_3(s) στους 227 °C, ώστε να μην γίνει διάσπαση του Ag_2CO_3(s);
Το Ag_2CO_3(s) καταλαμβάνουν αμελητέο όγκο σε σχέση με τον όγκο του δοχείου.

15.48. Σε δύο φιάλες Α και Β έχουν αποκατασταθεί οι χημικές ισορροπίες που περιγράφονται από την εξίσωση:

$$Fe(OH)_3(s) \rightleftharpoons Fe^{3+}(aq) + 3OH^-(aq)$$

Για τη συγκέντρωση των ιόντων OH^- στις δύο φιάλες ισχύει: $[OH^-]_A = 2\cdot[OH^-]_B$. Να προσδιοριστεί ο λόγος των συγκεντρώσεων των ιόντων Fe^{3+}(aq) στις δύο φιάλες. Η θερμοκρασία είναι η ίδια και στις δύο φιάλες.

15.49. Σε δοχείο σταθερού όγκου εισάγονται ισομοριακές ποσότητες από τα αέρια Α(g) και Β(g) και σε θερμοκρασία θ °C αποκαθίσταται η ισορροπία: $A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2\Gamma(g)$, στην οποία έχει παραμείνει το 50% της αρχικής ποσότητας του Α.
α) Ποια η τιμή της σταθεράς K_c της ισορροπίας στη θερμοκρασία του πειράματος;
β) Αν αναμιγνύαμε αρχικά τα σώματα Α και Β με αναλογία mol 4:1, αντίστοιχα, ποια θα ήταν η απόδοση της αντίδρασης στην ίδια θερμοκρασία;
γ) Με ποια αναλογία mol πρέπει να αναμίξουμε τα Α και Β, ώστε η απόδοση της αντίδρασης να είναι 75% στην ίδια θερμοκρασία;

15.50. Η σύγχρονη μέθοδος βιομηχανικής παρασκευής του νιτρικού οξέος στηρίζεται στην μετατροπή της αμμωνίας σε νιτρικό οξύ και περιλαμβάνει τρία στάδια. Σε ένα στάδιο της μεθόδου γίνεται η οξείδωση του NO προς NO_2 σύμφωνα με την αντίδραση:

$$2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g),\ \Delta H = -113{,}6\ kJ$$

α) Να εξηγήσετε γιατί το μείγμα των αερίων αντιδρώντων ψύχεται πριν ξεκινήσει η αντίδραση.
β) Σε δοχείο όγκου 10 L βρίσκεται σε ισορροπία μείγμα που αποτελείται από 10 mol NO, 10 mol O_2 και 20 mol NO_2. Να υπολογιστεί η σταθερά ισορροπίας K_c της αντίδρασης.
γ) Ο όγκος του δοχείου μεταβάλλεται υπό σταθερή θερμοκρασία και μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας η ποσότητα του NO_2 έχει αυξηθεί κατά 25%. Να υπολογίσετε τη μεταβολή του όγκου σε L.
δ) Το τελευταίο στάδιο της μεθόδου είναι το ακόλουθο:

$$3NO_2(g) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons 2HNO_3(\ell) + NO(g)$$

Να εξηγήσετε αν η αντίδραση παρασκευής του νιτρικού οξέος ευνοείται σε υψηλή ή χαμηλή πίεση. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

15.51. Σε κλειστό δοχείο εισάγονται 2 mol C(s) και 4 mol $CO_2(g)$ οπότε υπό σταθερή θερμοκρασία (T) αποκαθίσταται η χημική ισορροπία,

$$C(s) + CO_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g)$$

για την οποία ισχύει: $K_c = 8$ (στη θερμοκρασία T).
α) Ποιος πρέπει να είναι ο όγκος του δοχείου ώστε να αποκατασταθεί χημική ισορροπία στην οποία η απόδοση της αντίδρασης να είναι ίση με 0,5; Η απάντηση να δοθεί με τη μορφή κλάσματος.
β) Ποιος πρέπει να είναι ο ελάχιστος όγκος του δοχείου ώστε να αντιδράσει όλη η ποσότητα του C(s), δηλαδή η αντίδραση να γίνει μονόδρομη;

15.52. Σε δοχείο όγκου $V = 2$ L εισάγονται 0,8 mol $SO_2(g)$ και 1,2 mol $O_2(g)$ και αποκαθίσταται η χημική ισορροπία:

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g),$$

με απόδοση 50%. Να υπολογίσετε πόσα επιπλέον mol O_2 πρέπει να προστεθούν στο δοχείο, χωρίς άλλη μεταβολή, ώστε η απόδοση της αντίδρασης να γίνει 75%.

15.53. Από ένα κοίτασμα γαιανθράκων λαμβάνεται ποσότητα 20 kg, η οποία καίγεται και παράγεται SO_2 σύμφωνα με την αντίδραση που ακολουθεί.

$$4FeS_2(s) + 11O_2(g) \rightarrow 2Fe_2O_3(s) + 8SO_2(g)$$

Το SO_2 που παράγεται διοχετεύεται σε δοχείο σταθερού όγκου 48 L μαζί με ισομοριακή ποσότητα O_2 και αποκαθίσταται ισορροπία με απόδοση 50% σύμφωνα με την αντίδραση: $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$. Για τη σταθερά της ισορροπίας ισχύει $K_c = 4$. Να υπολογίσετε:
α) Την ποσότητα (σε mol) κάθε αερίου στην ισορροπία.
β) Την περιεκτικότητα % w/w του κοιτάσματος γαιάνθρακα σε FeS_2. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

15.54. Σε δοχείο 10 L εισάγονται 6 mol SO_3 και 3 mol NO σε θερμοκρασία T, οπότε με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται η ισορροπία που ακολουθεί σε θερμοκρασία T.

$$SO_3(g) + NO(g) \rightleftharpoons SO_2(g) + NO_2(g)$$

Στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας η συγκέντρωση του NO_2 είναι ίση με 0,2 M.
α) Να υπολογίσετε: i. την απόδοση της αντίδρασης (με τη μορφή κλάσματος) και ii. την τιμή της σταθεράς ισορροπίας K_c στη θερμοκρασία T.
β) Πόσα mol NO πρέπει να προσθέσουμε επιπλέον στο μίγμα της ισορροπίας, υπό σταθερή θερμοκρασία T, ώστε στη νέα ισορροπία να ισχύει: $[NO_2] = 0{,}3$ M;
γ) Στην αρχική χημική ισορροπία, υποδιπλασιάζουμε τον όγκο του δοχείου στη θερμοκρασία T. Ποιες θα είναι οι νέες συγκεντρώσεις των συστατικών της ισορροπίας;

15.55. Σε δοχείο σταθερού όγκου εισάγονται 1,5 mol H_2 και 3 mol I_2 και αποκαθίσταται η χημική ισορροπία:

$$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g),$$

στην οποία προσδιορίζονται 2 mol HI(g).
α) Να προσδιοριστεί η απόδοση της αντίδρασης.
β) Στο μίγμα της ισορροπίας προστίθενται επιπλέον 1,5 mol $H_2(g)$ και αποκαθίσταται νέα ισορροπία στην ίδια θερμοκρασία. Ποια η νέα απόδοση της αντίδρασης;

15.56. Σε δοχείο (Δ1) εισάγονται α mol N_2 και β mol H_2 στους θ_1 °C και με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται η ισορροπία που περιγράφεται με τη χημική εξίσωση:

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g),\ \Delta H = -92\ kJ,$$

Στην κατάσταση της ισορροπίας συνυπάρχουν 2 mol N_2, 4 mol H_2 και 6 mol NH_3. Η σταθερά K_c της χημικής ισορροπίας στους θ_1 °C έχει τιμή ίση με 1.
α) Να υπολογιστούν οι αρχικές ποσότητες α και β καθώς και η απόδοση της αντίδρασης (με τη μορφή κλάσματος).
β) Μεταβάλλουμε τον όγκο του δοχείου, υπό σταθερή θερμοκρασία και στη νέα ισορροπία η ποσότητα του N_2 είναι ίση με 1 mol. Ποιος ο νέος όγκος του δοχείου;
γ) Σε άλλο δοχείο (Δ2) όγκου 1 L στους θ_2 °C, συνυπάρχουν σε χημική ισορροπία 4 mol N_2, 1 mol H_2 και 2 mol NH_3. Να συγκρίνετε τις θερμοκρασίες θ_1 και θ_2.

15.57. Σε δοχείο (Δ1) όγκου 2 L εισάγονται 1 mol N_2 και 2,5 mol H_2 στους θ °C και αποκαθίσταται η χημική ισορροπία που περιγράφεται με την εξίσωση που ακολουθεί.

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$

Η απόδοση της αντίδρασης είναι ίση με 60%.
α) Ποια η τιμή της σταθεράς K_c στους θ °C;
β) Σε δοχείο (Δ2) 1 L στους θ °C, εισάγουμε α mol N_2 και β mol H_2. Τη στιγμή t_1 στο δοχείο βρέθηκαν 2 mol N_2, 5 mol H_2 και 6 mol NH_3. Να υπολογίσετε τις ποσότητες α και β.
γ) Να αποδείξετε ότι τη χρονική στιγμή t_1 δεν έχουμε χημική ισορροπία. Να εξηγήσετε αν τη χρονική στιγμή t_1, η ταχύτητα σχηματισμού της NH_3 (υ_1) είναι μεγαλύτερη μικρότερη ή ίση με την ταχύτητα διάσπασης της NH_3 (υ_2);
δ) Σε κάποια επόμενη στιγμή t_2 στο δοχείο βρέθηκαν 1 mol N_2, 2 mol H_2 και 8 mol NH_3. Να αποδείξετε ότι τη χρονική στιγμή t_2 έχει αποκατασταθεί χημική ισορροπία.
ε) Στην κατάσταση ισορροπίας στο δοχείο Δ2 αυξάνουμε τη θερμοκρασία και αποκαθίσταται νέα ισορροπία στην οποία προσδιορίστηκαν 1,2 mol N_2. Να χαρακτηρίσετε την αντίδραση σύνθεσης της NH_3 ως εξώθερμη ή ενδόθερμη.

15.58. Σε οργανικό διαλύτη διαλύονται 18 g CH_3COOH και 13,8 g C_2H_5OH και αποκαθίσταται η ομογενής ισορροπία:

$$CH_3COOH + C_2H_5OH \rightleftharpoons CH_3COOC_2H_5 + H_2O,\ K_c = 4.$$

α) Να υπολογιστεί η απόδοση της αντίδρασης.
β) Από τη φιάλη της αντίδρασης αφαιρείται με κατάλληλο τρόπο ποσότητα H_2O και αποκαθίσταται νέα ισορροπία στην οποία η απόδοση είναι ίση με 0,8. Πόσα mol H_2O αφαιρέθηκαν;
γ) 0,2 mol CH_3COOH και ξ mol CH_3CH_2OH φέρονται προς αντίδραση σε άλλη φιάλη και αποκαθίσταται η παραπάνω ισορροπία στην οποία σχηματίζεται εστέρας με απόδοση 80%. Ποια η τιμή του ξ;
Η θερμοκρασία είναι η ίδια σε όλες τις περιπτώσεις.

15.59. Σε διάλυμα όγκου 1 L έχει αποκατασταθεί η ισορροπία: $Ag^+(aq) + Fe^{2+}(aq) \rightleftharpoons Ag(s) + Fe^{3+}(aq)$, στους θ °C στην οποία ισχύει: $[Ag^+] = 0,2$ M, $[Fe^{2+}] = 0,5$ M, $[Fe^{3+}] = 0,3$ M.
α) Να υπολογίσετε τη σταθερά K_c της ισορροπίας.
β) Πόσα mol Fe^{3+} πρέπει να διαλυθούν επιπλέον στο διάλυμα, χωρίς μεταβολή όγκου και στην ίδια θερμοκρασία, ώστε η ποσότητα του Ag(s) να μειωθεί κατά 0,1 mol;

15.60. Σε δοχείο σταθερού όγκου έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία με την εξίσωση που ακολουθεί.

$$A(g) + B(s) \rightleftharpoons Γ(s)$$

Στην κατάσταση της ισορροπίας συνυπάρχουν 0,1 mol A(g), 0,1 mol B(s) και 0,1 mol Γ(s). Πόσα επιπλέον mol A(g) πρέπει να εισαχθούν στο δοχείο της ισορροπίας, χωρίς αλλαγή στον όγκο και στη θερμοκρασία, ώστε η πίεση στο δοχείο να σταθεροποιηθεί σε διπλάσια τιμή;

ΠΗΛΙΚΟ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ

15.61. Αν σε μία αμφίδρομη αντίδραση ισχύει $Q_c > K_c$:
Α) εκδηλώνεται αντίδραση προς τα δεξιά
Β) εκδηλώνεται αντίδραση προς τα αριστερά
Γ) δεν εκδηλώνεται αντίδραση καθώς το σύστημα είναι ήδη σε κατάσταση χημικής ισορροπίας
Δ) δεν μπορούμε να προβλέψουμε τι θα συμβεί, καθώς εξαρτάται από την εξίσωση της αντίδρασης

15.62. Σε δοχείο έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία:

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$$

Στο δοχείο εισάγουμε επιπλέον x mol $O_2(g)$ και x mol $SO_3(g)$ χωρίς μεταβολή στον όγκο και στη θερμοκρασία. Με την εισαγωγή αυτή η χημική ισορροπία:
Α) θα μετατοπιστεί προς τα δεξιά
Β) θα μετατοπιστεί προς τα αριστερά
Γ) δεν θα μετατοπιστεί
Δ) δεν μπορούμε να προβλέψουμε αν θα μετατοπιστεί και προς ποια κατεύθυνση

15.63. Σε δοχείο σταθερού όγκου έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία: $A(s) + 2B(g) \rightleftharpoons 2Γ(g)$. Στο δοχείο προσθέτουμε επιπλέον ποσότητα B(g) χωρίς μεταβολή θερμοκρασίας. Με την προσθήκη αυτή το πηλίκο αντίδρασης (Q_c):
Α) αυξάνεται και εκδηλώνεται αντίδραση προς τα δεξιά
Β) αυξάνεται και εκδηλώνεται αντίδραση προς τα αριστερά
Γ) μειώνεται και εκδηλώνεται αντίδραση προς τα δεξιά
Δ) μειώνεται και εκδηλώνεται αντίδραση προς τα αριστερά

15.64. Σε δοχείο σταθερού όγκου στο οποίο έχει αποκατασταθεί η ισορροπία: $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$, $\Delta H < 0$, αυξάνουμε τη θερμοκρασία. Με την αύξηση αυτή:
Α) Το πηλίκο αντίδρασης Q_c γίνεται μεγαλύτερο από τη σταθερά K_c αλλά δεν εκδηλώνεται αντίδραση
Β) Το πηλίκο αντίδρασης Q_c γίνεται μεγαλύτερο από τη σταθερά K_c και εκδηλώνεται αντίδραση προς τα αριστερά
Γ) Το πηλίκο αντίδρασης Q_c γίνεται μικρότερο από τη σταθερά K_c και δεν μεταβάλλεται η θέση της ισορροπίας
Δ) Το πηλίκο αντίδρασης Q_c παραμένει ίσο με τη σταθερά K_c και εκδηλώνεται αντίδραση

15.65. Σε δοχείο σταθερού όγκου που βρίσκεται σε περιβάλλον σταθερής θερμοκρασίας συνυπάρχουν σε χημική ισορροπία 1 mol C(s), 1 mol $CO_2(g)$ και 2 mol CO(g), σύμφωνα με την εξίσωση: $C(s) + CO_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g)$.
α) Στο δοχείο της ισορροπίας προσθέτουμε x mol $CO_2(g)$ και x mol CO(g). Με τις προσθήκες αυτές θα ισχύει:
Α) $Q_c > K_c$ και επομένως η ισορροπία θα πάει αριστερά
Β) $Q_c = K_c$ και επομένως η ισορροπία δεν θα μετατοπιστεί
Γ) $Q_c < K_c$ και επομένως η ισορροπία θα πάει προς τα δεξιά
Δ) Δεν μπορούμε να συγκρίνουμε το πηλίκο αντίδρασης με τη σταθερά K_c και επομένως δεν μπορούμε να προβλέψουμε προς ποια κατεύθυνση θα μετατοπιστεί η ισορροπία
β) Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

15.66. Για τη χημική ισορροπία που ακολουθεί, ισχύει: K_c = x σε θερμοκρασία T.

$$CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$$

Σε κενό δοχείο σταθερού όγκου εισάγονται αρχικά ποσότητες $CaCO_3(s)$ και $CO_2(g)$ και ισχύει: $[CO_2(g)] > x$. Να εξηγήσετε αν στο δοχείο αυτό μπορεί ή όχι να αποκατασταθεί χημική ισορροπία στη θερμοκρασία T.

15.67. Σε δοχείο περιέχονται α mol PCl_5, β mol PCl_3 και γ mol Cl_2 σε κατάσταση χημικής ισορροπίας, η οποία περιγράφεται από την εξίσωση:

$$PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$$

Στο δοχείο εισάγονται επιπλέον α mol PCl_5, β mol PCl_3 και γ mol Cl_2 υπό σταθερή θερμοκρασία και υπό σταθερό όγκο.
α) Να εξετάσετε αν με την εισαγωγή αυτή το μίγμα βρίσκεται ή όχι σε κατάσταση χημικής ισορροπίας.
β) Προς ποια κατεύθυνση θα εκδηλωθεί αντίδραση;

15.68. Σε υδατικό διάλυμα έχει αποκατασταθεί η ισορροπία:

$$2A(aq) + B(s) \rightleftharpoons Γ(aq) + 2Δ(aq),\ \Delta H < 0$$

α) Να εξηγήσετε πώς θα μεταβληθεί η ποσότητα του B(s) (αύξηση, μείωση, καμία μεταβολή) με την αύξηση της θερμοκρασίας του διαλύματος, χωρίς άλλη μεταβολή.
β) Στο σύστημα της αρχικής ισορροπίας προσθέτουμε επιπλέον ποσότητα νερού, χωρίς μεταβολή στη θερμοκρασία. Να εξηγήσετε πώς θα μεταβληθεί η θέση της ισορροπίας (προς τα δεξιά, προς τα αριστερά, καμία μεταβολή).

15.69. Δίνεται η χημική ισορροπία:

$2O_3(g) \rightleftharpoons 3O_2(g)$, $K_c = 75$ (σε θερμοκρασία T)

0,3 mol $O_3(g)$ και 1,5 mol $O_2(g)$ εισάγονται σε κλειστό δοχείο σε θερμοκρασία T. Ποιος πρέπει να είναι ο όγκος (V) του δοχείου ώστε:

α) Να μην πραγματοποιηθεί αντίδραση.

β) Να αυξηθεί η ποσότητα του $O_2(g)$.

γ) Να αυξηθεί η ποσότητα του $O_3(g)$.

15.70. Δίνεται η ισορροπία: $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$. Σε 4 δοχεία Α, Β, Γ και Δ εισάγονται τα αέρια $N_2(g)$, $H_2(g)$ και $NH_3(g)$ με τις αρχικές συγκεντρώσεις που εμφανίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Δοχεία	$[N_2]$ / M	$[H_2]$ / M	$[NH_3]$ / M
Α	0,1	0,1	0,1
Β	1,0	1,0	1,0
Γ	1,0	0,1	0,1
Δ	1,0	1,0	0,1

Σε όλα τα δοχεία αποκαθίσταται χημική ισορροπία στην ίδια θερμοκρασία. Παρατηρείται ότι μόνο σε ένα από τα δοχεία η ποσότητα της $NH_3(g)$ αυξάνεται μέχρι την αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας ενώ στα άλλα τρία η ποσότητα της $NH_3(g)$ μειώνεται.

α) Σε ποιο δοχείο μπορεί αυξάνεται η ποσότητα της $NH_3(g)$ μέχρι την αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας;

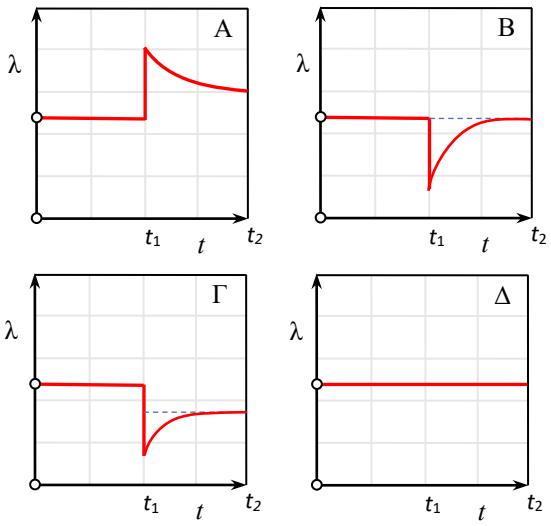
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

15.71. Τη χρονική στιγμή $t = 0$ σε δοχείο σταθερού όγκου V έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία που ακολουθεί.

$A(g) \rightleftharpoons B(g)$

Τη στιγμή t_1 προστίθεται επιπλέον ποσότητα Α(g) και από τη στιγμή t_2 και μετά αποκαθίσταται νέα ισορροπία στην ίδια θερμοκρασία.

α) Ποιο από τα παρακάτω διαγράμματα αποδίδει τη μεταβολή του λόγου λ = [B] / [A] από $t = 0$ μέχρι $t = t_2$;



β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

15.72. Σε υδατικό διάλυμα περιέχονται γλυκόζη, Γ(aq), σε συγκέντρωση 0,25 M και φρουκτόζη, Φ(aq), σε συγκέντρωση 0,24 M. Με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται η χημική ισορροπία με την εξίσωση που ακολουθεί.

$\Gamma(aq) \rightleftharpoons \Phi(aq)$

Στη θερμοκρασία του πειράματος η σταθερά K_c της ισορροπίας έχει τιμή 0,4. Ποιες θα είναι οι συγκεντρώσεις της γλυκόζης και της φρουκτόζης στην κατάσταση της ισορροπίας;

15.73. Κυλινδρικό δοχείο όγκου 30 L βρίσκεται σε περιβάλλον θερμοκρασίας T και χωρίζεται σε δύο διαμερίσματα με ακλόνητο διάφραγμα. Στο 1ο διαμέρισμα όγκου V_1 βρίσκονται σε ισορροπία 1 mol $NO_2(g)$ και 1 mol $N_2O_4(g)$ σύμφωνα με την εξίσωση (1): $2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$. Στο 2ο διαμέρισμα όγκου V_2 βρίσκονται επίσης σε ισορροπία 2 mol $NO_2(g)$ και 2 mol $N_2O_4(g)$ σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση (1).

α) Να υπολογιστούν οι όγκοι V_1 και V_2.

β) Αποσύρουμε το διαχωριστικό διάφραγμα. Να εξετάσετε αν το σύστημα των δύο αερίων είναι ή όχι σε ισορροπία.

Η θερμοκρασία είναι σταθερή και ίση με T.

15.74. Για τη χημική ισορροπία που ακολουθεί η σταθερά K_c έχει τιμή ίση με 0,01 στους 900 °C.

$CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$

Δύο δοχεία Α και Β έχουν όγκο 10 L και 20 L, αντίστοιχα. Στο δοχείο Α εισάγονται 0,1 mol $CaCO_3(s)$, 0,05 mol $CaO(s)$ και 0,05 mol $CO_2(g)$ και το σύστημα θερμαίνεται στους 900°C και αποκαθίσταται χημική ισορροπία. Επίσης, στο δοχείο Β εισάγονται 0,15 mol $CaCO_3(s)$, 0,1 mol $CaO(s)$ και 0,1 mol $CO_2(g)$ και το σύστημα θερμαίνεται στους 900 °C και αποκαθίσταται επίσης χημική ισορροπία. Να συγκρίνετε τις τελικές ποσότητες $CaCO_3(s)$ στα δύο δοχεία (μεγαλύτερη ποσότητα στο δοχείο Α, μεγαλύτερη ποσότητα στο δοχείο Β, ίσες ποσότητες). Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας.

[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

15.75. Σε θερμοκρασία T η σταθερά της χημικής ισορροπίας που ακολουθεί έχει τιμή $K_c = 10$.

$C(s) + CO_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g)$

Σε δοχείο σταθερού όγκου $V = 10$ L συνυπάρχουν σε κάποια χρονική στιγμή (t) 2 mol C(s), 4 mol $CO_2(g)$ και 2 mol CO(g) σε θερμοκρασία T.

α) Να προβλέψετε προς ποια κατεύθυνση εκδηλώνεται αντίδραση τη στιγμή t.

β) Να εξετάσετε αν μπορεί να αποκατασταθεί χημική ισορροπία σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση.

15.76. Σε δοχείο όγκου V έχει αποκατασταθεί σε θερμοκρασία T η χημική ισορροπία, $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$, στην οποία συνυπάρχουν x mol $N_2O_4(g)$ και x mol $NO_2(g)$. Σε άλλο δοχείο όγκου $2V$ εισάγονται x mol $N_2O_4(g)$ και 2x mol $NO_2(g)$ στην ίδια θερμοκρασία και μέχρι την αποκατάσταση της ισορροπίας εκλύεται ποσό θερμότητας Q. Να εξηγήσετε:

α) Προς ποια κατεύθυνση εξελίσσεται αντίδραση στο 2ο δοχείο.

β) Αν η αντίδραση $N_2O_4(g) \rightarrow 2NO_2(g)$ είναι ενδόθερμη ή εξώθερμη.

ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

15.77. Για τη χημική ισορροπία, $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$, $\Delta H > 0$, θεωρούμε τις δύο αντίθετης φοράς αντιδράσεις ως στοιχειώδεις (απλές). Σε δοχείο (Α) όγκου $V = 5$ L εισάγονται 0,1 mol $PCl_5(g)$. Η αρχική ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά είναι $\upsilon_{01} = 5 \cdot 10^{-2}$ M·s^{-1}. Σε άλλο δοχείο (Β) ίσου όγκου εισάγονται 0,1 mol $PCl_3(g)$ και 0,1 mol $Cl_2(g)$ και η αρχική ταχύτητα της αντίδρασης είναι $\upsilon_{02} = 10^{-4}$ M·s^{-1}.
α) Να υπολογίσετε τη σταθερά ταχύτητας της αντίδρασης προς τα δεξιά (k_1) και τη σταθερά ταχύτητας προς τα αριστερά (k_2). Να σημειώσετε και τις μονάδες των σταθερών k_1 και k_2. Η θερμοκρασία είναι η ίδια και ίση με T.
β) Να δείξετε ότι η σταθερά K_c της χημικής ισορροπίας (1) έχει τιμή ίση με 10 στη θερμοκρασία T.
γ) Στο δοχείο Α σε κάποια στιγμή t η συγκέντρωση του Cl_2 βρέθηκε ίση με 0,01 M. Να εξετάσετε αν τη στιγμή t έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία στο δοχείο Α.
δ) Μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας στο δοχείο Α προσθέτουμε επιπλέον x mol $PCl_5(g)$ χωρίς άλλη μεταβολή και στη νέα ισορροπία προσδιορίστηκε 1 mol $Cl_2(g)$. Να υπολογιστεί η τιμή του x. Δεν απαιτείται ο προσδιορισμός των ποσοτήτων των σωμάτων στην αρχική ισορροπία.
ε) Μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας στο δοχείο Β μεταβάλλουμε τη θερμοκρασία σε T' και με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται νέα ισορροπία στην οποία η ποσότητα του Cl_2 βρέθηκε ίση με 0,09 mol. Να εξετάσετε το είδος της μεταβολής (αύξηση, μείωση, καμία μεταβολή):
i. Στην τιμή του λόγου k_1/k_2 στη νέα θερμοκρασία (T') σε σχέση με την αρχική θερμοκρασία (T). Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.
ii. Στην τιμή της T' σε σχέση με την T.
Δεν απαιτείται ο προσδιορισμός των ποσοτήτων των σωμάτων στην αρχική χημική ισορροπία στο δοχείο Β.

15.78. Σε δοχείο σταθερού όγκου βρίσκεται σε χημική ισορροπία αέριο μίγμα που αποτελείται από 1 mol SO_2, 1,5 mol NO_2, 8 mol SO_3 και 3 mol NO, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$SO_2(g) + NO_2(g) \rightleftharpoons SO_3(g) + NO(g)$$

α) Να υπολογίσετε τη σταθερά K_c της ισορροπίας.
Στο μίγμα της ισορροπίας προσθέτουμε 0,5 mol SO_2 και 5 mol NO και αποκαθίσταται νέα ισορροπία μέχρι την αποκατάσταση της οποίας απορροφώνται 10 kJ.
β) Να υπολογίσετε:
i. Τη σύσταση σε mol του νέου μίγματος ισορροπίας.
ii. Την ενθαλπία (ΔH) της αντίδρασης. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

Δύο ισορροπίες μαζί!

15.79. Σε δοχείο 1 L εισάγονται 0,2 mol PCl_5 και 0,2 mol $COCl_2$. Με θέρμανση του μίγματος στους θ °C, αποκαθίστανται οι ισορροπίες (1) και (2) που ακολουθούν.

$PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$ (1), $K_{c1} = 0{,}15$ στους θ °C

$COCl_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + Cl_2(g)$ (2)

Αν μετά την αποκατάσταση και των δύο ισορροπιών η συγκέντρωση του Cl_2 είναι ίση με 0,15 M, να υπολογίσετε:
α) Το ποσοστό διάσπασης του $COCl_2$.
β) Τη σταθερά K_{c2} της ισορροπίας (2) στους θ °C.

Χημεία και… τέρατα: *«Ο σιωπηρός δολοφόνος!»*

Η αιμοσφαιρίνη είναι πρωτεϊνικής φύσης οργανικό μόριο στα ερυθρά αιμοσφαίρια που περιέχει Fe και είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά του O_2 στα κύτταρα των ιστών. Κάθε μόριο αιμοσφαιρίνης δεσμεύει 4 μόρια O_2 και η διαδικασία της δέσμευσης και της αποδέσμευσης του O_2 περιγράφεται από την εξίσωση,

$$Hb(aq) + 4O_2(g) \rightleftharpoons Hb(O_2)_4(aq) \quad (1),$$

όπου Hb ο συμβολισμός για στην αιμοσφαιρίνη. Στους πνεύμονες όπου με την αναπνοή υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση $O_2(g)$ η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά και η οξυγονωμένη μορφή μεταφέρεται το O_2 στους ιστούς όπου αποδεσμεύεται. Όσο υπάρχει αρκετό O_2 στον αέρα, η ισορροπία (1) λειτουργεί άψογα. Τι γίνεται, όμως, αν δεν υπάρχει αρκετό O_2 στον αέρα;

Σε σημαντικά ύψη πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας η πίεση του αέρα μειώνεται σημαντικά, Έτσι, σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier, η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα αριστερά και η συγκέντρωση της $Hb(O_2)_4(aq)$ μειώνεται. Χωρίς επαρκή ποσότητα O_2 στα κύτταρα και στους ιστούς το άτομο αισθάνεται ζαλάδα και τάση για λιποθυμία. Έτσι, οι ορειβάτες στα Ιμαλάια χρησιμοποιούν πάνω από ορισμένο ύψος παροχή O_2. Επίσης, οι άνθρωποι που έχουν μεγαλώσει και ζουν σε μεγάλα ύψη παράγουν περισσότερη αιμοσφαιρίνη ώστε η ισορροπία να μετατοπιστεί προς τα δεξιά.

Όταν κάποιος εκτεθεί σε ατμόσφαιρα που περιέχει έστω και πολύ μικρές ποσότητες CO(g) επέρχεται μία επικίνδυνη τροποποίηση της παραπάνω ισορροπίας (1) δέσμευσης και αποδέσμευσης του O_2. Το CO «ξεγελάει» την αιμοσφαιρίνη και δεσμεύεται αντί για το O_2, σύμφωνα με την ισορροπία (2):

$$Hb(aq) + 4CO(g) \rightleftharpoons Hb(CO)_4(aq) \quad (2)$$

Παράγεται με τον τρόπο αυτό η καρβοξυαιμοσφαιρίνη, που είναι ακόμη πιο κόκκινη σε σχέση με την αιμοσφαιρίνη οπότε το πρόσωπο του ατόμου κοκκινίζει. Ο δεσμός αιμοσφαιρίνης-CO είναι πολύ ισχυρότερος σε σχέση με το δεσμό αιμοσφαιρίνης-O_2 και η σταθερά K_c της ισορροπίας (2) είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με την ισορροπία (1). Έτσι, δεν υπάρχει πια διαθέσιμη αιμοσφαιρίνη για τη μεταφορά του O_2. Και το χειρότερο, το άτομο δεν προειδοποιείται καθώς το CO είναι άοσμο. Σε μικρές συγκεντρώσεις CO στο αέρα έχει πονοκέφαλο και ζαλίζεται ενώ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μπορούν να αποβούν μοιραίες. Αν μεταφερθεί έγκαιρα στο νοσοκομείο η θεραπεία είναι απλή: Χορήγηση καθαρού O_2 που θα μετατοπίσει την ισορροπία (1) προς τα δεξιά και την ισορροπία (2) προς τα αριστερά με αποτέλεσμα την αποβολή του CO μέσω της εκπνοής.

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 15

Στις παρακάτω ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής 1-6, να σημειώσετε απλώς τη σωστή απάντηση.

1. Δίνεται η ισορροπία: $CO_2(g) + C(s) \rightleftharpoons 2CO(g)$. Η σωστή έκφραση για τη σταθερά ισορροπίας (K_c) είναι:
Α) $K_c = [CO] / [CO_2]$ Β) $K_c = [CO]^2 / [CO_2]\cdot[C]$
Γ) $K_c = [CO_2]\cdot[C] / [CO]^2$ Δ) $K_c = [CO]^2 / [CO_2]$
[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

2. Δίνονται οι ισορροπίες:

$$\frac{1}{2}\, N_2O_4(g) \rightleftharpoons NO_2(g) \qquad K_{c1} = x$$

$$\frac{1}{2}\, N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons NO_2(g) \qquad K_{c2} = y$$

Για την ισορροπία, $N_2(g) + 2O_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$, η τιμή της σταθεράς ισορροπίας της (K_c) δίνεται από την έκφραση:
Α) $K_c = y/x$ Β) $K_c = y^2/x^2$
Γ) $K_c = x^2/y^2$ Δ) $K_c = x/y^2$

3. Για τη χημική ισορροπία, $xA(g) + B(s) \rightleftharpoons Γ(g) + Δ(g)$, η σταθερά ισορροπίας έχει τιμή $K_c = 4\ M^{-1}$ στους θ °C. Ποια η τιμή του x;
Α) 4 Β) 3 Γ) 2 Δ) 1
[Π.Μ.Δ.Χ]

4. 60 g $CaCO_3(s)$ εισάγονται σε κενό δοχείο όγκου 1 L και το σύστημα θερμαίνεται σε θερμοκρασία $T = 950$ K οπότε αποκαθίσταται η χημική ισορροπία που ακολουθεί.

$$CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$$

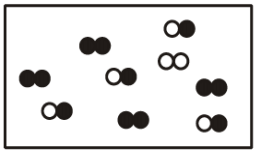
Μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας η πίεση στο δοχείο είναι ίση με 0,04 atm. Αν στο ίδιο δοχείο είχαν εισαχθεί αρχικά 120 g $CaCO_3$, ποια θα ήταν η πίεση στη νέα ισορροπία, στην ίδια θερμοκρασία;
Α) 0,02 atm ≤ P < 0,04 atm Β) P = 0,04 atm
Γ) 0,04 atm < P < 0,08 atm Δ) P = 0,08 atm
Να υποθέσετε ότι τα στερεά σώματα καταλαμβάνουν αμελητέο όγκο σε σχέση με τον όγκο του δοχείου.

5. Σε δοχείο στο οποίο έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία: $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$, $\Delta H < 0$, αυξάνουμε την πίεση με μείωση του όγκου υπό σταθερή θερμοκρασία. Με τη μεταβολή αυτή:
Α) Το πηλίκο αντίδρασης Q_c γίνεται μεγαλύτερο από τη σταθερά K_c αλλά δεν εκδηλώνεται αντίδραση
Β) Το πηλίκο αντίδρασης Q_c γίνεται μικρότερο από τη σταθερά K_c και εκδηλώνεται αντίδραση προς τα δεξιά
Γ) Το πηλίκο αντίδρασης Q_c γίνεται μικρότερο από τη σταθερά K_c αλλά δεν μεταβάλλεται η θέση της ισορροπίας
Δ) Το πηλίκο αντίδρασης Q_c παραμένει ίσο με τη σταθερά K_c και δεν εκδηλώνεται αντίδραση

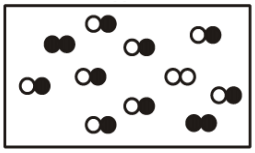
6. Δίνεται η αντίδραση: $A_2(g) + B_2(g) \rightleftharpoons 2AB(g)$ με σταθερά χημικής ισορροπίας $K_c = 4$. Να αιτιολογήσετε σε ποιο από τα πιο κάτω δοχεία υπάρχει σύστημα σε κατάσταση χημικής ισορροπίας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

A_2 ○○ B_2 ●● AB ○●

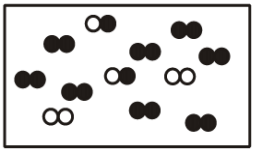
Δοχείο I



Δοχείο II



Δοχείο III



---

7. Σε δοχείο θερμοκρασίας θ °C έχει αποκατασταθεί η ισορροπία: $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$, $\Delta H < 0$. Τι θα συμβεί στην ποσότητα της NH_3 και στη σταθερά K_c της ισορροπίας:
α) Όταν αυξηθεί η θερμοκρασία στο δοχείο.
β) Όταν αυξηθεί ο όγκος του δοχείου, υπό σταθερή θερμοκρασία.
Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

8. Δίνεται η ισορροπία: $PbO(s) + CO(g) \rightleftharpoons Pb(\ell) + CO_2(g)$ (1).
α) Σε ένα δοχείο σταθερού όγκου εισάγονται 1 mol PbO(s) και 1 mol CO(g). Σε ένα δεύτερο δοχείο ίδιου όγκου εισάγονται 1 mol Pb(ℓ) και 1 mol CO_2(g).Τα δύο δοχεία θερμαίνονται σε κατάλληλη θερμοκρασία θ και αποκαθίσταται η ισορροπία (1).
Να συγκριθούν οι ποσότητες του CO(g) στα δύο δοχεία. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.
β) Ένα ισότοπο του $_8$O είναι το ^{18}O. Το ισότοπο ^{18}O μπορεί να συμβολιστεί ως *O. Στο εργαστήριο είναι εφικτό να γνωρίζουμε αν ένα μόριο φέρει το ισότοπο αυτό. Σε ένα από τα παραπάνω δοχεία, στο οποίο έχει αποκατασταθεί η ισορροπία (1) εισάγεται μικρή ποσότητα Pb*O(s).
Μετά την πάροδο κάποιου χρονικού διαστήματος σε ποια/ποιες ουσίες του μίγματος της ισορροπίας θα ανιχνευτεί το ισότοπο *O;
Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ]

……

……

……

……

……

……

……

9. Έστω η παρακάτω αμφίδρομη αντίδραση, η οποία λαμβάνει χώρα σε ένα στάδιο και προς τις δύο κατευθύνσεις, είναι δηλαδή απλή αντίδραση και προς τις δύο κατευθύνσεις:

$$2A(g) + B(g) \underset{k_2,\, E_{a2}}{\overset{k_1,\, E_{a1}}{\rightleftharpoons}} A_2B(g),\ \Delta H_1{}^0 > 0$$

α) Εάν η προς τα δεξιά κατεύθυνση υποδεικνύεται με τον δείκτη 1 και η προς τα αριστερά κατεύθυνση υποδεικνύεται με τον δείκτη 2, να χαρακτηρίσετε τις προτάσεις που ακολουθούν, γράφοντας, δίπλα στην ένδειξη που αντιστοιχεί σε κάθε πρόταση, τη λέξη Σωστό, αν η πρόταση είναι σωστή, ή τη λέξη Λάθος, αν η πρόταση είναι λανθασμένη.
i. $\Delta H_1{}^0 = -\Delta H_2{}^0$, όπου $\Delta H_1{}^0$, $\Delta H_2{}^0$ οι αντίστοιχες ενθαλπίες των αντιδράσεων.
ii. $E_{a2} = E_{a1} + \Delta H_1{}^0$, όπου E_{a1}, E_{a2} οι αντίστοιχες ενέργειες ενεργοποίησης των αντιδράσεων.
iii. $K_c = k_1 \cdot k_2$, όπου K_c η σταθερά της χημικής ισορροπίας και k_1, k_2 οι σταθερές ταχύτητας των αντιδράσεων.
β) Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2023]

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

10. Σε κλειστό δοχείο περιέχονται σε χημική ισορροπία, σε θερμοκρασία θ_1, 2 mol αερίου X_2, 2 mol αερίου Y_2 και 4 mol αερίου XY σύμφωνα με τη χημική εξίσωση:

$$X_2(g) + Y_2(g) \rightleftharpoons 2XY(g)$$

Αυξάνουμε τη θερμοκρασία σε θ_2 και ταυτόχρονα προσθέτουμε στο δοχείο 1 mol Y_2 και 10 mol XY χωρίς να μεταβάλλουμε τον όγκο. Όταν αποκατασταθεί η νέα χημική ισορροπία, στο δοχείο περιέχονται 3 mol X_2.

α) Να υπολογίσετε τα mol όλων των ουσιών στη νέα θέση της χημικής ισορροπίας.

β) Να βρείτε αν η αντίδραση προς τα δεξιά (παραγωγή XY) είναι ενδόθερμη ή εξώθερμη. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2025]

11. Κάποτε στο Διάστημα! Στη δεκαετία του ΄80 στο ρωσικό διαστημικό σταθμό Salyout το CO_2 των εκπνοών των αστροναυτών μετατρεπόταν στο απαραίτητο για τη αναπνοή O_2 με την αντίδραση του σουπεροξειδίου του καλίου, KO_2, με το CO_2:

$$4KO_2(s) + 2CO_2(g) \rightleftharpoons 2K_2CO_3(s) + 3O_2(g)$$



Σε δοχείο όγκου $V = 100$ mL εισάγονται ποσότητες $KO_2(s)$ και $CO_2(g)$ και αποκαθίσταται η παραπάνω ισορροπία στους 298 K. Στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας προσδιορίστηκαν 0,04 mol $KO_2(s)$, 0,12 mol $CO_2(g)$, 0,08 mol $K_2CO_3(s)$ και 0,12 mol $O_2(g)$.

α) Να προσδιοριστούν:

i. Οι ποσότητες (σε mol) του $KO_2(s)$ και του $CO_2(g)$ που είχαν εισαχθεί αρχικά στο δοχείο.

ii. Η απόδοση της αντίδρασης.

iii. Η σταθερά K_c της ισορροπίας στους 298 K.

β) Αν αυξήσουμε τον όγκο του δοχείου διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία αποκαθίσταται με την πάροδο του χρόνου νέα ισορροπία. Να εξηγήσετε πώς θα μεταβληθούν (αύξηση, μείωση, καμία μεταβολή) στην τελική ισορροπία σε σχέση με την αρχική:

i. Ο λόγος των συγκεντρώσεων $[CO_2] / [O_2]$.

ii. Ο λόγος της μάζας του $K_2CO_3(s)$ προς τη μάζα του $KO_2(s)$.

γ) Αυξάνουμε τον όγκο του δοχείου της αρχικής χημικής ισορροπίας από 100 mL σε 1 L υπό σταθερή θερμοκρασία. Να εξετάσετε αν μπορεί ή όχι να αποκατασταθεί χημική ισορροπία στην περίπτωση αυτή.

12. Σε δοχείο σταθερού όγκου $V = 1$ L και σταθερής θερμοκρασίας θ °C, εισάγονται 4 mol αερίου Α και 4 mol αερίου Β, τα οποία αντιδρούν αμφίδρομα σύμφωνα με τη χημική εξίσωση,

$$A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2\Gamma(g),$$

της οποίας οι δύο αντίθετες χημικές αντιδράσεις είναι απλές. Σε χρονική στιγμή t, πριν από την αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας, στο δοχείο υπάρχουν 2 mol αερίου Β και οι ταχύτητες των δύο αντίθετων αντιδράσεων είναι:

$\upsilon_1 = 2{,}56\ 10^{-1}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (προς τα δεξιά)

$\upsilon_2 = 1{,}6\cdot 10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (προς τα αριστερά)

α) Να υπολογίσετε τις σταθερές της ταχύτητας των δύο αντίθετων χημικών αντιδράσεων καθώς και τη σταθερά K_c της αμφίδρομης αντίδρασης.

β) Να υπολογίσετε τις ποσότητες σε mol των τριών αερίων Α, Β, Γ στην κατάσταση χημικής ισορροπίας. [ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2026]

13. Για να μελετήσουμε μια αντίδραση ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο εργαστήριο, εισάγουμε ορισμένες ποσότητες NO και O_2 σε δοχείο όγκου $V_1 = 10$ L, οπότε αποκαθίσταται η χημική ισορροπία:

$$2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$$

Το αέριο μίγμα ισορροπίας είναι ισομοριακό και περιέχει συνολικά 12 mol αερίων.

α) Να υπολογίσετε την απόδοση της αντίδρασης και τη σταθερά χημικής ισορροπίας K_c.

β) Μέχρι να αποκατασταθεί η χημική ισορροπία από την έναρξη της αντίδρασης, εκλύεται ποσό θερμότητας ίσο με 144 kJ σε πρότυπη κατάσταση. Να υπολογίσετε την πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του NO(g). Δίνεται η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του $NO_2(g)$: 33 $kJ \cdot mol^{-1}$.

γ) Σε σταθερή θερμοκρασία απομακρύνουμε από το μίγμα ισορροπίας 3 mol $NO_2(g)$ και ταυτόχρονα μεταβάλλουμε τον όγκο του δοχείου σε V_2, οπότε το σύστημα παραμένει σε κατάσταση χημικής ισορροπίας. Να υπολογίσετε τον όγκο V_2 του δοχείου.

[ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2026]

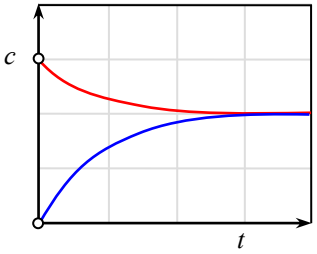


ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΑ (7)
ΧΗΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ

Θέμα Α

Για τις παρακάτω ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής Α1-Α5 να γράψετε απλώς το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση.

Α1. Σε κενό δοχείο εισάγεται ποσότητα ένωσης Α(g). Το δοχείο θερμαίνεται σε κατάλληλη θερμοκρασία, οπότε η ένωση Α(g) παράγει το προϊόν Β(g). Το διπλανό διάγραμμα παριστάνει τις καμπύλες αντίδρασης των Α(g) και Β(g) σε σχέση με το χρόνο. Η χημική εξίσωση της αντίδρασης που πραγματοποιήθηκε είναι:



Α) $A \rightarrow B$ Β) $A \rightleftharpoons 2B$ Γ) $2A \rightleftharpoons B$ Δ) $B \rightleftharpoons 2A$

Α2. Να θεωρήσετε τις χημικές ισορροπίες που ακολουθούν με τις σταθερές ισορροπίας τους (K_c) στην ίδια θερμοκρασία.

$SO_2(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \rightleftharpoons SO_3(g)$, $K_{c1} = x$ $\qquad$ $2SO_3(g) \rightleftharpoons 2SO_2(g) + O_2(g)$, $K_{c2} = y$

Ποια η σχέση μεταξύ των τιμών x και y;

Α) $y = x$ Β) $y \cdot x^2 = 1$ Γ) $y^2 = x$ Δ) $x^2 = y$

Α3. Σε δοχείο που βρίσκεται υπό σταθερή θερμοκρασία εισάγονται ποσότητες CO(g) και H_2(g) και με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται η χημική ισορροπία:

$$CO(g) + 2H_2(g) \rightleftharpoons CH_3OH(g)$$

Πριν από την αποκατάσταση της ισορροπίας, ο λόγος $\frac{[CH_3OH]}{[CO]\cdot[H_2]^2}$:

Α) είναι μεγαλύτερος από τη σταθερά K_c

Β) είναι μικρότερος από τη σταθερά K_c

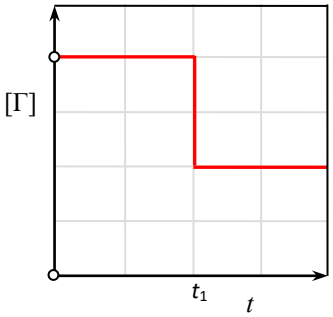
Γ) είναι ίσος με τη σταθερά K_c

Δ) εξαρτάται από τις αρχικές ποσότητες CO(g) και H_2(g)

Α4. Σε δοχείο έχει αποκατασταθεί η ισορροπία:

$$A(g) + B(g) \rightleftharpoons \lambda\Gamma(g),$$

όπου λ ακέραιος συντελεστής. Τη στιγμή t_1 ο όγκος του δοχείου διπλασιάζεται υπό σταθερή θερμοκρασία και με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται νέα χημική ισορροπία. Η συγκέντρωση του Γ(g) ως συνάρτηση του χρόνου εμφανίζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Ποια μπορεί να είναι τιμή του συντελεστή λ;

Α) $\lambda = 1$ Β) $\lambda = 2$ Γ) $\lambda = 3$

Δ) Οποιαδήποτε τιμή

Α5. Σε δοχείο έχει αποκατασταθεί η ομογενής χημική ισορροπία:

$$4HCl(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2H_2O(g) + 2Cl_2(g),\ \Delta H < 0$$

Η θερμοκρασία του συστήματος αυξάνεται και αποκαθίσταται νέα χημική ισορροπία. Πώς θα μεταβληθούν η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά (υ_1) και η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα αριστερά (υ_2) στη νέα ισορροπία σε σχέση με την αρχική;

Α) Αυξάνονται και οι δύο Β) Μειώνονται και οι δύο

Γ) Η υ_1 αυξάνεται και η υ_2 μειώνεται Δ) Η υ_2 αυξάνεται και η υ_1 μειώνεται

Θέμα Β

Β1. *Να χαρακτηρίσετε τις προτάσεις που ακολουθούν ως σωστές (Σ) ή λανθασμένες (Λ). Δεν απαιτείται αιτιολόγηση.*

α) Αν σε ένα δοχείο στο οποίο έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία,

$$3Fe(s) + 4H_2O(g) \rightleftharpoons Fe_3O_4(s) + 4H_2(g),$$

αυξήσουμε τον όγκο του δοχείου, η συγκέντρωση του H_2 θα μειωθεί.

β) Η ισορροπία, $Fe_3O_4(s) + 4H_2(g) \rightleftharpoons 3Fe(s) + 4H_2O(g)$, είναι ετερογενής.

γ) Αν σε ένα κλειστό δοχείο σταθερού όγκου που έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία, $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$, εισάγουμε ποσότητα ευγενούς αερίου υπό σταθερή θερμοκρασία, η χημική ισορροπία δε μεταβάλλεται ενώ η ολική πίεση στο δοχείο αυξάνεται.

δ) Αν σε μία αμφίδρομη αντίδραση, η αντίδραση προς τα δεξιά είναι εξώθερμη, τότε προς τα αριστερά θα είναι ενδόθερμη (στις ίδιες συνθήκες).

Β2. Σε δοχείο μεταβλητού όγκου αποκαθίσταται η χημική ισορροπία (1):

$$C(s) + CO_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g) \quad (1)$$

Με αύξηση του όγκου του δοχείου σε σταθερή θερμοκρασία αποκαθίσταται νέα χημική ισορροπία.

α) Να αιτιολογήσετε:

i. Προς ποια κατεύθυνση μετατοπίστηκε η αρχική χημική ισορροπία.

ii. Πώς μεταβλήθηκε η συγκέντρωση του CO (αυξήθηκε / μειώθηκε / παρέμεινε σταθερή).

β) Σε νέο δοχείο μεταβλητού όγκου αποκαθίσταται η χημική ισορροπία (2):

$$CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g) \quad (2)$$

Με αύξηση του όγκου του δοχείου σε σταθερή θερμοκρασία αποκαθίσταται νέα χημική ισορροπία. Να αιτιολογήσετε πώς μεταβλήθηκε η συγκέντρωση του CO_2 (αυξήθηκε / μειώθηκε / παρέμεινε σταθερή). [ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2023]

Β3. Σε δοχείο εισάγονται ποσότητες $SO_2(g)$ και $O_2(g)$ και αποκαθίσταται η χημική ισορροπία: $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$. Παρατηρήθηκε ότι μέχρι την κατάσταση ισορροπίας έχει αντιδράσει το 80% της ποσότητας του $SO_2(g)$ και το 20% της ποσότητας του $O_2(g)$.

α) Ποια θα είναι η απόδοση της αντίδρασης;

Α) $\alpha = 0,8$ Β) $\alpha = 0,2$ Γ) $\alpha = 0,5$ Δ) $\alpha < 0,2$

β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

Β4. Σε υδατικό διάλυμα όγκου 500 mL έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία:

$$2Ag^+(aq) + Cu(s) \rightleftharpoons Cu^{2+}(aq) + 2Ag(s)$$

Στην κατάσταση της ισορροπίας βρέθηκε ότι: $[Cu^{2+}(aq)] = x$. Στο διάλυμα αυτό προσθέτουμε 500 mL νερό και αποκαθίσταται νέα χημική ισορροπία στην ίδια θερμοκρασία.

α) Στη νέα αυτή ισορροπία η $[Cu^{2+}(aq)]$ θα είναι:

1 ίση με x/2 2. ίση με 2x 3. μεταξύ x και x/2 4. μικρότερη από x/2

β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

Θέμα Γ

Γ1. Σε δοχείο σταθερού όγκου που βρίσκεται σε περιβάλλον σταθερής θερμοκρασίας (T) εισάγεται ποσότητα αέριας ουσίας Α(g) καθώς και περίσσεια στερεού Β(s) και με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται η χημική ισορροπία:

$$2A(g) + B(s) \rightleftharpoons 2\Gamma(g) + \Delta(g)$$

Αν από την έναρξη της αντίδρασης μέχρι την αποκατάσταση της ισορροπίας σημειώνεται αύξηση της πίεσης στο δοχείο κατά 20%, να προσδιοριστεί η απόδοση της αντίδρασης.

Γ2. Σε κλειστό δοχείο όγκου $V = 5$ L εισάγεται ισομοριακό μίγμα NO και O_2 συνολικής μάζας 124 g και αποκαθίσταται η ισορροπία: $2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$, $\Delta H = -28$ kcal. Από την έναρξη της αντίδρασης μέχρι την αποκατάσταση της ισορροπίας εκλύεται συνολικά ποσό θερμότητας ίσο με 21 kcal.

α) Να υπολογιστεί η απόδοση της αντίδρασης καθώς και οι ποσότητες όλων των σωμάτων στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας.

β) Να υπολογιστεί η σταθερά K_c της ισορροπίας στη θερμοκρασία του πειράματος.

Γ3. Για την αντίδραση: $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ στους 450 °C η σταθερά χημικής ισορροπίας έχει τιμή $K_c = 49$.

α) Σε δοχείο όγκου V_1 εισάγουμε 0,1 mol H_2, 0,1 mol I_2 και 0,7 mol HI στους 450 °C. Να δείξετε ότι δεν θα πραγματοποιηθεί καμία αντίδραση.

β) Σε άλλο δοχείο όγκου V_2 περιέχονται 0,2 mol H_2, 0,2 mol I_2 και 0,5 mol HI σε θερμοκρασία 450 °C.

i. Να δείξετε ότι το σύστημα δεν βρίσκεται σε κατάσταση χημικής ισορροπίας.

ii. Εάν το σύστημα αφεθεί να ισορροπήσει, πόσα mol HI θα υπάρχουν στην ισορροπία;

Θέμα Δ

Δ1. Η σταθερά K_c της ισορροπίας $A(g) + B(g) \rightleftharpoons \Gamma(g) + \Delta(g)$ έχει τιμή ίση με 4 σε θερμοκρασία T. Σε κενό δοχείο εισάγονται 2 mol Α(g) και x mol Β(g). Ποια θα πρέπει να είναι η τιμή του x ώστε στη χημική ισορροπία που θα αποκατασταθεί σε θερμοκρασία T η απόδοση της αντίδρασης να είναι ίση με 0,8 (80%);

Δ2. Σε δοχείο σταθερού όγκου εισάγονται 0,4 mol SO_2 και 0,25 mol NO_2 και αποκαθίσταται η ισορροπία, $SO_2(g) + NO_2(g) \rightleftharpoons SO_3(g) + NO(g)$, στην οποία προσδιορίζονται 0,2 mol NO(g).

α) Να προσδιοριστεί η απόδοση της αντίδρασης.

β) Στο μίγμα της ισορροπίας προστίθενται 0,15 mol $NO_2(g)$ επιπλέον και αποκαθίσταται νέα ισορροπία στην ίδια θερμοκρασία. Ποια η απόδοση της αντίδρασης στην περίπτωση αυτή;

γ) Με βάση τον ορισμό της απόδοσης της αντίδρασης, να εξηγήσετε πώς γίνεται με την προσθήκη της επιπλέον ποσότητας $NO_2(g)$ η ισορροπία να κατευθύνεται προς τα δεξιά, αλλά η απόδοση της αντίδρασης να μειώνεται.

.....

.....

.....

Δ3. Ποσότητα ενός σακχάρου Α ίση με 0,1 mol διαλύεται σε νερό σχηματίζοντας διάλυμα (Δ) όγκου 500 mL. Με θέρμανση του διαλύματος το σάκχαρο Α διασπάται σε ποσοστό 50% σε δύο απλούστερα σάκχαρα Β(aq) και Γ(aq), σύμφωνα με τη χημική εξίσωση που ακολουθεί.

$$A(aq) \rightleftharpoons B(aq) + \Gamma(aq)$$

α) Να αποδείξετε ότι με την προσθήκη επιπλέον ποσότητας νερού στο διάλυμα (Δ) υπό σταθερή θερμοκρασία το ποσοστό διάσπασης του σακχάρου Α αυξάνεται.

β) Ποιος όγκος νερού πρέπει να προστεθεί στο διάλυμα (Δ), υπό σταθερή θερμοκρασία, ώστε το σάκχαρο Α να διασπαστεί σε ποσοστό 60%;



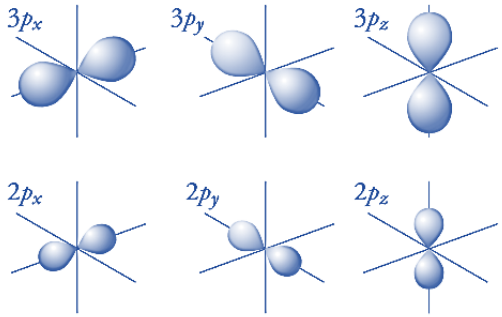
ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΑ (8)

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑΚΗ ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΑΤΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ – ΔΙΑΜΟΡΙΑΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ, ΩΣΜΩΣΗ – ΘΕΡΜΟΧΗΜΕΙΑ – ΧΗΜΙΚΗ ΚΙΝΗΤΙΚΗ – ΧΗΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ

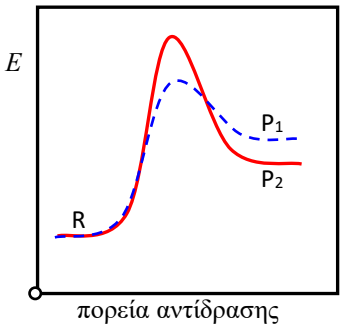
Θέμα Α

Για τις παρακάτω ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής Α1-Α5 να γράψετε απλώς το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση.

Α1. Στο σχήμα που ακολουθεί εμφανίζονται κάποια ατομικά τροχιακά με το συμβολισμό τους. Πόσα από τα τροχιακά αυτά έχουν $m_\ell = 1$;



Α) 1 Β) 2 Γ) 3 Δ) Όλα



Α2. Η ουσία R μπορεί να σχηματίσει δύο προϊόντα, το P_1 και το P_2, σύμφωνα με τις απλές αντιδράσεις, $R \rightarrow P_1$ και $R \rightarrow P_2$, αντίστοιχα. Τα ενεργειακά διαγράμματα των δύο αντιδράσεων φαίνονται στο διπλανό σχήμα. Για τις δύο αυτές αντιδράσεις, ποια από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστή;

Α) Η αντίδραση $R \rightarrow P_1$ είναι λιγότερο εξώθερμη από την αντίδραση $R \rightarrow P_2$

Β) Αν ΔH_1 η ενθαλπία της αντίδρασης $R \rightarrow P_1$ και ΔH_2 η ενθαλπία της αντίδρασης $R \rightarrow P_2$ θα ισχύει: $\Delta H_1 < \Delta H_2$

Γ) Το προϊόν P_1 είναι θερμοδυναμικά σταθερότερο σε σχέση με το προϊόν P_2

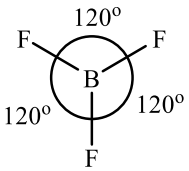
Δ) Η αντίδραση $R \rightarrow P_1$ έχει μικρότερη ενέργεια ενεργοποίησης από την αντίδραση $R \rightarrow P_2$

Α3. Το φθοριούχο βόριο (BF_3) παρουσιάζει διπολική ροπή $\mu = 0$ και πολύ χαμηλό σημείο βρασμού (−100,3 °C). Τα δεδομένα αυτά εξηγούνται ως εξής:

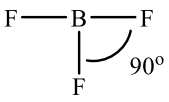
Α) Στο μόριο παρουσιάζονται 3 μη πολικοί δεσμοί B − F

Β) Οι διαμοριακές δυνάμεις δυνάμεις διπόλου - διπόλου στην ένωση είναι πολύ ασθενείς

Γ) Το σχήμα του μορίου είναι:



Δ) Το σχήμα του μορίου είναι:



Α4. Αγοράσατε ένα ζωηρό χρυσόψαρο ωκεανού σε ένα πλαστικό σακουλάκι με κατάλληλο διάλυμα για το καινούργιο ενυδρείο σας. Λίγες ώρες μετά βρίσκετε στο ενυδρείο το χρυσόψαρο νεκρό και φουσκωμένο. Τι είναι πιθανό να συνέβη στο άτυχο ψαράκι; Ρωτώντας έναν ειδικό καταλάβατε ότι το ψάρι βρέθηκε από ένα:
Α) υποτονικό διάλυμα σε ένα υπερτονικό
Β) ισοτονικό διάλυμα σε ένα υποτονικό
Γ) υπερτονικό διάλυμα σε ένα ισοτονικό
Δ) υποτονικό διάλυμα σε ένα ισοτονικό

Α5. Το $O_2(g)$ της ατμόσφαιρας διαλύεται στο θαλασσινό νερό και αποκαθίσταται η ισορροπία:

$$O_2(g) \rightleftharpoons O_2(aq),\ \Delta H = -12{,}6\ \text{kJ}$$

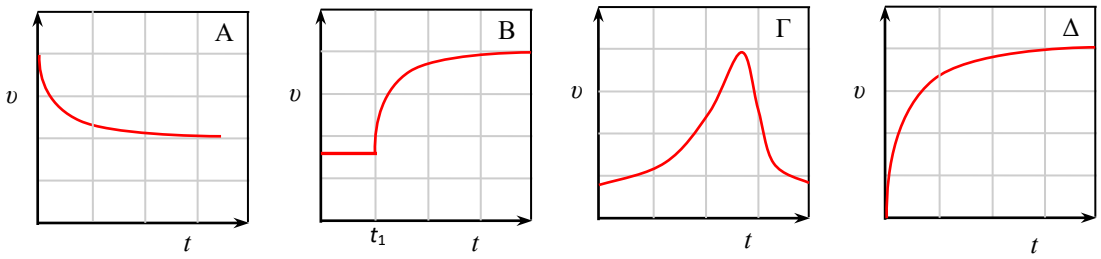
Σε σχέση με την ισορροπία αυτή, τι από τα παρακάτω ισχύει;
Α) Η $[O_2(aq)]$ στο θαλασσινό νερό είναι μεγαλύτερη όταν η ατμοσφαιρική πίεση είναι μικρότερη
Β) Η $[O_2(aq)]$ στο θαλασσινό νερό είναι ανεξάρτητη από την ατμοσφαιρική πίεση
Γ) Η $[O_2(aq)]$ στο θαλασσινό νερό είναι μικρότερη το καλοκαίρι σε σχέση με το χειμώνα
Δ) Η $[O_2(aq)]$ στο θαλασσινό νερό είναι ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία του νερού

Θέμα Β

Β1. Το οξαλικό οξύ, $(COOH)_2$, αντιδρά με το υπερμαγγανικό κάλιο, παρουσία H_2SO_4, σύμφωνα με την αντίδραση:

$$5(COOH)_2 + 2KMnO_4 + 3H_2SO_4 \longrightarrow 10CO_2 + 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 8H_2O$$

α) Στην παραπάνω αντίδραση εμφανίζεται το φαινόμενο της αυτοκατάλυσης. Να εξηγήσετε τι είναι το φαινόμενο αυτό.
β) i. Ποια από τις παρακάτω καμπύλες Α, Β, Γ ή Δ αποδίδει την ταχύτητα της αντίδρασης με την πάροδο του χρόνου στην περίπτωση της αυτοκατάλυσης;

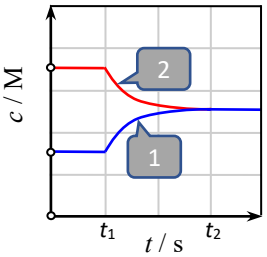


ii. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.
γ) Να υποδείξετε έναν τρόπο με τον οποίο μπορούμε να επιβεβαιώσουμε ότι στην αντίδραση αυτή έχουμε το φαινόμενο της αυτοκατάλυσης.

Β2. Σε κλειστό δοχείο έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία:

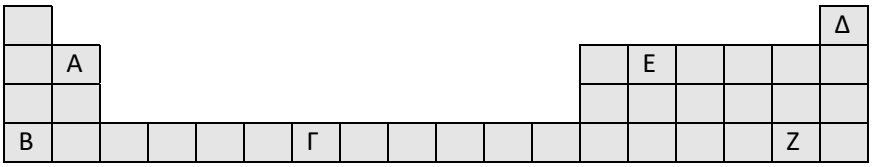
$$A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons 3\Gamma(g) + \Delta(g),\ \Delta H > 0$$

Τη χρονική στιγμή t_1 αυξάνουμε τη θερμοκρασία, υπό σταθερό όγκο και αποκαθίσταται νέα χημική ισορροπία, από τη χρονική στιγμή t_2 και μετά. Οι μεταβολές των συγκεντρώσεων για δύο από τα 4 σώματα της ισορροπίας εμφανίζονται στο διπλανό διάγραμμα.



α) Σε ποια από τα σώματα της ισορροπίας αντιστοιχούν οι καμπύλες (1) και (2); Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.
β) i. Να εξηγήσετε αν και πώς θα μεταβληθεί (αύξηση, μείωση, καμία μεταβολή) η σταθερά K_c της παραπάνω ισορροπίας με την αύξηση της θερμοκρασίας.
ii. Να εξηγήσετε πώς θα μεταβληθούν (αύξηση, μείωση, καμία μεταβολή) οι ταχύτητες των αντιδράσεων προς τα αριστερά και προς τα δεξιά με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Β3. Στο σχήμα που ακολουθεί εμφανίζονται οι 4 πρώτες περίοδοι του Περιοδικού Πίνακα με κάποια στοιχεία του με αυθαίρετο συμβολισμό.



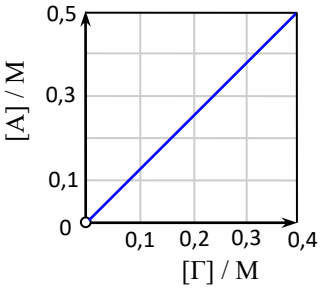
α) Να σημειώσετε το στοιχείο του άτομο του οποίου διαθέτει:
i. Σταθερό ιόν με φορτίο −1.
ii. Τον μεγαλύτερο αριθμό ασύζευκτων ηλεκτρονίων στην υποστιβάδα με τη μεγαλύτερη ενέργεια.
iii. Τη μεγαλύτερη ενέργεια τρίτου ιοντισμού.
iv. Παρόμοια ατομική ακτίνα με το άτομο $_{26}Fe$.
β) Να αιτιολογήσετε τις επιλογές σας.

Β4. Να υπολογιστεί η πρότυπη ενθαλπία (ΔH^o) της αντίδρασης που ακολουθεί.

$$TiCl_4(g) + 2H_2O(\ell) \rightarrow TiO_2(s) + 4HCl(g)$$

Οι ενθαλπίες σχηματισμού, του $TiCl_4(g)$, του $H_2O(\ell)$, του $TiO_2(s)$ και του $HCl(g)$ είναι, αντίστοιχα, ίσες με $-763\ kJ\cdot mol^{-1}$, $-286\ kJ\cdot mol^{-1}$, $-945\ kJ\cdot mol^{-1}$ και $-92\ kJ\cdot mol^{-1}$.

Θέμα Γ



Γ1. Σε διάφορα δοχεία έχει αποκατασταθεί η παρακάτω ισορροπία, στην ίδια θερμοκρασία (Τ): $A(g) + B(s) \rightleftharpoons \Gamma(g)$. Σε κάθε δοχείο σημειώνουμε τις τιμές των συγκεντρώσεων [Α] και [Γ] στη χημική ισορροπία και με βάση τις τιμές αυτές κατασκευάζουμε το διπλανό διάγραμμα.
α) Να εξηγήσετε γιατί το διάγραμμα είναι ευθεία γραμμή.
β) Να υπολογίσετε την τιμή της σταθεράς K_c της παραπάνω ισορροπίας στη θερμοκρασία T.

Γ2. 5 mol A(g) και 5 mol B(g) εισάγονται σε δοχείο όγκου $V = 2$ L και πραγματοποιείται η αντίδραση: $2A(g) + B(g) \rightarrow 3\Gamma(g)$. Μετά από χρόνο $t = 10$ s από την έναρξη της αντίδρασης στο δοχείο προσδιορίστηκαν 3 mol B(g).
α) Ποιες οι ποσότητες των σωμάτων A(g) και Γ(g) τη χρονική στιγμή $t = 10$ s;
β) Να υπολογίσετε τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης για το χρονικό διάστημα από 0 - 10 s.
γ) Η πειραματική μελέτη έδειξε ότι ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης είναι $\upsilon = k\cdot[A]\cdot[B]$. Να σημειώσετε την τάξη της αντίδρασης και να εξηγήσετε αν η αντίδραση είναι απλή ή γίνεται σε στάδια.
δ) Σε άλλο δοχείο σε κάποια στιγμή που οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων είναι [A] = [B] = 0,01 M, η ταχύτητα της αντίδρασης, $2A(g) + B(g) \rightarrow 3\Gamma(g)$, βρέθηκε ίση με $2\cdot10^{-5}\ M\cdot s^{-1}$. Να προσδιοριστεί η τιμή και η μονάδα της σταθεράς k της αντίδρασης στη θερμοκρασία του πειράματος.

Γ3. Υδατικό διάλυμα σακχαρόζης ($C_{12}H_{22}O_{11}$) έχει θερμοκρασία T και παρουσιάζει ωσμωτική πίεση ίση με $\Pi = 10$ atm. Το διάλυμα διασπάται παρουσία καταλύτη στις ισομερείς ενώσεις γλυκόζη και φρουκτόζη σύμφωνα με την αντίδραση:

$$C_{12}H_{22}O_{11}(aq) + H_2O \rightarrow \underset{\text{(γλυκόζη)}}{C_6H_{12}O_6(aq)} + \underset{\text{(φρουκτόζη)}}{C_6H_{12}O_6(aq)}$$

Η αντίδραση διεξάγεται υπό σταθερή θερμοκρασία (T) και ο όγκος του διαλύματος δεν μεταβάλλεται. Κάποια χρονική στιγμή t η ωσμωτική πίεση του διαλύματος της αντίδρασης είναι ίση με 15 atm.

α) Να υπολογίσετε το % ποσοστό της σακχαρόζης που διασπάστηκε σε γλυκόζη και φρουκτόζη μέχρι τη χρονική στιγμή t.
β) Να υπολογίσετε την ωσμωτική πίεση του διαλύματος μετά την ολοκλήρωση της αντίδρασης.
Δίνεται: $R = 0{,}082$ (L·atm)/(mol·L). Η παρουσία καταλύτη δεν επηρεάζει την τιμή της ωσμωτικής πίεσης.

Θέμα Δ

Δ1. Σε δοχείο όγκου 500 mL εισάγεται 0,1 mol $PCl_5(s)$ που διασπάται σε κατάλληλη θερμοκρασία, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$PCl_5(s) \rightleftharpoons PCl_3(\ell) + Cl_2(g)$$

Στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας προσδιορίστηκαν 0,04 mol $PCl_5(s)$. Να προσδιοριστεί η τιμή της σταθεράς K_c της χημικής ισορροπίας.

Δ2. Στους θ °C η σταθερά K_c της ισορροπίας,

$$A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons 2\Gamma(g),$$

είναι ίση με 2.
Σε δοχείο σταθερού όγκου 2 L εισάγουμε ποσότητες των A(g) και B(g) με αναλογία mol 1:2, αντίστοιχα. Όταν αποκατασταθεί η χημική ισορροπία στους θ °C βρέθηκε ότι τα mol των αερίων B(g) και Γ(g) είναι ίσα μεταξύ τους.
α) Να υπολογιστούν: **i.** οι αρχικές ποσότητες (σε mol) των A(g) και B(g) που είχαν αρχικά εισαχθεί στο δοχείο και **ii.** η απόδοση της αντίδρασης.
β) Πόσα mol A(g) θα πρέπει να προσθέσουμε επιπλέον στο δοχείο της παραπάνω ισορροπίας, υπό σταθερή θερμοκρασία, ώστε στη νέα ισορροπία που θα αποκατασταθεί η συγκέντρωση του Γ(g) να είναι ίση με 1,5 M;
γ) Προς ποια κατεύθυνση θα εκδηλωθεί αντίδραση αν στο δοχείο της αρχικής ισορροπίας εισάγουμε επιπλέον 1 mol A(g) και 1 mol Γ(g) στους θ °C;

Δ3. Στους 920 °C ο C(s) αντιδρά με το $O_2(g)$ σύμφωνα με την εξώθερμη αντίδραση:

$$2C(s) + O_2(g) \rightarrow 2CO(g),\ \Delta H = -57 \text{ kcal}$$

Στην ίδια θερμοκρασία, ο C(s) αντιδρά με το $CO_2(g)$ σύμφωνα με την ενδόθερμη αντίδραση:

$$C(s) + CO_2(g) \rightarrow 2CO(g),\ \Delta H = 28{,}5 \text{ kcal}$$

α) Ποιες ποσότητες (σε mol) $O_2(g)$ και $CO_2(g)$ πρέπει να αντιδράσουν πλήρως με 50 mol C(s) ώστε να μην παρατηρηθεί θερμική μεταβολή, δηλαδή να μην παρατηρηθεί ούτε έκλυση ούτε απορρόφηση θερμότητας;
β) Ποια ποσότητα (σε mol) CO(g) θα σχηματιστεί από την όλη διαδικασία;



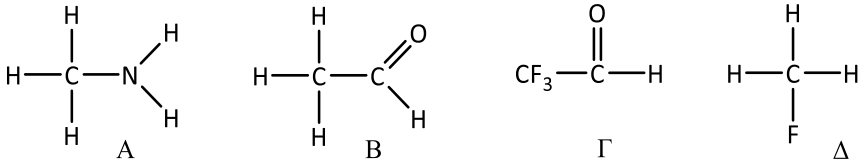
ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΑ (9)

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑΚΗ ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΑΤΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ – ΔΙΑΜΟΡΙΑΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ, ΩΣΜΩΣΗ – ΘΕΡΜΟΧΗΜΕΙΑ – ΧΗΜΙΚΗ ΚΙΝΗΤΙΚΗ – ΧΗΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ

Θέμα Α

Για τις παρακάτω ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής Α1-Α5 να γράψετε απλώς το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση.

Α1. Σε ποια από τις παρακάτω ενώσεις εμφανίζονται διαμοριακά δεσμοί υδρογόνου;



Α2. Οι κβαντικοί αριθμοί ενός ηλεκτρονίου του ατόμου του $_{32}$Ge στη θεμελιώδη κατάσταση είναι $n = 4$, $\ell = 1$, $m_\ell = 1$ και $m_s = +½$ ή πιο σύντομα (4, 1, 1, +½). Ποια από τις παρακάτω τετράδες κβαντικών αριθμών είναι αδύνατη για το ίδιο άτομο του Ge;

Α) (3, 2, 1, −½) Β) (4, 0, 0, +½) Γ) (4, 1, 0, +½) Δ) (4, 1, 1, −½)

Α3. Αν το άτομο του στοιχείου που ανήκει στην 4η περίοδο και στην 2η (ΙΙΑ) ομάδα έχει ηλεκτρονιακή δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2$ τότε το άτομο του στοιχείου που ανήκει στην 13η (ΙΙΙΑ) ομάδα θα έχει ηλεκτρονιακή δομή:

Α) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 4p^1$

Β) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^1\ 4s^2$

Γ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2$

Δ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^1$

Α4. Δίνεται η θερμοχημική εξίσωση: $2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g)$, $\Delta H^o = -200$ kJ. Με βάση την εξίσωση αυτή, ποια από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι η σωστή;

Α) Η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του $SO_3(g)$ είναι ίση με −200 kJ

Β) Η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του $SO_3(g)$ είναι ίση με $-100\ kJ\cdot mol^{-1}$

Γ) Αν η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του $SO_2(g)$ είναι ίση με $-295\ kJ\cdot mol^{-1}$, τότε η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του $SO_3(g)$ θα είναι ίση με $-395\ kJ\cdot mol^{-1}$

Δ) Η ΔH^o της αντίδρασης, $SO_3(g) \rightarrow SO_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g)$, έχει τιμή ίση με 200 kJ

Α5. Η διάσπαση του H_2O_2 παρουσία καταλύτη διεξάγεται στα εξής στάδια 1 και 2 που ακολουθούν.

Στάδιο 1: $H_2O_2 + I^- \rightarrow H_2O + IO^-$

Στάδιο 2: $H_2O_2 + IO^- \rightarrow H_2O + O_2 + I^-$

Ποιος είναι ο καταλύτης της αντίδρασης και ποια θεωρία εξηγεί την καταλυτική δράση;

Α) Τα ιόντα I^-, θεωρία ενδιαμέσων προϊόντων

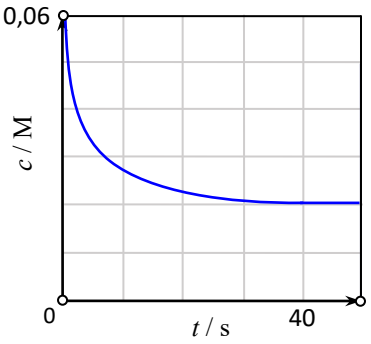
Β) Το H_2O, θεωρία ενδιαμέσων προϊόντων

Γ) Τα ιόντα IO^-, θεωρία μεταβατικής κατάστασης

Δ) Τα ιόντα IO^-, θεωρία προσρόφησης

Θέμα Β

Β1. Σε δοχείο σταθερού όγκου εισάγονται ισομοριακές ποσότητες των αερίων Α(g) και Β(g) και αποκαθίσταται η χημική ισορροπία: $2A(g) + 3B(g) \rightleftharpoons \Gamma(s) + 2\Delta(g)$ υπό σταθερή θερμοκρασία (T). Στο διάγραμμα που ακολουθεί εμφανίζεται η συγκέντρωση ενός συστατικού της ισορροπίας σαν συνάρτηση του χρόνου.



α) Σε ποιο συστατικό της ισορροπίας μπορεί να αντιστοιχεί το διάγραμμα αυτό;
Α) Στο Α(g) Β) Στο Β(g) Γ) Στο Γ(s) Δ) Στο Δ(g)
β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

Β2. Σε κάθε μία από τις προτάσεις I-V να διαλέξετε τη σωστή απάντηση α, β ή γ.

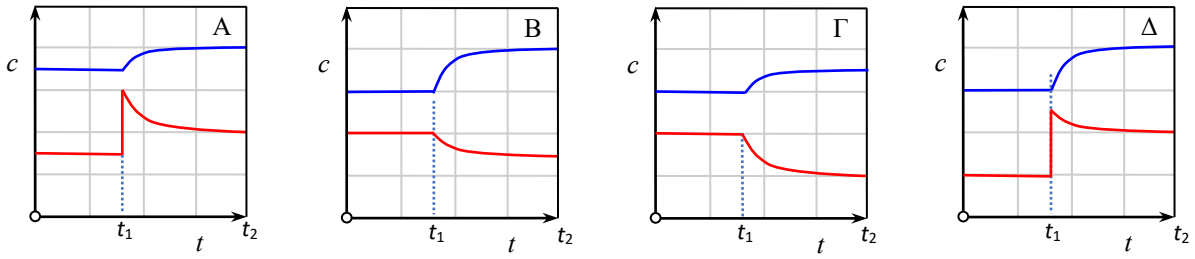
		α	β	γ
I.	Άτομο με τη μεγαλύτερη E_{i1}	$_6C$	$_7N$	$_8O$
II.	Άτομο ή ιόν με το μεγαλύτερο μέγεθος	$_{17}Cl^-$	$_{18}Ar$	$_{19}K^+$
III.	Άτομο με τη μικρότερη ακτίνα	$_{14}Si$	$_{15}P$	$_{33}As$
IV.	Άτομο με τη μεγαλύτερη E_{i2}	$_{11}Na$	$_{12}Mg$	$_{13}Al$

Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας σε κάθε περίπτωση.

Β3. Σε υδατικό διάλυμα έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία:

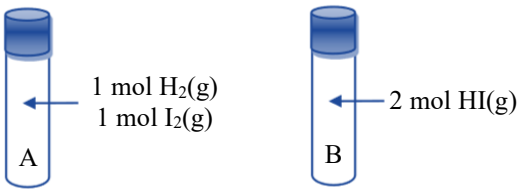
$$2CrO_4^{2-}(aq) + 2H_3O^+(aq) \rightleftharpoons Cr_2O_7^{2-}(aq) + 3H_2O(\ell)$$

α) Στο διάλυμα της παραπάνω χημικής ισορροπίας προσθέτουμε τη χρονική στιγμή t_1 μικρή ποσότητα $K_2CrO_4(s)$, που διίσταται στα ιόντα $K^+(aq)$ και $CrO_4^{2-}(aq)$, χωρίς μεταβολή του όγκου του διαλύματος και της θερμοκρασίας. Ποιο από τα διαγράμματα που ακολουθούν παριστάνει μαζί τις μεταβολές στις συγκεντρώσεις των ιόντων CrO_4^{2-} και $Cr_2O_7^{2-}$ από την αρχική χημική ισορροπία μέχρι την αποκατάσταση της νέας ισορροπίας; Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.



β) Να συγκρίνετε την ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά (υ_1) στην αρχική χημική ισορροπία και στην τελική χημική ισορροπία (μεγαλύτερη, μικρότερη ή ίση). Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας. Η $[H_3O^+]$ δεν μεταβάλλεται σημαντικά από τη μία ισορροπία σε άλλη.

Β4. Δύο ίδια κλειστά δοχεία Α και Β περιέχουν αρχικά τα αέρια που φαίνονται στο διπλανό σχήμα. Τα δοχεία θερμαίνονται στους 500 °C και αποκαθίσταται η ισορροπία: $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$.



α) Ποια από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι η σωστή στην ισορροπία;
1. Το δοχείο Β θα περιέχει 1 mol $I_2(g)$
2. Το δοχείο Α μεγαλύτερη ποσότητα $I_2(g)$ σε σχέση το δοχείο Β
3. Τα δοχεία Α και Β θα περιέχουν την ίδια ποσότητα HI(g)
4. Το δοχείο Β θα περιέχει μεγαλύτερη ποσότητα HI(g) σε σχέση με το δοχείο Α

β) Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

Θέμα Γ

Γ1. Υδατικό διάλυμα έχει όγκο 250 mL και περιέχει την ένωση Α σε συγκέντρωση 0,08 M. Το διάλυμα αυτό αναμιγνύεται με άλλο υδατικό διάλυμα όγκου 250 mL που περιέχει την ένωση Β σε συγκέντρωση 0,06 M και αμέσως μετά την ανάμιξη ($t = 0$) αρχίζει η αντίδραση:

$$2A(aq) + B(aq) \longrightarrow 2\Gamma(aq) + 2\Delta(g),\ \Delta H = -400\ kJ$$

Παρατηρήθηκε ότι μέχρι τη χρονική στιγμή $t = 50$ s έχει ελευθερωθεί ποσό θερμότητας ίσο με 2 kJ.

α) Να υπολογίσετε την μέση ταχύτητα της αντίδρασης για το χρονικό διάστημα 0-50 s.

β) Να εξηγήσετε αν η μέση ταχύτητα της αντίδρασης για το χρονικό διάστημα 0-50 s είναι μεγαλύτερη, μικρότερη ή ίση με τη στιγμιαία ταχύτητα της αντίδρασης τη χρονική στιγμή $t =$ 50 s.

Η θερμοκρασία είναι σταθερή.

Γ2. Για την αντίδραση, $2HgCl_2(aq) + C_2O_4^{2-}(aq) \longrightarrow 2Cl^-(aq) + 2CO_2(g) + Hg_2Cl_2(s)$, έχουμε τα δεδομένα από μία σειρά 4 πειραμάτων που διεξάγονται στην ίδια θερμοκρασία θ_1 °C και τα οποία παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα που ακολουθεί:

	$[HgCl_2]_0$ / M	$[C_2O_4^{2-}]_0$ / M	Αρχική ταχύτητα / M·min^{-1}
1	0,10	0,15	$1{,}8\cdot10^{-5}$
2	0,10	0,30	$7{,}2\cdot10^{-5}$
3	0,05	0,30	$3{,}6\cdot10^{-5}$
4	0,10	0,20	υ_{o4} = ;

α) i. Ποιος ο νόμος ταχύτητας και η τάξη της αντίδρασης;

ii. Ποια η τιμή της σταθεράς ταχύτητας στη θερμοκρασία των πειραμάτων;

iii. Να εξηγήσετε αν η αντίδραση είναι απλή ή όχι.

β) Να υπολογιστεί η αρχική ταχύτητα της αντίδρασης στο πείραμα 4. Ποια η ταχύτητα της αντίδρασης στο πείραμα 4, όταν $[C_2O_4^{2-}] = 0{,}15$ M;

γ) Σε ένα άλλο πείραμα που διεξάγεται σε θερμοκρασία θ_2 °C σε κάποια χρονική στιγμή κατά την οποία οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων είναι $[HgCl_2] = 0{,}01$ M και $[C_2O_4^{2-}] = 0{,}01$ M η ταχύτητα της αντίδρασης βρέθηκε ίση με 10^{-8} M·min^{-1}. Να συγκρίνετε τη θερμοκρασία θ_1 με τη θ_2.

Γ3. Σε ποσότητα νερού διαλύονται 0,28 mol KI και προκύπτει διάλυμα όγκου 2 L. Στο διάλυμα αυτό προστίθενται 0,08 mol $PbSO_4$, χωρίς μεταβολή όγκου και αποκαθίσταται η χημική ισορροπία: $2KI(aq) + PbSO_4(s) \rightleftharpoons PbI_2(s) + K_2SO_4(aq)$. Αν στην κατάσταση ισορροπίας η ποσότητα του $PbI_2(s)$ είναι ίση με 0,04 mol, ποια η τιμή της σταθεράς K_c της παραπάνω ισορροπίας στη θερμοκρασία του πειράματος;

Γ4. Δείγμα πολυαιθυλενίου (PE) μάζας 2,2 g διαλύεται σε οργανικό διαλύτη σχηματίζοντας διάλυμα όγκου 100 mLμε ωσμωτική πίεση $\Pi = 0{,}011$ atm στους 300 K. Να υπολογιστεί η (μέση) σχετική μοριακή μάζα του πολυμερούς.

Δίνεται: $R = 0{,}082$ L·atm·mol^{-1}.K^{-1}.

Θέμα Δ

Δ1. Σχετικά με την αμφίδρομη αντίδραση, $A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons 2\Gamma(g)$, πραγματοποιούνται τα πειράματα 1-4 που ακολουθούν.

Πείραμα 1: Σε δοχείο όγκου $V = 2$ L εισάγονται α mol A(g) και β mol B(g) και αποκαθίσταται η χημική ισορροπία στους θ °C. Οι συγκεντρώσεις των τριών σωμάτων στην ισορροπία είναι: [A] = [B] = 1 M και [Γ] = 2 M.

α) Να προσδιοριστούν: i. Οι αρχικές ποσότητες α mol και β mol, ii. η τιμή της σταθεράς K_c της ισορροπίας στους θ °C και iii. η απόδοση της αντίδρασης (με τη μορφή κλασματικού αριθμού).

Πείραμα 2: Σε ένα άλλο κενό δοχείο 2 L εισάγονται γ mol Γ(g) και αποκαθίσταται η παραπάνω ισορροπία, στους θ °C, στην οποία προσδιορίστηκαν 2 mol A(g).

β) Να υπολογιστεί η τιμή του γ.

Πείραμα 3: Στη χημική ισορροπία του πειράματος 2 μεταβάλλουμε τον όγκο του δοχείου, υπό σταθερή θερμοκρασία θ °C και στη νέα χημική ισορροπία προσδιορίστηκαν 3 mol A(g).

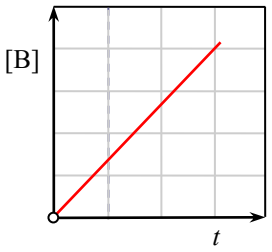
γ) Να υπολογιστεί ο νέος όγκος του δοχείου.

Πείραμα 4: Στην ισορροπία του πειράματος 2 αυξάνουμε τη θερμοκρασία, υπό σταθερό όγκο $V = 2$ L και στη νέα χημική ισορροπία προσδιορίστηκε ότι: [Γ] = 3 M.

δ) i. Να εξηγήσετε αν η αντίδραση προς τα δεξιά είναι ενδόθερμη ή εξώθερμη.

ii. Να υπολογιστεί η τιμή της σταθεράς K_c της ισορροπίας στη νέα θερμοκρασία (με τη μορφή κλασματικού αριθμού).

Δ2. Δίνεται αντίδραση: $A(g) \rightarrow B(g) + \Gamma(s)$. Η συγκέντρωση του B(g) σε σχέση με το χρόνο δίνεται στο διπλανό διάγραμμα. Η ταχύτητα της αντίδρασης αυτής είναι:



Α) μέγιστη για $t = 0$

Β) ελάχιστη για $t = 0$

Γ) ίση με το μηδέν για $t = 0$

Δ) σταθερή για όλο το διάστημα διεξαγωγής της αντίδρασης

Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

Απαντήσεις - Λύσεις

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑΚΗ ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΑΤΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ

1. ΑΤΟΜΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΤΟΥ BOHR - ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ

1.1. Δ. Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία του Planck η ενέργεια ενός φωτονίου δίνεται από τη σχέση: $E = h \cdot \nu$, όπου ν η συχνότητά του.

1.2. Η ενέργεια ενός φωτονίου δίνεται από τη σχέση: $E = h \cdot \nu = h \cdot (c/\lambda)$, όπου λ το μήκος κύματος. Αν εφαρμόσουμε τη σχέση αυτή για τα δύο φωτόνια προκύπτει: $E_1/E_2 = \lambda_2/\lambda_1 = 2$.

1.3. Β. Σύμφωνα με την οπτική συνθήκη η διαφορά ενέργειας $\Delta E = E_i - E_f$ αντιστοιχεί στην ενέργεια του παραγόμενου φωτονίου, δηλαδή ισχύει: $E_i - E_f = h \cdot \nu$.

1.4. Β.

1.5. Α.

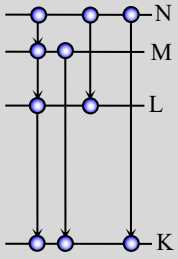
1.6. Α. Η μικρότερη διαφορά ενέργειας αντιστοιχεί στη μετάπτωση 3→2 και παράγει φωτόνιο μικρότερης συχνότητας και άρα μεγαλύτερου μήκους κύματος. Η γραμμή Β αντιστοιχεί στη μετάπτωση 4→2, η γραμμή Γ στη μετάπτωση 5→2 και επομένως η γραμμή Δ στη μετάπτωση 6→2.

1.7. Α. Η ενέργεια του ηλεκτρονίου του ατόμου του υδρογόνου σε μία διεγερμένη κατάσταση είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τη θεμελιώδη κατάσταση (λιγότερο αρνητική). Μάλιστα, λαμβάνει τις τιμές E_1/n^2, όπου E_1 η ενέργεια της θεμελιώδους κατάστασης. Για $n = 2$, προκύπτει: $E_2 = -13{,}6/4 = -3{,}4$ eV.

1.8. Γ. Το μεγαλύτερο μήκος κύματος αντιστοιχεί σε μικρότερη συχνότητα και άρα σε μικρότερη ενεργειακή διαφορά.

1.9. Α. Ισχύει $\Delta E_1 = \Delta E_2 + \Delta E_3$, επομένως $h \cdot \nu_1 = h \cdot \nu_2 + h \cdot \nu_3$ και άρα $\nu_1 = \nu_2 + \nu_3$.

1.10. Β. Οι δυνατές μεταπτώσεις εμφανίζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



1.11. Β. Στο ιόν $_3Li^+$ το οποίο διαθέτει δύο ηλεκτρόνια και επομένως δεν είναι υδρογονοειδές.

1.12. Β.

1.13. Α. Από τη σχέση de Broglie για το σωματίδιο α και το πρωτόνιο και διαίρεση των δύο σχέσεων κατά μέλη.

1.14. Δ.

1.15. Β. Το φάσμα εκπομπής του ατόμου του Η είναι γραμμικό και οι γραμμές του φάσματος εκπομπής οφείλονται σε μεταπτώσεις από στιβάδες μεγαλύτερης ενέργειας σε στιβάδες μικρότερης ενέργειας.

1.16. Λανθασμένες είναι οι προτάσεις α, β, δ, ε και στ.

α) Ο τύπος $E = h \cdot \nu$ δίνει την ενέργεια ενός φωτονίου και όχι την ενέργεια όλης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

β) Υπολογίζουμε τις δύο διαφορές ενέργειας.

$$E_L - E_K = -\frac{2{,}18 \cdot 10^{-18}}{2^2} - \left(-\frac{2{,}18 \cdot 10^{-18}}{1^2}\right) = \frac{3}{4} \cdot 2{,}18 \cdot 10^{-18}$$

$$E_M - E_L = -\frac{2{,}18 \cdot 10^{-18}}{3^2} - \left(-\frac{2{,}18 \cdot 10^{-18}}{2^2}\right) = \frac{5}{36} \cdot 2{,}18 \cdot 10^{-18}$$

δ) Το φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου είναι γραμμικό.

ε) Η αρχή της απροσδιοριστίας του Heisenberg ισχύει για σωματίδια με πολύ μικρή μάζα.

στ) Εμφανίζουν την ίδια ορμή και όχι την ίδια ταχύτητα (διαφέρουν στη μάζα).

1.17. α) Λ. Αποτελεί τη 2η διεγερμένη κατάσταση του ατόμου του υδρογόνου.

β) Λ. Το αντίθετο. Το ηλεκτρόνιο στη στάθμη με $n = 3$ έχει λιγότερο αρνητική ενέργεια οπότε απαιτείται λιγότερη ενέργεια για να αποκτήσει $E = 0$ που συνεπάγεται τον ιοντισμό του ατόμου.

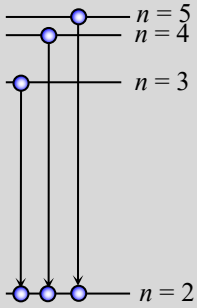
γ) Σ.

δ) Σ.

ε) Λ. Η διαφορά ενέργειας $\Delta E = E_3 - E_2$ είναι μικρότερη από τη διαφορά ενέργειας $\Delta E' = E_3 - E_1$. Καθώς $\Delta E = h \cdot \nu$ και $\Delta E' = h \cdot \nu'$ θα ισχύει: $\nu' > \nu$.

1.18. M → K: 103 nm, M → L: 656 nm, και L → K: 122 nm. Όσο μικρότερη είναι η διαφορά ενέργειας των μεταπτώσεων τόσο μικρότερη είναι η συχνότητα της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί σε αυτές και τόσο μεγαλύτερο το μήκος κύματος.

1.19. Επιλογή ii. Κάποιες μεταπτώσεις της σειράς Balmer φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί.



Από το σχήμα αυτό προκύπτει ότι η μετάπτωση $n = 3 \rightarrow n = 2$ αντιστοιχεί στη μικρότερη ενεργειακή διαφορά και άρα στη μικρότερη συχνότητα (ν) και το μεγαλύτερο μήκος κύματος (λ). Επομένως, οι υπόλοιπες μεταπτώσεις της σειράς θα έχουν μικρότερο μήκος κύματος και μεγαλύτερη συχνότητα.

1.20. α) Από την L στην K (μεγαλύτερη ενεργειακή διαφορά), β) $\lambda_1 = 4 \cdot \lambda_2$.

1.21. α) Πρέπει να αποκτήσει ενέργεια ίση με το μηδέν και επομένως πρέπει να προσφερθεί ενέργεια ίση με $2{,}18 \cdot 10^{-18}$ J.

β) Πολλαπλασιάζουμε την προηγούμενη τιμή με τον αριθμό Avogadro και προκύπτει ενέργεια ίση με $1{,}31 \cdot 10^6$ J.

γ) Η ενέργεια της στιβάδας L είναι ίση με $-5{,}45 \cdot 10^{-19}$ J και επομένως πρέπει να προσφερθεί ενέργεια ίση με $5{,}45 \cdot 10^{-19}$ J.

1.22. Επιλογή Α. Το 1 mol $O_2(g)$ απαιτεί για τη φωτοδιάσπασή του 495 kJ = $495 \cdot 10^3$ J. Επομένως, το κάθε μόριο $O_2(g)$ απαιτεί ενέργεια ίση με $495 \cdot 10^3/N_A$ J. Καθώς η ενέργεια αυτή προσφέρεται από ένα φωτόνιο θα ισχύει:

$\frac{495\cdot10^3}{N_A}=h\cdot\nu,\ \frac{495\cdot10^3}{N_A}=h\cdot\frac{c}{\lambda},\ \lambda=\frac{h\cdot c\cdot N_A}{495\cdot10^3}$ m

1.23. α) Στο ατομικό πρότυπο του Bohr, τα ηλεκτρόνια εκτελούν καθορισμένες κυκλικές κινήσεις για τις οποίες είναι επακριβώς γνωστές η ακτίνα της τροχιάς (θέση) και η ταχύτητα και άρα και η ορμή ($p = m\cdot\upsilon$) του ηλεκτρονίου. Σύμφωνα, όμως, με την αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg «είναι αδύνατο να προσδιορίσουμε με ακρίβεια συγχρόνως τη θέση και την ορμή ενός σωματιδίου π.χ. του ηλεκτρονίου». Επομένως, η αποδοχή της αρχής της αβεβαιότητας οδηγεί αυτόματα στην κατάρριψη του ατομικού πρότυπου του Bohr.
β) Κατά την αποδιέγερση από τη στιβάδα Μ προς τη θεμελιώδη κατάσταση μπορούν να ακολουθηθούν οι εξής πορείες: Μ→Κ, ή Μ→L και στη συνέχεια L→Κ (τρία διαφορετικά φωτόνια).

1.24. Η ενέργεια ενός φωτονίου είναι:
$E = h\cdot\nu = h\cdot(c/\lambda) = 6{,}6\cdot10^{-34}\cdot3\cdot10^8/660\cdot10^{-9} = 3\cdot10^{-19}$ J
Ο αριθμός των φωτονίων είναι:
$3\cdot10^{-18}/3\cdot10^{-19} = 10$ φωτόνια.

1.25. $E_n - E_2 = hc/\lambda$. Αντικαθιστούμε τις E_n και E_2 από τις τιμές των ενεργειών των στιβάδων στο άτομο του υδρογόνου και εκτελούμε τις πράξεις. Όλες οι σταθερές ενσωματώνονται στη σταθερά Κ.

1.26. Από τα 1000 ηλεκτρόνια ένας αριθμός, έστω x, εκτελεί μετάπτωση κατευθείαν από την Μ → Κ (θεμελιώδης κατάσταση) ενώ τα υπόλοιπα (1000 – x) ηλεκτρόνια εκτελούν διαδοχικά τη μετάπτωση Μ → L και στη συνέχεια L → Κ. Τα τρία αυτά είδη μεταπτώσεων παράγουν συνολικά 1600 φωτόνια με μήκη κύματος λ_1, λ_2 και λ_3. Τα (1000 – x) ηλεκτρόνια εκτελούν δύο διαδοχικές μεταπτώσεις και άρα: x + 2·(1000 – x) = 1600 φωτόνια, οπότε x = 400. Η μετάπτωση από Μ → Κ έχει τη μεγαλύτερη ενεργειακή διαφορά που αντιστοιχεί στο μικρότερο μήκος κύματος, δηλαδή στο λ_1. Επομένως, έχουμε 400 φωτόνια με μήκος κύματος λ_1, 600 φωτόνια με μήκος κύματος λ_2 (που αντιστοιχούν στη μετάπτωση L → Κ) και επίσης 600 φωτόνια με μήκος κύματος λ_3 (που αντιστοιχούν στη μετάπτωση Μ → L με τη μικρότερη ενεργειακή διαφορά και άρα το μεγαλύτερο μήκος κύματος).

1.27. α) Ισχύει: $\Delta E_1 = \Delta E_2 + \Delta E_3$, $h\cdot\nu_1 = h\cdot\nu_2 + h\cdot\nu_3$ και επομένως: $\nu_1 = \nu_2 + \nu_3$.
β) Θέτουμε $R = -2{,}18\cdot10^{-18}$. $\Delta E_1 = h\cdot\nu_1 = 8R/9$ (1) και $\Delta E_3 = h\cdot\nu_1 = 3R/4$ (2). Από τις σχέσεις (1) και (2): $\nu_1/\nu_3 = 32/27$.
γ) Έξι. Από N → M, N → L, N → K, M → L, M → K, L → K.

1.28. Επιλογή ii.
Με την απορρόφηση 1 mol φωτονίων απορροφάται ενέργεια $E_1 = N_A\cdot h\cdot c/\lambda_1$, όπου N_A ο αριθμός του Avogadro. Αντίστοιχα, με την εκπομπή 1 mol φωτονίων εκπέμπεται ενέργεια $E_2 = N_A\cdot h\cdot c/\lambda_2$. Ισχύει: $\lambda_2 > \lambda_1$ και επομένως $E_1 > E_2$, δηλαδή η ενέργεια που απορροφάται είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που εκλύεται στο περιβάλλον.

1.29. α) Επιλογή i.
β) Η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για την απομάκρυνση του ηλεκτρονίου ενός ατόμου υδρογόνου είναι $E_o = -E_1 = 2{,}18\cdot10^{-18}$
$E_3 - E_2 = 2{,}18\cdot10^{-18}\cdot(1/4 - 1/9) = (5/36)\cdot2{,}18\cdot10^{-18}$.
Επομένως: $E_3 - E_2 = 5E_o/36$

1.30. Το απαιτούμενο ποσό θερμοτητας (Q) θα πρέπει να ισούται με την ενέργεια όλων των φωτονίων, δηλαδή θα ισχύει: $Q = N\cdot h\cdot\nu = N\cdot h\cdot(c/\lambda)$ και επομένως: $N = \lambda\cdot Q/(h\cdot c) = 13{,}26\cdot10^{-2}\cdot48\cdot10^3/6{,}63\cdot10^{-34}\cdot3\cdot10^8 = 3{,}2\cdot10^{28}$ φωτόνια.

1.31. α) Επιλογή 3. Σύμφωνα με την κυματική θεωρία της ύλης του de Broglie ισχύει: $\lambda = h/(m\cdot\upsilon) = h/p$.

1.32. Για τη μετάπτωση από στιβάδα με κύριο κβαντικό αριθμό n στη στιβάδα L:

$$\Delta E = E_x - E_2 = -\frac{2{,}18\cdot10^{-18}}{x^2} + \frac{2{,}18\cdot10^{-18}}{2^2}$$

$$2{,}18\cdot10^{-18}\left(\frac{1}{4}-\frac{1}{x^2}\right) = h\cdot\nu = h\cdot\frac{c}{\lambda_1} \quad (1)$$

Για τη μετάπτωση από τη στιβάδα L στη στιβάδα Κ:

$$\Delta E' = E_2 - E_1 = -\frac{2{,}18\cdot10^{-18}}{2^2} + \frac{2{,}18\cdot10^{-18}}{1^2}$$

$$2{,}18\cdot10^{-18}\cdot\frac{3}{4} = h\cdot\frac{c}{\lambda_1/4} \quad (2)$$

Από τις σχέσεις (1) και (2) με διαίρεση κατά μέλη, προκύπτει: $n = 4$.

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 1

1. Γ. **2.** Β. **3.** Γ. **4.** Δ. **5.** Α. **6.** Α **7.** Δ. **8.** Γ. **9.** Α. **10.** Δ. **11.** Α.

12. Η διαφορά ενέργειας μεταξύ των των στιβάδων L και Κ είναι:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = -\frac{2{,}18\cdot10^{-18}}{2^2} + \frac{2{,}18\cdot10^{-18}}{1^2}$$

$$\Delta E = \frac{3}{4}\cdot 2{,}18\cdot10^{-18}$$

Επίσης, ισχύει: $\Delta E = h\cdot\nu = h\cdot c/\lambda$.
Συνδυάζοντας τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει η ζητούμενη.

13. Οι ενέργειες που αντιστοιχούν στις στιβάδες Μ και L δίνονται από τις σχέσεις:

$$E_M = -\frac{2{,}18\cdot10^{-18}}{3^2},\ E_L = -\frac{2{,}18\cdot10^{-18}}{2^2}$$

$\Delta E_1 = E_M - E_L$. Με βάση τις σχέσεις, $\Delta E_1 = h\cdot\nu_1$ και $c = \lambda_1\cdot\nu_1$, προκύπτει:

$$\lambda_1 = \frac{h\cdot c}{\Delta E_1} = \frac{h\cdot c}{\frac{5}{36}\cdot2{,}18\cdot10^{-18}} \quad (1)$$

$\Delta E_2 = E_L - E_K$ και επομένως:

$$\lambda_2 = \frac{h\cdot c}{\Delta E_2} = \frac{h\cdot c}{\frac{3}{4}\cdot2{,}18\cdot10^{-18}} \quad (2)$$

Με διαίρεση κατά μέλη των σχέσεων (1) και (2), έχουμε: $\lambda_1/\lambda_2 = 27/5$.

2. ΚΒΑΝΤΙΚΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ ΚΑΙ ΤΡΟΧΙΑΚΑ

2.1. Β.
2.2. Γ.
2.3. i. Β, ii. Α.
2.4. Α.
2.5. Γ. Για $m_\ell = 3$, $\ell \geq 3$ και επομένως $n \geq 4$. Η μικρότερη τιμή του n θα είναι άρα $n = 4$.
2.6. Γ.
2.7. Β.

2.8. Β.
2.9. i. Α. Όλα τα s τροχιακά έχουν σφαιρική συμμετρία και διαθέτουν όλο και μεγαλύτερο μέγεθος, όσο αυξάνει ο n.
ii. Α.
2.10. Γ.
2.11. Β.
2.12. Β.
2.13. Γ.
2.14. Δ.
2.15. Γ.
2.16. Β.
2.17. Β.
2.18. Γ.
2.19. Δ. Η τιμή του ψ^2 είναι υποεννεαπλάσια στη θέση Α σε σχέση με την τιμή του ψ^2 στη θέση Β.
2.20. α) Λανθασμένη. Μπορεί να βρίσκεται και σε διεγερμένη κατάσταση καταλαμβάνοντας τροχιακό σε στιβάδα υψηλότερης ενέργειας.
β) Σωστή. Για μία δοσμένη τιμή του κύριου κβαντικού αριθμού (n) οι δυνατές τιμές του δευτερεύοντα κβαντικού αριθμού (ℓ) είναι 0, 1, 2, ... (n – 1) δηλαδή συνολικά n διαφορετικές τιμές, που αντιστοιχούν σε n υποστιβάδες.
γ) Σωστή. Στο άτομο του υδρογόνου ο μοναδικός κβαντικός αριθμός που καθορίζει την ενέργεια είναι κύριος κβαντικός αριθμός (n). Επίσης, ο καθορισμός ενός τροχιακού απαιτεί τους τρεις κβαντικούς αριθμούς n, ℓ και m_ℓ, αλλά όχι τον m_s που σχετίζεται με την ιδιοπεριστροφή του ηλεκτρονίου.
δ) Σωστή. Για $n = 3$ και $\ell = 0$ θα έχουμε $m_\ell = 0$ και άρα ένα μόνο ατομικό τροχιακό.
ε) Λανθασμένη. Μπορεί να είναι σε διεγερμένη κατάσταση.
στ) Σωστή. Η υποστιβάδα 3d έχει $\ell = 2$ και άρα $2 \cdot 2 + 1 = 5$ τροχιακά. Η υποστιβάδα 5s έχει $\ell = 0$ και άρα 1 τροχιακό.
ζ) Σωστή. Και στις τρεις περιπτώσεις $n = 3$.
η) Λανθασμένη. Το $_3Li^{2+}$ είναι υδρογονοειδές ιόν και οι ενέργειες των υποστιβάδων της ίδιας στιβάδας είναι ίσες μεταξύ τους.
θ) Λανθασμένη. Ο n καθορίζει την ενέργεια και το μέγεθος ενός τροχιακού.
ι) Λανθασμένη. Ο ℓ παίρνει τιμές: 0, 1, …, (n – 1).
κ) Σωστή. Το τροχιακό p_x έχει σχήμα δύο λοβών με προσανατολισμό στον άξονα των x και επομένως η πιθανότητα παρουσίας του ηλεκτρονίου είναι μέγιστη στα σημεία του άξονα αυτού.
λ) Σωστή. Το τροχιακό p_z αποτελείται από δύο λοβούς με προσανατολισμό στον άξονα z και είναι κάθετο στο επίπεδο xy. Επομένως η πιθανότητα παρουσίας του ηλεκτρονίου στο επίπεδο xy είναι ίση με το μηδέν.
μ) Λανθασμένη. Το σχήμα των τροχιακών καθορίζεται από τον κβαντικό αριθμό ℓ.
ν) Λανθασμένη. Ο προσανατολισμός ενός τροχιακού 3p καθορίζεται από τον μαγνητικό κβαντικό αριθμό m_ℓ και όχι από τον m_s.
ξ) Σωστή. Τα s τροχιακά παρουσιάζουν σφαιρική συμμετρία και επομένως η τιμή της κυματοσυνάρτησης ψ εξαρτάται μόνο από την απόσταση από τον πυρήνα. Έτσι, και η τιμή της ψ^2 είναι η ίδια για όλα τα σημεία του χώρου που έχουν την ίδια απόσταση r από τον πυρήνα.
ο) Σωστή. Στο άτομο του υδρογόνου και στα υδρογονοειδή ιόντα οι ενέργειες των υποστιβάδων εξαρτώνται μόνο από την τιμή του n.
2.21. Σωστές είναι οι προτάσεις α και β. Η πρόταση γ είναι λανθασμένη, καθώς ένα ηλεκτρόνιο σε p τροχιακό έχει $\ell = 1$, οπότε ο $m_\ell = -1, 0, 1$ (και όχι −2). Η πρόταση δ είναι λανθασμένη καθώς ο m_s μπορεί να πάρει και την τιμή −1/2.
2.22. Κύριος κβαντικός αριθμός (n): Χαρακτηρισμός μιας στιβάδας, ενέργεια του ηλεκτρονίου και μέγεθος τροχιακού.
Δευτερεύοντας (αζιμουθιακός) κβαντικός αριθμός (ℓ): Χαρακτηρισμός μιας υποστιβάδας και σχήμα του τροχιακού.
Μαγνητικός κβαντικός αριθμός (m_ℓ): Προσανατολισμός τροχιακού και χαρακτηρισμός ενός τροχιακού μιας υποστιβάδας.
2.23. α) Ίδιος κύριος κβαντικός αριθμός, ίδια ενέργεια, ίδιος δευτερεύοντας ή αζιμουθιακός κβαντικός αριθμός ($\ell = 1$). Διαφορετικός μαγνητικός κβαντικός αριθμός m_ℓ, διαφορετικός προσανατολισμός στο χώρο.
β) Ίδιο σχήμα, ίδιο κύριο και δευτερεύοντα κβαντικό αριθμό, αλλά διαφορετική ενέργεια (λόγω του διαφορετικού πυρηνικού φορτίου), διαφορετικό μέγεθος (το 2s στην περίπτωση του Li^{2+} είναι πιο μικρό).
2.24. (α) 2p, (β) 3, (γ) 3, (δ) 2, (ε) 5, (ζ) 3, (η) 4f.
2.25. Επιλογή i. Στο άτομο του υδρογόνου η ενέργεια του ηλεκτρονίου εξαρτάται αποκλειστικά από τον κύριο κβαντικό αριθμό (n). Επομένως, η διαφορά ενέργειας (ΔE) των δύο μεταπτώσεων είναι ίσες, οπότε η συχνότητα και το μήκος κύματος του παραγόμενου φωτόνιου θα είναι τα ίδια.
2.26. Ξέρουμε ότι θα πρέπει να ισχύει $n > \ell$ και επομένως $n = 4$.
2.27. α) 2, β) > 2, γ) 1/2 ή −1/2, δ) ≥ 1, 0, 1/2 ή –1/2.
2.28. α) $n = 4$, $\ell = 2$, $m_\ell = -2, -1, 0, 1, 2$.
β) $n = 3$, $\ell = 0, 1, 2$. Για $\ell = 0$, $m_\ell = 0$. Για $\ell = 1$, $m_\ell = -1, 0, 1$. Για $\ell = 2$, $m_\ell = -2, -1, 0, 1, 2$.
γ) $n = 4$, $\ell = 3$, $m_\ell = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$.
2.29. α) Επιλογή 1.
β) Εφόσον τα τροχιακά έχουν το ίδιο μέγεθος θα έχουν την ίδια τιμή του n και επομένως ανήκουν στην ίδια στιβάδα και στην ίδια υποστιβάδα p. Έχουν, άρα, την ίδια ενέργεια.
2.30. α) $n = 5$, $\ell = 0, 1, 2, 3, 4$.
β) 5d (5 τροχιακά).
γ) −2, −1, 0, 1, 2.
δ) 4 (από ένα τροχιακό στην 5p, στην 5d, στην 5f και στην 5g).
ε) $(1/4) \cdot 2{,}18 \cdot 10^{-18}$ J.

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 2

1. Δ. **2.** Β **3.** Α. **4.** Δ. **5.** Α. **6.** Β. **7.** Γ. **8.** Γ. **9.** Δ. **10.** Γ.
11. Δ. **12.** Β. **13.** Γ. **14.** Γ. **15.** Δ. **16.** Γ. **17.** Δ.
18. $\psi_1^2 = 10^{-6}$ και $\psi_2^2 = 10^{-4} = 100\ \psi_1^2$. Δηλαδή, η πιθανότητα να βρίσκεται το ηλεκτρόνιο στη θέση Β είναι 100 φορές μεγαλύτερη από όσο στη θέση Α.
19. α) 14 τροχιακά. Ένα τροχιακό με $n = 1$, $2^2 = 4$ τροχιακά με $n = 2$ και $3^2 = 9$ τροχιακά με $n = 3$.
β) Τροχιακά με $\ell = 1$ έχουν τα τρία τροχιακά της υποστιβάδας 2p και τα τρία τροχιακά της υποστιβάδας 3p, δηλαδή συνολικά 6 τροχιακά.
γ) Τροχιακά $m_\ell = 1$ υπάρχουν (από ένα) στις υποστιβάδες 2p, 3p και 3d. Συνολικά 3 τροχιακά.
20. α) Λ (τα τροχιακά με τον ίδιο κύριο κβαντικό αριθμό n συγκροτούν μια στιβάδα και όχι υποστιβάδα.

β) Σ.
γ) Λ (αυτό υποστηρίζει η θεωρία του Bohr και όχι η κβαντομηχανική.
δ) Λ (τροχιακά με $m_\ell = 0$ υπάρχουν σε όλες τις υποστιβάδες.
ε) Σ. στ) Σ. ζ) Σ.

21. Ομοιότητες: α) Ίδιος κύριος κβαντικός αριθμός και ίδιος δευτερεύοντας κβαντικός αριθμός, β) ίδια ενέργεια και γ) ίδιο σχήμα.
Διαφορές: α) Διαφορετικός προσανατολισμός στο χώρο και β) διαφορετική τιμή στο μαγνητικό κβαντικό αριθμό.

3. ΑΡΧΕΣ ΔΟΜΗΣΗΣ ΠΟΛΥΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑΚΩΝ ΑΤΟΜΩΝ

3.1. Β. Σε αντίθεση με το άτομο του υδρογόνου όπου η ενέργεια εξαρτάται αποκλειστικά από τον κύριο κβαντικό αριθμό (n), στα πολυηλεκτρονιακά άτομα συμμετέχει στον καθορισμό της ενέργειας και ο δευτερεύοντας κβαντικός αριθμός (ℓ) που σχετίζεται με τις ηλεκτρονιακές απώσεις.
3.2. Β. 3d: $n + \ell = 3 + 2 = 5$, 4p: $n + \ell = 4 + 1 = 5$. Στις υποστιβάδες με το ίδιο άθροισμα ($n + \ell$) τη μικρότερη ενέργεια έχει αυτή με τη μικρότερη τιμή του n.
3.3. Δ. Από τη σειρά πλήρωσης των υποστιβάδων βλέπουμε ότι η 4s συμπληρώνεται πριν από την 3d, καθώς το άθροισμα (n + ℓ) είναι μικρότερο για την 4s υποστιβάδα.
3.4. Β. Ο μέγιστος αριθμός ηλεκτρονίων σε μία στιβάδα καθορίζεται από το μέγιστο αριθμό ηλεκτρονίων σε μία υποστιβάδα και τελικά από το μέγιστο αριθμό ηλεκτρονίων σε ένα τροχιακό που καθορίζεται από την απαγορευτική αρχή του Pauli.
3.5. Α. Σύμφωνα με τον κανόνα του Hund, τα ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν τροχιακά της ίδιας ενέργειας κατά πρότίμηση με παράλληλα spin.
3.6. i. Γ. Μία υποστιβάδα p αποτελείται από 3 τροχιακά και επομένως συμπληρώνεται με 6 το πολύ ηλεκτρόνια.
ii. Γ. Ο μέγιστος αριθμός των ηλεκτρονίων μιας στιβάδας προκύπτει από τον αριθμό των τροχιακών της στιβάδας (n^2) επί τον μέγιστο αριθμό σε κάθε τροχιακό (2 ηλεκτρόνια): $2 \cdot 4^2 = 32$ ηλεκτρόνια.
3.7. Δ. Για να υπάρχει ζεύγος ηλεκτρονίων σε μία p υποστιβάδα θα πρέπει να διαθέτει 4 τουλάχιστον ηλεκτρόνια, καθώς τα τρία ηλεκτρόνια είναι μονήρη με παράλληλα spin (κανόνας του Hund). Έτσι, θα άτομο θα έχει δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$ ($Z = 8$).
3.8. Δ. Σύμφωνα με την απαγορευτική αρχή του Pauli, κάθε τροχιακό διαθέτει 2 το πολύ ηλεκτρόνια και επομένως τα 5 τροχιακά μπορούν να καταληφθούν από 10 το πολύ ηλεκτρόνια.
3.9. Γ. Ένα άτομο με 3 μονήρη ηλεκτρόνια στην υποστιβάδα 2p θα έχει δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^3$ ($Z = 7$).
3.10. i. Α. Η δομή του Si είναι: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^2$ και επομένως διαθέτει δύο μονήρη ηλεκτρόνια. ii. Δ. Τα p ηλεκτρόνια είναι 6 + 2 = 8.
3.11. Δ. $_{28}$Ni $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^8\ 4s^2$.
3.12. Β. Ο συνδυασμός $n = 3$, $\ell = 2$ αντιστοιχεί στην υποστιβάδα 3d που διαθέτει 5 τροχιακά και επομένως 10 το πολύ ηλεκτρόνια. Ο συνδυασμός $n = 2$, $\ell = 1$, $m_\ell = -1$ αντιστοιχεί σε ένα τροχιακό της υποστιβάδας 2p και επομένως 2 το πολύ ηλεκτρόνια. Τέλος, ο συνδυασμός $n = 1$, $\ell = 0$ αντιστοιχεί στην υποστιβάδα 1s με δύο το πολύ ηλεκτρόνια.
3.13. Δ. Το ιόν $_7N^{3-}$ έχει 10 e και ηλεκτρονιακή δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$. Την ίδια ηλεκτρονιακή δομή με 10 e έχει και το ανιόν $_8O^{2-}$.
3.14. Γ. Η δομή Δ είναι θεμελιώδης κατάσταση, η δομή Β έχει 32 e^- και η δομή Α αδύνατη ($1s^3$, απαγορευτική αρχή Pauli).
3.15. Β. Τα ιόντα $_{13}Al^{3+}$ και $_8O^{2-}$ είναι ισοηλεκτρονιακά με 10 συνολικά ηλεκτρόνια και ηλεκτρονιακή δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$.
3.16. Γ. Τα μονήρη ηλεκτρόνια είναι στην υποστιβάδα $5f^{11}$ η οποία διαθέτει 4 ζεύγη ηλεκτρονίων και 3 μονήρη.
3.17. i. Γ. Η δομή Α είναι σωστή, η δομή Β παραβιάζει την αρχή του Pauli και η δομή Δ είναι επίσης σωστή.
ii. Β. Σύμφωνα με την απαγορευτική αρχή του Pauli δεν είναι δυνατόν ένα τροχιακό (π.χ. το 1s) μπορεί να καταληφθεί από δύο το πολύ ηλεκτρόνια (και αυτά με αντίθετο spin).
3.18. Α. Το άτομο του Ti διαθέτει 2 ηλεκτρόνια στην 3d.
3.19. Β. Τέσσερα τροχιακά μπορούν να καταληφθούν ως εξής: $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$ ($Z = 6$).
3.20. i. Γ. Η ηλεκτρονιακή δομή του Cl είναι: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$ στην οποία εμφανίζονται 6 ηλεκτρόνια σε s τροχιακά για τα οποία ισχύει: $\ell = 0$.
ii. Γ. Το Cl έχει το μονήρες ηλεκτρόνιο σε τροχιακό 3p, οπότε $n = 3$, $\ell = 1$ και $m_\ell = -1, 0, 1$.
3.21. Γ. Πρέπει να συμπληρωθεί πρώτα η υποστιβάδα 4s και μετά η 3d.
3.22. i. Γ. Οι άλλες δομές είναι στη θεμελιώδη κατάσταση.
ii. Γ. Η ηλεκτρονιακή δομή είναι σωστή με βάση τον κανόνα του Hund και την απαγορευτική αρχή του Pauli, αλλά δεν είναι σωστή με βάση την αρχή της ελάχιστης ενέργειας, καθώς ένα ηλεκτρόνιο της υποστιβάδας 2s έχει μεταπηδήσει στην 2p (θεμελιώδης κατάσταση: $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$).
3.23. i. Γ. Η δομή του ατόμου $_{25}$Mn είναι $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^2$. Για τη δημιουργία του ιόντος Mn^{2+} αποσπώνται τα 2 ηλεκτρόνια της υποστιβάδας 4s.
ii. Δ. Το Σ^{3+} περιέχει 2 + 6 + x = 15 e στη στιβάδα Μ, από τα οποία x = 7 e στην 3d. Το άτομο Σ περιέχει 8 e την υποστιβάδα 3d, καθώς τα άλλα δύο έχουν αποσπαστεί από την 4s. Έτσι το Σ έχει δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^8\ 4s^2$ ($Z = 28$).
3.24. Α. Οι δύο δομές ανήκουν σε άτομα του ίδιου στοιχείου. Η δομή Χ είναι στη θεμελιώδη κατάσταση και η δομή Υ σε διεγερμένη.
3.25. Α. Τα ηλεκτρόνια 3p που έχουν τη μεγαλύτερη ενέργεια και επομένως απαιτούν τη μικρότερη ενέργεια για την απόσπασή τους.
3.26. Α. Διαθέτει 2 μονήρη ηλεκτρόνια στην 3d υποστιβάδα (δομή $3d^8$).
3.27. Α. Η ηλεκτρονιακή δομή του $_{31}$Ga είναι ... $3d^{10}\ 4s^2\ 4p^1$. Αποβάλλεται πρώτα το ηλεκτρόνιο 4p, στη συνέχεια το δύο ηλεκτρόνια 4s και τέλος ένα ηλεκτρόνιο 3d.
3.28. Δ. Το ηλεκτρόνιο Ι ανήκει στην υποστιβάδα 4s, τα ηλεκτρόνια ΙΙ και ΙΙΙ ανήκουν στην υποστιβάδα 3d και το ηλεκτρόνιο IV στην υποστιβάδα 3p. Η 4s συμπληρώνεται πριν την 3d αλλά μετά την εισαγωγή ηλεκτρονίων στην 3d, η υποστιβάδα 4s αποκτά μεγαλύτερη ενέργεια.
3.29. i. Γ. Το άτομο του Cu έχει δομή: $[_{18}Ar]\ 3d^{10}\ 4s^1$ και το ιόν Cu^+ έχει δομή: $[_{18}Ar]\ 3d^{10}$.
ii. Β.
3.30. Γ. Η υποστιβάδα 4f διαθέτει 7 τροχιακά και επομένως μπορεί να διαθέτει μέχρι και 7 μονήρη ηλεκτρόνια.
3.31. Λανθασμένες είναι οι προτάσεις α, ε, ζ και η.

α. Το άτομο του Ο έχει δύο μονήρη ηλεκτρόνια και επομένως το άθροισμα κβαντικών αριθμών spin είναι ίσο με ½ + ½ = 1.
ε. Ο μικρότερος ατομικός αριθμός Z με πλήρη d υποστιβάδα αντιστοιχεί στον $_{29}$Cu με δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^1$.
ζ. Λανθασμένη. Ο άνθρακας έχει μεγαλύτερο πυρηνικό φορτίο από το υδρογόνο και έλκει περισσότερο το ηλεκτρόνιο σε τροχιακό 1s. Επομένως το ηλεκτρόνιο σε 1s τροχιακό του άνθρακα βρίσκεται κατά μέσο όρο σε μικρότερη απόσταση από τον πυρήνα σε σχέση με το ηλεκτρόνιο στο άτομο του Η.
η. Το άτομο $_{25}$Mn έχει δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^2$ ενώ το ιόν $_{27}Co^{2+}$ έχει δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^7$.

3.32. 3d, 4p, 6s.

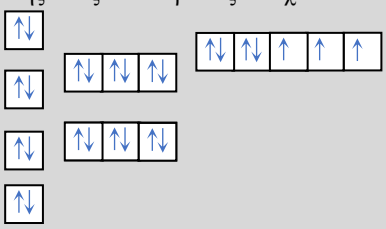
3.33. α) 3, β) 5, γ) 14, δ) 6, ε) d, στ) s, ζ) Μ.

3.34. α) Η δομή Δ ($3d^5\ 4s^1$). Η δομή αυτή αντιστοιχεί κατ' απόκλιση στη θεμελιώδη κατάσταση λόγω της ειδικής σταθερότητας της ημισυμπληρωμένης υποστιβάδας 3d.
β) Η πλήρης δομή του ατόμου στη θεμελιώδη κατάσταση είναι $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^1$ και επομένως $Z = 24$.

3.35. Επιλογή iv.
Zn: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2$
Ο αριθμός των ηλεκτρονίων με $\ell = 0$ (σε υποστιβάδες s): 2 + 2 + 2 + 2 = 8. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων με $\ell = 1$ (σε υποστιβάδες p): 6 + 6 = 12. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων με $\ell = 2$ (στην υποστιβάδα d): 10. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων με $m_\ell = 0$ (από ένα τροχιακό σε όλες τις υποστιβάδες): 2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 = 14.

3.36. Επιλογή Γ. Η ηλεκτρονιακή δομή του $_{15}$P είναι $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^3$. Από τη δομή αυτή προκύπτει ότι η υποστιβάδα 3p ($m_\ell = -1, 0, 1$) διαθέτει τρία ηλεκτρόνια τα οποία σύμφωνα με τον κανόνα του Hund θα πρέπει να διαθέτουν παράλληλα spin. Το ηλεκτρόνιο με κβαντικούς αριθμούς (3, 1, 1, ½) καταλαμβάνει ένα τροχιακό της 3p υποστιβάδας με $m_s = +½$, οπότε στη δομή $3p^3$ δεν μπορεί ένα άλλο ηλεκτρόνιο που καταλαμβάνει άλλο τροχιακό της ίδιας υποστιβάδας να έχει αντίθετο spin.

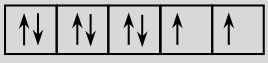
3.37. α)



β) i. 6, ii. 8. γ) 3/2.

3.38. α) Ναι. Αν υποθέσουμε ότι το στοιχείου Α έχει δομή p^2 (2 μονήρη ηλεκτρόνια), το στοιχείο Β θα έχει δομή p^3 (τρία μονήρη ηλεκτρόνια), το στοιχείο Γ δομή p^4 (2 μονήρη ηλεκτρόνια) και το στοιχείο Δ δομή p^5 (1 μονήρες ηλεκτρόνιο).
β) $Z = 6$ ή 14.

3.39. Επιλογή Δ.
Ηλεκτρονιακές δομές:
Cu: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^1$.
Zn: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2$.
Ni: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^8\ 4s^2$.
Στα άτομα του Cu και του Zn η υποστιβάδα 3d είναι συμπληρωμένη και άρα δεν υπάρχουν μονήρη ηλεκτρόνια. Στο άτομο του Ni στην υποστιβάδα 3d εμφανίζονται δύο μονήρη ηλεκτρόνια:



3.40. α) (1, 0, 0,+1/2), (1, 0, 0, –1/2).
β) $n = 3$, $\ell = 0$, $m_\ell = 0$, $m_s = +1/2, -1/2$.

3.41. α) 10, β) 2, γ) 0.

3.42. Επιλογή Γ.
Η στιβάδα Μ χαρακτηρίζεται από $n = 3$. Για $n = 3$ ο ℓ μπορεί να πάρει τις τιμές 0, 1, 2 και επομένως η μεγαλύτερη τιμή είναι το 2. Για $\ell = 2$ ο m_ℓ παίρνει τις τιμές −2, −1, 0, 1, 2 και η μεγαλύτερη τιμή είναι το 2. Άρα, το μεγαλύτερο άθροισμα ($n + \ell + m_\ell$) που μπορεί να έχει το ηλεκτρόνιο είναι 3 + 2 + 2 = 7.

3.43. α) $Z = 15$: 0 d ηλεκτρόνια, 9 ηλεκτρόνια με $\ell = 1$ και 3 μονήρη ηλεκτρόνια. $Z = 26$: 6 d ηλεκτρόνια, 12 ηλεκτρόνια με $\ell = 1$ και 4 μονήρη ηλεκτρόνια. $Z = 32$: 10 d ηλεκτρόνια, 14 ηλεκτρόνια με $\ell = 1$ και 2 μονήρη ηλεκτρόνια.
β) 27.

3.44. α) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p_x^1\ 4p_y^1\ 4p_z^1$.
β) 15 και 3. γ) $Z = 15$, 23 ή 27.

3.45. $Z = 24$ ή 25, $Z = 15$, $Z = 12$, Z = 16, $Z = 26$.

3.46. i. $Z = 6$, 8, ii. $Z = 14$, 16, 22, 28.

3.47. Επιλογή iv.
Η ηλεκτρονιακή δομή που αντιστοιχεί στο διάγραμμα είναι: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$.
P: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^3$ και με την πρόσληψη 3 ηλεκτρονίων αποκτά δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$.
S: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^4$ και με την πρόσληψη 2 ηλεκτρονίων αποκτά δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$.
Ar: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$.

3.48. α) 8 (από δύο ηλεκτρόνια στις υποστιβάδες 2p, 3p, 3d, 4p), β) 18 (2p, 3p, 4p).

3.49. α) $E_V < E_{IV} = E_{III} < E_{II} < E_I$.
β) $E_V = E_{IV} = E_{III} < E_{II} < E_I$.

3.50. α) $_{20}Ca^{2+}$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$, $_{21}Sc^{3+}$:$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$, $_{29}Cu^{+}$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}$, $_{29}Cu^{2+}$:$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^9$.
β) Τα ιόντα με δομή ευγενούς αερίου: $_{20}Ca^{2+}$ και $_{21}Sc^{3+}$.

3.51. α) Επιλογή 1.
β) Σύμφωνα με τις αρχές της ηλεκτρονιακής δόμησης θα έπρεπε η ηλεκτρονιακές δομές των δύο ατόμων να ήταν οι εξής:
Pd: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6\ 4d^8\ 5s^2$
Ag: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6\ 4d^9\ 5s^2$
β) Στο ιόν Pd^{2+} αποσπώνται δύο ηλεκτρόνια από την υποστιβάδα 4d ενώ στο ιόν Ag^+ αποσπάται ένα ηλεκτρόνιο από την 5s:
Pd^{2+}: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6\ 4d^8$
Ag^+: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6\ 4d^{10}$

3.52. α) 23, β) 16, γ) 29 (είναι, κατ' εξαίρεση, ο $_{29}$Cu με δομή: $3d^{10}$, $4s^1$). Η δομή αυτή είναι εξαιρετικά σταθερή, καθώς η υποστιβάδα 3d είναι συμπληρωμένη), δ) 10, ε) 59.

3.53. α) 8, 12, β) 4, γ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^1\ 4s^2$.

3.54. α) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^6\ 4s^2$.
β) Fe^{2+}: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^6$ (τα δύο ηλεκτρόνια φεύγουν από την υποστιβάδα 4s), Fe^{3+}: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5$.
γ) Το ιόν Fe^{3+} (ημισυμπληρωμένη d υποστιβάδα).

3.55. α) Επιλογή 4.
β) Η ηλεκτρονιακή δομή του ατόμου είναι $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^1$. Λόγω του κανόνα του Hund τα 5 ηλεκτρόνια της υποστιβάδας $3d^5$ έχουν την ίδια τιμή του m_s. Οι άλλες δύο υποστιβάδες $3s^2\ 3p^6$ είναι συμπληρωμένες και σε αυτές υπάρχουν άλλα 4 ηλεκτρόνια με την ίδια τιμή του m_s. Συνολικά 9 ηλεκτρόνια έχουν την ίδια τιμή του m_s.

3.56. α) Η πλήρης ηλεκτρονιακή δομή του ατόμου του στοιχείου Σ_2 είναι $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^6\ 4s^2$ και επομένως ο ατομικός του αριθμός είναι $Z = 26$.
β) Η πλήρης ηλεκτρονιακή δομή του ατόμου του στοιχείου Σ_2 είναι $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^1$. Τα ηλεκτρόνια με $\ell = 0$ είναι τα ηλεκτρόνια των s υποστιβάδων τα οποία είναι: 2 + 2 + 2 + 1 = 7.
γ) Το ιόν Σ_1^{3+}. Το άτομο του Σ_1 έχει δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^2$ και το ιόν με φορτίο 3+ έχει δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^4$ στην οποία αντιστοιχούν 4 μονήρη ηλεκτρόνια στην υποστιβάδα 3d.
3.57. α) Τρία μονήρη ηλεκτρόνια.
β) 12, 83.
γ) 5, 0.
3.58. Καθώς οι τιμές που μπορεί να λάβει ο δευτερεύοντας (αζιμουθιακός) κβαντικός αριθμός είναι: $\ell = 0, 1, \ldots (n - 1)$, οι δυνατές περιπτώσεις με $n + \ell = 5$ είναι οι εξής:
Για $n = 5$, $\ell = 0$: Υποστιβάδα 5s με δύο το πολύ ηλεκτρόνια.
Για $n = 4$, $\ell = 1$: Υποστιβάδα 4p με. έξι το πολύ ηλεκτρόνια.
Για $n = 3$, $\ell = 2$: Υποστιβάδα 3d με δέκα το πολύ ηλεκτρόνια.
Άρα, ο μέγιστος αριθμός ηλεκτρονίων με $n + \ell = 5$ είναι 2 + 6 + 10 = 18.
3.59. α) i. X: $4f^7$, ii. πλήρεις είναι οι στιβάδες K, L και M.
β) i. 8, ii. 7, iii. 20, iv. 1.
γ) A:13, B:$_{10}$Ne, Γ:$3s^2$, Δ:$_{10}$Ne, E:$3d^2$, Θ:56, K:$_{54}$Xe, Λ:$_{18}$Ar, M: $3d^{10}$, N: $4p^3$.
δ) Το άτομο V (έχει 3 μονήρη ηλεκτρόνια στην 4p).

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 3

1. Γ. **2.** Β. **3.** Δ. **4.** Δ. **5.** Γ. **6.** Α. **7.** Δ. **8.** Δ. **9.** Δ.
10. Γ. **11.** Β. **12.** Γ. **13.** Β. **14.** Γ. **15.** Β. **16.** Δ. **17.** Γ. **18.** Δ.
19. Γ. **20.** Γ.
21. Mo: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6\ 4d^5\ 5s^1$, Mo^{3+}:$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6\ 4d^3$.
22. α) Λ. Αυτό ισχύει στο άτομο του υδρογόνου και στα υδρογονοειδή ιόντα. Δεν ισχύει στα πολυηλεκτρονιακά άτομα λόγω ηλεκτρονιακών απώσεων.
β) Λ. Κατά προτίμηση παράλληλα spin (κανόνας του Hund).
γ) Σ.
δ) Σ.
ε) Λ. Στο ιόν Fe^{2+} έχουν αποσπαστεί τα 4s ηλεκτρόνια και επομένως ο μεγαλύτερος κύριος κβαντικός αριθμός της δομής θα είναι $n = 3$.
στ) Λ. Αν και τα δύο σωματίδια είναι ισοηλεκτρονιακά, το ιόν $_{27}Co^{2+}$ έχει ηλεκτρονιακή δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^7$ και το άτομο του $_{25}$Mn έχει δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^2$.
23. α) $Z = 28$.
β) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^8$.
γ) 1.
δ) Α: τροχιακό με $n = 4$, Β: d υποστιβάδα, Γ: συμπληρωμένη στιβάδα, Δ: κενή υποστιβάδα, Ε: μονήρες ηλεκτρόνιο, Ζ: τροχιακό χαμηλότερης ενέργειας.

4. ΔΟΜΗ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΥ ΠΙΝΑΚΑ

4.1. Γ. Σε όλα τα στοιχεία του s τομέα το τελευταίο ηλεκτρόνιο καταλαμβάνει μία s υποστιβάδα (s^1 ή s^2) που είναι και η υποστιβάδα με τη μεγαλύτερη ενέργεια της ηλεκτρονιακής δομής.

4.2. Γ. $_6$C: $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$, $_{14}$Si: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^2$, p τομέας, 14η (IVA) ομάδα
4.3. Α. Τα ευγενή αέρια ανήκουν στην τελευταία ομάδα (18η, VIIIA) του Περιοδικού Πίνακα και επομένως η δομή της εξωτερικής τους στιβάδας είναι $ns^2\ np^6$. Εξαίρεση αποτελεί το $_2$He που έχει δομή $1s^2$.
4.4. i. Α. Το πρώτο στοιχείο του p τομέα του Περιοδικού Πίνακα που ανήκει στην 3η περίοδο έχει ηλεκτρονιακή δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^1$ και επομένως ο ατομικός του αριθμός είναι $Z = 13$.
ii. Δ. Το πρώτο στοιχείο του d τομέα έχει ηλεκτρονιακή δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^1\ 4s^2$ και επομένως έχει ατομικό αριθμό $Z = 21$.
4.5. Γ. Οι αλκαλικές γαίες είναι τα στοιχεία της 2ης ομάδας του Περιοδικού Πίνακα και αρχίζουν από τη 2η περίοδο, οπότε η 3η αλκαλική γαία ανήκει στην 4η περίοδο.
4.6. Γ. Η δομή εξωτερικής στιβάδας $6s^2\ 6p^4$ αντιστοιχεί σε στοιχείο της 16ης (VIA) ομάδα του Περιοδικού Πίνακα.
4.7. Δ. Το $_{20}$Ca έχει δομή $[_{18}Ar]\ 4s^2$ και επομένως ανήκει στην 4η περίοδο (και στη 2η ομάδα), όπως και ο Zn. Σύμφωνα με τη σειρά πλήρωσης των υποστιβάδων το τελευταίο ηλεκτρόνιο της δομής του Zn εισέρχεται στην υποστιβάδα 3d και επομένως ο Zn ανήκει στον d τομέα και στη 12η ομάδα. Παρότι ο Zn είναι θεωρητικά στοιχείο μετάπτωσης έχει συμπληρωμένη την 3d υποστιβάδα και επομένως δεν διαθέτει μονήρες (ασύζευκτο) ηλεκτρόνιο, δηλαδή δεν είναι παραμαγνητικό στοιχείο, ούτε έχει πολλούς αριθμούς οξείδωσης.
4.8. Α. Το X^{3-} έχει 18 ηλεκτρόνια και επομένως το άτομο του X έχει 15 ηλεκτρόνια και δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^3$.
4.9. Α. Από την ηλεκτρονιακή δομή του Na προκύπτει ότι το στοιχείο ανήκει στην 3η περίοδο ενώ από την ηλεκτρονιακή δομή του Β προκύπτει ότι ανήκει στην 13η (IIIA) ομάδα,
4.10. Γ. Παραμαγνητικό είναι το στοιχείο το άτομο του οποίου διαθέτει μονήρη ηλεκτρόνια στη θεμελιώδη κατάσταση. Στην ηλεκτρονιακή δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^4$ υπάρχουν δύο μονήρη ηλεκτρόνια και επομένως αντιστοιχεί σε παραμαγνητικό στοιχείο.
4.11. Δ. Στην 3η περίοδο συμπληρώνονται οι υποστιβάδες 3s και 3p. Στην υποστιβάδα 3s υπάρχει ένα το πολύ 1 μονήρες ηλεκτρόνιο ενώ στην υποστιβάδα 3p υπάρχουν 3 μονήρη ηλεκτρόνια (δομή $3p^3$).
4.12. Α. Τα στοιχεία τα άτομα των οποίων έχουν δομή p^2 ανήκουν στη δεύτερη ομάδα του p τομέα (14η ή IVA).
4.13. Όλες είναι σωστές.
4.14. Ε: ευγενές αέριο, Δ: αλκαλική γαία, Γ: στοιχείο του d τομέα, Α: στοιχείο της 13ης ομάδας.
4.15. $Z = 26$. Το κατιόν X^{3+} έχει προκύψει από το άτομο του X με αποβολή 3 ηλεκτρονίων, δύο από την υποστιβάδα 4s και το άλλο από την 3d. Έτσι, η δομή του ατόμου του στοιχείου X στη θεμελιώδη κατάσταση είναι: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^6\ 4s^2$. Επομένως, το στοιχείο X ανήκει στην 8η (VIIIB) ομάδα και έχει $Z = 26$.
4.16. Επιλογή Α. Το ιόν $_{27}Co^{2+}$ έχει δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^7$ και επομένως διαθέτει τρία μονήρη ηλεκτρόνια στην 3d υποστιβάδα. Τα υπόλοιπα ιόντα δεν διαθέτουν μονήρη d ηλεκτρόνια.
4.17. Ο $_{30}$Zn ανήκει στον d τομέα (12η ομάδα) του Π.Π. ενώ ο $_{20}$Ca στον s τομέα (2η ομάδα).
4.18. α) Το στοιχείο διαθέτει συνολικά πέντε ηλεκτρόνια σε s υποστιβάδες και δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$ ($Z = 11$).

β) 1η (ΙΑ) ομάδα, 3η περίοδος.

4.19. α) Τα αλογόνα δεν διαθέτουν στοιχείο στην 1η περίοδο και άρα το 3ο αλογόνο ανήκει στην 17η (VIIA) ομάδα και στην 4η περίοδο. β) i. 17 p ηλεκτρόνια, ii. 10 d ηλεκτρόνια.

4.20. Α-Γ, Β-Ζ, Δ-Ε.

4.21. α) Το ιόν $_{29}Cu^{2+}$ και το άτομο $_{7}N$.

β) $_{20}Ca^{2+}$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$ (κανένα μονήρες ηλεκτρόνιο)

$_{29}Cu^{2+}$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^9$ (ένα μονήρες ηλεκτρόνιο)

$_{30}Zn^{2+}$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}$ (κανένα μονήρες ηλεκτρόνιο)

$_{7}N$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^3$ (τρία μονήρη ηλεκτρόνια)

4.22. 3η περίοδος: 3s, 3p, 4η: 4s, 3d, 4p, 5η: 5s, 4d, 5p.

Η 3η περίοδος αποτελείται από 8 στοιχεία, η 4η από 18 στοιχεία και η 5η επίσης από 18 στοιχεία.

4.23. α) Στον d τομέα, στην 5η ομάδα.

β) Ο μικρότερος κύριος κβαντικός αριθμός που μπορεί να έχει μία d υποστιβάδα είναι $n = 3$. Σύμφωνα με τις αρχές της ηλεκτρονιακής δόμησης, η ηλεκτρονιακή δομή του ατόμου του στοιχείου είναι: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^3\ 4s^2$ ($Z_{min} = 23$).

4.24. α) Το στοιχείο θα πρέπει να ανήκει σε μία από τις ομάδες 2η , 12η, 18η. β) 20, 30, 36.

4.25. α) Το M^{2+} διαθέτει 23 ηλεκτρόνια και άρα 25 πρωτόνια. Επομένως, $Z = 25$.

β) Εφόσον το ιόν M^{2+} διαθέτει ασυμπλήρωτη d υποστιβάδα, η απόσπαση των ηλεκτρονίων έχει γίνει από την υποστιβάδα 4s και η ηλεκτρονιακή δομή του ατόμου του Μ είναι: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^2$. Επομένως, το στοιχείο Μ ανήκει στην 4η περίοδο, στον d τομέα και στην 7η (VIIA) ομάδα.

γ) Από την ηλεκτρονιακή δομή του ατόμου του Μ προκύπτει ότι το Μ διαθέτει 8 ηλεκτρόνια σε s τροχιακά (με $\ell = 0$). Επίσης διαθέτει 2 + 2 + 1 = 5 ηλεκτρόνια με $m_\ell = 1$.

δ) Το άτομο του Ν διαθέτει 23 ηλεκτρόνια και 23 πρωτόνια. Η ηλεκτρονιακή του δομή είναι: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^3\ 4s^2$ και άρα ανήκει στην 4η περίοδο, στον d τομέα και στην 5η (VB) ομάδα.

4.26. α) Επιλογή iii. Ο Cu έχει ηλεκτρονιακή δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3p^{10}\ 4s^1$ και ο Cu^+ $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}$. Στη δομή αυτή οι στιβάδες Κ, L και Μ είναι πλήρεις με 2, 8 και 18 ηλεκτρόνια, αντίστοιχα.

β) Ο Zn: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2$ (όλες οι υποστιβάδες είναι πλήρεις και δεν υπάρχει μονήρες ηλεκτρόνιο).

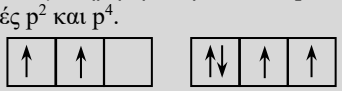
4.27. α) Α: 3η περίοδος, 17η ομάδα, p τομέας, Β: 3η περίοδος, 18η ομάδα, p τομέας, Γ: 4η περίοδος, 1η ομάδα, s τομέας, Α: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$, Β: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$, Γ: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1$.

4.28. α) Για να έχει έξι ηλεκτρόνια σθένους θα πρέπει να έχει δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^4$ ($Z = 16$) και άρα ανήκει στον p τομέα και στην 16η ομάδα (VIA).

β) Το στοιχείο Χ είναι προς τα δεξιά της περιόδου του και σχηματίζει ομοιοπολικά οξείδια και ομοιοπολικά χλωρίδια.

4.29. α) Στα στοιχεία του s τομέα δεν υπάρχουν άτομα με δύο μονήρη ηλεκτρόνια. Άρα, τα στοιχεία ανήκουν στον p και στον d τομέα.

β) Δύο μονήρη ηλεκτρόνια σε p υποστιβάδα υπάρχουν στις δομές p^2 και p^4.



Έτσι, υπάρχουν 4 στοιχεία με τις δομές που ακολουθούν.

$1s^2\ 2s^2\ 2p^2$ ($Z = 6$) $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$ ($Z = 8$)

$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^2$ ($Z = 14$) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^4$ ($Z = 16$)

$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^2$ ($Z = 32$)

$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^4$ ($Z = 34$)

Δύο μονήρη ηλεκτρόνια σε d υποστιβάδα υπάρχουν στις δομές $3d^2$ και $3d^8$:



$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^2\ 4s^2$ ($Z = 22$)

$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^8\ 4s^2$ ($Z = 28$)

4.30. Επιλογή Β. Το άτομο του στοιχείου έχει οπωσδήποτε 2 ηλεκτρόνια με $m_\ell = -1$ στην υποστιβάδα 2p και ένα ηλεκτρόνιο με $m_\ell = -1$ στην υποστιβάδα 3p η οποία για το λόγο αυτόν δεν θα είναι συμπληρωμένη. Επομένως, το στοιχείο θα ανήκει στην 3η περίοδο και συγκεκριμένα σε μία από τις ομάδες 13η-17η.

4.31. Στοιχεία μετάπτωσης είναι τα στοιχεία του τομέα d του περιοδικού πίνακα, δηλαδή στοιχεία των οποίων το τελευταίο ηλεκτρόνιο, κατά την ηλεκτρονιακή δόμηση, τοποθετείται σε υποστιβάδα d. Έτσι, στο Zn με βάση την ηλεκτρονιακή δομή ($1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2$) το τελευταίο του ηλεκτρόνιο βρίσκεται στην υποστιβάδα d.

Πάντως, πολλοί θεωρούν ότι το Sc και ο Zn καταχρηστικά ονομάζονται στοιχεία μετάπτωσης, καθώς έχουν ένα μόνο αριθμό οξείδωσης, δεν σχηματίζουν άλατα με χαρακτηριστικά χρώματα και η d υποστιβάδα τους είναι πλήρης.

4.32. α) Υπάρχει απόκλιση, λόγω της ειδικής σταθερότητας της δομής d^{10} (σύμφωνα με τις αρχές του aufbau η ηλεκτρονιακή δομή θα ήταν: $[_{54}Xe]\ 4f^{14}\ 5d^9\ 6s^2$).

β) 11η ομάδα, d τομέας, 6η περίοδος.

γ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^1$.

4.33. α) Na: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$, Mg: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2$, Si: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^2$, Cl: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$, Ar: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$.

β) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1$, $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2$, $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^2$, $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^5$, $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6$. γ) NaCl: ιοντικό, $MgCl_2$: ιοντικό, $SiCl_4$: ομοιοπολικό. δ) Na_2O: ιοντικό και βασικό, MgO: ιοντικό και βασικό, SiO_2: ομοιοπολικό και όξινο, Cl_2O_7: ομοιοπολικό και όξινο.

4.34. α) Το ηλεκτρόνιο του ατόμου της σπάνιας γαίας ανήκει στην υποστιβάδα 4d και εφόσον δεν έχει άλλο η δομή της υποστιβάδας θα είναι $4d^1$. Άρα, το στοιχείο ανήκει στον d τομέα, στην 5η περίοδο και στην 3η ομάδα.

β) Με βάση τη σειρά πλήρωσης των υποστιβάδων η ηλεκτρονιακή δομή του ατόμου θα είναι: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6\ 4d^1\ 5s^2$ και επομένως $Z = 39$.

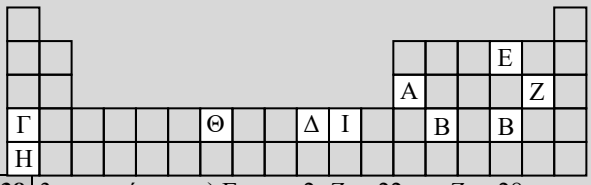
4.35. α) Επιλογή ii.

β) Το άτομο του στοιχείου Α της 10ης ομάδας του Περιοδικού Πίνακα θα παρουσιάζει ηλεκτρονιακή δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^8\ 4s^2$ και επομένως θα διαθέτει δύο μονήρη ηλεκτρόνια στην υποστιβάδα 3d. Το επόμενο στοιχείο θα έχει (κατ΄ απόκλιση) ηλεκτρονιακή δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^1$ και επομένως διαθέτει 1 μονήρες ηλεκτρόνιο. Το επόμενο στοιχείο θα έχει δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2$ και δεν διαθέτει μονήρη ηλεκτρόνια καθώς όλες οι υποστιβάδες είναι συμπληρωμένες. Τέλος, το επόμενο στοιχείο θα παρουσιάζει ηλεκτρονιακή δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^1$ και επομένως θα διαθέτει 1 μονήρες ηλεκτρόνιο στην υποστιβάδα 4p.

4.36. Σύμφωνα με τις αρχές της ηλεκτρονιακής δόμησης το στοιχείο Χ με Z = 46 θα έπρεπε να είχε ηλεκτρονιακή δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6\ 4d^8\ 5s^2$. Η δομή αυτή αντιστοιχεί σε δύο μονήρη ηλεκτρόνια στην υποστιβάδα 4d. Εφόσον το στοιχείο δεν είναι παραμαγνητικό, δεν ακολουθεί τις αρχές της

ηλεκτρονιακής δόμησης και η ηλεκτρονιακή του δομή θα είναι: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6\ 4d^{10}$.

4.37. Α: $Z = 13$, Β: $Z = 32$ ή 34, Γ: $Z = 19$, Δ: $Z = 28$, Ε: $Z = 8$, Ζ: $Z = 17$, Η: $Z = 37$, Θ: $Z = 25$, Ι: $Z = 29$ (11η ομάδα, 4η περίοδος).



4.38. 3 περιπτώσεις. α) Για x = 2, $Z_1 = 22$ και $Z_2 = 28$.
β) Για x = 3, $Z_1 = 23$ και $Z_2 = 27$. γ) Για x = 5, $Z_1 = 24$ και $Z_2 = 25$.
Για x = 1 έχουμε μόνο ένα στοιχείο ($Z = 21$) καθώς το στοιχείο με Z = 29 (Cu) έχει κατ' εξαίρεση δομή $3d^{10}\ 4s^1$ και δεν διαθέτει μονήρες ηλεκτρόνιο στην 3d υποστιβάδα. Επίσης, για x = 4 έχουμε μόνο ένα στοιχείο ($Z = 26$) καθώς το στοιχείο με $Z = 24$ (Cr) έχει κατ' εξαίρεση δομή $3d^5\ 4s^1$ και 6 ασύζευκτα ηλεκτρόνια.

4.39. α) i. 7η ομάδα, 5η περίοδος, d τομέας.
ii. Το στοιχεία Mo και Ru είναι διπλανά από το Tc (αριστερά και δεξιά). Με βάση την ηλεκτρονιακή δομή του Mn, το στοιχείο αυτό είναι πάνω από το Tc ενώ το Re είναι ακριβώς από κάτω:

Cr	Mn	
Mo	Tc	Ru
	Re	

β) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^1$, 6 μονήρη ηλεκτρόνια.

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 4

1. Γ. **2.** Δ. **3.** Δ. **4.** Γ. **5.** Γ. **6.** Δ. **7.** Γ. **8.** Β.
9. Γ. **10.** Α. **11.** Γ. **12.** Α. **13.** Δ.

14. α: Λ. Μπορεί να είναι το $_2$He ($1s^2$).
β: Λ. Το $_{20}$Ca έχει δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2$ και δε διαθέτει μονήρη ηλεκτρόνια (δεν είναι παραμαγνητικό). Το $_{28}$Ni έχει δομή $3d^8$ και διαθέτει 2 μονήρη ηλεκτρόνια.
γ: Λ. Ανήκει στη 15η (VA) ομάδα του περιοδικού πίνακα.
δ: Λ. Τα ευγενή αέρια από την 4η περίοδο και μετά διαθέτουν ηλεκτρόνια σε υποστιβάδα d ενώ από την 6η περίοδο διαθέτουν ηλεκτρόνια και σε υποστιβάδα f.
ε: Σ.

15. Na_2O: βασικό οξείδιο, MgO: βασικό οξείδιο, Al_2O_3: επαμφοτερίζον οξείδιο, SO_3: όξινο οξείδιο.

16. α) Στην 4η περίοδο του Περιοδικού Πίνακα. Στις ομάδες 3-12.
β) $Z = 25$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^2$. Στην 7η ομαδα του του Περιοδικού Πίνακα.
γ) i. $Z = 18$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$.
ii. $Z = 24$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^1$.
$Z = 29$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^1$.
δ) $Z = 22$ ($1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^2\ 4s^2$) και $Z = 28$ ($1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^8\ 4s^2$).
ε) Σχηματίζουν έγχρωμες ενώσεις, είναι παραμαγνητικά στοιχεία, έχουν πολλούς αριθμούς οξείδωσης κτλ.

17. α) Α: 15η ομάδα, Β: 14η ομάδα, Γ: 16η ομάδα. Είναι και τα τρία παραμαγνητικά καθώς διαθέτουν μονήρη ηλεκτρόνια στην ηλεκτρονιακή τους δομή. β) Το Α θα έχει δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^3$ και άρα θα διαθέτει 3 ηλεκτρόνια με $m_\ell = 1$. γ) Δ: $Z = 32$, Ε: $Z = 34$. δ) $Z = 83$.

5. ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΟΡΙΣΜΕΝΩΝ ΠΕΡΙΟΔΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

5.1. Β. Σε μία περίοδο του Περιοδικού Πίνακα η ατομική ακτίνα μειώνεται από αριστερά προς τα δεξιά και επομένως σε μία κάθε περίοδο τα αλκάλια έχουν τη μεγαλύτερη ατομική ακτίνα και τα ευγενή αέρια τη μικρότερη.

5.2. Δ. Ηενέργεια (πρώτου) ιοντισμού αντιστοιχεί στην ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για την αποβολή ενός ηλεκτρονίου από ουδέτερο άτομο σε αέρια κατάσταση.

5.3. Α. Το άτομο του Al έχει ηλεκτρονιακή δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^1$. Αρχικά αποβάλλεται το ηλεκτρόνιο της υποσταβάδας 3p, στη συνέχεια τα δύο ηλεκτρόνια της υποστιβάδας 3s και τελικά δύο από τα έξι ηλεκτρόνια της υποστιβάδας 2p.

5.4. Δ. Τα αλκάλια ανήκουν στην 1η ομάδα του Περιοδικού Πίνακα και διαθέτουν ένα ηλεκτρόνιο στην εξωτερική στιβάδα. Καθώς είναι ηλεκτροθετικά στοιχεία έχουν την τάση να αποβάλλουν ένα ηλεκτρόνιο ώστε να αποκτήσουν δομή ευγενούς αερίου. Έτσι, στις ενώσεις τους διαθέτουν αριθμό οξείδωσης +1. Οι αλκαλικές γαίες ανήκουν στην 2η ομάδα του Περιοδικού Πίνακα, διαθέτουν δύο ηλεκτρόνια στην εξωτερική στιβάδα και είναι επίσης ηλεκτροθετικά στοιχεία έχοντας την τάση να αποβάλλουν δύο ηλεκτρόνια ώστε να αποκτήσουν τη σταθερή δομή ευγενούς αερίου. Έτσι, στις ενώσεις τους διαθέτουν αριθμό οξείδωσης +2.

5.5. i. Γ. Τη μικρότερη ενέργεια ιοντισμού έχει το στοιχείο που βρίσκεται προς τα αριστερά και προς τα κάτω του Περιοδικού Πίνακα. Από τις ηλεκτρονιακές δομές των στοιχείων που δίνονται βλέπουμε ότι το Κ βρίσκεται στην 4η περίοδο και στην 1η ομάδα.
ii. Β. Μικρότερη ενέργεια για την απόσπαση ενός ηλεκτρονίου απαιτεί το στοιχείο που έχει τη μικρότερη ενέργεια ιοντισμού, δηλαδή αυτό που βρίσκεται πιο αριστερά και πιο κάτω στον Περιοδικό Πίνακα.

5.6. Γ. Οι ατομικές ακτίνες των στοιχείων μετάπτωσης της ίδιας περιόδου δεν μεταβάλλονται σημαντικά κατά μήκος της περιόδου καθώς τα επιπλέον ηλεκτρόνια εισέρχονται σε εσωτερικές στιβάδες (τύπου d).

5.7. Α. Το ανιόν είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο άτομο καθώς με την εισαγωγή επιπλέον ηλεκτρονίων αυξάνονται οι ηλεκτρονιακές απώσεις.

5.8. Γ. Η ηλεκτρονιακή δομή εξωτερικής στιβάδας $3s^2\ 3p^1$ αντιστοιχεί σε στοιχείο της 3ης περιόδου και της 13ης ομάδας του Περιοδικού Πίνακα, η δομή $3s^2\ 3p^2$ σε στοιχείο της 3ης περιόδου και της 14ης ομάδας, η δομή $3s^2\ 3p^3$ σε στοιχείο της 3ης περιόδου και της 15ης ομάδας ενώ τέλος η δομή $4s^2\ 4p^3$ σε στοιχείο της 4ης περιόδου και της 15ης ομάδας. Καθώς η ενέργεια ιοντισμού αυξάνεται προς τα δεξιά και προς τα πάνω στον Περιοδικό Πίνακα, το στοιχείο με τη μεγαλύτερη ενέργεια ιοντισμού θα είναι το στοιχείο με δομή $3s^2\ 3p^3$.

5.9. Α. Η απαιτούμενη ενέργεια για το σχηματισμό του ιόντος $Al^{3+}(g)$ από Al(g) θα είναι το άθροισμα των E_{i1}, E_{i2} και E_{i3}.

5.10. Γ. Τα πιο ηλεκτροθετικά στοιχεία είναι προς τα αριστερά και προς τα κάτω στον Περιοδικό Πίνακα.

5.11. Α. Με την αποβολή ενός ηλεκτρονίου το Κ μετατρέπεται σε K^+ και το μέγεθος μειώνεται καθώς ένα κατιόν έχει μικρότερο μέγεθος λόγω ασθενέστερων ηλεκτρονιακών

απώσεων. Επίσης, με την πρόσληψη ενός ηλεκτρονίου το F μετατρέπεται σε F^- και το μέγεθος αυξάνεται καθώς ένα ανιόν έχει μεγαλύτερο μέγεθος λόγω ισχυρότερων ηλεκτρονιακών απώσεων.

5.12. Α. Από τα στοιχεία της 3ης περιόδου τη μεγαλύτερη ατομική ακτίνα είναι αυτό που είναι προς τα αριστερά.

5.13. Α. Το στοιχείο με $Z = 8$ ανήκει στην 2η περίοδο και την 16η ομάδα, το στοιχείο με $Z = 9$ ακριβώς δίπλα στην 17η ομάδα, το στοιχείο με $Z = 10$, ακριβώς δίπλα στην 18η ομάδα, ενώ το στοιχείο με $Z = 11$ ανήκει στην αποκάτω περίοδο στην 1η ομάδα. Έτσι, στα τρία πρώτα στοιχεία η ενέργεια ιοντισμού αυξάνεται με την αύξηση του Z αλλά στο τέταρτο στοιχείο μειώνεται θεαματικά.

5.14. Β. Το Si έχει ηλεκτρονιακή δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^2$ και επομένως διαθέτει τέσσερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στιβάδα. Έτσι, η ενέργεια 5ου ιοντισμού θα παρουσιάζει απότομη αύξηση όπως φαίνεται και από τα δεδομένα του πίνακα.

5.15. Β. Το Mg ανήκει στην ίδια περίοδο του Περιοδικού Πίνακα με το Na, αλλά είναι πιο δεξιά. Επομένως, το Mg έχει μεγαλύτερη ενέργεια ιοντισμού αλλά μικρότερη ατομική ακτίνα από το Na.

5.16. Α.

5.17. Α.

5.18. Γ.

5.19. Επιλογή Α. Τα ηλεκτροθετικά στοιχεία (μέταλλα) είναι προς τα αριστερά στον Π.Π. και επομένως έχουν μεγάλες ατομικές ακτίνες και μικρές ενέργειες ιοντισμού.

5.20. α) Σωστή. Σε διεγερμένη κατάσταση το άτομο έχει μεγαλύτερη ενέργεια και η απόσπαση ηλεκτρονίου είναι ευχερέστερη, δηλαδή απαιτεί μικρότερη ενέργεια.

β) Λανθασμένη, καθώς το άτομο με ατομικό αριθμό Z μπορεί να είναι ευγενές αέριο και το στοιχείο με το αμέσως μεγαλύτερο ατομικό αριθμό θα ανήκει στην 1η ομάδα με αποτέλεσμα η ενέργεια ιοντισμού να μειώνεται θεαματικά.

γ) Σωστή. Σε μία ομάδα του Περιοδικού Πίνακα η ατομική ακτίνα αυξάνει προς τα κάτω,

δ) Σωστή. Το στοιχείο Χ ανήκει στην 1η ομάδα του περιοδικού πίνακα και το στοιχείο Υ ανήκει στη 18η ομάδα (τα δύο στοιχεία ανήκουν στην 3η περίοδο). Καθώς η ενέργεια ιοντισμού αυξάνεται από τα αριστερά προς τα δεξιά, το στοιχείο Χ θα έχει μικρότερη ενέργεια ιοντισμού από το Υ.

ε) Σωστή. Τα αμέταλλα στοιχεία βρίσκονται προς τα δεξιά στον Περιοδικό Πίνακα, όπου οι ατομικές ακτίνες παρουσιάζονται μικρότερες.

στ) Σωστή. Στα στοιχεία μετάπτωσης π.χ. της 4ης περιόδου συμπληρώνεται η υποστιβάδα 3d ενώ έχει αρχίσει ήδη η συμπλήρωση της 4ης στιβάδας.

5.21. α) Σωστή. Τα δύο στοιχεία ανήκουν στην 1η ομάδα του Περιοδικού Πίνακα με το Rb να είναι πιο κάτω. Καθώς η ενέργεια ιοντισμού μειώνεται όσο προχωράμε προς τα κάτω σε μία ομάδα του περιοδικού πίνακα το Rb θα έχει μικρότερη ενέργεια ιοντισμού από το Na.

β) Σωστή. Το στοιχείο με $Z = 87$ ανήκει στην 1η ομάδα και στην 7η περίοδο. Για το λόγο αυτό είναι το πιο ηλεκτροθετικό στοιχείο και άρα το πιο δραστικό μέταλλα ενώ παράλληλα διαθέτει τη μεγαλύτερη ατομική ακτίνα.

γ) Σωστή. Τα στοιχεία με $Z = 36$ και $Z = 2$ ανήκουν στα ευγενή αέρια τα οποία παρουσιάζουν υψηλές τιμές E_{i1}. Πάντως, το στοιχείο με $Z = 2$ είναι πιο πάνω στην ομάδα και επομένως έχει μεγαλύτερη τιμή E_{i1}.

δ) Σωστή. Η απόσπαση του δεύτερου ηλεκτρονίου από το άτομο του Li γίνεται από εσωτερική στιβάδα και μάλιστα διασπά δομή ευγενούς αερίου ($1s^2$). Αντίθετα η απόσπαση του δεύτερου ηλεκτρονίου από το άτομο του $_4$Be γίνεται από την ίδια στιβάδα (L) χωρίς να διασπά δομή ευγενούς αερίου.

ε) Σωστή. Το Na^+ έχει το μεγαλύτερο πυρηνικό φορτίο (Z) και επομένως έχει το μικρότερο μέγεθος.

στ) Σωστή. Ξέρουμε ότι η μετάβαση από τη στιβάδα Κ στη στιβάδα L αντιστοιχεί στο 75% της E_i του ατόμου του Η.

5.22. Η ενέργεια ιοντισμού (E_{i1}) είναι η ελάχιστη ενέργεια που πρέπει να απορροφήσει ένα ελεύθερο άτομο στη θεμελιώδη του κατάσταση και σε αέρια φάση, έτσι ώστε να αποσπαστεί πλήρως ένα ηλεκτρόνιο. Η E_{i1} επηρεάζεται από την ατομική ακτίνα, από τον αριθμό των ενδιαμέσων ηλεκτρονίων και από το πυρηνικό φορτίο.

5.23. α) Επιλογή iii.

β) Τα δύο στοιχεία είναι στοιχεία μετάπτωσης της 4ης περιόδου και μάλιστα διπλανά. Σε μία σειρά των στοιχείων μετάπτωσης και όσο πηγαίνουμε προς τα δεξιά της περιόδου, τα επιπλέον ηλεκτρόνια πηγαίνουν σε εσωτερικές ηλεκτρονιακές στιβάδες τύπου d, όπου και προστατεύουν αποτελεσματικά τα εξωτερικά ηλεκτρόνια από την έλξη του πυρήνα. Έτσι, όμως, το δραστικό πυρηνικό φορτίο αυξάνεται ελάχιστα με αποτέλεσμα η ατομική ακτίνα να μειώνεται ελάχιστα (ή και καθόλου).

5.24. α) $_{20}$Ca: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2$, $_{16}$S: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^4$.

β) Μεγαλύτερη ενέργεια 3ου ιοντισμού έχει το Ca στο άτομο του οποίου το τρίτο ηλεκτρόνιο αποσπάται από εσωτερική στιβάδα, πολύ πιο κοντά στο πυρήνα, διασπώντας παράλληλα τη σταθερή δομή ευγενούς αερίου. Αντίθετα, στο S και το τρίτο ηλεκτρόνιο αποσπάται από την εξωτερική στιβάδα.

5.25. α) Επιλογή iv.

β) Από τις ηλεκτρονιακές δομές των ατόμων τους προκύπτει ότι τα στοιχεία $_8$O, $_9$F και $_{10}$Ne ανήκουν στην 2η περίοδο και στις ομάδες 16η, 17η και 18η, αντίστοιχα, ενώ το $_{11}$Na ανήκει στην 3η περίοδο και στην 1η ομάδα. Καθώς η ενέργεια ιοντισμού αυξάνεται προς τα δεξιά και προς τα πάνω στην Περιοδικό Πίνακα, το $_{11}$Na θα πρέπει να έχει μικρότερη ενέργεια ιοντισμού και από τα τρία στοιχεία της 2ης περιόδου.

5.26. α) Επιλογή i.

β) Τα τέσσερα σωματίδια είναι ισοηλεκτρονιακά με ηλεκτρονιακή δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$. Το $_{12}Mg^{2+}$ έχει το μεγαλύτερο πυρηνικό φορτίο και το μικρότερο μέγεθος και επομένως ασκεί ισχυρότερη έλξη στο προς απόσπαση ηλεκτρόνιο με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγαλύτερη ενέργεια για την απόσπασή του.

5.27. α) Επιλογή 2.

β) Το ιόντος Be^{3+} είναι υδρογονοειδές καθώς έχει ένα μόνο ηλεκτρόνιο. Αφού το ηλεκτρόνιο αυτό απαιτεί για την απόσπασή του ενέργεια E_{i4} =21006,6 kJ·mol^{-1} θα πρέπει να έχει ενέργεια ίση με $-E_{i4}$.

5.28. α) Επιλογή Γ. Το στοιχείο διαθέτει 3 ηλεκτρόνια σθένους ($3s^2\ 3p^1$) καθώς σύμφωνα με το διάγραμμα το 4ο ηλεκτρόνιο απαιτεί μεγάλη ενέργεια για την απόσπασή του σε σχέση με τα προηγούμενα. Ανήκει επομένως στη 13η (ΙΙΙΑ) ομάδα του Περιοδικού Πίνακα.

5.29. Το στοιχείο Δ, το οποίο παρουσιάζει απότομη αύξηση από την E_{i2} στην E_{i3}.

5.30. α) Ηλεκτρονιακές δομές, Li: $1s^2\ 2s^1$ (2η περίοδος, 1η ομάδα) Na: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$ (3η περίοδος, 1η ομάδα), Mg: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2$ (3η περίοδος, 2η ομάδα). Τα στοιχεία Li και Na ανήκουν στην ίδια ομάδα και το Li είναι πιο πάνω με αποτέλεσμα να έχει μικρότερη ατομική ακτίνα. Καθώς με τη μείωση της ατομικής ακτίνας η ενέργεια ιοντισμού αυξάνεται το Li θα έχει μεγαλύτερη E_{i1} από το Na.

β) i. Το Na γιατί έχει τη μικρότερη τιμή της E_{i1}.

ii. Το Mg γιατί η αποβολή των δύο ηλεκτρονίων απαιτεί τη μικρότερη ενέργεια (μικρότερο άθροισμα $E_{i1} + E_{i2}$).

γ) Στο Mg η αποβολή και του 2ου ηλεκτρονίου γίνεται από την ίδια στιβάδα (3s). Αντίθετα στο Li και στο Na η αποβολή του 2ου ηλεκτρονίου γίνεται από εσωτερική στιβάδα διασπώντας τη σταθερή δομή ευγενούς αερίου.

5.31. α) ${}_{15}P$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^3$, ${}_{20}Ca$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2$, ${}_{33}As$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^3$, ${}_{38}Sr$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6\ 5s^2$.

β) Στην ίδια περίοδο (4η) ανήκουν τα στοιχεία, ${}_{20}Ca$ και ${}_{33}As$. Σε μία περίοδο το μέγεθος του ατόμου (ή η ατομική ακτίνα) αυξάνεται προς τα αριστερά του Π.Π. καθώς έτσι μειώνεται το δραστικό πυρηνικό φορτίο. Επομένως, το άτομο του Ca έχει μεγαλύτερο μέγεθος από το άτομο του As.

γ) Στην ίδια ομάδα ανήκουν τα στοιχεία ${}_{15}P$ και ${}_{33}As$ (15η ομάδα) καθώς και τα στοιχεία ${}_{20}Ca$ και ${}_{38}Sr$ (2η ομάδα). Σε μία ομάδα του Π.Π. η ενέργεια ιοντισμού αυξάνεται όσο πάμε προς τα πάνω καθώς έτσι μειώνεται η ατομική ακτίνα και κατά συνέπεια αυξάνεται η έλξη του πυρήνα στο ηλεκτρόνιο. Επομένως: $E_i(P) > E_i(As)$ και $E_i(Ca) > E_i(Sr)$.

5.32. α) $Z = 18$, β) $Z = 17$, γ) $Z = 11$, δ) $Z = 12$.

5.33. Επιλογή iv.

Οι αντίστοιχες ενέργειες ιοντισμού περιγράφονται από τις εξισώσεις που ακολουθούν.

${}_{11}Na(g) \rightarrow {}_{11}Na^+(g) + e^-$

${}_{12}Mg^+(g) \rightarrow {}_{12}Mg^{2+}(g) + e^-$

${}_{13}Al^{2+}(g) \rightarrow {}_{13}Al^{3+}(g) + e^-$

${}_{14}Si^{3+}(g) \rightarrow {}_{14}Si^{4+}(g) + e^-$

Οι ηλεκτρονιακές δομές όλων των σωματιδίων από τα οποία αποσπάται ένα ηλεκτρόνιο είναι οι ίδιες: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$, οπότε τα σωματίδια αυτά είναι ισοηλεκτρονιακά. Το προς απόσπαση ηλεκτρόνιο δέχεται μεγαλύτερη έλξη από τον πυρήνα στην περίπτωση του ${}_{14}Si^{3+}$ λόγω μεγαλύτερου πυρηνικού φορτίου και για το λόγο αυτό έχει και το μικρότερο μέγεθος. Επομένως στην περίπτωση αυτή απαιτείται μεγαλύτερη ενέργεια για την απόσπαση του ηλεκτρονίου.

5.34. α) ${}_8O$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$, ${}_{15}P^{3-}$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$, ${}_{16}S$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^4$, ${}_{16}S^{2-}$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$.

β) Το O και το S ανήκουν στην ίδια ομάδα (16η) του Περιοδικού Πίνακα και το S είναι στην 3η περίοδο ενώ το O στην 2η περίοδο. Επομένως, το άτομο του S έχει μεγαλύτερο μέγεθος από το άτομο του O. Επίσης, το ανιόν του θείου, ${}_{16}S^{2-}$, έχει μεγαλύτερο μέγεθος από το άτομο του S καθώς έχει περισσότερα ηλεκτρόνια και επομένως μεγαλύτερες ηλεκτρονιακές απώσεις. Τέλος, το ανιόν ${}_{15}P^{3-}$ και το ${}_{16}S^{2-}$ είναι ισοηλεκτρονιακά σωματίδια με το ${}_{15}P^{3-}$ να έχει το μικρότερο πυρηνικό φορτίο και επομένως έχει το μεγαλύτερο μέγεθος. Τελικά, ισχύει: ${}_8O < {}_{16}S < {}_{16}S^{2-} < {}_{15}P^{3-}$.

5.35. α) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^1\ 4s^2$. 3η (IIIB) ομάδα, 4η περίοδος, d τομέας.

β) Το Sc^{3+} έχει δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$ που αντιστοιχεί σε δομή ευγενούς αερίου που θεωρείται εξαιρετικά σταθερή. Έτσι, η απόσπαση του τέταρτου ηλεκτρονίου διασπά δομή ευγενούς αερίου και απαιτείται μεγάλη ενέργεια.

5.36. ${}_9F$, ${}_6C$, ${}_{13}Al$, ${}_{11}Na$.

5.37. α) Επιλογή ii.

β) Εφόσον η ιοντική ακτίνα είναι μικρότερη από την ατομική πρόκειται για κατιόν και επομένως το στοιχείο έχει την τάση για αποβολή ηλεκτρονίων. Άρα, είναι ηλεκτροθετικό στοιχείο.

5.38. α) X: 1521 $kJ \cdot mol^{-1}$, 94 pm.

Y: 738 $kJ \cdot mol^{-1}$, 160 pm.

Z: 419 $kJ \cdot mol^{-1}$, 220 pm.

β) Με βάση την ηλεκτρονιακή δομή προκύπτει ότι το στοιχείο X ανήκει στην 18η ομάδα και την 3η περίοδο, το στοιχείο Y στην 2η ομάδα και την 3η περίοδο και το στοιχείο Z στην 1η ομάδα και την 4η περίοδο. Η ενέργεια 1ου ιοντισμού αυξάνεται προς τα πάνω σε μία ομάδα και προς τα δεξιά σε μία περίοδο και επομένως αυξάνεται με τη σειρά Z, Y, X. Η ατομική ακτίνα αυξάνεται αντίστροφα.

5.39. α) Η 2η περίοδος περιλαμβάνει τα στοιχεία με Z = 3-10 και η 2η περίοδος τα στοιχεία με Z = 11-18. Παρατηρούμε ότι σε μία περίοδο η περιοδική ιδιότητα (X) μειώνεται όσο πηγαίνουμε προς τα δεξιά.

β) Στην 1η ομάδα του Π.Π. ανήκουν π.χ. τα στοιχεία με $Z = 3$, $Z = 11$, $Z = 19$ (από τις ηλεκτρονιακές τους δομές). Στη 2η ομάδα του Π.Π. ανήκουν π.χ. τα στοιχεία με $Z = 4$, $Z = 12$, $Z = 20$ κτλ. Παρατηρούμε ότι σε μία ομάδα όσο πηγαίνουμε προς τα κάτω η περιοδική ιδιότητα (X) αυξάνεται.

γ) Η ατομική ακτίνα. Η ατομική ακτίνα αυξάνεται προς τα αριστερά σε μία περίοδο και προς τα κάτω σε μία ομάδα.

5.40. Ηλεκτρονιακή δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^3$ (15η ομάδα, ηλεκτραρνητικό στοιχείο). Το πιο σταθερό ιόν του είναι το P^{3-} που διαθέτει 18 ηλεκτρόνια και είναι ισοηλεκτρονιακό με το άτομο του ${}_{18}Ar$. Το ιόν P^{3-} έχει μεγαλύτερο μέγεθος καθόσον έχει μικρότερο πυρηνικό φορτίο οπότε η έλξη στα ηλεκτρόνια θα είναι μικρότερη.

5.41. α) Li: $1s^2\ 2s^1$ (2η περίοδος, 1η ομάδα), Be: $1s^2\ 2s^2$ (2η περίοδος, 2η ομάδα). Το Li και το Be ανήκουν στην ίδια περίοδο του Περιοδικού Πίνακα με το Li να είναι πιο αριστερά και επομένως έχει μικρότερη ενέργεια πρώτου ιοντισμού καθώς έχει μεγαλύτερη ατομική ακτίνα οπότε η απόσπαση του ηλεκτρονίου είναι ευχερέστερη.

β) Η απόσπαση του 2ου ηλεκτρονίου στο Li γίνεται από εσωτερική στιβάδα πολύ πιο κοντά στον πυρήνα ενώ παράλληλα διασπάται η δομή ευγενούς αερίου. Αντίθετα στο Be η απόσπαση και του δεύτερου ηλεκτρονίου γίνεται από την ίδια στιβάδα.

5.42. α) ${}_7N^{3+} \rightarrow {}_7N^{4+} + e-$ και ${}_5B^+ \rightarrow {}_5B^{2+} + e-$.

β) Επιλογή 2. Το ${}_7N^{3+}$ και το ${}_5B^+$ είναι ισοηλεκτρονιακά σωματίδια. Από αυτά το ${}_7N^{3+}$ έχει μεγαλύτερο πυρηνικό φορτίο και επομένως μικρότερη ιοντική ακτίνα με αποτέλεσμα η απομάκρυνση ενός επιπλέον ηλεκτρονίου να είναι δυσχερέστερη οπότε $Ei_4(N) > Ei_2(B)$.

5.43. α) Επιλογή iii.

β) Παρατηρείται μεγάλη διαφορά μεταξύ E_{i6} και E_{i7} και επομένως το στοιχείο ανήκει στην 16η (VIA) ομάδα. Μάλιστα, καθώς διαθέτει τουλάχιστον 9 ηλεκτρόνια θα πρέπει να ανήκει στην 3η περίοδο (το στοιχείο της 2ης περιόδου στη 16η ομάδα έχει $Z = 8$). Έτσι η δομή του θα είναι: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^4$. Από τη δομή αυτή προκύπτει ότι το 4ο ηλεκτρόνιο απομακρύνεται από την 3p υποστιβάδα ενώ το 5ο από την 3s υποστιβάδα.

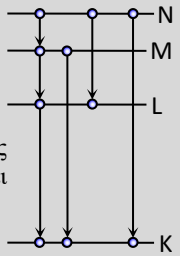
5.44. α) Το άτομο του $_2$He έχει μεγαλύτερο μέγεθος από το ιόν $_3Li^+$. Τα δύο σωματίδια είναι ισοηλεκτρονιακά (διαθέτουν δύο ηλεκτρόνια) και την ίδια ηλεκτρονιακή δομή $1s^2$. Καθώς το ιόν $_3Li^+$ έχει μεγαλύτερο πυρηνικό φορτίο έλκει ισχυρότερα τα δύο ηλεκτρόνια και το μέγεθος μικραίνει.
β) Η ενέργεια πρώτου ιοντισμού του $_2$He είναι μικρότερη από την ενέργεια δεύτερου ιοντισμού του $_3$Li. Τα δύο σωματίδια είναι ισοηλεκτρονιακά (διαθέτουν δύο ηλεκτρόνια) και την ίδια ηλεκτρονιακή δομή $1s^2$. Καθώς το ιόν $_3Li^+$ έχει μεγαλύτερο πυρηνικό φορτίο έλκει ισχυρότερα τα ηλεκτρόνια με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγαλύτερη ενέργεια για την απόσπαση του ηλεκτρονίου.
5.45. α) Άτομο του Χ: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^3$ (3 μονήρη ηλεκτρόνια σύμφωνα με τον κανόνα του Hund).
Άτομο του Ψ: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$ (η ηλεκταρνητικότητα αυξάνεται προς τα δεξιά σε μία περίοδο, εκτός από τα ευγενή αέρια).
Άτομο του Ω: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^1$ (η ατομική ακτίνα αυξάνεται προς τα αριστερά σε μία περίοδο).
β) Τα στοιχεία Χ, Ψ και Ω ανήκουν στην 15η, στην 17η και στην 1η ομάδα, αντίστοιχα. Σε μία περίοδο του Περιοδικού Πίνακα η ενέργεια ιοντισμού αυξάνεται προς τα δεξιά. Επομένως: $E_{i1}(\Omega) < E_{i1}(X) < E_{i1}(\Psi)$.
5.46. α) Α-6, Β-3, Γ-1, Δ-4, Ε-5, ΣΤ-2.
β) Το Na.
γ) Το Κ τη μεγαλύτερη και το F τη μικρότερη ατομική ακτίνα.
δ) $K^+ < Cl^-$ (ισοηλεκτρονιακά).
5.47. α) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$, η $E_o = -5{,}14$ eV.
β) i. οι E_1 - E_5, ii. $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3p^1$.
γ) i. 2,11 eV, ii. 590 nm (περίπου).
δ) i. μετάβαση στην E_2, ii. $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 4s^1$.
ε) i. 5,14 eV, ii. το Mg έχει μεγαλύτερη ενέργεια ιοντισμού.

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 5

1. Β. **2.** Γ. **3.** Δ. **4.** Α.
5. Γ. Η ατομική ακτίνα αυξάνεται προς τα αριστερά και προς τα κάτω στον Περιοδικό Πίνακα και επομένως η μεγαλύτερη ατομική ακτίνα αντιστοιχεί στη δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$ (1η ομάδα, 3η περίοδος).
6. Γ. **7.** Α. **8.** Β. **9.** Α. **10.** Δ. **11.** Α. **12.** Β. **13.** Α.
14. α) Na: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$, Mg: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2$.
β) $E_{i1}(Mg) > E_{i1}(Na)$. Σε μία περίοδο προς τα δεξιά αυξάνεται το δραστικό πυρηνικό φορτίο και μειώνεται η ατομική ακτίνα, οπότε απαιτείται μεγαλύτερη ενέργεια για την απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου.
γ) $E_{i3}(Mg) > E_{i2}(Na)$. Με την απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου από το Na προκύπτει το ιόν Na^+ με δομή ευγενούς αερίου, ενώ μετά την απομάκρυνση δύο ηλεκτρονίων από το Mg προκύπτει το ιόν Mg^{2+} που είναι ισοηλεκτρονιακό με το προηγούμενο. Το ιόν Mg^{2+} έχει μικρότερο μέγεθος σε σχέση με το Na^+, οπότε η απόσπαση ενός επιπλέον ηλεκτρονίου από το πρώτο είναι πιο δυσχερής και απαιτεί μεγαλύτερη ενέργεια.
15. α) Επιλογή ii.
β) Το άτομο του $_{10}$Ne είναι ισοηλεκτρονιακό με τα ιόντα O^{2-}, F^-, Na^+ και επομένως οι ατομικοί τους αριθμοί είναι $_8O^{2-}$, $_9F^-$, $_{11}Na^+$. Στα ισοηλεκτρονιακά σωματίδια το μέγεθος εξαρτάται από το πυρηνικό φορτίο (με τον αύξηση του Z, το μέγεθος μειώνεται). Επομένως, το μέγεθος του $_{10}$Ne είναι μικρότερο από το μέγεθος του F^- και μεγαλύτερο από το μέγεθος του Na^+.
16. α) Το Β έχει μεγάλη διαφορά στις τιμές των E_{i1} και E_{i2} και άρα διαθέτει 1 ηλεκτρόνιο σθένους (1η ομάδα).
β) Το Γ έχει μεγάλη διαφορά στις τιμές των E_{i2} και E_{i3} και άρα διαθέτει 2 ηλεκτρόνια σθένους (2η ομάδα). Στο Β η απόσπαση του 2ου ηλεκτρονίου γίνεται από εσωτερική στιβάδα, πολύ πιο κοντά στον πυρήνα και επιπλέον καταστρέφει την εξαιρετικά σταθερή δομή ευγενούς αερίου. Έτσι, απαιτείται μεγαλύτερη ενέργεια για την απόσπασή του σε σχέση με την απόσπαση του 2ου ηλεκτρονίου του Γ που γίνεται από την ίδια στιβάδα.
γ) Το Α ανήκει στην 18η ομάδα του περιοδικού πίνακα και επομένως: $r(A) < r(\Gamma) < r(B)$.
17. α) Χ: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$, Υ: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1$.
β) Χ: p τομέας, 3η περίοδος, 18η ομάδα. Υ: s τομέας, 4η περίοδος, 1η ομάδα.
γ) Επιλογή ii. Τα στοιχεία Σ_1, Σ_2 και Σ_3 ανήκουν στις 3 τελευταίες ομάδες της 3ης περιόδου και επομένως η ενέργεια ιοντισμού (E_{i1}) αυξάνεται από το Σ_1 προς το Σ_3. Το στοιχείο Σ_4 όμως ανήκει στην 4η περίοδο και στην 1η ομάδα, οπότε η E_{i1} μειώνεται.
18. α) Στο F που είναι το πιο ηλεκτραρνητικό στοιχείο και επομένως έχει τη μικρότερη τάση για αποβολή ηλεκτρονίων.
β) i. (Na, Mg): Το Na σε σχέση με το F θα πρέπει να έχει μεγαλύτερη ατομική ακτίνα καθώς είναι πιο αριστερά και πιο κάτω στον περιοδικό πίνακα (δες ζεύγος iii). Επίσης, το Br θα πρέπει να έχει μικρότερη ατομική ακτίνα από τα δύο στοιχεία μετάπτωσης καθώς είναι πιο αριστερά από αυτά και στην ίδια περίοδο του περιοδικού πίνακα. ii. (Co, Ni): Τα στοιχεία μετάπτωσης παρουσιάζουν μικρές διαφορές στις ατομικές ακτίνες, καθώς τα επιπλέον ηλεκτρόνια εισέρχονται σε εσωτερική στιβάδα (εδώ την 3d). iii. (Br, F): Δες παραπάνω.
γ) Το F και το Br έχουν παρόμοιες ιδιότητες (17η ομάδα). Επίσης, το Ni και το Co ως στοιχεία μετάπτωσης.
δ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^6$.

ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΑ (1): ΚΒΑΝΤΙΚΟΙ + Π.Π.

Θέμα Α
Α1. Δ. **Α2.** Δ. **Α3.** Β. **Α4.** Β. **Α5**. Α.
Θέμα Β
Β1. Είναι όλες σωστές εκτός από τη β.
Β2. α) Η ενέργεια του ηλεκτρονίου στο παίρνει τιμές, $E_n = (-2{,}18\cdot10^{-18})/n^2$ (J), και επομένως $n = 4$ (στιβάδα Ν). Οι υποστιβάδες της Ν που διαθέτουν τροχιακά με $m_\ell = 2$ είναι η 4d ($\ell = 2$) και η 4f ($\ell = 3$).
β) Τα φωτόνια αντιστοιχούν στις εξής μεταπτώσεις: N → M, M → L, M → K, L → K, N → L, N → K (6 διαφορετικά φωτόνια).



Β3. α) Η 3η περίοδος περιλαμβάνει μόνο s και p τομέα και επομένως διαθέτει 2 + 6 = 8 στοιχεία.
β) Αλκάλιο (1η ομάδα): $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$, αλογόνο (17η ομάδα): $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$.
γ) Z = 15: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^3$ (3 μονήρη ηλεκτρόνια).
δ) Μεγαλύτερη ατομική ακτίνα: $Z = 11$ (1η ομάδα): Η ατομική ακτίνα σε μία περίοδο αυξάνεται από δεξιά προς τα αριστερά. Μεγαλύτερη E_{i1}: $Z = 18$ (18η ομάδα): Η E_{i1} σε μία περίοδο αυξάνεται από αριστερά προς τα δεξιά (λόγω αύξησης του δραστικού πυρηνικού φορτίου).
Β4. α) Επιλογή ii.
β) Η μεγάλη διαφορά είναι μεταξύ της 3ης και της 4ης ενέργειας ιοντισμού και επομένως το άτομο διαθέτει τρία

ηλεκτρόνια στην εξωτερική στιβάδα. Επειδή είναι στοιχείο της 3ης περιόδου η ηλεκτρονιακή του δομή είναι $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^1$. Έτσι, διαθέτει ένα μονήρες ηλεκτρόνιο στην υποστιβάδα 3p.

Θέμα Γ

Γ1. Z = 14, 16, 22, 28.

Γ2. α) $n = 3$, $\ell = 1$, $m_\ell = 0$, $m_s = +1/2$.

β) i. Το X διαθέτει 4 συνολικά ηλεκτρόνια στην υποστιβάδα 3p και επομένως έχει δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^4$ ($Z = 16$). ii. Το Se έχει δομή: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^4$ και άρα $Z = 34$. iii. Το Se έχει μεγαλύτερη ατομική ακτίνα από το X.

Γ3. α) Επιλογή iii.

β) Τα στοιχεία Α, Β και Γ ανήκουν στην ίδια περίοδο καθώς σε μία περίοδο η ενέργεια ιοντισμού αυξάνεται όσο πάμε προς τα δεξιά, δηλαδή με την αύξηση του Z. Αντίθετα, η ενέργεια ιοντισμού του Δ μειώνεται και αυτό σημαίνει το Δ είναι το πρώτο στοιχείο της επόμενης περιόδου ενώ το Ε είναι το δεύτερο στοιχείο και η ενέργεια ιοντισμού αυξάνεται πάλι. Καθώς η ατομική ακτίνα αυξάνεται προς τα αριστερά και προς τα κάτω, το Δ θα έχει τη μεγαλύτερη ατομική ακτίνα.

Θέμα Δ

Δ1. α) i) Στον p τομέα, ii) το Ge, το As και το Se.

β) i) O: $2s^2$, $2p^4$, S: $3s^2$, $3p^4$, Se: $4s^2$, $4p^4$, As: $4s^2$, $4p^3$, Ge: $4s^2$, $4p^2$, ii) το As. γ) Ge, O. δ) Το O (MgO).

Δ2. α) 12, 2η (IIA) ομάδα, 3η περίοδος, s τομέας.

β) i. $X^{2+} < Y^+$ (στο πρώτο ιόν έχουμε μεγαλύτερο πυρηνικό φορτίο), ii. Y > X.

6. ΘΕΩΡΙΑ ΔΕΣΜΟΥ ΣΘΕΝΟΥΣ - ΥΒΡΙΔΙΣΜΟΣ

6.1. Α. Ο κανόνας της οκτάδας χρησιμοποιείται από τον Lewis και είναι προκβαντική θεωρία.

6.2. Γ. Η ενέργεια γίνεται ελάχιστη σε μία συγκεκριμένη απόσταση των δύο πυρήνων (μήκος δεσμού) όπου υπάρχει και η μέγιστη δυνατή επικάλυψη των τροχιακών καθώς σε μικρότερη απόσταση οι απωστικές δυνάμεις αυξάνονται απότομα.

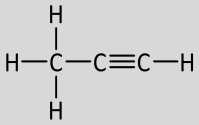
6.3. Γ. Ένας σ δεσμός σχηματίζεται με αξονική επικάλυψη των δύο τροχιακών που επικαλύπτονται.

6.4. Γ.

6.5. Α.

6.6. Γ.

6.7. Δ. Ο αναλυτικός συντακτικός τύπος της ένωσης είναι:



Καθώς οι απλοί δεσμοί είναι σ και ο τριπλός αποτελείται από έναν σ και δύο π δεσμούς, η ένωση θα διαθέτει 6 δεσμούς σ και δύο δεσμούς π.

6.8. Δ.

6.9. Β.

6.10. Δ. Το αιθίνιο, H−C≡C−H διαθέτει έναν τριπλό δεσμό που αποτελείται από ένα σ και δύο π δεσμούς.

6.11. Γ.

6.12. Γ. Στον υβριδισμό sp το άτομο C και με τα δύο άλλα άτομα που συνδέεται παρουσιάζουν γραμμική γεωμετρία. Έτσι, στο 2-βουτίνιο όπου τα δύο μεσαία άτομα C συνδέονται με τριπλό δεσμό και παρουσιάζουν sp υβριδισμό, όλα τα άτομα C θα πρέπει να είναι στην ίδια ευθεία.

6.13. Δ. Υπάρχουν (ν – 1) δεσμοί μεταξύ ατόμων C και επομένως (ν – 1) σ δεσμοί C – C.

6.14. Α.

6.15. Α.

6.16. Β. Το $_4$Be παρουσιάζει ηλεκτρονιακή δομή $1s^2\ 2s^2$ στη θεμελιώδη κατάσταση. Για το σχηματισμό της προωθημένης κατάσταση ένα ηλεκτρόνιο από τη 2s μεταβαίνει στην (κενή) υποστιβάδα 2p ώστε να σχηματιστούν δύο μονήρη ηλεκτρόνια.

6.17. Γ. Στις οργανικές ενώσεις τα άτομα C που σχηματίζουν ένα διπλό δεσμό διαθέτουν υβριδισμό sp^2 ενώ τα άτομα C που σχηματίζουν ένα τριπλό δεσμό διαθέτουν υβριδισμό sp.

6.18. i. Δ. Στο μόριο της βουτανόνης υπάρχει και ένας π δεσμός λόγω του διπλού δεσμού C = O.

ii. Α. Στο μόριο της βουτανόνης υπάρχει και ένας π δεσμός λόγω του διπλού δεσμού C = O του καρβοξυλίου.

6.19. Α. Τα άτομα C που σχηματίζουν διπλό δεσμό C = C και το άτομο C του δεσμού C = O.

6.20. Α. Με τη διάσπαση του π δεσμού του C = C όλα τα άτομα C παρουσιάζουν υβριδισμό sp^3.

6.21. Επιλογή Α. Ο C(2) παρουσιάζει υβριδισμό sp^3 ενώ ο C(1) σχηματίζει διπλό δεσμό με το ένα άτομο O και επομένως παρουσιάζει υβριδισμό sp^2. Άρα, ο σ δεσμός μεταξύ των ατόμων C(1) και C(2) σχηματίζεται με επικάλυψη sp^2 - sp^3.

6.22. Δ. Στον υβριδισμό sp^2 τα άτομα που τον παρουσιάζουν και με ότι συνδέονται ανήκουν στο ίδιο επίπεδο (επίπεδη τριγωνική γεωμετρία).

6.23. Σωστή είναι η μόνο η β.

6.24. Σωστές είναι οι προτάσεις α, γ, δ, στ και ζ.

6.25. Σωστές είναι οι προτάσεις δ, ζ, θ, ι και κ.

6.26. Σωστές είναι οι προτάσεις α, β και ε.

6.27. α) Επιλογή 3.

β) Τα δύο άτομα άνθρακα παρουσιάζουν sp^2 υβριδισμό. Κάθε άτομο άνθρακα σχηματίζει τρεις σ δεσμούς, δύο δεσμούς C − H με επικαλύψεις sp^2 - s και έναν δεσμό C − C με επικάλυψη sp^2 - sp^2 (συνολικά πέντε σ δεσμούς). Παράλληλα, σχηματίζεται και ένας π δεσμός με πλευρική επικάλυψη p - p ατομικών τροχιακών του άνθρακα.

6.28. Σωστή είναι η Γ.

6.29. Σωστές είναι μόνο οι προτάσεις Α και Ζ.

Β: Λ. Με την επικάλυψη ενός s και ενός p τροχιακού σχηματίζεται σ δεσμός στον οποίο η μέγιστη ηλεκτρονιακή πυκνότητα εμφανίζεται μεταξύ των δύο πυρήνων και όχι πάνω και κάτω από τον άξονα του δεσμού.

Γ: Λ. Με το γραμμικό συνδυασμό δύο 1s ατομικών τροχιακών προκύπτουν δύο μοριακά τροχιακά, ένα χαμηλής ενέργειας που χαρακτηρίζεται ως δεσμικό και ένα υψηλής ενέργειας που χαρακτηρίζεται ως αντιδεσμικό.

Δ: Λ. Τα υβριδικά τροχιακά έχουν σχήμα ζεύγους ομοαξονικών λοβών εκ των οποίων ο ένας έχει μεγαλύτερο μέγεθος.

Ε: Λ. Απεικονίζονται δύο από τα τέσσερα sp^3 υβριδικά τροχιακά (τετραεδρική γεωμετρία).

ΣΤ: Λ. Ο αριθμός των υβριδικών τροχιακών είναι ίσος με τον αριθμό των συνδυαζόμενων ατομικών τροχιακών, έχουν την ίδια ενέργεια, την ίδια μορφή αλλά διαφέρουν ως προς τον προσανατολισμό τους στο χώρο.

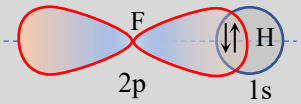
6.30. Α) πυρήνων, ελάχιστη. Β) αξονική, ατομικών.

Γ) πλευρικά, π. Δ) τροχιακά, υβριδικά, 180°.
Ε) p - p, άξονα, πυρήνες, επικάλυψη.
ΣΤ) πλευρικές, παράλληλοι, ασθενέστεροι.
Ζ) γραμμικός, ατομικών, ισότιμων.
Η) αλκανίων.

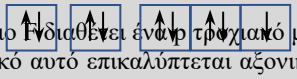
6.31. α) $_1H$: $1s^1$ (μονήρες ηλεκτρόνιο σε s τροχιακό).

$_9F$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^5$ 

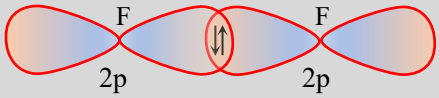
(μονήρες ηλεκτρόνιο σε p τροχιακό).
Σχηματίζεται δεσμός σ με επικάλυψη του τροχιακού 1s του υδρογόνου και του τροχιακού 2p του F με μονήρες ηλεκτρόνιο:



β) Ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων F: $1s^2\ 2s^2\ 2p^5$



Κάθε άτομο F διαθέτει ένα p τροχιακό με μονήρες ηλεκτρόνιο. Το τροχιακό αυτό επικαλύπτεται αξονικά σχηματίζοντας έναν σ δεσμό.

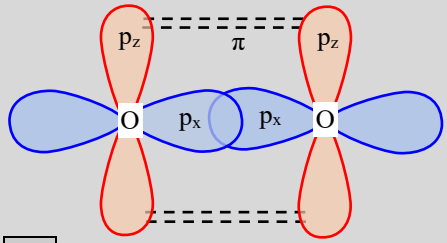


γ) Ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων O:

$_8O$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$ 

$2p_y$ $2p_z$

Κάθε άτομο O διαθέτει δύο p τροχιακά με μονήρη ηλεκτρόνια. Το ένα από αυτά επικαλύπτεται με το αντίστοιχο του άλλου ατόμου O (επικάλυψη p - p αξονικά) σχηματίζοντας ένα σ δεσμό και το άλλο επικαλύπτεται (επικάλυψη p - p πλευρικά) σχηματίζοντας έναν π δεσμό:



6.32. α) i. Οι σ δεσμοί σχηματίζονται με αξονική επικάλυψη s - s, s - p ή p - p ατομικών τροχιακών, ενώ οι π δεσμοί με πλευρική επικάλυψη p - p ατομικών τροχιακών. ii. Οι σ δεσμοί είναι ισχυρότεροι από τους π δεσμούς καθώς στην πρώτη περίπτωση γίνεται καλύτερη επικάλυψη. iii. Οι σ δεσμοί μπορούν να υπάρχουν χωρίς την ύπαρξη π δεσμών, ενώ οι π δεσμοί απαιτούν την παρουσία των σ δεσμών. iv. Στους σ δεσμούς η μεγαλύτερη ηλεκτρονιακή πυκνότητα είναι ανάμεσα στους πυρήνες που σχηματίζουν το δεσμό, ενώ στους π δεσμούς η μεγαλύτερη ηλεκτρονιακή πυκνότητα είναι πάνω και κάτω από τον άξονα του δεσμού.
β) Ομοιότητες: Και οι δύο θεωρίες, α) είναι κβαντικές θεωρίες για την εξήγηση του ομοιοπολικού δεσμού, β) χρησιμοποιούν ατομικά τροχιακά της στιβάδας σθένους των ατόμων που συνδέονται, γ) διακρίνουν τους δεσμούς σε σ και π.
Διαφορές: α) Η θεωρία δεσμού σθένους θεωρεί την επικάλυψη δύο ατομικών τροχιακών με μονήρες ηλεκτρόνιο για την εξήγηση του ομοιοπολικού δεσμού, ενώ η θεωρία των μοριακών τροχιακών δεν σχετίζεται με την επικάλυψη ατομικών τροχιακών. β) Στη θεωρία των μοριακών τροχιακών παράγονται τόσο δεσμικά μοριακά τροχιακά (μικρότερης ενέργειας) όσο και αντιδεσμικά τροχιακά (μεγαλύτερης ενέργειας) που καταλαμβάνονται από δύο το πολύ ηλεκτρόνια, ενώ στη θεωρία δεσμού σθένους, όχι.

6.33. Έχουμε 100 σ δεσμούς C−H και 49 σ δεσμούς C−C, άρα συνολικά 149 σ δεσμούς. Επίσης, έχουμε ένα π δεσμό μεταξύ δύο ατόμων C.

6.34. α) 13 σ και 3 π δεσμοί.
β) i. C(1): sp^2, C(2): sp^2, C(3): sp^3, C(4): sp, C(5): sp, C(6): sp^3, ii. sp^2 - sp^3 και sp^3 - sp, αντίστοιχα.

6.35. α) N_2H_4: 5 σ δεσμοί, N_2F_2: 3 σ δεσμοί και ένας π δεσμός, N_2: 1 σ δεσμός και 2 π δεσμοί.
β) Απλός, διπλός και τριπλός δεσμός μεταξύ των δύο ατόμων N, αντίστοιχα. Όταν δύο άτομα συνδέονται με διπλό δεσμό, η απόσταση μεταξύ τους θα είναι μικρότερη σε σχέση με την περίπτωση που συνδέονται με απλό δεσμό.

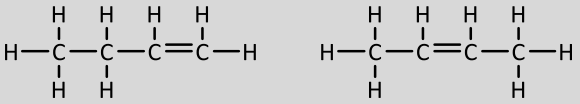
6.36. α) p - p, β) s - p, γ) sp - p, δ) sp^2 - p.

6.37. α) Επιλογή 2. β) Καθώς κάθε μόριο προσλαμβάνει 6 άτομα H για την πλήρη ανόρθωση όλων των διπλών δεσμών, η ένωση θα πρέπει να διαθέτει 3 διπλούς δεσμούς μεταξύ ατόμων C. Με την προϋπόθεση ότι δεν εμφανίζεται άτομο C που να σχηματίζει δύο διπλούς δεσμούς, σε κάθε διπλό δεσμό θα αντιστοιχούν δύο άτομα C με υβριδισμό sp^2 και επομένως έξι άτομα C συνολικά.

6.38. α) 11 σ και 1 π.
β) Κατά σειρά: sp^3, sp^2, sp^2, sp^3.
γ) i. σ δεσμός: sp^2 - sp^2, π δεσμός: p - p (πλευρικά). ii. sp^2 - p.
δ) 120°.

6.39. α) 7 σ και 3 π δεσμοί. β) sp^2, sp^2, sp, sp.
γ) H−C=C: 120°, H−C−H: 120°, C=C−H: 120°, H−C−C: 120°, C−C≡C: 180°, C≡C−H: 180°.

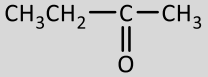
6.40. α) Επιλογή 3.
β) Τα δύο άτομα C με υβριδισμό sp^3 είναι κορεσμένα καθώς σχηματίζουν τέσσερις σ δεσμούς (τετραεδρική γεωμετρία) ενώ τα υπόλοιπα δύο με υβριδισμό sp^2 είναι ακόρεστα καθώς σχηματίζουν τρεις σ δεσμούς (με τα τρία υβριδικά τροχιακά). Εμφανίζεται επίσης ένας π δεσμός ανάμεσα σε άτομα άνθρακα που σχηματίζεται με πλευρική επικάλυψη p-p. Τα δύο δυνατά ισομερή είναι το 1-βουτένιο και το 2-βουτένιο:



6.41. α) Ο γενικός μοριακός των αλκενίων είναι C_vH_{2v}. Στην ένωση αυτή υπάρχουν (ν − 1) σ δεσμοί C − C και (2ν) σ δεσμοί C − H, συνολικά (3ν − 1) σ δεσμοί. Επομένως, θα ισχύει: 3ν − 1 = 11, ν = 4. Άρα, το αλκένιο έχει μοριακό τύπο: C_4H_8.
β) Στον παραπάνω μοριακό τύπο αντιστοιχούν τρία ισομερή αλκένια: $CH_3CH_2CH{=}CH_2$ (1-βουτένιο), $CH_3CH{=}CHCH_3$ (2-βουτένιο) και $(CH_3)_2C{=}CH_2$ (μεθυλοπροπένιο). Όλα τα άτομα C είναι στο ίδιο επίπεδο στο 2-βουτένιο και στο μεθυλοπροπένιο. Ξέρουμε ότι τα άτομα C του διπλού δεσμού παρουσιάζουν υβριδισμό sp^2 (επίπεδη τριγωνική γεωμετρία) και επομένως τα δύο αυτά άτομα C και με ότι συνδέονται θα ανήκουν υποχρεωτικά στο ίδιο επίπεδο. Στα δύο αυτά ισομερή, 2-βουτένιο και μεθυλοπροπένιο, τα άτομα C των μεθυλίων ενώνονται απ' ευθείας με τα άτομα C του δεσμού C = C.

6.42. Όσο πλησιάζουν τα δύο άτομα Η το τροχιακό του ενός αρχίζει να επικαλύπτει το τροχιακό του άλλου και οι έλξεις των πυρήνων με τα ηλεκτρόνια υπερνικούν τις απώσεις μεταξύ των ηλεκτρονίων. Έτσι, η ενέργεια του συστήματος μειώνεται. Από ένα σημείο και πέρα όμως οι πυρήνες απωθούνται ισχυρότατα και η ενέργεια του συστήματος αυξάνεται απότομα. Υπάρχει μία απόσταση μεταξύ των πυρήνων, που ονομάζεται μήκος δεσμού, στην οποία επιτυγχάνεται η ελάχιστη ενέργεια. Το μήκος δεσμού για το δεσμό H−H είναι 74 pm. Στο σχήμα φαίνεται επίσης ότι, η ενέργεια που ελευθερώνεται κατά το σχηματισμό του ομοιοπολικού δεσμού H−H είναι 436 kJ·mol^{-1}.

6.43. Η κετόνη περιέχει τους εξής σ δεσμούς:
2ν δεσμούς σ C−H, (ν−1) δεσμούς σ C−C και ένα δεσμό σ C−O, συνολικά 3ν δεσμούς σ.
Ισχύει: 3ν = 12, ν = 4.
Στο μοριακό τύπο C_4H_8O αντιστοιχεί μόνο η κετόνη:



ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 6

1. Β. **2.** Δ. **3.** Β. **4.** Γ. **5.** Γ. **6.** i. Α, ii. Δ. **7.** Β. **8.** Β. **9.** Γ. **10.** Α. **11.** Δ. **12.** Γ. **13.** Γ. **14.** Γ. **15.** Γ.
16 α) C_2H_5Cl: 7 σ και κανένας π.
β) C_2H_4: 5 σ και 1 π.
γ) C_2H_2: 3 σ και 2 π.
17. α) 7 σ και 3 π.
β) Μεταξύ των ατόμων C(1)-C(2): 1 π και C(3)-C(4): 2 π.
γ) C(1): sp^2, C(2): sp^2, C(3): sp, C(4): sp.
18. α) i. 2 π δεσμούς. ii. C_5H_8.
β) Τρία ισομερή αλκίνια.

ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΑ (2) : ΚΒΑΝΤΙΚΟΙ ΚΑΙ Π.Π. – ΘΕΩΡΙΑ ΔΕΣΜΟΥ ΣΘΕΝΟΥΣ ΚΑΙ ΥΒΡΙΔΙΣΜΟΣ

Θέμα Α
Α1. Β. **Α2.** Δ. **Α3.** Δ. **Α4.** Γ. **Α5.** Β. **Α6.** Β. **Α7.** Γ. **Α8.** Δ.
Θέμα Β
Β1. α) $n = 2 \rightarrow n = 1$: 122 nm, $n = 3 \rightarrow n = 2$: 656 nm, $n = 4 \rightarrow n = 3$: 1875 nm, $n = 5 \rightarrow n = 4$: 4051 nm.
β) Οι μεταπτώσεις $n = 2 \rightarrow n = 1$, $n = 3 \rightarrow n = 2$, $n = 4 \rightarrow n = 3$ και $n = 5 \rightarrow n = 4$ αντιστοιχούν σε όλη και μικρότερη διαφορά ενέργειας που αντιστοιχεί σε όλο και μικρότερη συχνότητα παραγόμενης ακτινοβολίας ($\Delta E = h \cdot \nu$). Καθώς ισχύει $c = \lambda \cdot \nu$ η μικρότερη συχνότητα θα αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο μήκος κύματος. Έτσι, το μικρότερο μήκος κύματος (122 nm) αντιστοιχεί στη μετάπτωση $n = 2 \rightarrow n = 1$, το αμέσως μεγαλύτερο (656 nm) στη μετάπτωση $n = 3 \rightarrow n = 2$, το αμέσως μεγαλύτερο (1875 nm) στη μετάπτωση $n = 4 \rightarrow n = 3$ και το μεγαλύτερο (4051 nm) στη μετάπτωση $n = 5 \rightarrow n = 4$.
Β2. α) Η δομή ΙΙ.
β) Η δομή Ι παραβιάζει τον κανόνα του Hund, η δομή ΙΙΙ την αρχή της ελάχιστης ενέργειας και η δομή IV την απαγορευτική αρχή του Pauli.
Β3. α) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^1$.
β) 11η (ΙΒ) ομάδα, 4η περίοδος, d τομέας.
Β4. α) $1s^2$. β) $1s^2\ 2s^2\ 2p^1$. γ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^1\ 4s^2$.
δ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^5$. ε) $1s^2\ 2s^2\ 2p^3$.
στ) $1s^2\ 2s^1$. ζ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^2$.
Θέμα Γ
Γ1. α) 10 σ και 3 π δεσμοί.
β) Μεταξύ C(1) – C(2) και μεταξύ C(4) – C(5).
γ) C(1): sp2, C(2): sp2, C(3): sp3, C(4): sp, C(5) sp.
δ) 109,5°.
Γ2. α) 6, β) 4:1.
Γ3. Για να έχει 11 ηλεκτρόνια με μαγνητικό κβαντικό αριθμό ίσο με το μηδέν ($m_\ell = 0$) θα πρέπει να έχει ηλεκτρονιακή δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1$. Ανήκει στον s τομέα, στην 1η (ΙΑ) ομάδα και στην 4η περίοδο του Περιοδικού Πίνακα.
Θέμα Δ
Δ1. α) Σε μία ομάδα του Περιοδικού Πίνακα η ατομική ακτίνα αυξάνεται προς τα κάτω και επομένως η σειρά των στοιχείων κατ' αυξανόμενο ατομικό αριθμό (Z) είναι: Γ, Α, Β, Δ.
β) Σε μία ομάδα του Περιοδικού Πίνακα η ενέργεια πρώτου ιοντισμού (E_{i1}) αυξάνεται προς τα πάνω και επομένως η σειρά των στοιχείων κατ' αυξανόμενη τιμή της ενέργειας πρώτου ιοντισμού (E_{i1}) είναι: Δ, Β, Α, Γ.
γ) Παρατηρούμε ότι η ιοντική ακτίνα καθενός στοιχείου είναι μικρότερη από την ατομική ακτίνα και επομένως πρόκειται για κατιόντα, καθώς με την αποβολή ηλεκτρονίων μειώνονται οι ηλεκτρονιακές απώσεις και το μέγεθος του σωματιδίου μειώνεται. Έτσι, τα στοιχεία ηλεκτροθετικά καθώς στα στοιχεία αυτά ευνοείται η αποβολή ηλεκτρονίων.
Δ2. $_{11}$Na: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$ (1η ομάδα, 3η περίοδος), $_{12}$Mg: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2$ (2η ομάδα, 3η περίοδος).
Οι τιμές τις αντέγραψε στον πίνακα σε λάθος θέση είναι οι τιμές 1451 και 4562 (πρέπει να γραφούν αντίστροφα). Έτσι όπως τις αντέγραψε υπάρχει μεγάλη διαφορά στο Mg ανάμεσα στις E_{i1} και E_{i2} οπότε το Mg θα έπρεπε να είχε ένα ηλεκτρόνιο στην εξωτερική στιβάδα ενώ έχει δύο.
Δ3. α) Επιλογή ii.
β) Η ηλεκτρονιακή δομή του $_{21}$Sc είναι $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^1\ 4s^2$. Με την απόσπαση των τριών πρώτων ηλεκτρονίων σχηματίζεται το κατιόν $_{21}Sc^{3+}$ με δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$. Η δομή αυτή αντιστοιχεί σε δομή ευγενούς αερίου (Ar, $Z = 18$) που θεωρείται ειδικά σταθερή.
Δ4. Ηλεκτρονιακές δομές: $_3$Li: $1s^2\ 2s^1$, $_4$Be: $1s^2\ 2s^2$, $_5$B: $1s^2\ 2s^2\ 2p^1$. Τα τρία στοιχεία ανήκουν στην 2η περίοδο του Π.Π. και στις ομάδες 1η (ΙΑ), 2η (ΙΙΑ) και 13η (ΙΙΙΑ), αντίστοιχα.
α) Γενικά, η ενέργεια πρώτου ιοντισμού αυξάνεται προς τα δεξιά στην ίδια περίοδο του Περιοδικού Πίνακα καθώς έτσι μειώνεται η ατομική ακτίνα. Πράγματι, η ενέργεια ιοντισμού του Be είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του Li. Όμως, στο Be το ηλεκτρόνιο αποσπάται από την 2s υποστιβάδα ενώ στο Β από την 2p υποστιβάδα που έχει μεγαλύτερη ενέργεια από την 2s. Έτσι, απαιτείται λιγότερη ενέργεια για την απόσπασή του. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε και από το γεγονός ότι τα 2s ηλεκτρόνια προστατεύουν το 2p ηλεκτρόνιο από την έλξη του πυρήνα και επομένως η απόσπαση του πρώτου ηλεκτρονίου από το Β είναι ευχερέστερη σε σχέση με το Be.
β) Στο Li το δεύτερο ηλεκτρόνιο αποσπάται από εσωτερική στιβάδα (την 1s) σε σχέση με το πρώτο ηλεκτρόνιο, πολύ πιο κοντά στον πυρήνα, διασπώντας μάλιστα τη σταθερή δομή ευγενούς αερίου ($1s^2$). Αντίθετα, στο Be και το δεύτερο ηλεκτρόνιο αποσπάται από την ίδια στιβάδα (2s). Επομένως, η ενέργεια δεύτερου ιοντισμού του Be είναι μικρότερη από την αντίστοιχη του Li. Στο Β το δεύτερο ηλεκτρόνιο αποσπάται από τη στιβάδα 2s που είναι εσωτερική υποστιβάδα σε σχέση με την 2p από την οποία αποσπάται το πρώτο και επομένως διαθέτει μεγαλύτερη ενέργεια δεύτερου ιοντισμού σε σχέση με το Be.

7. ΔΙΑΜΟΡΙΑΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ

7.1. Β. Οι δυνάμεις μεταξύ μορίων χαρακτηρίζονται ως διαμοριακές δυνάμεις.

7.2. Α. Σε ένα μόριο του τύπου X−Y (X ≠ Y) υπάρχει διαφορά ηλεκτραρνητικότητας και επομένως το μόριο εμφανίζει διπολική ροπή. Άρα είναι δίπολο.

7.3. Γ. Στο μόριο του H_2O οι δεσμοί O−H είναι πολικοί και σχηματίζουν γωνία με αποτέλεσμα οι επιμέρους διπολικές ροπές να μην αλληλοαναιρούνται και το μόριο είναι δίπολο.

7.4. Γ. Στο μόριο του CO_2 οι δεσμοί C=O είναι πολικοί αλλά καθώς το μόριο είναι ευθύγραμμο οι επιμέρους διπολικές ροπές αλληλοαναιρούνται και το μόριο είναι δεν εμφανίζει διπολική ροπή, δηλαδή δεν είναι δίπολο.

7.5. Γ. Το μόριο της NH_3 εμφανίζει σχήμα πυραμίδας και οι δεσμοί N−H είναι πολικοί. Έτσι, οι επιμέρους διπολικές ροπές δίνουν συνισταμένη $\mu_{ολ} \neq 0$ αλληλοαναιρούνται και το μόριο είναι είναι δίπολο.

7.6. Δ. Στο μόριο του CO_2 οι δεσμοί C=O είναι πολικοί αλλά καθώς το μόριο είναι ευθύγραμμο οι επιμέρους διπολικές ροπές αλληλοαναιρούνται και το μόριο είναι δεν εμφανίζει διπολική ροπή, δηλαδή δεν είναι δίπολο.

7.7. Α. Τα μόρια CH_4 και CF_4 έχουν σχήμα τετραέδρου και οι επιμέρους διπολικές ροπές αλληλοαναιρούνται με αποτέλεσμα η συνισταμένη ροπή να είναι $\mu_{ολ} = 0$. Άρα, τα μόρια αυτά δεν είναι δίπολα. Στα μόρια CH_3F, CH_2F_2, και CHF_3 που επίσης έχουν σχήμα τετραέδρου οι επιμέρους διπολικές ροπές δεν αλληλοαναιρούνται καθώς δεν είναι όλες ίσες μεταξύ τους. Έτσι, τα μόρια αυτά εμφανίζονται ως δίπολα.

7.8. Δ.

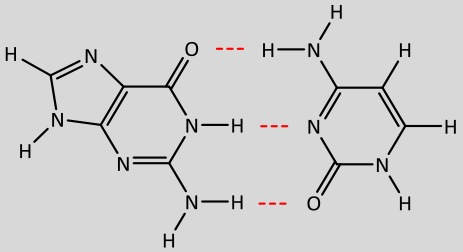
7.9. Α. Το μόριο του F_2 είναι μη πολικό και επομένως μεταξύ των μορίων εμφανίζονται δυνάμεις διασποράς ή London.

7.10. Α. Η ισχύς των δυνάμεων διασποράς αυξάνεται με την αύξηση της σχετικής μοριακής μάζας (M_r) και όσο πιο ευθύγραμμο εναι το μόριο.

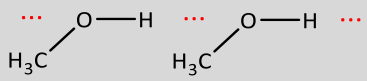
7.11. Α. Το μόριο του HCl είναι δίπολο μόριο καθώς το Cl είναι πιο ηλεκτραρνητικό από το H. Έτσι, μεταξύ των μορίων του HCl εμφανίζονται διαμοριακές δυνάμεις διπόλου - διπόλου.

7.12. Δ. Στην περίπτωση των μορίων HCl, HBr, HI που είναι δίπολα μόρια εμφανίζονται δυνάμεις διπόλου - διπόλου, ενώ στην περίπτωση του HF εμφανίζονται δεσμοί υδρογόνου.

7.13. Α. Τρείς δεσμοί υδρογόνου:



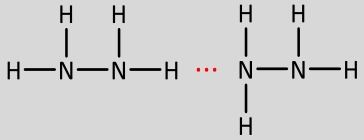
7.14. Δ. Στο μόριο της μεθανόλης εμφανίζεται δεσμός O−H και επομένως μεταξύ των μορίων της εμφανίζονται δεσμοί υδρογόνου:



7.15. Γ. Ο δεσμός υδρογόνου στην περίπτωση αυτή σχηματίζεται ως εξής: O − H ⋯ O.

7.16. Α. Ο αιθανικός αιθυλεστέρας αποτελείται από δίπολα μόρια και επομένως εμφανίζει διαμοριακά δυνάμεις διπόλου - διπόλου. Εμφανίζει επίσης δυνάμεις διασποράς οι οποίες συνυπάρχουν πάντα.

7.17. Β. Στην υδραζίνη ($H_2N−NH_2$) στην οποία εμφανίζεται ομοιοπολικός δεσμός N−H και επομένως διαμοριακά εμφανίζει δεσμό υδρογόνου:



7.18. Β. Το μόριο της ένωσης είναι δίπολο και επομένως μεταξύ των μορίων εμφανίζονται δυνάμεις διπόλου - διπόλου καθώς επίσης και δυνάμεις διασποράς οι οποίες εμφανίζονται σε κάθε περίπτωση. Παράλληλα, λόγω του −OH εμφανίζεται και δεσμός υδρογόνου.

7.19. Γ. Στο N_2 (μη δίπολο μόριο) εμφανίζονται αποκλειστικά δυνάμεις διασποράς, στο CO_2 (μη δίπολο μόριο) εμφανίζονται ισχυρότερες δυνάμεις διασποράς λόγω μεγαλύτερης μοριακής μάζας, ενώ στο HF δεσμός υδρογόνου που είναι ισχυρότερος από όλες τις διαμοριακές αλληλεπιδράσεις.

7.20. Δ. Στην NH_3 εμφανίζεται δεσμός υδρογόνου που είναι η ισχυρότερη διαμοριακή αλληλεπίδραση.

7.21. Δ. Το Br_2 είναι μη δίπολο μόριο και εμφανίζει δυνάμεις διασποράς ή London, ενώ το ICl είναι δίπολο μόριο και εμφανίζει δυνάμεις διπόλου - διπόλου που είναι ισχυρότερες με αποτέλεσμα το σημείο βρασμού να είναι μεγαλύτερο.

7.22. Β. Η 1-βουτανόλη έχει μεγαλύτερη ανθρακική αλυσίδα και επομένως είναι λιγότερο πολική ένωση με αποτέλεσμα να εμφανίζει μικρότερη διαλυτότητα στο νερό.

7.23. Γ. Στην $(CH_3)_3N$ δεν υπάρχει δεσμός N – H και άρα δεν έχει δυνατότητα σχηματισμού δεσμού υδρογόνου.

7.24. Γ. Τα μόρια F_2 και Br_2 είναι μη δίπολα και σε αυτά εμφανίζονται δυνάμεις διασποράς ή London που αυξάνονται με την αύξηση της σχετικής μοριακής μάζας (το Br_2 εμφανίζει πολύ υψηλότερη σχετική μοριακή μάζα).

7.25. Γ. Η φράση «τα όμοια διαλύουν όμοια» σημαίνει ότι, γενικά, οι πολικοί διαλύτες διαλύουν πολικές ενώσεις ενώ οι μη πολικές ενώσεις προτιμούν να διαλυθούν σε μη πολικούς διαλύτες.

7.26. Α. Το προπάνιο ($CH_3CH_2CH_3$) είναι μη πολική ένωση και δεν διαλύεται στο νερό που είναι πολικός διαλύτης.

7.27. Δ. Ο CCl_4 είναι μη πολική ουσία καθώς οι επιμέρους διπολικές ροπές που αντιστοιχούν στους δεσμούς C−Cl αλληλοαναιρούνται. Αντίθετα, ενώ το H_2O είναι πολική ένωση στην οποία οι επιμέρους διπολικές ροπές που αντιστοιχούν στους δεσμούς O−H δεν αλληλοαναιρούνται καθώς σχηματίζουν γωνία. Έτσι, δεν διαλύονται η μία στην άλλη καθώς τα «όμοια διαλύουν όμοια» και άρα σχηματίζουν δύο στιβάδες.

7.28. Δ. Το ιώδιο (I_2) αποτελείται από μη πολικά και διαλύεται καλύτερα σε μη πολικούς διαλύτες, όπως το επτάνιο, το εξάνιο και ο τετραχλωράνθρακας (τα όμοια διαλύουν όμοια). Το H_2O είναι πολικός διαλύτης και επομένως σε αυτό το ιώδιο (I_2) έχει τη μικρότερη διαλυτότητα.

7.29. Α-γ, Β-δ, Γ-ε. Δ-β, Ε-ζ, Ζ-α. Η ένωση LiCl είναι ιοντική ένωση (μέταλλο με αμέταλλο) και σε αυτή εμφανίζονται δυνάμεις ιόντος - ιόντος που είναι πολύ ισχυρές. Έτσι, η ένωση αυτή θα έχει το υψηλότερο σημείο βρασμού (1382°C). Από τις άλλες ενώσεις, το H_2O έχει σημείο βρασμού 100°C. Από τις ενώσεις που μένουν, το HF σχηματίζει διαμοριακά δεσμούς υδρογόνου που είναι οι ισχυρότερες διαμοριακές δυνάμεις και σε αυτό αντιστοιχεί το σημείο βρασμού 19°C. Τέλος, οι ενώσεις HCl, HBr, HI αποτελούνται από δίπολα μόρια και εμφανίζουν διαμοριακά δυνάμεις διπόλου - διπόλου. Παράλληλα, εμφανίζονται και δυνάμεις διασποράς οι οποίες αυξάνονται με την αύξηση της σχετικής μοριακής μάζας (M_r). Η σχετική μοριακή μάζα αυξάνεται με τη σειρά, HCl, HBr, HI και επομένως με αυτή τη σειρά αυξάνονται και τα αντίστοιχα σημεία βρασμού.

7.30. α) Λ. β) Λ. γ) Σ. δ) Σ. ε) Σ. στ) Σ. ζ) Λ.

7.31. α) Η ένωση αυτή είναι ιοντική ένωση και διαλύεται σε πολικούς διαλύτες, όπως το H_2O (τα όμοια διαλύουν όμοια).

β) Το εξάνιο είναι υδρογονάνθρακας και επομένως μη πολική ένωση, οπότε διαλύεται καλύτερα σε μη πολικούς διαλύτες, όπως ο CCl_4 (στον οποίο λόγω της γεωμετρίας του μορίου οι επιμέρους διπολικές ροπές αλληλοαναιρούνται).

γ) Η μεθανόλη είναι πολική ουσία και επομένως διαλύεται καλύτερα στο νερό που είναι πολικός διαλύτης. Παράλληλα, έχει την ικανότητα να σχηματίζει δεσμούς υδρογόνου με τα μόρια του H_2O, γεγονός που διευκολύνει το φαινόμενο της διάλυσης.

7.32. Έξι άτομα. Τα τρία άτομα Ν, το άτομο Ο και τα δύο άτομα Η.

7.33. Επιλογή iv. Στην περίπτωση αυτή, οι δύο διπολικές ροπές από τους δεσμούς C – H αλληλοαναιρούνται καθώς είναι αντίθετες. Το ίδιο και οι δύο διπολικές ροπές από τους δεσμούς C – F με αποτέλεσμα το μόριο (3) να έχει διπολική ροπή $\mu = 0$. Στις άλλες δύο περιπτώσεις οι επιμέρους διπολικές ροπές δεν αλληλοαναιρούνται και τα μόρια εμφανίζονται πολικά.

7.34. Στην CH_3CH_2OH εμφανίζονται δεσμοί υδρογόνου που είναι ισχυρότεροι από τους δεσμούς διπόλου - διπόλου.

7.35. α) Α-3, Β-2, Γ-1. β) Οι ασθενέστερες διαμοριακές δυνάμεις απαντώνται στην ένωση $CH_3CH_2CH_2CH_3$ η οποία είναι μη πολική. Επομένως εμφανίζει διαμοριακά αποκλειστικά δυνάμεις διασποράς οι οποίες είναι οι ασθενέστερες διαμοριακές δυνάμεις. Έτσι στο υγρό αυτό θα αντιστοιχεί η μικρότερη πυκνότητα. Στις άλλες δύο ενώσεις εμφανίζονται δεσμοί υδρογόνου οι οποίες είναι οι ισχυρότερες διαμοριακές δυνάμεις. Μάλιστα, καθώς η ένωση $HOCH_2CH_2CH_2CH_2OH$ έχει μεγαλύτερες δυνατότητες σχηματισμού δεσμού υδρογόνου θα εμφανίζει και τη μεγαλύτερη πυκνότητα.

γ) Καθώς το νερό είναι πολικός διαλύτης δεν μπορεί να διαλύσει το $CH_3CH_2CH_2CH_3$ που είναι μη πολική ουσία καθώς τα όμοια διαλύουν όμοια. Οι άλλες δύο ενώσεις είναι πολικές και διαλύονται στο νερό σχηματίζοντας μάλιστα με αυτό δεσμούς υδρογόνου.

7.36. Και τα δύο μόρια διαθέτουν από δύο πολικούς ομοιοπολικούς δεσμούς, αλλά λόγω της γραμμικότητας των μορίων οι δύο επιμέρους διπολικές ροπές αλληλοαναιρούνται με αποτέλεσμα και στις δύο περιπτώσεις η διπολική ροπή να είναι μηδέν. Έτσι, διαμοριακά εμφανίζονται αποκλειστικά δυνάμεις διασποράς (London) η ισχύς των οποίων αυξάνεται με την αύξηση της σχετικής μοριακής μάζας. Καθώς ο διθειάνθρακας (CS_2) έχει μεγαλύτερη M_r οι δυνάμεις διασποράς που εμφανίζει θα είναι ισχυρότερες και το σημείο βρασμού του θα είναι υψηλότερο.

7.37. α) Το δεύτερο σχήμα.

β) Οι δεσμοί B – F είναι μεταξύ διαφορετικού είδους ατόμων και επομένως είναι πολικοί δεσμοί. Εφόσον το μόριο έχει $\mu = 0$ οι διπολικές ροπές που αντιστοιχούν στους επιμέρους δεσμούς θα πρέπει να αλληλοαναιρούνται ώστε να δίνουν συνισταμένη 0 και αυτό συμβαίνει μόνο στο τριγωνικό (συμμετρικό) σχήμα.

7.38. α) HCl: διπόλου - διπόλου (το HCl είναι δίπολο). Cl_2: δυνάμεις διασποράς (London).

β) Γενικά, οι δυνάμεις διπόλου - διπόλου είναι ισχυρότερες διαμοριακές δυνάμεις σε σχέση με τις δυνάμεις διασποράς. Η μεγάλη διαφορά, όμως, στις σχετικές μοριακές μάζες (από τις οποίες εξαρτώνται οι δυνάμεις διασποράς) έχει ως αποτέλεσμα οι δυνάμεις διασποράς να έχουν μεγαλύτερη ισχύ και τελικά το Cl_2 να έχει μεγαλύτερο σημείο βρασμού από το HCl.

7.39. α) Στις ενώσεις H_2O, HF και NH_3. Για να εμφανιστεί δεσμός υδρογόνου μεταξύ των μίας ένωσης θα πρέπει στο μόριο της ένωσης να εμφανίζεται ομοιοπολικός δεσμός H – F ή H – O ή H – N.

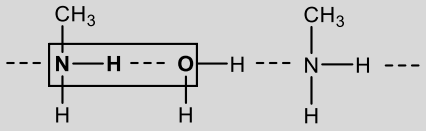
β) Όλα τα μόρια που αντιστοιχούν στη γραμμή (1) έχουν $\mu = 0$ (μη δίπολα μόρια) καθώς οι επιμέρους διπολικές ροπές αλληλοαναιρούνται και επομένως μεταξύ των μορίων τους εμφανίζονται αποκλειστικά δυνάμεις διασποράς (London). Καθώς οι σχετικές μοριακές μάζες αυξάνονται από το CH_4 προς το SnH_4 οι δυνάμεις διασποράς θα είναι πιο ισχυρές οπότε το σημείο βρασμού αυξάνεται συνεχώς.

γ) Όλα τα μόρια που αντιστοιχούν στη γραμμή (2) έχουν $\mu \neq 0$ (δίπολα μόρια) καθώς οι επιμέρους διπολικές ροπές δίνουν συνισταμένη διάφορη του 0. Επομένως μεταξύ των μορίων τους εμφανίζονται δυνάμεις διπόλου - διπόλου παράλληλα με τις δυνάμεις διασποράς. Καθώς οι σχετικές μοριακές μάζες αυξάνονται από το H_2S προς το H_2Te οι δυνάμεις διασποράς θα είναι όλο και πιο ισχυρές οπότε το σημείο βρασμού θα αυξάνεται συνεχώς. Ειδικά, όμως, στην περίπτωση του H_2O εμφανίζεται δεσμός υδρογόνου που είναι αρκετά ισχυρότερος από τις δυνάμεις διπόλου - διπόλου οπότε το σημείο βρασμού είναι το μεγαλύτερο αν και η σχετική μοριακή μάζα είναι η μικρότερη.

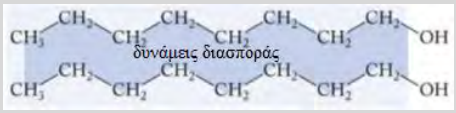
7.40. Οι δύο ενώσεις είναι ισομερείς και επομένως έχουν την ίδια σχετική μοριακή μάζα. Και στις δύο περιπτώσεις η βασική διαμοριακή δύναμη είναι ο δεσμός υδρογόνου. Παράλληλα, όπως σε όλα τα μόρια αναπτύσσονται και δυνάμεις διασποράς που είναι ισχυρότερες στην περίπτωση της 1-πεντανόλης ως ευθύγραμμο μόριο. Έτσι, παρουσιάζει καλύτερη επαφή με άλλα μόρια, σε σχέση με τη 2,2-διμεθυλο-1-προπανόλη που έχει λόγω των δύο διακλαδώσεων πιο σφαιρικό σχήμα.

7.41. α) $CH_3CH_2CH_3$ (μη πολική ένωση) < $CH_3CH_2CH_2Cl$ (πολική ένωση) < $CH_3CH_2CH_2OH$ (πολική ένωση, δυνατότητα σχηματισμού δεσμού Η με το νερό) < $HOCH_2CH_2CH_2OH$ (πολική ένωση, μεγαλύτερη δυνατότητα σχηματισμού δεσμού Η με το νερό λόγω των δύο −OH).

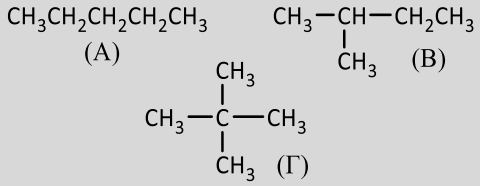
β) Η μεθυλαμίνη, CH_3NH_2 έχει δεσμό N−H και μπορεί να σχηματίσει δεσμό Η με μόρια νερού διευκολύνοντας τη διείσδυσή του ανάμεσα στα μόρια της αμίνης.



γ) Οι αλκοόλες διαθέτουν την πολική ομάδα −OH που αυξάνει τη διαλυτότητα της ένωσης στο νερό σχηματίζοντας με αυτό δεσμούς υδρογόνου. Αντίθετα, τα αλκύλια (R−) είναι μη πολικές ομάδες και η παρουσία τους μειώνουν τη διαλυτότητα της ένωσης στο νερό που είναι πολικός διαλύτης. Με την αύξηση του μεγέθους του αλκυλίου η ένωση γίνεται όλο και λιγότερο πολική και τα αλκύλια συνδέονται μεταξύ τους με όλο και ισχυρότερες δυνάμεις διασποράς. Έτσι, η διαλυτότητα στο νερό μειώνεται μέχρι που πρακτικά μηδενίζεται.



7.42. α) Τα τρία ισομερή αλκάνια έχουν τους παρακάτω συντακτικούς τύπους:



β) Τα αλκάνια είναι γενικά μη πολικές ενώσεις και μεταξύ των μορίων τους εμφανίζονται αποκλειστικά δυνάμεις διασποράς (London). Η ισχύς των δυνάμεων αυτών εξαρτάται από τη σχετική μοριακή μάζα και από το σχήμα του μορίου. Οι ενώσεις είναι ισομερείς και επομένως έχουν την ίδια σχετική μοριακή μάζα και άρα απομένει το σχήμα. Στα γραμμικά μόρια η ισχύς των δυνάμεων διασποράς είναι μεγαλύτερη και επομένως το σημείο ζέσης υψηλότερο. Με την αύξηση των διακλαδώσεων η ισχύς των διαμοριακών αυτών δυνάμεων μειώνεται και επομένως το σημείο ζέσης είναι χαμηλότερο.

7.43. α) Η CH_3OH σχηματίζει διαμοριακά δεσμούς υδρογόνου, λόγω του δεσμού O−H που διαθέτει. Αντίθετα, τα αλκάνια είναι μη πολικές ενώσεις και σχηματίζουν αποκλειστικά διαμοριακές δυνάμεις διασποράς ή London που είναι πολύ ασθενέστερες. Καθώς το σημείο βρασμού αυξάνεται με την ισχύ των διαμοριακών δυνάμεων η CH_3OH θα έχει πολύ υψηλότερο σημείο βρασμού από το μεθάνιο.

β) Με την αύξηση των ατόμων C στο μόριο αυξάνεται και η ισχύς των δυνάμεων διασποράς που εμφανίζονται τόσο στα αλκάνια ως αποκλειστικές διαμοριακές δυνάμεις όσο και στις αλκοόλες οι οποίες για το λόγο αυτό γίνονται όλο και λιγότερο πολικές με την αύξηση της μοριακής τους μάζας. Έτσι, τα σημεία βρασμού αυξάνονται.

γ) Η 1-προπανόλη είναι πολική ένωση και διαλύεται πολύ στο νερό που είναι πολικός διαλύτης. Αντίθετα, το βουτάνιο είναι μη πολική ένωση και δεν διαλύεται στο νερό.

7.44. α) Επιλογή 4.

β) Γύρω από το εφυδατωμένο αυτό ιόν είναι προσανατολισμένα τα πολικά μόρια του νερού από την πλευρά των ατόμων υδρογόνου που φέρουν κλάσμα θετικού φορτίου. Επομένως, το ιόν Α είναι αρνητικά φορτισμένο και καθώς τα μόρια του νερού είναι πολικά θα σχηματίζουν δεσμούς ιόντος - διπόλου μορίου.

7.45. Επιλογή Α. Ο διαλύτης (Χ) είναι μη πολικός καθώς δεν διαλύεται στο νερό που είναι πολικός διαλύτης. Μάλιστα, θα πρέπει να έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το νερό καθώς σχηματίζει την αποκάτω στιβάδα.

7.46. Αφού υπάρχουν 5000 μόρια θυμίνης θα υπάρχουν και 5000 μόρια αδενίνης. Ανάμεσα στη θυμίνη και την αδενίνη σχηματίζονται δύο δεσμοί υδρογόνου, άρα 2·5.000 = 10.000 δεσμοί υδρογόνου. Επομένως, οι υπόλοιποι 55.000 − 10.000 = 45.000 δεσμοί υδρογόνου σχηματίζονται ανάμεσα στη κυτοσίνη και την γουανίνη, οι οποίες ενώνονται ανά μόριο με τρεις δεσμούς υδρογόνου, οπότε 45.000 : 3 = 15.000 μόρια κυτοσίνης και 15.000 μόρια γουανίνης.

7.47. α) Τα «όμοια διαλύουν όμοια». Α: Αφού ο διαλύτης διαλύει το NaCl (ιοντική ένωση) θα πρέπει να είναι πολικός, άρα το H_2O. Β: Αφού ο διαλύτης δεν διαλύει το NaCl θα πρέπει να είναι μη πολικός, άρα ο CCl_4. Γ: Όμοια με το σωλήνα Α. Δ: Αφού ο διαλύτης δεν διαλύει το I_2 (μη πολικό μόριο) θα πρέπει να είναι πολικός, άρα το H_2O. Ε: Αφού ο διαλύτης διαλύει το I_2 (μη πολικό μόριο) θα πρέπει να είναι μη πολικός, άρα ο CCl_4.

β) Σχηματισμός δύο στιβάδων, καθώς το H_2O και ο CCl_4 δεν αναμιγνύονται. Η στιβάδα του νερού θα είναι άχρωμη και σε αυτή θα είναι διαλυμένο το NaCl (το I_2 διαλύεται ελάχιστα στο νερό), ενώ η στιβάδα του CCl_4 θα είναι έγχρωμη λόγω διάλυσης του I_2.

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 7

1. Β. **2.** Α. **3.** Β. **4.** Α. **5.** Α. **6.** Β. **7.** Δ. **8.** Α. **9.** Α. **10.** Α. **11.** Δ. **12.** Α. **13.** Α. **14.** Γ. **15.** Β. **16.** Α.

17. α) Το εξάνιο είναι υδρογονάνθρακας και επομένως μη πολική ουσία. Αντίθετα, το νερό είναι πολική ουσία λόγω των πολωμένων δεσμών O − H. Έτσι, το εξάνιο δεν διαλύεται στο νερό καθόσον «τα όμοια διαλύουν όμοια».

β) Το Br_2 αποτελείται από μη δίπολα μόρια (μη πολική ουσία) οπότε διαλύεται πολύ περισσότερο στο εξάνιο που είναι μη πολικός διαλύτης.

18. α) Επιλογή Α. Όλες οι αλκοόλες εμφανίζουν διαμοριακά δεσμούς υδρογόνου αλλά η 1-πεντανόλη είναι πιο γραμμικό μόριο και επομένως παρουσιάζει ισχυρότερες δυνάμεις διασποράς (London) και άρα υψηλότερο σ.β.

β) σ.ζ.(H_2) < σ.ζ.(CH_4) < σ.ζ.(CH_3OH). Τα μόρια H_2 και CH_4 είναι μη δίπολα μόρια και επομένως μεταξύ των μορίων αυτών εμφανίζονται αποκλειστικά δυνάμεις διασποράς (London) οι οποίες είναι ασθενείς οπότε τα αντίστοιχα σημεία βρασμού είναι χαμηλά. Μάλιστα, η ισχύς των δυνάμεων αυτών αυξάνεται με την αύξηση της σχετικής μοριακής μάζας, οπότε το CH_4 θα έχει υψηλότερο σημείο βρασμού από το H_2. Στην περίπτωση της CH_3OH εμφανίζονται διαμοριακά δεσμοί υδρογόνου που είναι ισχυρότερες διαμοριακές δυνάμεις οπότε παρουσιάζει το υψηλότερο σημείο βρασμού.

19. α) Μεταξύ των μορίων της αιθανόλης αναπτύσσονται δεσμοί υδρογόνου λόγω του δεσμού O − H ενώ μεταξύ των μορίων της αιθανάλης δυνάμεις διπόλου - διπόλου (και στις δύο περιπτώσεις εμφανίζονται και δυνάμεις διασποράς ή London). Καθώς ο δεσμός υδρογόνου έχει μεγαλύτερη ισχύ από τις δυνάμεις διπόλου - διπόλου η αιθανόλη θα παρουσιάζει υψηλότερο σημείο βρασμού.

β) Μεταξύ των μορίων αιθανάλης και νερού αναπτύσσονται δεσμοί υδρογόνου η ισχύς των οποίων είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την ισχύ των δυνάμεων διπόλου - διπόλου και διασποράς ανάμεσα στα μόρια της αιθανάλης. Έτσι, διεκολύνεται η διείσδυση των μορίων νερού ανάμεσα στα μόρια της αιθανάλης.

20. Το διάγραμμα Α. Τα οκτάνια είναι υδρογονάνθρακες και επομένως μη πολικές ενώσεις. Έτσι, διαμοριακά εμφανίζουν δυνάμεις διασποράς ή London. Η ισχύς των δυνάμεων αυτών εξαρτάται από τη σχετική μοριακή μάζα (που είναι η ίδια στις

ισομερείς ενώσεις) καθώς και από το σχήμα του μορίου. Μάλιστα, όσο πιο γραμμικό είναι το μόριο (δηλαδή με λιγότερες διακλαδώσεις) οι διαμοριακές δυνάμεις διασποράς είναι ισχυρότερες και επομένως το σημείο βρασμού είναι μεγαλύτερο. Έτσι, τα σημεία βρασμού των οκτανίων που δίνονται ακολουθούν τη σειρά: IV < III < II < I που αποδίδεται από το διάγραμμα Α.

8. ΩΣΜΩΣΗ - ΩΣΜΩΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ

8.1. Δ. Το φαινόμενο της ώσμωσης στηρίζεται στην ύπαρξη ημιπερατών μεμβρανών που επιτρέπουν τη δίοδο μορίων διαλύτη αλλά όχι και μορίων διαλυμένης ουσίας.

8.2. Β. Το διάλυμα στα δεξιά παρουσιάζει μεγαλύτερη συγκέντρωση και επομένως θα είναι το υπερτονικό διάλυμα. Καθώς ποσότητα του διαλύτη μεταφέρεται από το υποτονικό στο υπερτονικό διάλυμα η στάθμη του διαλύματος στα δεξιά θα ανέβει και του διαλύματος προς τα αριστερά θα κατέβει.

8.3. Α. Οι συνολικές συγκεντρώσεις όλων των ουσιών μέσα στο κύτταρο και έξω από αυτό είναι ίσες και επομένως όση ποσότητα νερού εισέρχεται στο κύτταρο τόσο ποσότητα θα εξέλθει από αυτό (η ωσμωτική πίεση είναι προσθετική ιδιότητα).

8.4. Β. Το διάλυμα αυτό έχει τη μικρότερη συγκέντρωση διαλυμένης ουσίας (το NaCl είναι ιοντική ουσία και έχει συνολική συγκέντρωση 0,4 Μ).

8.5. Δ. Με την αραίωση το διάλυμα αποκτά μικρότερη συγκέντρωση και άρα μικρότερη ωσμωτική πίεση, σύμφωνα με το νόμο του van't Hoff ($\Pi = c \cdot R \cdot T$). Σύμφωνα όμως με τον ίδιο νόμο η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την ωσμωτική πίεση, οπότε δεν είναι δυνατόν να εξαχθεί συμπέρασμα για την τελική ωσμωτική πίεση.

8.6. Α. Στο φαινόμενο της ώσμωσης η καθαρή μετακίνηση νερού είναι από το υποτονικό διάλυμα προς το υπερτονικό. Εφόσον ο ασκός διογκώνεται θα πρέπει να περιέχει το υπερτονικό διάλυμα.

8.7. Α. Για την ανάμιξη ισχύει: $0{,}1 \cdot V + 0{,}2 \cdot V + 0{,}3 \cdot V = c_{τελ} \cdot 3V$, $c_{τελ} = 0{,}2$ Μ. Επομένως, το τελικό διάλυμα είναι ισοτονικό με το διάλυμα Β, καθώς έχει την ίδια συγκέντρωση με αυτό.

8.8. Β. Για να συρρικνωθούν τα κύτταρα θα πρέπει ποσότητα νερού να εξέλθει από αυτά. Καθώς το νερό μετακινείται από το υποτονικό προς τα υπερτονικό διάλυμα, το εσωτερικό των φυτικών κυττάρων είναι υποτονικό σε σχέση με το διάλυμα του NaCl.

8.9. Α. Δεν είναι η επιλογή Δ καθώς το NaCl σχηματίζει ιόντα στα υδατικά του διαλύματα και επομένως η ωσμωτική πίεση αυξάνεται (διπλασιάζεται).

8.10. Β. Το τελικό διάλυμα θα περιέχει γλυκόζη 0,1 Μ και ζάχαρη 0,1 Μ. Οι δύο ουσίες είναι μοριακές και καθώς η ωσμωτική πίεση είναι προσθετική ιδιότητα η ωσμωτική πίεση του διαλύματος θα διπλασιαστεί.

8.11. Γ. Με την αραίωση του διαλύματος σε 5πλάσιο όγκο, η συγκέντρωση του διαλύματος θα υποπενταπλασιαστεί και επομένως η ωσμωτική πίεση θα υποπενταπλασιαστεί, επίσης.

8.12. Δ. Η τελική συγκέντρωση θα είναι ανάμεσα στις αρχικές συγκεντρώσεις. Το ίδιο και η ωσμωτική πίεση.

8.13. Α. $CaCl_2 \rightarrow Ca^{2+} + 2Cl^-$ και επομένως i = 3.

8.14. Γ. Από το νόμο του van't Hoff ($\Pi = c \cdot R \cdot T$) προκύπτει ότι η ωσμωτική πίεση αυξάνει με την αύξηση της απόλυτης θερμοκρασίας του διαλύματος σε περίπτωση ίδιας συγκέντρωσης. Επομένως: $\Pi_B > \Pi_A$.

8.15. Α. Εφόσον τα ερυθρά κύτταρα βυθίζονται σε υπερτονικό διάλυμα σε σχέση με το ενδοκυτταρικό υγρό μόρια του νερού εξέρχονται από τα κύτταρα προς το υπερτονικό διάλυμα και τελικά συρρικνώνονται.

8.16. α) Λ. Με την ανάμιξη δύο διαλυμάτων π.χ. της ίδιας διαλυμένης ουσίας η τελική συγκέντρωση είναι ανάμεσα στις αρχικές συγκεντρώσεις, οπότε η ωσμωτική πίεση του διαλύματος που προκύπτει δεν είναι το άθροισμα των αρχικών ωσμωτικών πιέσεων.

β) Λ. Αντίστροφα.

γ) Λ. Αυξάνεται, καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση των διαλυμένων σωματιδίων.

δ) Λ. Παρουσιάζουν και μάλιστα μεγαλύτερη ωσμωτική πίεση από διαλύματα μοριακών ουσιών της ίδια συγκέντρωσης καθώς σε αυτά είναι μεγαλύτερος ο αριθμός των διαλυμένων σωματιδίων.

ε) Σ. Στο διάλυμα NaCl 0,1 Μ εμφανίζονται με τη διάσταση Na^+ σε συγκέντρωση 0,1 Μ και Cl^- σε συγκέντρωση 0,1 Μ. Επομένως, το διάλυμα αυτό θα έχει ωσμωτική πίεση μεγαλύτερη από την ωσμωτική πίεση διαλύματος μοριακής ουσίας 0,1 Μ στην ίδια θερμοκρασία.

στ) Λ. Το φαινόμενο της ώσμωσης εμφανίζεται σε οποιοδήποτε διαλύτη.

ζ) Λ. Τα ερυθρά αιμοσφαίρια όταν βρεθούν σε υπερτονικό περιβάλλον συρρικνώνονται.

8.17. α) Επιλογή 1.

β) Από το φαινόμενο της ώσμωσης ξέρουμε ότι δια μέσω ημιπερατής μεμβράνης των κυττάρων του ματιού μεταφέρεται διαλύτης (νερό) από το υποτονικό στο υπερτονικό, άρα εν προκειμένω για να ξεπρηστεί το μάτι θα μεταφέρεται νερό από το εσωτερικό των κυττάρων προς το κολλύριο με το οποίο έρχεται σε επαφή.

8.18. Επιλογή Γ. Για να επέλθει συμπύκνωση του διαλύματος της ουσίας (Χ) θα πρέπει η ροή του νερού να είναι προς το διαμέρισμα ΙΙ και επομένως το διάλυμα της γλυκόζης θα πρέπει να είναι υπερτονικό σε σχέση με το διάλυμα της ουσίας (Χ). Επομένως, $c > 0{,}2$ Μ.

8.19. α) Επιλογή 1.

β) Η γλυκόζη ($C_6H_{12}O_6$) έχει μικρότερη σχετική μοριακή μάζα σε σχέση με τη σακχαρόζη ($C_{12}H_{22}O_{11}$), γιατί έχει λιγότερα άτομα C, H και O. Σε κάθε 100 mL διαλύματος γλυκόζης θα περιέχονται περισσότερα mol $C_6H_{12}O_6$ ($n = \pi / M_r$) και επομένως το διάλυμα αυτό θα έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση από το διάλυμα της σακχαρόζης με την ίδια περιεκτικότητα. Από το νόμο της ωσμωτικής πίεσης, $\Pi = c \cdot R \cdot T$, προκύπτει ότι το διάλυμα της γλυκόζης θα έχει μεγαλύτερη ωσμωτική πίεση.

8.20. Θεωρούμε 100 mL του διαλύματος. Από τη σχέση της ωσμωμετρίας έχουμε:

$$M_r = \frac{m \cdot RT}{\Pi \cdot V} = \frac{0{,}72 \cdot 25}{0{,}25 \cdot 0{,}1} = 720$$

Η σχετική μοριακή μάζα του φουλλερένιου (C_x) είναι $M_r = 12x$ και επομένως ισχύει: $12x = 720$, $x = 60$.

8.21. Από τη σχέση της ωσμωμετρίας έχουμε:

$$M_r = \frac{m \cdot R \cdot T}{\Pi \cdot V} = \frac{0{,}167 \cdot 0{,}082 \cdot 300}{0{,}123 \cdot 0{,}1} = 334$$

8.22. Τα ισοτονικά διαλύματα έχουν την ίδια ωσμωτική πίεση και επομένως ισχύει:
$\Pi_A = \Pi_B$, $c_A \cdot R \cdot T_A = c_B \cdot R \cdot T_B$, $c_A \cdot 300 = 0{,}05 \cdot 330$, $c_A = 0{,}055$ M.

8.23. Από τη σχέση της ωσμωμετρίας έχουμε:

$$M_r = \frac{m \cdot R \cdot T}{\Pi \cdot V} = \frac{2{,}56 \cdot 0{,}082 \cdot 300}{1{,}23 \cdot 0{,}2} = 256$$

Η σχετική μοριακή μάζα του S_x είναι $M_r = 32x$ και επομένως ισχύει: $32x = 256$, $x = 8$ (S_8).

8.24. Υπολογίζουμε τη συγκέντρωση του αρχικού διαλύματος της γλυκόζης:
Στα 100 mL διαλύματος 0,9 g γλυκόζης
Στα 1000 mL (= 1 L) x = ; 9 g
$n = m/M_r = 9/180 = 0{,}05$ mol.
Επομένως, $c_1 = 0{,}05$ M.
Για να γίνει ισοτονικό με το διάλυμα ζάχαρης 0,1 M θα πρέπει να αποκτήσει την ίδια συγκέντρωση ($c_2 = 0{,}1$ M). Επομένως: $c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2$, $0{,}05 \cdot 0{,}2 = 0{,}1 \cdot V_2$, $V_2 = 0{,}1$ L = 100 mL.
Επομένως, πρέπει να εξατμιστούν 200 = 100 = 100 mL νερού.

8.25. Υπολογίζουμε τη συγκέντρωση του πρώτου διαλύματος.
$C_6H_{12}O_6$ ($M_r = 180$): $n = m/M_r = 36/180 = 0{,}2$ mol
$c_1 = n/V = 0{,}2/0{,}5 = 0{,}4$ M
Για το διάλυμα αυτό ισχύει: $\Pi_1 = c_1 \cdot R \cdot T$ (1)
Για το δεύτερο διάλυμα ισχύει: $\Pi_2 = c_2 \cdot R \cdot T$ (2)
Με διαίρεση κατά μέλη των εξισώσεων (1) και (2):
$c_2 = (1{,}25/5) \cdot 0{,}4 = 0{,}1$ M

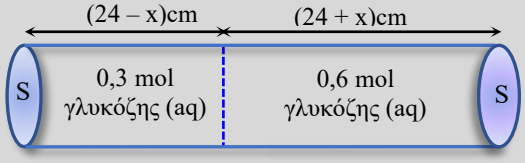
8.26. Για να είναι ισοτονικό με το αίμα θα πρέπει να έχει την ίδια ωσμωτική πίεση. Από το νόμο της ωσμωτικής πίεσης για το διάλυμα της γλυκόζης ($M_r = 180$), έχουμε:

$$\Pi \cdot V = n \cdot R \cdot T = \frac{m}{M_r} \cdot R \cdot T$$

$$m = \frac{\Pi \cdot V \cdot M_r}{R \cdot T} = \frac{8{,}2 \cdot 1{,}55 \cdot 180}{0{,}082 \cdot 310} = 90 \text{ g}$$

8.27. Υπολογίζουμε τη συγκέντρωση του διαλύματος NaCl ($M_r = 58{,}5$):
Στα 100 mL διαλύματος 0,0585 g NaCl
Στα 1000 mL (= 1 L) x = ; 0,585 g
Επομένως, $c = 0{,}01$ M.
(M) $NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$
0,01 0,01 0,01
Η συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων σωματιδίων είναι 0,02 M και καθώς η ωσμωτική πίεση είναι προσθετική ιδιότητα θα ισχύει: $\Pi = c \cdot R \cdot T = 0{,}02 \cdot 0{,}082 \cdot 300 = 0{,}492$ atm.

8.28. α) Σύμφωνα με την ώσμωση περισσότερα μόρια νερού περνούν από το υποτονικό προς το υπερτονικό διάλυμα και το φαινόμενο θα «σταματήσει», όταν εξισωθούν οι συγκεντρώσεις των δύο διαλυμάτων. Για να συμβεί αυτό, η μεμβράνη, θα κινηθεί προς τα αριστερά ώστε το διάλυμα με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να αραιωθεί και ταυτόχρονα το διάλυμα με τη μικρότερη συγκέντρωση να συμπυκνωθεί.
β) Έστω ότι η διατομή του κυλίνδρου είναι S cm^2 και ότι η μεμβράνη κινείται κατά x cm) ώστε να επέλθει εξίσωση των συγκεντρώσεων.



Στην τελική θέση (ισορροπίας) θα έχουμε: $c_1 = c_2$, οπότε:

$$\frac{0{,}3}{V_1} = \frac{0{,}6}{V_2}, \quad V_2 = 2 \cdot V_1$$

Ισχύουν: $V_2 = S \cdot (24 + x)$ mL και $V_1 = S \cdot (24 - x)$ mL
$S \cdot (24 + x) = 2 \cdot S \cdot (24 - x)$, $24 + x = 48 - 2x$, $3x = 24$, $x = 8$ cm

8.29. α) 56.000.
β) 2000 μόρια.

8.30. α) 8 atm.
β) 1,5 L.
γ) $V_1/V_2 = 2$.

8.31. Λακτόζη: $n = 0{,}342/342 = 0{,}001$ mol
Από το νόμο της ωσμωτικής πίεσης (προσθετική ιδιότητα):
$\Pi \cdot V = n_{ολ} \cdot R \cdot T$, $n_{ολ} = 0{,}5 \cdot 0{,}1/25 = 0{,}002$ mol
Επομένως, τα mol της ουσίας Χ στο διάλυμα είναι:
0,002 – 0,001 = 0,001 mol
Ουσία Χ: $0{,}001 = 0{,}378/M_r$, $M_r = 378$.

8.32. α) 4,92 atm και 14,76 atm.
β) 9,84 atm.

8.33. α) Από τη σχέση της ωσμωμετρίας:

$$M_r = \frac{m \cdot R \cdot T}{\Pi \cdot V} = \frac{0{,}256 \cdot 25}{5 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}02} = 64.000$$

β) Σε 100 g αιμοσφαιρίνης περιέχονται 0,35 g Fe
64.000 g (= 1 mol) x; = 224 g
Fe ($A_r = 56$): $n = 224/56 = 4$ mol Fe.
Επομένως, στο 1 μόριο αιμοσφαιρίνης περιέχονται 4 άτομα Fe.

8.34. α) 12,3 atm.
β) 50%.

8.35. α) Για να γίνει συμπύκνωση του διαλύματος της ουσίας (Χ) θα πρέπει να αποβληθεί νερό από το διάλυμά της, δηλαδή να μεταφερθεί στο διαμέρισμα ΙΙ. Έτσι, η μεμβράνη θα κινηθεί προς τα αριστερά.
β) Η ποσότητα της ουσίας Χ στο διαμέρισμα Ι είναι:
$n_1 = 0{,}2 \cdot 0{,}3 = 0{,}06$ mol
Η ποσότητα της γλυκόζης στο διαμέρισμα ΙΙ είναι:
$n_2 = c \cdot 0{,}3$ mol
Στο τέλος του φαινομένου, τα δύο διαλύματα θα πρέπει να γίνουν ισοτονικά. Σύμφωνα με το νόμο της ωσμωτικής πίεσης ($\Pi = c \cdot R \cdot T$) θα πρέπει να αποκτήσουν την ίδια συγκέντρωση. Έστω V_1 και V_2 οι τελικοί όγκοι στα διαμερίσματα Ι και ΙΙ, αντίστοιχα. Θα ισχύει:

$$\frac{0{,}06}{V_1} = 0{,}3, \; V_1 = 0{,}2 \text{ L}$$

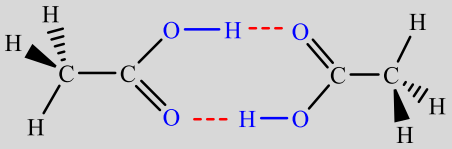
Επίσης, ισχύει: $V_1 + V_2 = 0{,}6$ L και άρα $V_2 = 0{,}4$ L. Επομένως:

$$\frac{c \cdot 0{,}3}{0{,}4} = 0{,}3, \; c = 0{,}4 \text{ M}$$

8.36. α) Επιλογή ii.
β) Το διάλυμα μηδενικής συγκέντρωσης (καθαρό νερό) είναι υποτονικό σε σχέση με το διάλυμα το εσωτερικό των κυττάρων με αποτέλεσμα να εισέρχεται νερό σε αυτά και τελικά την αύξηση της μάζας του δείγματος. Αντίθετα, το διάλυμα συγκέντρωσης 1 M είναι υπερτονικό σε σχέση με το διάλυμα το εσωτερικό των κυττάρων και η ροή του νερού να είναι αντίθετη οπότε η μάζα του δείγματος μειώνεται. Προφανώς, υπάρχει μία συγκέντρωση ζάχαρης που να αντιστοιχεί σε ισοτονικό διάλυμα σε σχέση με το εσωτερικό των κυττάρων και οι ταχύτητες εισόδου - εξόδου νερού στα κύτταρα να

εξισώνονται και η μεταβολή της μάζας να είναι 0. Η συγκέντρωση αυτή είναι 0,3 M.

8.37. α)



β) Από τον τύπο της ωσμωμετρίας, $M_r = 120 = 2 \cdot 60$ και επομένως βρίσκονται αποκλειστικά με τη μορφή διμερούς.

8.38. α) Από τη σχέση της ωσμωμετρίας έχουμε:

$$M_r = \frac{m \cdot R \cdot T}{\Pi \cdot V} = \frac{4,068 \cdot 25}{0,1 \cdot 0,25} = 4068$$

β) Έστω x γλυκοζιτικές μονάδες. Θα ισχύει:
$180x - (x - 1) \cdot 18 = 4068$, $x = 25$.

8.39. Έστω n mol η ποσότητα της γλυκόζης στο δείγμα. Από το νόμο της ωσμωτικής πίεσης:
$\Pi \cdot V = n \cdot R \cdot T$, $n = 5,3 \cdot 0,25/25 = 0,053$ mol
$C_6H_{12}O_6$ ($M_r = 180$): $m = 0,053 \cdot 180 = 9,54$ g
Η ποσότητα της υγρασίας στο δείγμα είναι:
$10 - 9,54 = 0,46$ g
Στα 10 g δείγματος 0,46 g υγρασίας
Στα 100 g $x = 4,6$ g
Επομένως, η περιεκτικότητα σε υγρασία είναι 4,6 %w/w.

8.40. α) i. Το x θα πρέπει να έχει μεγάλη τιμή ώστε το μη πολικό τμήμα της ανθρακικής αλυσίδας να είναι μεγάλο και το μόριο να εμφανίζεται τελικά μη πολικό παρά την ύπαρξη της −COOH που είναι πολικό τμήμα. Ως μη πολικό μόριο το παλμιτικό οξύ θα διαλύεται καλύτερα σε μη πολικούς διαλύτες, όπως ο CCl_4 και όχι σε πολικούς διαλύτες όπως το νερό καθώς «τα όμοια διαλύουν όμοια».
ii. Λόγω της −COOH το μόριο του αιθανικού οξέος εμφανίζεται πολικό και διαλύεται στο νερό που είναι πολικός διαλύτης. Παράλληλα σχηματίζει δεσμούς υδρογόνου με τα μόρια του H_2O διευκολύνοντας έτσι το φαινόμενο της διάλυσης.
β) Υπολογίζουμε τη σχετική μοριακή μάζα του παλμιτικού οξέος ωσμωμετρικά:
$M_r = (m \cdot R \cdot T)/(\Pi \cdot V) = (2,56 \cdot 25)/(1,25 \cdot 0,2) = 256$
Από τον τύπο, $CH_3(CH_2)_xCOOH$, ισχύει:
$M_r = 15 + x \cdot 14 + 45 = 256$, $x \cdot 14 = 196$, $x = 14$.

8.41. Αρχικά η συγκέντρωση της ζάχαρης στη λεκάνη είναι 0, αλλά στη συνέχεια προστίθεται σε αυτή όλο και μεγαλύτερη ποσότητα διαλύματος ζάχαρης από το σωλήνα που στάζει με αποτέλεσμα η συγκέντρωση του διαλύματος της λεκάνης σε ζάχαρη να αυξάνεται συνεχώς. Παράλληλα, η συγκέντρωση του διαλύματος στο σωλήνα μειώνεται καθώς εισέρχεται σε αυτόν ποσότητα νερού από τη λεκάνη. Έτσι, σταδιακά η διαφορά στις συγκεντρώσεις θα ΄γίνεται όλο και μικρότερη και σε κάποια στιγμή η διαφορά των ωσμωτικών πιέσεων των δύο διαλυμάτων θα αντισταθμιστεί από την υδροστατική πίεση στο σωλήνα και το φαινόμενο να σταματήσει.

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 8

1. Α **2.** Β **3.** Δ **4.** Α **5.** Β **6.** Γ

7. Β. Το διάλυμα φρουκτόζης είναι μοριακό διάλυμα ενώ το διάλυμα NaCl αποτελείται από ιόντα:
(M) $NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$
0,1 0,1 0,1
Καθώς η ωσμωτική πίεση είναι προσθετική ιδιότητα, το διάλυμα NaCl θα έχει μεγαλύτερη ωσμωτική πίεση σε σχέση με το διάλυμα της φρουκτόζης.

8. α) Επιλογή i.
β) Εφόσον η μεμβράνη κινείται προς τα αριστερά η ροή του νερού είναι προς τα δεξιά και επομένως το διάλυμα της ουρίας είναι το υποτονικό διάλυμα (μικρότερης συγκέντρωσης).
Για το διάλυμα της ουρίας:
Στα 100 mL διαλύματος 6 g ουρίας
Στα 1000 mL 60 g
Η συγκέντρωση του διαλύματος της ουρίας θα είναι:
$c = 60/M_r = 1$ M
Η συγκέντρωση του διαλύματος της ουσίας Χ θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη και άρα το M_r της θα πρέπει να είναι μικρότερο.

9. Α. Τη στιγμή $t = 0$ μόρια νερού μετακινούνται και προς το υπερτονικό και προς το υποτονικό διάλυμα. Βέβαια, το φαινόμενο της ώσμωσης είναι από το υποτονικό προς το υπερτονικό διάλυμα και άρα η ταχύτητα μετακίνησης προς το υπερτονικό διάλυμα (αυτό με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση) θα είναι μεγαλύτερη. Επομένως, θα ισχύει: $\upsilon_1 > \upsilon_2 \neq 0$. Με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται η ισορροπία της ώσμωσης στην οποία ισχύει: $\upsilon_1 = \upsilon_2$.

10. (M) $CaCl_2 \rightarrow Ca^{2+} + 2Cl^-$
0,25 0,25 0,5
Η ωσμωτική πίεση είναι προσθετική ιδιότητα και επομένως:
$\Pi = c_{ολ} \cdot R \cdot T = 0,75 \cdot 24 = 18$ atm

11. α) Το υπερτονικό διάλυμα θα πρέπει να είναι το διάλυμα στο διαμέρισμα Ι καθώς με τη μετακίνηση της μεμβράνης προς τα δεξιά μετακινείται νερό από το διαμέρισμα ΙΙ (υποτονικό διάλυμα) προς το διαμέρισμα Ι (υπερτονικό διάλυμα), ώστε τα δύο διαλύματα να αποκτήσουν τελικά τις ίδιες συγκεντρώσεις και να γίνουν ισοτονικά.
β) $M_r(B)/M_r(A) = 4$.

ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΑ (3): ΔΙΑΜΟΡΙΑΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ - ΩΣΜΩΣΗ

Θέμα Α **Α1.** Γ. **Α2.** Α. **Α3.** Δ. **Α4.** Β. **Α5.** Γ.

Θέμα Β

Β1. α) Το διάλυμα Γ.
β) Η ωσμωτική πίεση είναι προσθετική ιδιότητα και η τιμή της εξαρτάται από τη (συνολική) συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών καθώς και από τη θερμοκρασία. Η τιμή της δίνεται από το νόμο του van't Hoff: $\Pi = c \cdot R \cdot T$. Το διάλυμα Γ έχει τη μεγαλύτερη συνολική συγκέντρωση διαλυμένων ουσιών (0,2 + 0,2 = 0,4 M) ενώ το διάλυμα Δ έχει τη μεγαλύτερη θερμοκρασία (330 K έναντι 300 K). Το γινόμενο $c \cdot T$ είναι μεγαλύτερο στο διάλυμα Γ.

Β2. α) Επιλογή Α.
β) Σύμφωνα με το νόμο της ωσμωτικής πίεσης, ισχύει: $\Pi = c \cdot R \cdot T$, που είναι της μορφής $y = \alpha x$, όπου $\alpha = R \cdot T$ η κλίση της ευθείας. Επομένως: $24,6 = 0,082 \cdot T$, $T = 300$ K.

Β3. Η NH_3 είναι πολύ διαλυτή στο νερό καθώς σχηματίζει με δεσμούς υδρογόνου με τα μόρια του διαλύτη του τύπου O – H ⋯ N ή N – H ⋯ O. Επίσης είναι πολική ουσία και διαλύεται στο νερό που είναι πολικός διαλύτης (τα όμοια διαλύουν όμοια). Η τριχλωραμίνη είναι πολύ λιγότερο πολικό μόριο καθώς η διαφορά ηλεκτραρνητικότητας μεταξύ N και Cl είναι σχεδόν μηδέν και ο δεσμός N – Cl είναι πρακτικά μη πολικός. Έτσι δεν διαλύεται στο νερό που είναι πολικός διαλύτης.

Παράλληλα, η τριχλωραμίνη δεν έχει δυνατότητα σχηματισμού υδρογόνου με το H_2O.

Β4. α) i. Αν το διάλυμα Β έρθει σε επαφή μέσω ημιπερατής μεμβράνης με το διάλυμα Α, το διάλυμα Β θα είναι υπερτονικό σε σχέση με το Α και επομένως το διάλυμα Β θα αραιωθεί με την είσοδο ποσότητας νερού μέσω της ημιπερατής μεμβράνης οπότε η συγκέντρωσή του θα μειώνεται μέχρι να σταματήσει το φαινόμενο της ώσμωσης.

ii. Αν το διάλυμα Β έρθει σε επαφή μέσω ημιπερατής μεμβράνης με το διάλυμα Γ, το διάλυμα Β θα είναι υποτονικό σε σχέση με το Γ και επομένως ποσότητα νερού εισρέει προς το διάλυμα Γ το οποίο και αραιώνεται. Αντίθετα, το διάλυμα Β θα συμπυκνωθεί με την αφαίρεση νερού ίσου όγκου.

β) Με την ανάμιξη των διαλυμάτων Α και Γ θα έχουμε: $0{,}1 \cdot 2V + 0{,}4 \cdot V = c_{τελ} \cdot 3V$, $c_{τελ} = 0{,}2$ M. Καθώς τα διαλύματα έχουν την ίδια θερμοκρασία, το διάλυμα Δ και το διάλυμα Β θα έχουν την ίδια ωσμωτική πίεση και επομένως θα είναι ισοτονικά.

Θέμα Γ

Γ1. α) Οι συγκεντρώσεις των δύο διαλυμάτων στα δύο διαμερίσματα είναι $c_A = c_B = 0{,}1$ M και οι δύο οπότε τα δύο διαλύματα είναι ισοτονικά. Έτσι, το νερό διαπερνάει την ημιπερατή μεμβράνη προς τις δύο κατευθύνσεις με την ίδια ταχύτητα.

β) Με την προσθήκη της επιπλέον ποσότητας γλυκόζης (έστω n mol) το διάλυμα στο διαμέρισμα Β γίνεται υπερτονικό και ποσότητα νερού μετατοπίζεται από το διαμέρισμα Α προς το διαμέρισμα Β. Επομένως η μεμβράνη κινείται προς τα δεξιά μέχρις ότου τα δύο διαλύματα να γίνουν ισοτονικά (ίσες συγκεντρώσεις). Με την θεώρηση ότι οι τελικές συγκεντρώσεις είναι ίσες προκύπτει τελικά: $n = 1$ mol.

Γ2. Από την καταστατική εξίσωση των αερίων προκύπτει ότι η παγκόσμια σταθερά των (ιδανικών) αερίων έχει τιμή $R = (22{,}4/273) = 0{,}082$ L·atm/mol·K. Για το διάλυμα που δίνεται ισχύει ο νόμος της ωσμωτικής πίεσης, $Π = (n/V) \cdot R \cdot T = 1$ atm (αν αντικαταστήσουμε τις τιμές).

Γ3. α) Το αλκάνιο Α.

β) Το αλκάνιο αυτό είναι διακλαδισμένο και δεν μπορεί να έχει μεγαλύτερο σημείο βρασμού από το αλκάνιο Γ (οκτάνιο). Πράγματι, το οκτάνιο έχει ευθύγραμμη αλυσίδα και οι δυνάμεις διασποράς είναι ισχυρότερες, οπότε θα παρουσιάζει και το μεγαλύτερο σημείο βρασμού από όλα τα ισομερή αλκάνια.

Γ4. Το διάλυμα NaCl 0,1 M έχει μεγαλύτερη ωσμωτική πίεση σε σχέση με το διάλυμα $C_6H_{12}O_6$ 0,1 M καθόσον ως ιοντική ένωση διίσταται (πλήρως):

(M) $NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$

0,1 M 0,1 M 0,1 M

Έτσι θα διαθέτει μεγαλύτερη αριθμό διαλυμένων σωματιδίων και άρα μεγαλύτερη ωσμωτική πίεση που είναι προσθετική ιδιότητα. Αντίθετα η γλυκόζη σχηματίζει μοριακά διαλύματα.

Θέμα Δ

Δ1. $V_1/V_2 = 1{,}5$.

Δ2. 99% w/w.

Δ3. α) Από τη σχέση της ωσμωμετρίας, προκύπτει:

$$M_r = \frac{m \cdot R \cdot T}{Π \cdot V} = \frac{2{,}92 \cdot 0{,}082 \cdot 300}{2{,}46 \cdot 0{,}2} = 146$$

β) Η ποσότητα του Γ είναι 2,92/146 = 0,02 mol και επομένως:

(mol) $A(aq) + λB(aq) \rightarrow Γ(aq) + λH_2O$,

0,02 λ·0,02 0,02 0,02·λ

Η μάζα των αντιδρώντων είναι: $m_α = 0{,}02 \cdot 90 + λ \cdot 0{,}02 \cdot 46$.

Η μάζα των προϊόντων είναι: $m_π = 2{,}92 + λ \cdot 0{,}02 \cdot 18$.

Σε μία αντίδραση ισχύει, γενικά, ότι η μάζα των αντιδρώντων είναι ίση με τη μάζα των προϊόντων, οπότε:

$0{,}02 \cdot 90 + λ \cdot 0{,}02 \cdot 46 = 2{,}92 + λ \cdot 0{,}02 \cdot 18$,

$1{,}8 + 0{,}92 \cdot λ = 2{,}92 + 0{,}36 \cdot λ$, $0{,}56 \cdot λ = 1{,}12$, $λ = 2$.

9. ΘΕΡΜΟΧΗΜΕΙΑ

9.1. Δ.

9.2. Δ. Η ενθαλπία (H) ενός συστήματος π.χ. των αντιδρώντων ή των προϊόντων είναι μη μετρήσιμο μέγεθος, γενικά. Μόνο οι μεταβολές της ενθαλπίας ($ΔH$) μπορούν να μετρηθούν και αν η μεταβολή γίνεται υπό σταθερή πίεση αντιστοιχεί στο ποσό θερμότητας που ανταλλάσσεται με το περιβάλλον.

9.3. Δ. Δες στη θεωρία τον ορισμό της ενθαλπίας.

9.4. Δ.

9.5. **i.** Γ. Στις εξώθερμες αντιδράσεις ισχύει $ΔH < 0$ και άρα $H_{προϊόντων} < H_{αντιδρώντων}$.

ii. Β. Πράγματι οι αντιδράσεις καύσης και εξουδετέρωσης είναι εξώθερμες αντιδράσεις.

9.6. Α. Η μετατροπή είναι ενδόθερμη και απορροφά ποσό θερμότητας (από το νερό) για να πραγματοποιηθεί με αποτέλεσμα η θερμοκρασία του νερού να μειώνεται.

9.7. Γ. Πράγματι, η ενθαλπία είναι καταστατική ιδιότητα.

9.8. Γ. $ΔH > 0$. Θερμοδυναμικά σταθερότερα είναι τα σώματα με τη μικρότερη ενθαλπία.

9.9. Β. Η μετατροπή είναι ενδόθερμη και η τελική κατάσταση (O_3) έχει μεγαλύτερη ενθαλπία από την αρχική (O_2) με αποτέλεσμα το O_2 είναι σταθερότερη μορφή από το O_3.

9.10. Δ. Η αντίδραση Ι είναι αντίδραση καύσης, η αντίδραση ΙΙ είναι εξουδετέρωση, ενώ η μετατροπή $H_2O(g) \rightarrow H_2O(ℓ)$ είναι εξώθερμη καθώς η αντίστροφη απαιτεί ποσό θερμότητας για να πραγματοποιηθεί.

9.11. Α. Πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού μιας ένωσης είναι η μεταβολή της ενθαλπίας κατά το σχηματισμό 1 mol μιας ένωσης από τα συστατικά της στοιχεία, σε πρότυπη κατάσταση.

9.12. Δ. Η ενθαλπία καύσης αντιστοιχεί στο εκλυόμενο ποσό θερμότητας κατά την πλήρη καύση 1 mol μιας ουσίας (εξώθερμη αντίδραση).

9.13. Γ. Η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού της NH_3 αντιστοιχεί στο σχηματισμό 1 mol NH_3 από τα συστατικά της στοιχεία σε πρότυπη κατάσταση και επομένως ισούται με -46 kJ·mol^{-1}.

9.14. Δ. Η $ΔH^o$ μιας οποιασδήποτε αντίδρασης μπορεί να υπολογιστεί από τις πρότυπες ενθαλπίες σχηματισμού των ενώσεων που μετέχουν στην αντίδραση με βάση την εξίσωση:

$ΔH^o = \Sigma ΔH_f^o$ (προϊόντων) $- \Sigma ΔH_f^o$ (αντιδρώντων)

9.15. Γ. Σύμφωνα με το νόμο (αρχή) Lavoisier - Laplace η αντιστροφή μιας χημικής μεταττροπής έχει ως αποτέλεσμα η ενθαλπία να αλλάζει πρόσημο. Επίσης, ο υποδιπλασιασμό των συντελεστών υποδοπλασιάζει την ενθαλπία.

9.16. Β. Νόμος του Hess: Αντιστροφή της 2ης εξίσωσης και πρόσθεση.

9.17. Α. Ο $C_{γρ}$ αποτελεί την πρότυπη μορφή C και επομένως η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του είναι 0.

9.18. Γ. Νόμος του Hess: Αντιστροφή της 1ης και πρόσθεση.

9.19. Δ. Η αντίδραση δεν αντιστοιχεί στην καύση του N_2 γιατί είναι ενδόθερμη (οι αντιδράσεις καύσεις είναι εξώθερμες).

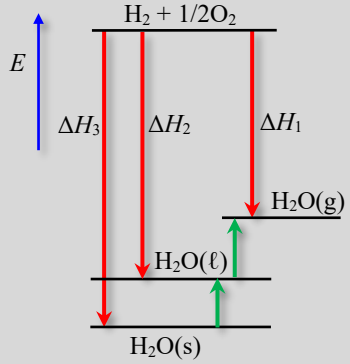
9.20. Β. Σαν την πρόσθεση διανυσμάτων.

9.21. Β. Αν το οξύ είναι ασθενές με την εξουδετέρωση επέρχεται παράλληλα και ο πλήρης ιοντισμός του που είναι ενδόθερμο φαινόμενο με αποτέλεσμα να εκλύεται μικρότερο ποσό θερμότητας. Έτσι, η ΔH που είναι αρνητική έχει μεγαλύτερη αλγεβρική τιμή.

9.22. Επιλογή Γ. Το σταθερότερο οξείδιο θα έχει τη μικρότερη ενθαλπία σχηματισμού.

9.23. α) Λ, β) Λ, γ) Λ, δ) Σ, ε) Λ, στ) Σ, ζ) Λ, η) Σ, θ) Σ, ι) Σ, κ) Λ. λ) Λ.

9.24. Το μεγαλύτερο ποσό θερμότητας εκλύεται στην (3). Οι μετατροπές $H_2O(s) \rightarrow H_2O(\ell)$ και $H_2O(\ell) \rightarrow H_2O(g)$ είναι ενδόθερμες.



9.25. Α-α, Β-β, Γ-γ, Δ-ε.

9.26. (mol) $N_2(g) + 2O_2(g) \rightarrow 2NO_2(g)$, $\Delta H = 66$ kJ

3	3	–
−1,5	−3	3
1,5	–	3

Όταν σχηματίζονται 2 mol NO_2 $\Delta H = 66$ kJ

3 $\Delta H = 99$ kJ

9.27. α) $\Delta H = -180 + 96 - 24 = -108$ kJ.

β) 84 kJ.

9.28. Επιλογή 1.

Στην περίπτωση που και οι δύο ηλεκτρολύτες είναι ισχυροί ισχύει: $\Delta H^o_n = -57$ kJ·mol^{-1} ενώ αν ένας από τους δύο ηλεκτρολύτες είναι ασθενής, τότε: $|\Delta H^o_n| < 57$ kJ/mol καθώς απαιτείται ποσό ενέργειας για τον (πλήρη) ιοντισμό του ασθενούς ηλεκτρολύτη. Έτσι, το οξύ Χ θα πρέπει να είναι ασθενές (CH_3COOH), βάση Υ θα πρέπει να είναι ασθενής (NH_3) ενώ η βάση Ζ ισχυρή (KOH).

9.29. α) $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$, $\Delta H = -2220$ kJ.

β) $2C(\gamma\rho) + 2H_2 \rightarrow C_2H_4$, $\Delta H = 52{,}4$ kJ.

γ) $HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O$, $\Delta H = -57$ kJ.

9.30. $\Delta H = -204$ kJ.

9.31. α) Επιλογή iv.

β) Από τα δεδομένα προκύπτει ότι η ενθαλπία σχηματισμού του αλκανίου είναι αρνητική ενώ η ενθαλπία σχηματισμού του αλκενίου θετική. Για την ενθαλπία της αντίδρασης, $C_2H_4(g) + H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g)$, έχουμε:

$\Delta H^o = \Delta H^o_f(C_2H_6(g)) - \Delta H^o_f(C_2H_4(g)) < 0$

9.32. $6CH_4 + 3O_2 \rightarrow 6CO + 12H_2$, $\Delta H = -216$ kJ

$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$, $\Delta H = 216$ kJ

$7CH_4 + 3O_2 + H_2O \rightarrow 7CO + 15H_2$, $\Delta H = 0$ kJ

9.33. α) −1560 kJ·mol^{-1}, −1411 kJ·mol^{-1}, −286 kJ·mol^{-1}.

β) −137 kJ.

9.34. Θερμοχημικές εξισώσεις:

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$, $\Delta H^o = -2810$ kJ

$C + O_2 \rightarrow CO_2$, $\Delta H^o = -394$ kJ

$H_2 + (1/2)O_2 \rightarrow H_2O$, $\Delta H^o = -286$ kJ

Εφαρμόζουμε τους νόμους της Θερμοχημείας.

Αντιστρέφουμε την 1η εξίσωση, πολλαπλασιάζουμε τη 2η με το 6 και την 3η εξίσωση με το 6:

$6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$, $\Delta H^o = +1300$ kJ

$6C + 6O_2 \rightarrow 6CO_2$, $\Delta H^o = -2364$ kJ

$6H_2 + 3O_2 \rightarrow 6H_2O$, $\Delta H^o = -1716$ kJ

$6C + 6H_2 + 3O_2 \rightarrow C_6H_{12}O_6$

Νόμος του Hess: $\Delta H^o = 2810 - 2364 - 1716 = -1270$ kJ.

Επομένως, η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού της γλυκόζης είναι: −1270 kJ·mol^{-1}.

9.35. α) $\Delta H_5 = 8$ kcal, β) $\Delta H_6 = 43$ kcal, γ) $\Delta H_7 = 35$ kcal.

9.36. α) Από τη δοσμένη θερμοχημική εξίσωση προκύπτει ότι η ενθαλπία του S(ρομβικό) είναι μικρότερη και επομένως αυτή η μορφή του S είναι θερμοδυναμικά σταθερότερη.

β) S(ρομβικό) + $O_2(g) \rightarrow SO_2(g)$, $\Delta H_1^o < 0$

S(μονοκλινές) + $O_2(g) \rightarrow SO_2(g)$, $\Delta H_2^o < 0$

Με αντιστροφή της 2ης θερμοχημικής εξίσωσης και άθροιση με την 1η προκύπτει:

S(ρομβικό) + $O_2(g) \rightarrow SO_2(g)$, $\Delta H_1^o < 0$

$SO_2(g) \rightarrow$ S(μονοκλινές) + $O_2(g)$, $-\Delta H_2^o > 0$

S(ρομβικό) → S(μονοκλινές), $\Delta H^o = 10$ kJ

Με βάση το νόμο του Hess:

$\Delta H_1^o - \Delta H_2^o = 10$ kJ $\Rightarrow \Delta H_1^o = \Delta H_2^o + 0{,}3$ kJ

Επομένως: $\Delta H_1^o > \Delta H_2^o$.

9.37. α) Τα αντιδρώντα είναι σε στοιχειομετρική αναλογία:

(mol) $2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g)$, $\Delta H = -200$ kJ

5 2,5 5

Όταν παράγονται 2 mol SO_3 εκλύονται 200 kJ

5 mol x; = 500 kJ

β) Το $SO_2(g)$ είναι σε περίσσεια:

(mol) $2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g)$, $\Delta H = -200$ kJ

8	3	–
−6	−3	6
2	–	6

Όταν παράγονται 2 mol SO_3 εκλύονται 200 kJ

6 mol x; = 600 kJ

γ) Το $O_2(g)$ είναι σε περίσσεια:

(mol) $2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g)$, $\Delta H = -200$ kJ

4	5	–
−4	−2	4
–	3	4

Όταν παράγονται 2 mol SO_3 εκλύονται 200 kJ

4 mol x; = 400 kJ

9.38. α) i. 28,6 kJ. ii. Μικρότερο, καθώς η μετατροπή $H_2O(\ell) \rightarrow H_2O(\ell)$ είναι ενδόθερμο φαινόμενο.

β) 57,2 kJ.

9.39. α) −222 kJ.

β) −283 kJ·mol^{-1}.

9.40. 5 kJ.

9.41. α) −900 kJ.

β) 4 g.

9.42. α) Από τις πρότυπες ενθαλπίες καύσης προκύπτουν οι θερμοχημικές εξισώσεις:

$CH_3CH_2C{\equiv}CH + (11/2)O_2 \rightarrow 4CO_2 + 3H_2O$, $\Delta H^o = -2776$ kJ

$CH_3C{\equiv}CCH_3 + (11/2)O_2 \rightarrow 4CO_2 + 4H_2O$, $\Delta H^o = -2520$ kJ

Εφαρμόζοντας τους νόμους της θερμοχημείας:

$CH_3C{\equiv}CCH_3 \rightarrow CH_3CH_2C{\equiv}CH$, $\Delta H = +2776 - 2520 = 256$ kJ
ii. Από την τελευταία θερμοχημική προκύπτει ότι το 2-βουτίνιο έχει μικρότερο ενεργειακό περιεχόμενο (μικρότερη ενθαλπία) και επομένως είναι θερμοδυναμικά σταθερότερο.
β) Αν το δείγμα είναι καθαρό 2-βουτίνιο:
$CH_3C{\equiv}CCH_3 + (11/2)O_2 \rightarrow 4CO_2 + 4H_2O$, $\Delta H^o_c(2) = -2520$ kJ
0,2 mol
Από την καύση αυτή θα πρέπει να εκλυθούν: $0{,}2 \cdot 2520 = 504$ kJ (ισχύει). Επομένως, από το δεδομένο αυτό προκύπτει ότι το δείγμα περιέχει μόνο 2-βουτίνιο.

9.43. α) 90 MJ. β) 4,5 kg.

9.44. α) Από 0,2 mol. β) 490 kJ. γ) $\Delta H_c = -1560$ kJ.

9.45. α) $\Delta H^o = -15$ kJ.
β) Εκλύονται 75 kJ.

9.46. α) $Ba(OH)_2$: $n = c \cdot V = 0{,}2 \cdot 0{,}5 = 0{,}1$ mol
HCl: $n = c \cdot 0{,}2$
(mol) $Ba(OH)_2 + 2HCl \rightarrow BaCl_2 + 2H_2O$
0,1 0,2 0,1
Ισχύει: $c \cdot 0{,}2 = 0{,}2$, $c = 1$ M.
β) $\Delta H = 2 \cdot (-57{,}1) = -114{,}2$ kJ
Όταν αντιδράσει 1 mol $Ba(OH)_2$ εκλύονται 114,2 kJ
0,1 mol x ; = 11,42 kJ

9.47. α) Έστω ότι αποτελείται αποκλειστικά από προπάνιο.
$C_3H_8(g)$: $n = 8{,}96/22{,}4 = 0{,}4$ mol
(mol) $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$, $\Delta H = -2200$ kJ
0,4 εκλύονται $2200 \cdot 0{,}4 = 880$ kJ.
Καθώς από την καύση του μίγματος εκλύονται 950 kJ το μίγμα θα περιέχει και βουτάνιο.
β) Έστω x mol $C_3H_8(g)$ και y mol $C_4H_{10}(g)$ στο αέριο μίγμα.
$x + y = 0{,}4$ (1)
(mol) $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$, $\Delta H = -2200$ kJ
x εκλύονται $Q_1 = 2200x$ kJ
(mol) $C_4H_{10} + (13/2)O_2 \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O$, $\Delta H = -2900$ kJ
y εκλύονται $Q_2 = 2900y$ kJ
Θα ισχύει: $Q_1 + Q_2 = 950$ kJ, $2200x + 2900y = 950$ (2)
Από τις εξισώσεις (1) και (2): $x = 0{,}3$ και $y = 0{,}1$ mol.
% v/v σε $C_3H_8(g) = (0{,}3/0{,}4) \cdot 100 = 75\%$

9.48. α) Έστω x mol $H_2(g)$ και y mol $Cl_2(g)$ στο μίγμα. Ισχύει: $x + y = 11{,}2/22{,}4 = 0{,}5$ (1).
(mol) $H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$, $\Delta H = -184$ kJ
x y –
−x −x 2x
– (y – x) 2x
Κατά το σχηματισμό 2x mol HCl εκλύεται ποσό θερμότητας ίσο με 184x kJ και ισχύει:
$184x = 36{,}8$, $x = 0{,}2$ mol
Επομένως: $y = 0{,}5 - 0{,}2 = 0{,}3$ mol $Cl_2(g)$.
β) Η ποσότητα του HCl που σχηματίστηκε είναι $2x = 0{,}4$ mol.
(mol) $HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O$
0,4 0,4 0,4
Όταν αντιδρούν 0,4 mol HCl εκλύονται 22,4 kJ
1 $q = 56$ kJ
Άρα, η ενθαλπία εξουδετέρωσης είναι $\Delta H_n = -56$ kJ·mol^{-1}.

9.49. α) −1079 kJ.
β) Έστω x mol N_2H_4 ($M_r = 32$) και x mol N_2O_4 ($M_r = 92$).
$32x + 92x = 12{,}4$, $x = 0{,}1$ mol.
Το N_2O_4 είναι σε περίσσεια και άρα αντιδρά όλη η ποσότητα της N_2H_4. Όταν αντιδράσουν 2 mol N_2H_4 εκλύονται 1079 kJ και επομένως τα 0,1 mol N_2H_4 θα ελευθερώσουν 53,95 kJ.
γ) 53,5 kJ.

9.50. Εξίσωση καύσης του $C_\nu H_{2\nu+2}$:
$C_\nu H_{2\nu+2} + (3\nu+1)/2O_2 \rightarrow \nu CO_2 + (\nu+1)H_2O$
Ισχύει: $\Delta H^o = \Sigma\Delta H_f$(προϊόντων) $- \Sigma\Delta H_f$(αντιδρώντων),
$-3510 = \nu \cdot (-395) + (\nu + 1) \cdot (-285) - (-175)$, $\nu = 5$ (C_5H_{12}).

9.51. α) $CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(\ell)$, $\Delta H = -890$ kJ
$CO_2(g) \rightarrow CO(g) + (1/2)O_2(g)$ $\Delta H = 280$ kJ
Επομένως, $CH_4(g) + (3/2)O_2(g) \rightarrow CO(g) + 2H_2O(\ell)$
$\Delta H = -890 + 280 = -610$ kJ.
Νόμος (αρχή) Lavoisier - Laplace, νόμος του Hess.
β) (mol) $CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(\ell)$, $\Delta H = -890$ kJ
0,2 0,2
(mol) $CH_4(g) + (3.2)O_2(g) \rightarrow CO(g) + 2H_2O(\ell)$, $\Delta H = -610$ kJ
0,01 0,01
i. Το $CH_4(g)$ που κάηκε είναι: $0{,}2 + 0{,}01 = 0{,}21$ mol.
ii. Από την 1η αντίδραση ελευθερώθηκαν $0{,}2 \cdot 890 = 178$ kJ ενώ από τη 2η $0{,}01 \cdot 610 = 6{,}1$ kJ. Συνολικά 184,1 kJ.

9.52. α) Παρατηρούμε ότι παράγεται συνεχώς θερμότητα μέχρι την προσθήκη 0,2 mol B(s) ενώ στη συνέχεια δεν παράγεται επιπλέον ποσό θερμότητας. Άρα τα 0,2 mol B(s) αντιστοιχούν στη στοιχειομετρικά απαιτούμενη ποσότητα για την αντίδραση με τα 0,4 mol του A που υπάρχουν στο διάλυμα. Άρα, $\lambda = 2$.
β) $\Delta H = -125$ kJ.

9.53. Στο μεγάλο αντιδραστήρα εκλύεται θερμότητα με ρυθμό $150 \cdot 0{,}05/3 = 2{,}5$ kJ·min^{-1}. Στο μικρό αντιδραστήρα απορροφάται θερμότητα με ρυθμό $0{,}8 \cdot 2{,}5 = 2$ kJ·min^{-1}. Άρα, το Z πρέπει να παράγεται με ρυθμό $2 \cdot 2/250 = 0{,}016$ mol·min^{-1}.

9.54. α) Θα μειωθεί.
Η διάλυση του KBr(s) είναι ενδόθερμο φαινόμενο και επομένως απορροφάται θερμότητα από το περιβάλλον (νερό) οπότε η θερμοκρασία του διαλύματος μειώνεται. Έστω x mol η ποσότητα του LiBr(s) και y mol του KBr(s). Από τη διάλυση του LiBr(s) εκλύονται 50x kJ ενώ από τη διάλυση του KBr(s) απορροφάται ποσό θερμότητας ίσο με 20y kJ. Για να μην υπάρχει θερμική μεταβολή θα πρέπει να ισχύει: $50x = 20y$ και επομένως $y = 2{,}5x$ (1).
Η μάζα του LiBr(s) είναι $m_1 = 87x$ και η μάζα του KBr(s) είναι $m_2 = 119y$ και επομένως:

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{y}{x} \cdot \frac{119}{87} = 2{,}5 \cdot \frac{119}{87} = \frac{297{,}5}{87}$$

9.55. Όταν αντιδρά 1 mol A εκλύονται 180 kJ
x ; = 0,1 18 kJ
(mol) A(g) + λB(g) → 2Γ(g), $\Delta H^o = -180$ kJ
0,2 0,2
−0,1 −0,1·λ 0,2
Το B(g) είναι το περιοριστικό αντιδρών και αντιδρά όλη η ποσότητά του. Επομένως: $0{,}1 \cdot \lambda = 0{,}2$, $\lambda = 2$

9.56. α) $\Delta H^o = \Sigma\Delta H_f$(προϊόντων) $- \Sigma\Delta H_f$(αντιδρώντων),
$\Delta H^o = -1675 - (-1130) = -545$ kJ
β) Cr_2O_3 ($M_r = 152$): $n = 45{,}6/152 = 0{,}3$ mol.
Al ($A_r = 27$): $n = 10{,}8/27 = 0{,}4$ mol.
(mol) $2Al + Cr_2O_3 \rightarrow 2Cr + Al_2O_3$, $\Delta H = -545$ kJ
0,4 0,3 – –
−0,4 −0,2 0,4 0,2
– 0,1 0,4 0,2
Όταν παράγεται 1 mol Al_2O_3 παράγονται 545 kJ
0,2 mol x = 109 kJ

9.57. α) Όταν σχηματίζονται 2 mol $NH_3(g)$ εκλύονται 92 kJ
x = ; 0,2 mol 9,2 kJ

Επομένως, η μάζα της NH_3 (M_r = 17) που σχηματίστηκε θα είναι: $m = 0{,}2 \cdot 17 = 3{,}4$ g.

β) Έστω x mol η ποσότητα του $N_2(g)$ και y mol του $H_2(g)$. Η συνολική ποσότητα σε mol του αερίου μίγματος θα είναι n = 11,2/22,4 = 0,5 mol και επομένως ισχύει: x + y = 0,5 (1).

(mol)	$N_2(g)$	+ $3H_2(g)$	→ $2NH_3(g)$
Αρχικά ($t = 0$)	x	y	—
Μεταβολές	–0,1	–0,3	0,2

1η περίπτωση: Έστω ότι αντιδρά όλη ποσότητα του $N_2(g)$. Θα ισχύει: x – 0,1 = 0, x = 0,1 mol, οπότε από την (1) προκύπτει y = 0,4 mol. Στην περίπτωση αυτή θα έχουμε περίσσεια $H_2(g)$ καθώς μετά το τέλος της αντίδρασης θα έχουν περισσέψει 0,4 − 0,3 = 0,1 mol $H_2(g)$.

2η περίπτωση: Έστω ότι αντιδρά όλη ποσότητα του $H_2(g)$. Θα ισχύει: y − 0,3 = 0, y = 0,3 mol, οπότε από την (1) προκύπτει x = 0,2 mol. Στο τέλος περισσεύουν 0,2 − 0,1 = 0,1 mol $N_2(g)$.

9.58. Οι ποσότητες του $H_2(g)$, του $Cl_2(g)$ και του $I_2(s)$ έχουν αντιδράσει πλήρως.

(mol) $H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g)$, $\Delta H = -180$ kJ

x	y	−
−y	−y	2y
x – y	−	2y

(mol) $H_2(g) + I_2(g) \rightarrow 2HI(g)$, $\Delta H = 50$ kJ

x − y	ω	−
−ω	−ω	2ω
x – y − ω	−	2ω

Ισχύει: x – y – ω = 0, x = y + ω (1)

Από την 1η αντίδραση εκλύονται 180y kJ ενώ από τη 2η αντίδραση απορροφώνται 50ω kJ και επομένως ισχύει:

180y = 50ω, 18y = 5ω (2).

α) Από την εξίσωση (2): y/ω = 5/18.

n_{HCl}/n_{HI} = 2y/2ω = y/ω = 5/18.

β) Από την εξίσωση (1): ω = x – y, οπότε από την εξίσωση (2): 18y = 5·(x – y). Τελικά: x/y = 23/5.

9.59. α) Ασθενή. Η ενθαλπία εξουδετέρωσης είναι λιγότερο αρνητική από την τιμή −57 kJ καθώς απαιτείται κάποια ενέργεια για τον ιοντισμό τους.

β) Έστω x mol η ποσότητα του οξέος ΗΑ στο μίγμα και y mol η ποσότητα του ΗΒ.

(mol) $HA(aq) + NaOH(aq) \rightarrow NaA(aq) + H_2O(\ell)$

x x

(mol) $HB(aq) + NaOH(aq) \rightarrow NaB(aq) + H_2O(\ell)$

y y

NaOH: $n = c \cdot V = 0{,}25 \cdot 0{,}2 = 0{,}05$ mol

Ισχύει: x + y = 0,05 (1)

Από την πρώτη εξουδετέρωση εκλύεται ποσό θερμότητας 15x kJ ενώ από τη δεύτερη 20y kJ και ισχύει:

15x + 20y = 0,8 (2)

Από τις εξισώσεις (1) και (2): x = 0,04 mol και y = 0,01 mol.

9.60. α) H_2: $n = V/22{,}4 = 8{,}96/22{,}4 = 0{,}4$ mol.

(mol) $C_\nu H_{2\nu-2} + 2H_2 \rightarrow C_\nu H_{2\nu+2}$

0,2 0,4 0,2

$C_\nu H_{2\nu-2}$ ($M_r = 14\nu - 2$): $n = m/M_r$, $M_r = 8/0{,}2 = 40$.

14ν – 2 = 40, ν = 3: $CH_3C{\equiv}CH$ (προπίνιο).

β) Τα 0,2 mol του αλκινίου παράγουν 387 kJ

1 mol x = 1935 kJ

Επομένως, η πρότυπη ενθαλπία καύσης του αλκινίου είναι −1935 kJ·mol^{-1}.

γ) $C_3H_4 + 4O_2 \rightarrow 3CO_2 + 2H_2O$, $\Delta H = -1935$ kJ

$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$, $\Delta H = -286$ kJ

$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$, $\Delta H = -394$ kJ

Έστω x (σε kJ·mol^{-1}) η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του C_3H_4. Ισχύει: −1935 = 3·(−394) +2·(−286) – x, x = +181.

Επομένως, η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του $CH_3C{\equiv}CH$ είναι 181 kJ·mol^{-1}.

9.61. α) Για την αντίδραση (1):

$\Delta H_1 = \Delta H_f(\pi\rho.) - \Delta H_f(\alpha\nu\tau.) = 52 - 228 = -176$ kJ

Για την αντίδραση (2):

$\Delta H_2 = \Delta H_f(\pi\rho.) - \Delta H_f(\alpha\nu\tau.) = -84 - 228 = -312$ kJ

β) Έστω x mol C_2H_4 και y mol C_2H_6.

(mol) $C_2H_2(g) + H_2(g) \rightarrow C_2H_4(g)$, $\Delta H = -176$ kJ (1)

x x

(mol) $C_2H_2(g) + 2H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g)$, $\Delta H = -312$ kJ (2)

y y

Ισχύει x + y = 1 (1).

Από την 1η αντίδραση εκλύονται 176x kJ ενώ από τη 2η εκλύονται 312y kJ.

Ισχύει: 176x + 312y = 244 και επομένως:

176·(1 − y) + 312y = 244, 176 − 176y + 312y = 244, 136y = 68, y = 0,5 mol.

Από την εξίσωση (1): x = 0,5 mol.

9.62. Έστω x mol CH_4, y mol C_2H_4 και ω mol O_2.

Θα ισχύει: x + y + ω = 13 (1).

(mol) $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$

x 2x

Αφού τα 0,1 mol CH_4 αποδίδουν με την καύση 90 kJ

x Q_1

$Q_1 = 900x$

(mol) $C_2H_4 + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O$

y 3y

$M_r(C_2H_4) = 28$, $m(C_2H_4) = 28y$

Αφού το 1 g C_2H_4 αποδίδει με την καύση 50 kJ

28y Q_2

$Q_2 = 1400y$

Ισχύει: $Q_1 + Q_2 = 900x + 1400y = 3200$ (2)

Επίσης για το O_2 ισχύει: 2x + 3y = ω – 3 (3)

Από τη λύση του συστήματος των εξισώσεων (1), (2) και (3) προκύπτουν: x = 2, y = 1, ω = 10. Επομένως στο αρχικό μίγμα περιέχονται 2 mol CH_4, 1 mol C_2H_4 και 10 mol O_2.

9.63. α) i. Ρυθμός παραγωγής του CO_2: 0,968 kg·min^{-1} = 968 g·min^{-1} = 968/44 = 22 mol·min^{-1}. Ο ρυθμός παραγωγής του CaO(s) σε mol·min^{-1} αντιστοιχεί και στο ρυθμό παραγωγής του $CO_2(g)$:

Ρυθμός παραγωγής ασβέστη, CaO(s) = 22 mol·min^{-1} = 22·56 = 1232 g·min^{-1} = 1,232 kg·min^{-1}.

ii. Στο διάστημα των 2 min σχηματίζονται 44 mol $CO_2(g)$ και επομένως το ποσό θερμότητας που απορροφάται στο διάστημα αυτό θα είναι: 44·180 = 7920 kJ.

β) i. Έστω n (mol) η ποσότητα του $CH_4(g)$ που πρέπει να καεί. Η ποσότητα αυτή αποδίδει ποσό θερμότητας n·900 kJ από τα οποία απορροφώνται τα 0,8·n·900 kJ. Θα πρέπει να ισχύει: 0,8·n·900 = 7920. Από την τελευταία εξίσωση προκύπτει: n = 11 mol $CH_4(g)$.

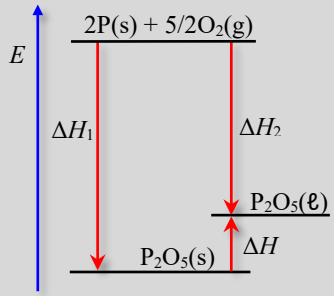
ii. Η ποσότητα $CO_2(g)$ από την όλη δραστηριότητα για το χρονικό διάστημα Δt είναι 11 mol από την καύση του $CH_4(g)$ και 44 mol κατά το σχηματισμό του CaO(s), συνολικά 55 mol. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί σε 55·44 = 2420 g ή 2,42 kg.

9.64. α) $2H_2O(g) \rightarrow 2H_2(g) + O_2$, $\Delta H = 484$ kJ.

β) Οι ενθαλπίες διαφέρουν γιατί διαφέρει η φυσική κατάσταση του H_2O. Μάλιστα, καθώς απαιτείται ενέργεια για την μετατροπή $H_2O(\ell) \rightarrow H_2O(g)$ η αντίδραση, $2H_2O(g) \rightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$ θα είναι λιγότερο ενδόθερμη και επομένως θα έχει μικρότερη ενθαλπία (νόμος του Hess).

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 9

1. Β. **2.** Γ. Η μετατροπή Γ αντιστοιχεί στον ιοντισμό ενός ατόμου Mg που είναι ενδόθερμη διαδικασία.
3. Α. **4.** Γ. **5.** Γ.
6. Θα ισχύει: $|\Delta H_1| > |\Delta H_2|$. Αυτό συμβαίνει διότι η μετατροπή $P_2O_5(s) \rightarrow P_2O_5(\ell)$, $\Delta H > 0$ είναι ενδόθερμη καθώς απαιτείται θερμότητα για την μετατροπή του στερεού στο υγρό. Έτσι, η μετατροπή, $2P(s) + (5/2)O_2(g) \rightarrow P_2O_5(\ell)$, είναι λιγότερο εξώθερμη. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά στο θερμοχημικό κύκλο που ακολουθεί.



7. α) Αρνητικοί. Οι αντιδράσεις είναι αντιδράσεις καύσεις και επομένως εξώθερμες ($\Delta H < 0$). β) Α-4, Β-2, Γ-1, Δ-3.
8. Εξίσωση καύσης του C_vH_{2v}:
$C_vH_{2v+2} + (3v)/2O_2 \rightarrow vCO_2 + vH_2O$
Ισχύει: $\Delta H - \Sigma\Delta H_f$(προϊόντων) $- \Sigma\Delta H_f$(αντιδρώντων) και άρα:
$-2060 = v\cdot(-395) + v\cdot(-285) - (+20)$,
$-2040 = -680v$, $v = 3$
Επομένως, το αλκένιο είναι το C_3H_6 ($CH_3CH{=}CH_2$).
9. Με βάση τις δοσμένες ενθαλπίες σχηματισμού προκύπτει: $\Delta H^o = 120$ kJ.
H_2NCONH_2 ($M_r = 60$). $n = 6/60 = 0,1$ mol.
Απορροφώνται 12 kJ.
10. α) i. $C_6H_{12}O_6(s) + 6O_2(g) \rightarrow 6CO_2(g) + 6H_2O(\ell)$, $\Delta H = -2800$ kJ
ii. $C_6H_{12}O_6$ ($M_r = 180$): $n = 9/180 = 0,05$ mol.
Το 1 mol γλυκόζης αποδίδει 2800 kJ
0,05 mol x = ; 140 kJ
β) i. CO_2: $n = 8,96/22,4 = 0,4$ mol
$C_6H_{12}O_6(aq) \rightarrow 2CH_3CH_2OH(aq) + 2CO_2(g)$, $\Delta H^o = -85$ kJ
0,2 mol 0,4 mol 0,4 mol
CH_3CH_2OH ($M_r = 46$): $n = m/M_r$, $m = 0,4\cdot46 = 18,4$ g.
Το 1 mol γλυκόζης αποδίδει 85 kJ
0,2 mol y = ; 17 kJ

ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΑ (4): ΘΕΡΜΟΧΗΜΕΙΑ

Θέμα Α

Α1. Γ. **Α2.** Α. **Α3.** Α. **Α4.** Γ. **Α5.** α) Λ. β) Λ. γ) Σ. δ) Σ. ε) Σ.

Θέμα Β

Β1. α) $\Delta H_1 = -890$ kJ, $\Delta H_2 = -607$ kJ, και $\Delta H_3 = -283$ kJ. Οι τιμές των ενθαλπιών ΔH_1, ΔH_2 και ΔH_3 είναι όλες αρνητικές και σύμφωνα με το νόμο του Hess θα πρέπει να ισχύει:
$\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3$.
β) Η ενθαλπία καύσης του $CH_4(g)$ είναι -890 kJ·mol^{-1} και η ενθαλπία καύσης του CO(g) -283 kJ·mol^{-1}.
Β2. α) Επιλογή 1.
β) Θεωρούμε τη μετατροπή, $CO(g) + 1/2O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$. Για την αντίδραση αυτή ισχύει:

$$\Delta H^o = \Delta H_f^o(CO_2(g)) - \Delta H_f^o(CO(g))$$

Επίσης ισχύουν:

$$\Delta H^o = \Delta H_c^o(CO(g)) \text{ και } \Delta H_f^o(CO_2(g)) = \Delta H_c^o(C_{γραφ.})$$

Από τις προηγούμενες σχέσεις προκύπτει η επιλογή (1).
Β3. α) -1560 kJ·mol^{-1}, -1411 kJ.mol^{-1}. β) -137 kJ.
Β4. α) Σωστή επιλογή 3.
β) Το CH_3COOH είναι ασθενές οξύ και στα υδατικά διαλύματα ιοντίζεται σε μικρό βαθμό. Με την εξουδετέρωση πρέπει όλη η ποσότητα του CH_3COOH να μετατραπεί στο ιόν CH_3COO^-:
$CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COO^-Na^+ + H_2O$
Καθώς ο ιοντισμός ενός ασθενούς οξέος θεωρείται ενδόθερμο φαινόμενο μέρος του παραγόμενου ποσού θερμότητας κατά την εξουδετέρωση χρησιμοποιείται για τον ιοντισμό του.

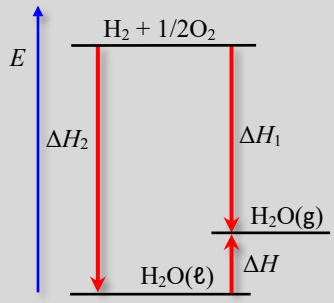
Θέμα Γ

Γ1. α) -622 kJ·mol^{-1}, -383 kJ·mol^{-1}.
β) -334 kJ.
γ) i. 167 kJ.
ii. 92 kJ.
Γ2. (mol) $2A(s) + B(g) \rightarrow \Gamma(g)$, $\Delta H = -60$ kJ
α α/2 εκλύονται 30α kJ
(mol) $A(s) + 2B(g) \rightarrow \Delta(g)$, $\Delta H = +120$ kJ
β 2β απορροφώνται 120β kJ
Θα ισχύει: $30\alpha = 120\beta$ και επομένως: $\alpha = 4\beta$.
$x/y = (\alpha + \beta)/(\alpha/2 + 2\beta) = 5\beta/(4\beta) = 5/4$.
Γ3. α) 16 g.
β) 0,4 mol SO_2 και 0,1 mol O_2 ή 0,2 mol SO_2 και 0,3 mol O_2.

Θέμα Δ

Δ1. α) Το ποσό θερμότητας που απορροφάται από την ενδόθερμη αντίδραση υπολογίζεται ως εξής:
Για το σχηματισμό 1 mol CaO(s) απαιτούνται 180 kJ
5 mol y = 900 kJ
Τα 900 kJ αντιστοιχούν στο 90% του ποσού θερμότητας (q) που παράγεται από την καύση του μίγματος. Ισχύει:
$0,9\cdot q = 900$, $q = 1000$ kJ
β) Έστω x mol $C_3H_8(g)$ και x mol $C_4H_{10}(g)$ στο μίγμα. Για το μίγμα αυτό ισχύει:
$2x = 8,96/22,4 = 0,4$, $x = 0,2$ mol από το κάθε συστατικό.
Η καύση του $C_3H_8(g)$ αποδίδει $q_1 = 0,2\cdot2200 = 440$ kJ. Άρα, τα υπόλοιπα $q_2 = 1000 - 440 = 560$ kJ αποδίδονται από την καύση των 0,2 mol $C_4H_{10}(g)$.
Τα 0,2 mol $C_4H_{10}(g)$ αποδίδουν 560 kJ
1 mol ω = 2800 kJ
Άρα, η ενθαλπία καύσης του $C_4H_{10}(g)$ είναι -2800 kJ·mol^{-1}.
Δ2. Εξίσωση καύσης του αλκινίου:
$C_vH_{2v-2} + (3v-1)/2O_2 \rightarrow vCO_2 + (v-1)H_2O$
Ισχύει: $\Delta H^o = \Sigma\Delta H_f$(προϊόντων) $- \Sigma\Delta H_f$(αντιδρώντων),
$-1300 = v\cdot(-393,5) + (v-1)\cdot(-286) - 227$,
$v = 2$ (C_2H_2)
Δ3. (mol) $2NO(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO_2(g)$
0,5 λ –
−2x −x 2x
Όταν παραχθούν 2mol NO_2 εκλύονται 113 kJ
2x 22,6
$x = 0,2$ mol.

Επομένως, στο τέλος της αντίδρασης περίσσεψαν 0,5 − 0,4 = 0,1 mol NO. Άρα, η ποσότητα του O_2 θα πρέπει να μηδενιστεί (περιοριστικό αντιδρών).
Ισχύει: λ − 0,2 = 0, l = 0,2 mol.
Δ4. Θα ισχύει: $|\Delta H_2| > |\Delta H_1|$. Αυτό συμβαίνει διότι η μετατροπή $H_2O(\ell) \rightarrow H_2O(g)$, $\Delta H > 0$ είναι ενδόθερμη καθώς απαιτείται θερμότητα για την μετατροπή του υγρού σε αέριο για την υπερνίκηση των διαμοριακών δυνάμεων. Έτσι, η μετατροπή, $H_2(g) + (1/2)O_2(g) \rightarrow H_2O(g)$, θα είναι λιγότερο εξώθερμη. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά στο θερμοχημικό κύκλο που ακολουθεί.



ΧΗΜΙΚΗ ΚΙΝΗΤΙΚΗ

10. ΧΗΜΙΚΗ ΚΙΝΗΤΙΚΗ (1): ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

10.1. Δ. Δες θεωρία για τα θέματα που σχετίζονται με τη χημική κινητική.
10.2. Α. Το ενεργοποιημένο σύμπλοκο είναι ένα σωματίδιο που σχηματίστηκε από τη σύγκρουση των αντιδρώντων με την κατάλληλη ενέργεια και το σωστό προσανατολισμό, ο οποίος να διευκολύνει την ταυτόχρονη σχάση των δεσμών στα αντιδρώντα και το σχηματισμό των δεσμών στα προϊόντα.
10.3. Α. Για να σχηματιστούν τα προϊόντα θα πρέπει να συγκρουστεί το άτομο του Ν του NO με το άτομο του Ο του N_2O.
10.4. Α. Η ενέργεια ενεργοποίησης είναι η ενέργεια που πρέπει να απορροφήσουν τα αντιδρώντα μόρια ώστε να σχηματιστεί το ενεργοποιημένο σύμπλοκο, ένα μεταβατικό σωματίδιο αλλά απαραίτητο για το σχηματισμό των προϊόντων. Κατά συνέπεια εμφανίζεται τόσο στις ενδόθερμες όσο και στις εξώθερμες αντιδράσεις.
10.5. Β. Η ενθαλπία (ΔH) αντιστοιχεί στη μεταβολή της ενέργειας από τα αντιδρώντα στα προϊόντα ενώ η ενέργεια ενεργοποίησης (E_a) αντιστοιχεί στη μεταβολή ενέργειας από τα αντιδρώντα στο ενεργοποιημένο σύμπλοκο (στο μέγιστο της ενέργειας του συστήματος).
10.6. Β. Δες τη θεωρία μεταβατικής κατάστασης.
10.7. Δ. Θεωρητικά, η ενέργεια ενεργοποίησης παίρνει θετικές τιμές.
10.8. Γ. Η συγκέντρωση του Β ελαττώνεται με διπλάσιο ρυθμό από τη συγκέντρωση του Α καθώς το σώμα Β έχει διπλάσιο συντελεστή από το Α (το Α είναι σε περίσσεια και η συγκέντρωσή του στο τέλος της αντίδρασης δεν μηδενίζεται).
10.9. Α. Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα στην αρχή της αντίδρασης η [Α] μεταβάλλεται απότομα και έτσι η αρχική ταχύτητα της αντίδρασης είναι μεγαλύτερη.
10.10. Β. Ο λόγος του ρυθμού μεταβολής της συγκέντρωσης του N_2O_4 (αρνητικός) προς το ρυθμό μεταβολής της συγκέντρωσης του NO_2 (θετικός) ακολουθεί την αναλογία των συντελεστών στην εξίσωση της αντίδρασης (με πρόσημο −).
10.11. Γ. Το Α είναι στερεό σώμα και θεωρούμε σταθερή τη συγκέντρωσή του.
10.12. Α. Η ταχύτητα κατανάλωσης του Α είναι 3πλάσια από την ταχύτητα κατανάλωσης του Β και επομένως το Α θα έχει 3πλάσιο συντελεστή από το Β. Η ταχύτητα σχηματισμού του Γ είναι 2πλάσια από την ταχύτητα κατανάλωσης του Β και άρα το Γ θα έχει 2πλάσιο συντελεστή από το Β.
10.13. Α. Θα είναι διπλάσιος γιατί το $NO_2Cl(g)$ έχει διπλάσιο συντελεστή από το $Cl_2(g)$.
10.14. α) Λ. Συνήθως, η ταχύτητα μιας αντίδρασης μειώνεται με την πάροδο του χρόνου.
β) Λ. Αν μια αντίδραση έχει μεγάλη ενέργεια ενεργοποίησης η ταχύτητα της αντίδρασης είναι μικρή.
γ) Σ. Στην έκφραση της ταχύτητας της αντίδρασης εμφανίζεται και ένα κλάσμα 1/α, όπου α ο συντελεστής του σώματος, αντιδρώντος ή προϊόντος.
δ) Λ. Η ταχύτητα της αντίδρασης εξαρτάται από την ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης και όχι από την ενθαλπία της.
10.15. α) i. α: ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης προς τα δεξιά, β: ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης προς τα αριστερά, γ: ενθαλπία της αντίδρασης (προς τα δεξιά).
ii. Με το βέλος α.
β) Ενεργοποιημένο σύμπλοκο.
10.16. Σωστές είναι οι προτάσεις δ, ε.
10.17. Επιλογή i.
Κατά τη διάρκεια της αντίδρασης, η ποσότητα σε mol του $CaCO_3(s)$ που διασπάται είναι ίση με την ποσότητα σε mol του CaO(s) που παράγεται. Καθώς η σχετική μοριακή μάζα του $CaCO_3(s)$ είναι μεγαλύτερη από τη σχετική μοριακή μάζα του CaO(s), η μάζα της στερεής φάσης μειώνεται.
10.18. α) Επιλογή ii.
β) Και στις δύο περιπτώσεις αντέδρασε η ίδια ποσότητα HCl καθώς μέχρι τη χρονική στιγμή t_1 παράχθηκε η ίδια ποσότητα H_2. Η μεταβολή [HCl] είναι διπλάσια στη δεύτερη περίπτωση λόγω μικρότερου όγκου του διαλύματος και άρα η ταχύτητα της αντίδρασης στη δεύτερη περίπτωση είναι διπλάσια.
10.19. α) $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$, $\Delta H < 0$. β) $\upsilon_2 = 2\upsilon_1$.
γ) Όλες οι αντιδράσεις απαιτούν αρχικά ενέργεια για να πραγματοποιηθούν (ενέργεια ενεργοποίησης). Αν δεν υπάρχει η ενέργεια αυτή η αντίδραση δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί. Ο σπινθήρας παρέχει αρχικά αυτή την ενέργεια ενώ στη συνέχεια παρέχεται από τη θερμότητα που εκλύεται.
10.20. α) λ = μ = 2.
β) Μειώνεται, καθώς το άθροισμα των συντελεστών των αερίων αντιδρώντων είναι μεγαλύτερο από το συντελεστή του αερίου προϊόντος.
γ) α > β. Η ταχύτητα της αντίδρασης μειώνεται με το χρόνο επομένως ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας μειώνεται.
10.21. Σωστή επιλογή η Β. Ο στιγμιαίος ρυθμός μεταβολής της [Γ] τη χρονική στιγμή t_1 είναι $\upsilon_\Gamma = d[\Gamma]/dt$ = κλίση της εφαπτομένης ευθείας. Η ταχύτητα της αντίδρασης είναι $\upsilon = d[\Gamma]/2dt$ = εφφ/2.
10.22. α) Επιλογή 4.
β) Η ποσότητα του Mg που αντέδρασε είναι διπλάσια στην περίπτωση του πειράματος IV και άρα αντιδρά διπλάσια

ποσότητα HCl(aq). Έτσι, η μεταβολή της [HCl(aq)] είναι διπλάσια σε τετραπλάσιο όμως χρόνο. Επομένως, ο μέσος ρυθμός κατανάλωσης του HCl(aq) στο πείραμα IV είναι ο μισός σε σχέση με το II με αποτέλεσμα η μέση ταχύτητα της αντίδρασης στο πείραμα IV να είναι η μισή σε σχέση με το II.

10.23. α) $\Delta H^o = \Sigma\Delta H_f(\text{προϊόντων}) - \Sigma\Delta H_f(\text{αντιδρώντων} = -396 + 90 - (-297) - 33 = -42$ kJ.

β) Από το ενεργειακό διάγραμμα σε σχέση με την πορεία της αντίδρασης προκύπτει: $E_{a1} < E_{a2}$.

10.24. α) Με την πάροδο του χρόνου ο συνολικός αριθμός mol των αερίων στο δοχείο μειώνεται καθώς σε κάθε 3 mol αντιδρώντων (συνολικά) παράγονται 2 mol προϊόντων. Εφ' όσον τα μεγέθη V και T διατηρούνται σταθερά, η συνεχής μείωση του συνολικού αριθμού mol θα επιφέρει τη συνεχή μείωση της πίεσης (από την καταστατική εξίσωση των αερίων, $P_{ολ}\cdot V = n_{ολ}\cdot R\cdot T$). Μετά το τέλος της αντίδρασης, παύει πια η μείωση του αριθμού των mol των αερίων και επομένως από εκεί και πέρα η ολική πίεση παραμένει σταθερή.

β) Καταστρώνουμε τον πίνακα της αντίδρασης:

mol	$2NO(g)$	$+ O_2(g)$	$\rightarrow 2NO_2(g)$
Αρχικά ($t = 0$)	0,6	0,6	—
Μεταβολές	−0,6	−0,3	0,6
Τελικά (t_v)	—	0,3	0,6

γ) Ο μέσος ρυθμός κατανάλωσης του NO υπολογίζεται ως εξής:

$$\upsilon_{NO} = -\frac{\Delta[NO]}{\Delta t} = -\frac{[NO]_{τελ} - [NO]_{αρχ}}{2-0} = -\frac{0-0,6}{2} = 0,3\ M\cdot min^{-1}$$

Για τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης έχουμε:

$$\upsilon = -\frac{1}{2}\frac{\Delta[NO]}{\Delta t} = 0,15\ M\cdot min^{-1}$$

10.25. α) $[O_2] = 0,95$ M, $[NO] = 0,2$ M, $[H_2O] = 0,3$ M.

β) $\upsilon = 0,025\ M\cdot min^{-1}$.

γ) $\upsilon(NH_3) = 0,1\ M\cdot min^{-1}$, $\upsilon(O_2) = 0,125\ M\cdot min^{-1}$, $\upsilon(NO) = 0,1\ M\cdot min^{-1}$, $\upsilon(H_2O) = 0,15\ M\cdot min^{-1}$.

10.26. $\upsilon(0\text{-}2) = 6\cdot10^{-3} = ([Γ]_2 - [Γ]_0)/2$,

$[Γ]_2 - [Γ]_0 = 12\cdot10^{-3}$ M (1)

$\upsilon(0\text{-}4) = 2\cdot10^{-3} = ([Γ]_4 - [Γ]_2)/2$, $[Γ]_4 - [Γ]_2 = 4\cdot10^{-3}$ M (2)

Από τις σχέσεις (1) και (2): $[Γ]_4 - [Γ]_0 = 16\cdot10^{-3}$ M.

Επομένως: $\upsilon(0\text{-}4) = ([Γ]_4 - [Γ]_0)/4 = 4\cdot10^{-3}\ M\cdot s^{-1}$.

10.27. α) t_1: 3, 4, 1 mol, t_2: 2, 3, 3 mol.

β) $0,2\ M\cdot s^{-1}$, $\upsilon_A = \upsilon_B = 0,2\ M\cdot s^{-1}$, $\upsilon_Γ = 0,4\ M\cdot s^{-1}$.

10.28. $0,2\ M\cdot min^{-1}$.

10.29. α) x = 3.

$A(g)$	$+ 2B(g)$	$\rightarrow 3Γ(g)$	$+ Δ(g)$
0,6	0,4		
−0,2	−0,4		
–	–	0,6	0,2
0,4	–	0,6	0,2

β) $\upsilon_A = 0,02\ M\cdot s^{-1}$, $\upsilon_B = 0,04\ M\cdot s^{-1}$, $\upsilon_Γ = 0,06\ M\cdot s^{-1}$, $\upsilon_Δ = 0,02\ M\cdot s^{-1}$, $\upsilon = 0,02\ M\cdot s^{-1}$.

γ) $0,05\ M\cdot s^{-1}$.

10.30. α) $1,4\cdot10^{-3}\ M\cdot s^{-1}$.

β) $840\ J\cdot s^{-1}$.

γ) $0,672\ g\cdot s^{-1}$.

10.31. α) i. 4 mol. ii. $10^{-2}\ M\cdot s^{-1}$. iii. 2 M. β) i. $\upsilon = 0$, ii. [A] = 0, [B] = 2 M, [Γ] = 4 M.

10.32. $\upsilon = 5\cdot10^{-5}\ M\cdot s^{-1}$.

10.33. α) x = 0,2, $n_A = 0,2$ mol.

β) $\upsilon_E = 2,5\cdot10^{-3}\ M\cdot s^{-1}$, $\upsilon = 1,25\cdot10^{-3}\ M\cdot s^{-1}$.

γ) $q_1 > q_2$. Με την πάροδο του χρόνου η ταχύτητα της αντίδρασης μειώνεται και επομένως ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας μειώνεται επίσης.

10.34. α) $0,02\ M\cdot min^{-1}$.

β) $500\ J\cdot min^{-1}$.

10.35. α) (mol) $A_2(g) + B_2(g) \rightarrow 2AB(g)$

0,7 x –

Για να σχηματιστούν 0,8 mol AB(g) θα πρέπει να έχουν αντιδράσει 0,4 mol $A_2(g)$ και 0,4 mol $B_2(g)$.

(mol) $A_2(g) + B_2(g) \rightarrow 2AB(g)$

0,7 x –

−0,4 −0,4 0,8

0,3 x − 0,4 0,8

Ισχύει: x − 0,4 = 0,5, x = 0,9 mol.

$$\beta)\ \upsilon = \frac{1}{2}\cdot\frac{\Delta[AB]}{\Delta t} = \frac{1}{2}\cdot\frac{0,8/0,5}{2} = 0,4\ M\cdot min^{-1}$$

γ) Από την έναρξη της αντίδρασης μέχρι την ολοκλήρωσή της (τη χρονική στιγμή t_v), ισχύει:

(mol) $A_2(g) + B_2(g) \rightarrow 2AB(g)$

0,7 0,9 –

−0,7 −0,7 1,4

– 0,2 1,4

$$\upsilon = \frac{1}{2}\cdot\frac{\Delta[AB]}{\Delta t} = \frac{1}{2}\cdot\frac{1,4/0,5}{t_v},\ t_v = 200\ min$$

10.36. Επιλογή Β. Ο ρυθμός κατανάλωσης του Α είναι το άθροισμα του ρυθμού παραγωγής του Β και του ρυθμού παραγωγής του Γ (ή του Δ).

10.37. α) C_2H_4: $n = 2,24/22,4 = 0,1$ mol

H_2: $n = 4,48/22,4 = 0,2$ mol

(mol) $C_2H_4(g) + H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g)$, $\Delta H = -200$ kJ

0,1 0,2 –

−x −x x

$t = 10$ s 0,1 − x 0,2 − x x

Όταν αντιδρά 1 mol C_2H_4 εκλύονται 200 kJ

x = ; 10

x = 0,05 mol

Επομένως, τη χρονική στιγμή $t = 10$ s συνυπάρχουν 0,05 mol $C_2H_4(g)$, 0,15 mol $H_2(g)$ και 0,05 mol $C_2H_6(g)$.

β) $\upsilon = \Delta[C_2H_6]/\Delta t = x/2\Delta t = 2,5\cdot10^{-3}\ M\cdot s^{-1}$.

10.38. α) Έστω ω mol η τελική ποσότητα του $AB_3(g)$. Η μέση ταχύτητα της αντίδρασης δίνεται από τη σχέση:

$$\upsilon = \frac{1}{2}\cdot\frac{\Delta[AB_3]}{\Delta t} = \frac{1}{2}\cdot\frac{\omega/10}{200-0},\ \omega = 20\ mol$$

β) Έστω x mol και y mol οι αρχικές ποσότητες των αερίων $A_2(g)$ και $B_2(g)$, αντίστοιχα, στο αρχικό μίγμα. Ισχύει:

x + y = 48 (1)

(mol) $A_2(g) + 3B_2(g) \rightarrow 2AB_3(g)$

x y –

−ξ −3ξ 2ξ

x − ξ y − 3ξ 2ξ

Ισχύει: x − ξ = y − 3ξ = 2ξ.

Επομένως, x = 3ξ και y = 5ξ, οπότε από την (1): 8ξ = 48, ξ = 6.

Επομένως, x = 18 mol και y = 30 mol.

10.39. α) Η μείωση της μάζας του διαλύματος αντιστοιχεί στη μάζα του σχηματιζόμενου $O_2(g)$.

O_2: $n = m/M_r = 1,6/32 = 0,05$ mol

(mol) $2H_2O_2(aq) \rightarrow H_2O(l) + O_2(g)$
0,1 0,05
Αρχική ποσότητα H_2O_2:
Στα 100 mL διαλύματος 1,7 g H_2O_2
Στα 500 mL x = 8,5 g
H_2O_2: $n = m/M_r = 8,5/34 = 0,25$ mol
Επομένως έχουν παραμείνει 0,25 − 0,1 = 0,15 mol H_2O_2.
β) Αρχική συγκέντρωση H_2O_2: $c_1 = 0,25/0,5 = 0,5$ M.
Τελική συγκέντρωση H_2O_2: $c_2 = 0,15/0,5 = 0,3$ M.
$\upsilon(H_2O_2) = -\Delta[H_2O_2]/\Delta t = 0,2/50 = 4\cdot10^{-3}$ M·s^{-1}
Ταχύτητα αντίδρασης: $\upsilon = (1/2)\cdot\upsilon(H_2O_2) = 2\cdot10^{-3}$ M·s^{-1}
γ) Όταν παράγεται 1 mol $O_2(g)$ εκλύονται 196 kJ
0,05 $Q = 0,05\cdot196 = 9,8$ kJ
δ) Μικρότερη από 1,6 g. Η ταχύτητα της αντίδρασης μειώνεται με την πάροδο του χρόνου (μείωση του ρυθμού έκλυσης των φυσαλίδων) οπότε στο χρονικό διάστημα (50-100) s θα έχει παραχθεί μικρότερη ποσότητα $O_2(g)$ σε σχέση με το χρονικό διάστημα (0 - 50) s και άρα η μείωση της μάζας του διαλύματος θα είναι μικρότερη από 1,6 g.

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 10



1. Δ **2.** Γ **3.** Δ **4.** Α **5.** Β **6.** Γ **7.** Α **8.** Β **9.** Α
10. Δ **11.** Δ
12. α) Το διάγραμμα Β.
β) Αν x mol η αρχική ποσότητα του Α(g) στο τέλος της αντίδρασης θα υπάρχουν x/2 mol Β(g) και x/2 mol Γ(s). Η πίεση μειώνεται με την πάροδο του χρόνου καθώς τα συνολικά mol των αερίων μειώνονται και μάλιστα στο τέλος της αντίδρασης τα mol του μοναδικού αερίου που υπάρχει στο δοχείο, του Β(g), είναι τα μισά σε σχέση με τα αρχικά mol του Α(g). Από την καταστατική πίεση των αερίων προκύπτει ότι στο τέλος της αντίδρασης η πίεση στο δοχείο θα είναι ίση με $P_0/2$. Επίσης, η μείωση της πίεσης δεν θα έχει σταθερό ρυθμό, καθώς η ταχύτητα της αντίδρασης μειώνεται με το χρόνο. Έτσι, στην αρχή η μεταβολή της πίεσης θα είναι μεγαλύτερη, στη συνέχεια μικρότερη μέχρι να σταθεροποιηθεί στο τέλος της αντίδρασης στην τελική τιμή $P_0/2$.
13. α) Επιλογή iv,
β) Η μέση ταχύτητα της αντίδρασης για τα πρώτα 5 s είναι:
$\upsilon = (1/2)\cdot\upsilon(NO) = 0,03$ M·s^{-1}.
Η ταχύτητα μιας (τυπικής) αντίδρασης μειώνεται με την πάροδο του χρόνου με αποτέλεσμα σε ένα οποιοδήποτε μετέπειτα χρονικό διάστημα να είναι μικρότερη.
14. Η NH_3 που έχει αντιδράσει είναι (20/100)·0,2 = 0,04 mol. Επομένως:

$$\upsilon = -\frac{1}{2}\cdot\frac{\Delta[NH_3]}{\Delta t} = \frac{1}{2}\cdot\frac{\frac{0,04}{0,5}}{10} = 4\cdot10^{-3}\ M\cdot s^{-1}$$

$\upsilon(NH_3) = 2\upsilon = 8\cdot10^{-3}$ M·s^{-1}
15. α) x = 4 mol.
β) $\upsilon = 0,01$ M·s^{-1}, $\upsilon(CO) = 0,02$ M·s^{-1}, $\upsilon(O_2) = 0,01$ M·s^{-1}, $\upsilon(CO_2) = 0,02$ M·s^{-1}.
γ) Όχι, γιατί δεν έχει μηδενιστεί η ποσότητα ενός αντιδρώντος.
δ) Έχει ολοκληρωθεί γιατί έχει μηδενιστεί η ποσότητα του CO και επομένως $\upsilon = 0$.
ε) Μειώνεται.

11. ΧΗΜΙΚΗ ΚΙΝΗΤΙΚΗ (2): ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

11.1. Δ. Η αύξηση της συγκέντρωσης των αντιδρώντων και η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνουν την ταχύτητα μιας αντίδρασης. Η αύξηση του όγκου του δοχείου μειώνει τη συγκέντρωση του $CO_2(g)$ οπότε μειώνεται η ταχύτητα της αντίδρασης. Επίσης, η αύξηση του μεγέθους των κόκκων του C(s) μειώνει την επιφάνεια επαφής του στερεού μειώνοντας την ταχύτητα της αντίδρασης.
11.2. Δ. Η πίεση δεν επηρεάζει την ταχύτητα της αντίδρασης καθώς δεν υπάρχουν αέρια αντιδρώντα.
11.3. Δ. Η ταχύτητα μιας αντίδρασης αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας λόγω της αύξησης του ρυθμού των αποτελεσματικών συγκρούσεων.
11.4. Δ. Με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται ο ρυθμός των αποτελεσματικών συγκρούσεων και επομένως αυξάνεται η ταχύτητα της αντίδρασης.
11.5. Α. Η μεταβολή της πίεσης επηρεάζει την ταχύτητα της αντίδρασης στην οποία συμμετέχουν αέρια αντιδρώντα καθώς αυτή επηρεάζει τη συγκέντρωση του αερίου αντιδρώντος και άρα και την ταχύτητα της αντίδρασης.
11.6. Β. Κατά τη διάρκεια μιας αντίδρασης ελαττώνονται οι συγκεντρώσεις αντιδρώντων με αποτέλεσμα τη μείωση του ρυθμού των συγκρούσεων άρα και των αποτελεσματικών.
11.7. Δ. Με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται η κινητική ενέργεια των μορίων οπότε αυξάνεται το ποσοστό των αντιδρώντων μορίων με ενέργεια μεγαλύτερη της ενέργειας ενεργοποίησης που δεν μεταβάλλεται.
11.8. Γ. Με την αύξηση του μεγέθους των κόκκων του αντιδρώντος Α(s) μειώνεται η επιφάνεια επαφής του οπότε η ταχύτητα της αντίδρασης μειώνεται.
11.9. Β. Ο καταλύτης αυξάνει την ταχύτητα μειώνοντας την ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης.
11.10. Δ. Η μεταβολή της πίεσης παίζει ρόλο στην ταχύτητα μιας αντίδρασης μόνο αν υπάρχουν αέρια αντιδρώντα.
11.11. Α. Η συγκέντρωση των προϊόντων δεν παίζει ρόλο στην ταχύτητα μιας αντίδρασης.
11.12. Β. Η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την ταχύτητα μιας αντίδρασης. Επίσης, η μείωση στον όγκο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων αντιδρώντων και τελικά την αύξηση της ταχύτητας της αντίδρασης.
11.13. Το διάγραμμα Α. Με την αύξηση της θερμοκρασίας οι καμπύλες μετατοπίζονται προς τα δεξιά με παράλληλη μείωση του μεγίστου ώστε το εμβαδόν κάτω από τις δύο καμπύλες να είναι το ίδιο.
11.14. Το διάγραμμα 1. Καθώς το HCl είναι σε περίσσεια η ποσότητα του προϊόντος θα καθορίζεται από την ποσότητα του Mg που είναι η ίδια. Καθώς όμως η συγκέντρωση του HCl είναι μεγαλύτερη στο 2ο πείραμα η αντίδραση θα ολοκληρώνεται ταχύτερα και η καμπύλη θα είναι πιο απότομη.
11.15. Β. Η ταχύτητα μιας αντίδρασης αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας είτε είναι ενδόθερμη είτε είναι εξώθερμη.
11.16. Α. Με την αύξηση της συγκέντρωσης ενός αντιδρώντος αυξάνεται η ταχύτητα μιας αντίδρασης.
11.17. Β. Αν στους 20 °C η αρχική ταχύτητα είναι υ, στους στους 30 °C θα είναι 2υ, στους στους 40 °C θα είναι 4υ και στους στους 50 °C θα είναι 8υ.

11.18. Γ. Η θεωρία της προσρόφησης ερμηνεύει την καταλυτική δράση στην ετερογενή κατάλυση.

11.19. Δ. Βλ. θεωρία για τους καταλύτες.

11.20. Α. Η δράση των καταλυτών αναστέλλεται από την παρουσία ορισμένων ουσιών, οι οποίες είναι γνωστές ως δηλητήρια καταλυτών.

11.21. Δ. Στην ομογενή κατάλυση ο καταλύτης και τα αντιδρώντα είναι στην ίδια φάση.

11.22. Α. Η παρουσία καταλύτη μειώνει την ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης.

11.23. Επιλογή Γ. Η ταχύτητα της αντίδρασης είναι στην αρχή μικρή καθώς δεν έχει σχηματιστεί επαρκής ποσότητα καταλύτη. Στη συνέχεια η ταχύτητα αυξάνεται καθώς ένα από τα προϊόντα λειτουργεί ως καταλύτης. Προς το τέλος της αντίδρασης η ταχύτητα μειώνεται φυσιολογικά καθώς μειώνονται οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων σωμάτων.

11.24. Α. Η ενέργεια ενεργοποίησης μιας αντίδρασης μειώνεται μόνο με τη χρήση καταλύτη.

11.25. Α. Το Cl(g) αντιδρά στο 1ο στάδιο της αντίδρασης αλλά αναγεννάται στο 2ο και άρα είναι ο καταλύτης της αντίδρασης.

11.26. α) Σ. Με τη μείωση της θερμοκρασίας η ταχύτητα των αντιδράσεων μειώνεται.

β) Λ. Θα πρέπει να υπάρχει αέριο αντιδρών (και να γίνεται με μεταβολή του όγκου του δοχείου).

γ) Λ. Θα αυξηθεί κατά 2^{10} φορές.

δ) Λ. Η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την ταχύτητα της αντίδρασης λόγω αύξησης του ρυθμού των αποτελεσματικών συγκρούσεων.

ε) Λ. Η θεωρία της προσρόφησης ερμηνεύει την ετερογενή κατάλυση.

στ) Σ. ζ) Σ.

11.27. Διάγραμμα Δ. Στο διάγραμμα αυτό παρατηρούμε ότι η ταχύτητα διπλασιάζεται κάθε φορά που η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 10 °C.

11.28. α) Λ. Η αύξηση της συγκέντρωσης των αντιδρώντων αυξάνει την ταχύτητα της αντίδρασης.

β) Σ. Αυξάνεται η επιφάνεια επαφής του στερεού.

γ) Λ. Δεν υπάρχει αέριο αντιδρών.

11.29. α) Αύξηση της ταχύτητας της αντίδρασης, λόγω αύξησης του ρυθμού των συγκρούσεων.

β) Μείωση της ταχύτητας της αντίδρασης, λόγω μείωσης του ρυθμού των αποτελεσματικών συγκρούσεων.

γ) Καμία μεταβολή. Η διαλυμένη μορφή του NaI δεν σχετίζεται με τη μορφή των κόκκων του στερεού.

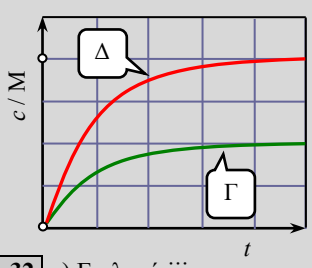
11.30. α) Στο διάλυμα Δ1. Η αντίδραση αυτή αποτελεί χαρακτηριστική περίπτωσης αυτοκατάλυσης με τα παραγόμενα ιόντα Mn^{2+} να λειτουργούν ως καταλύτης. Η προσθήκη μικρής ποσότητας ιόντων Mn^{2+} από την αρχή της αντίδρασης συνεπάγεται ένα τυπικό διάγραμμα γρήγορης παραγωγής προϊόντων. Αν ο καταλύτης παράγεται κατά την εξέλιξη της αντίδρασης μέχρι να σχηματισθεί ικανή ποσότητά του, η παραγωγή των προϊόντων θα είναι σχετικά αργή και στη συνέχεια θα επιταχυνθεί.

β) Στο σημείο Β. Στο σημείο αυτό παρατηρείται απότομη αύξηση παραγωγής του αερίου σε σχέση με το χρόνο, που σημαίνει αύξηση της ταχύτητας της αντίδρασης.

11.31. α) Η καμπύλη Ι αντιστοιχεί στο Α και η καμπύλη ΙΙ στο Β.

β) Οι δύο καμπύλες θα είναι πιο απότομες αλλά θα καταλήγουν στις ίδιες τελικές συγκεντρώσεις.

γ)



11.32. α) Επιλογή iii.

β) Με χρήση ίδιου όγκου υδατικού διαλύματος υδροχλωρικού οξέος HCl(aq) αλλά μεγαλύτερης συγκέντρωσης η ποσότητα του HCl αυξάνεται οπότε αυξάνεται και η τελική ποσότητα του CO_2(g). Παράλληλα, με την αύξηση της συγκέντρωσης του HCl(aq) αυξάνεται και η ταχύτητα της αντίδρασης (πιο απότομη αύξηση της ποσότητας του CO_2).

11.33. Επιλογή Β. Στο δοχείο Β έχουμε μεγαλύτερη συγκέντρωση H_2 ($2\alpha/V$) σε σχέση με το δοχείο Α, οπότε η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα στο Α. Έτσι, στο ίδιο χρονικό διάστημα θα έχει παραχθεί μεγαλύτερη ποσότητα HI ($n_B > n_A$). Το δοχείο Γ έχει μεγαλύτερο όγκο, οπότε οι συγκεντρώσεις του H_2 και του I_2 είναι μικρότερες (ίσες με $\alpha/2V$) και άρα η ταχύτητα είναι μικρότερη από την ταχύτητα στο Α ($n_Γ < n_A$). Στο δοχείο Δ έχουμε μικρότερη θερμοκρασία, οπότε η ταχύτητα είναι μικρότερη από την ταχύτητα στο Α και συνεπώς $n_Δ < n_A$.

11.34. i. Η ταχύτητα της αντίδρασης αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας λόγω της αύξησης του ρυθμού των αποτελεσματικών συγκρούσεων και επομένως η ποσότητα της γλυκόζης μετά από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα είναι μεγαλύτερη.

ii. Με την αύξηση της θερμοκρασίας (ενδεικτικά πάνω από τους 50 °C) η λειτουργία των ενζύμων απενεργοποιείται λόγω καταστροφής της δομής τους. Έτσι παρά την αύξηση της θερμοκρασίας η ταχύτητα της αντίδρασης μειώνεται και επομένως η ποσότητα της παραγόμενης γλυκόζης στο ίδιο χρονικό διάστημα είναι μικρότερη.

11.35. Η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την ταχύτητα της αντίδρασης και επομένως αυξάνει την ένταση του φωτός. Καθώς όμως η αύξηση της ταχύτητας έχει ως αποτέλεσμα την συντομότερη ολοκλήρωση της αντίδρασης, η διάρκεια λειτουργίας μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

11.36. α) Η αντίδραση έχει μεγάλη ενέργεια ενεργοποίησης (E_a) και η κινητική ενέργεια της σύγκρουσης είναι πολύ δύσκολο να την ξεπεράσει.

β) i. Το $HCOOH_2^+$ (σχηματίζεται στο 1ο στάδιο) και το HCO^+ (σχηματίζεται στο 2ο στάδιο. ii. Το H^+ (από το θειικό οξύ). Καταναλώνεται στο 1ο στάδιο και αναγεννάται στο 3ο.

11.37. α) Θα αυξηθεί, λόγω της αύξησης της συγκέντρωσης του αντιδρώντος. β) Ετερογενής.

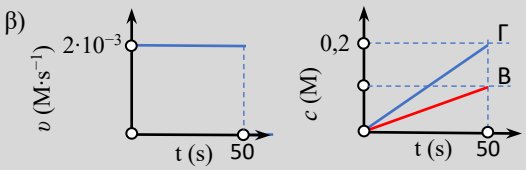
γ) Θεωρία της προσρόφησης.

11.38. α) [A] = [B] = [Δ] = 0,025 M. β) $5\cdot10^{-5}$ M·s^{-1}.

γ) Μικρότερη. Σε μεγαλύτερη θερμοκρασία η ταχύτητα της αντίδρασης είναι μεγαλύτερη και επομένως η [A] μειώνεται ταχύτερα.

11.39. α) i. Ο ρυθμός μείωσης της [A] είναι σταθερός με την πάροδο του χρόνου. $\upsilon = 2\cdot10^{-3}$ M·s^{-1}, ii. $[B]_{τελ} = 0,1$ M, $[Γ]_{τελ} = 0,2$ M. iii. Ετερογενής κατάλυση.

β)



11.40. α) Καθώς το $CaCO_3(s)$ είναι σε περίσσεια, η ποσότητα του $CO_2(g)$ θα καθορίζεται από την ποσότητα του HCl που είναι η ίδια σε όλες τις περιπτώσεις (0,05 mol).
β) Στα πειράματα 2 και 6 αλλάζει μόνο η συγκέντρωση του HCl ενώ η επιφάνεια επαφής του στερεού και η θερμοκρασία δεν μεταβάλλονται.
γ) Στο πείραμα 4 (μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής, μεγαλύτερη συγκέντρωση HCl, μεγαλύτερη θερμοκρασία).
11.41. α) Η επιφάνεια επαφής του στερεού αντιδρώντος. Με την αύξηση της επιφάνειας επαφής, η ταχύτητα της αντίδρασης αυξάνεται και η αντίδραση ολοκληρώνεται ταχύτερα.
β) Στο θεωρούμενο χρονικό διάστημα η αρχική ποσότητα του Mg είναι: $n = 2,4/24 = 0,1$ mol και η τελική ποσότητα είναι $0,48/24 = 0,02$ mol. Επομένως, αντέδρασαν $0,1 - 0,02 = 0,08$ mol Mg.

(mol) $Mg(s) + 2HCl(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$
0,08 0,08

H_2: $V = 0,08 \cdot 22,4 = 1,792$ L.
γ) Εφόσον η (μέση) ταχύτητα σχηματισμού του $H_2(g)$ σε όλη τη διάρκεια του 2ου πειράματος είναι $2 \cdot 10^{-4}$ mol·s^{-1} η συνολική ποσότητα του $H_2(g)$ που σχηματίστηκε είναι $2 \cdot 10^{-4} \cdot 600 = 0,12$ mol και επομένως η ποσότητα του Mg(s) που αντέδρασε είναι 0,12 mol mol που αντιστοιχεί σε μάζα $m = 0,12 \cdot 24 = 2,64$ g.

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 11

1. Δ. **2.** Β. **3.** Α. **4.** Δ. **5.** Α.
6. Α. Το δηλητήριο καταλύτη απενεργοποιεί τον καταλύτη με αποτέλεσμα η ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης να αυξάνεται.
7. Δ. **8.** Γ. **9.** Β. **10.** Δ. **11.** Δ.
12. α) Λ. Όταν ένα από τα προϊόντα λειτουργεί ως καταλύτης της αντίδρασης.
β) Λ. Η παρουσία καταλύτη έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ενέργειας ενεργοποίησης της αντίδρασης και επομένως την αύξηση της ταχύτητάς της.
13. Επιλογή 2. Με την προσθήκη διαλύματος H_2O_2 0,1 M η συνολική ποσότητα του H_2O_2 αυξάνεται και επομένως αυξάνεται ο συνολικός όγκος του O_2 που παράγεται όπως παρατηρούμε στην καμπύλη Υ. Παράλληλα, η συγκέντρωση του διαλύματος μειώνεται καθώς προσθέτουμε διάλυμα μικρότερης συγκέντρωσης. Έτσι, η ταχύτητα της αντίδρασης μειώνεται και ολοκληρώνεται σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.
14. $T_1 > T_2$.
Πρόκειται για την καμπύλη κατανομής κατά Maxwell - Boltzmann. Με την αύξηση της θερμοκρασίας η μέση κινητική ενέργεια των μορίων του αερίου αυξάνεται με αποτέλεσμα η κατανομή των κινητικών ενεργειών των μορίων να μεταφέρεται προς μεγαλύτερες τιμές (περισσότερα μόρια ξεπερνούν το φράγμα της ενέργειας ενεργοποίησης). Παράλληλα, το μέγιστο της καμπύλης μειώνεται καθώς θα πρέπει το εμβαδόν κάτω από τις δύο καμπύλες να είναι το ίδιο (ο συνολικός αριθμός των μορίων του αερίου είναι ο ίδιος).
15. α) Ο καταλύτης επιταχύνει την αντίδραση και σχηματίζεται $O_2(g)$. Με την πάροδο του χρόνου η ταχύτητα ης αντίδρασης μειώνεται και άρα και ο σχηματισμός φυσαλίδων.
β) Με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται η ταχύτητα της αντίδρασης και επομένως ο σχηματισμός φυσαλίδων επιταχύνεται.
γ) Με το ψήσιμο της πατάτας το ένζυμο καταστρέφεται και η δράση του απενεργοποιείται.
16. Ορισμένες χημικές αντιδράσεις επηρεάζονται από την επίδραση ακτινοβολιών. Οι ακτινοβολίες στις περιπτώσεις αυτές προκαλούν μοριακές μεταβολές στα αντιδρώντα (π.χ. διασπούν πιο εύκολα τους δεσμούς σε αντιδρώντα μόρια) με αποτέλεσμα να αλλάζει ο μηχανισμός της αντίδρασης και τελικά να αυξάνεται η ταχύτητα της αντίδρασης.
17. Στα πειράματα Ι και ΙΙ χρησιμοποιείται η ίδια ποσότητα HCl: $n = 0,05$ mol. Επειδή το $CaCO_3$ είναι σε περίσσεια παράγεται τελικά η ίδια ποσότητα CO_2 και επομένως οι δύο καμπύλες καταλήγουν στον ίδιο τελικό όγκο. Στο πείραμα ΙΙ το $CaCO_3$ είναι σε σκόνη και έχει μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής οπότε η αντίδραση είναι ταχύτερη σε σχέση με το πείραμα Ι. Επομένως η πιο απότομη από τις δύο καμπύλες με την ίδια τελική ποσότητα CO_2 είναι η Β. Τέλος, στο πείραμα ΙΙΙ η ποσότητα του HCl είναι $n = 2 \cdot 0,05 = 0,1$ mol, δηλαδή διπλάσια. Άρα παράγεται τελικά διπλάσια ποσότητα CO_2 και αντιστοιχεί στην καμπύλη Α.

12. ΧΗΜΙΚΗ ΚΙΝΗΤΙΚΗ (3): ΝΟΜΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

12.1. Β. Η σταθερά ταχύτητας (k) δεν εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις των αντιδρώντων αλλά αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.
12.2. Γ. Όποιος και να είναι ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης, αν οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων είναι ίσες με 1 M θα ισχύει $\upsilon = k$ (αριθμητικά).
12.3. Β. Η τάξη της αντίδρασης είναι 1 + 1 = 2, αλλά μπορεί να υπάρχει και άλλο αντιδρών π.χ. στερεό που δεν εμφανίζεται στο νόμο ταχύτητας της αντίδρασης.
12.4. Δ. Με την πάροδο του χρόνου οι συγκεντρώσεις των δύο αντιδρώντων μειώνονται και επομένως μειώνεται και η ταχύτητα της αντίδρασης.
12.5. Δ. Η σταθερά ταχύτητας (k) δεν εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις των αντιδρώντων.
12.6. Β. Τα στερεά δεν εμφανίζονται στο νόμο ταχύτητας της αντίδρασης (θεωρούμε ότι έχουν σταθερή συγκέντρωση).
12.7. Δ. Παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση του αντιδρώντος μειώνεται γραμμικά με το χρόνο και επομένως η ταχύτητα της αντίδρασης είναι σταθερή.
12.8. Γ. Με τριπλασιασμό της [Α] η ταχύτητα της αντίδρασης 9πλασιάζεται.
12.9. Γ. Δες θεωρία: Μηχανισμός αντίδρασης.
12.10. Α. Από τη μονάδα της σταθεράς ταχύτητας (s^{-1}) συμπεραίνουμε ότι η αντίδραση είναι 1ης τάξης.
12.11. Γ. Αν η πίεση τριπλασιαστεί, οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων θα τριπλασιαστούν καθώς ο όγκος θα υποτριπλασιαστεί. Από το νόμο ταχύτητας της αντίδρασης βλέπουμε ότι η ταχύτητα θα εννεαπλασιαστεί.
12.12. Β. Στις αντιδράσεις μηδενικής τάξης η ταχύτητα της αντίδρασης είναι σταθερή και επομένως στο μισό χρόνο παράγεται η μισή ποσότητα ενός προϊόντος.

12.13. Δ. Η απλή αντίδραση γίνεται σε ένα στάδιο και επομένως δεν υπάρχει καθοριστικό στάδιο.

12.14. Β. Η σταθερά ταχύτητας μιας αντίδρασης 2ης τάξης έχει μονάδα το $M^{-1}\cdot s^{-1}$.

12.15. Β. Με την αύξηση της θερμοκρασίας η σταθερά k αυξάνεται και επομένως αυξάνεται η κλίση της ευθείας.

12.16. Β. Ο νόμος ταχύτητας μιας αντίδρασης ακολουθεί το νόμο ταχύτητας του πιο αργού σταδίου της αντίδρασης.

12.17. α) Λ, β) Σ, γ) Λ, δ) Λ. ε) Λ. στ) Σ, ζ) Σ.

12.18. α) Α-δ-4, Β-β-3, Γ-γ-2, Δ-α-1. β) Πολύπλοκης μορφής.

12.19. α) Επιλογή Α.

β) Νόμος ταχύτητας: $\upsilon = k\cdot[A]^2$. Τη στιγμή $t = 0$ ισχύει: $\upsilon_0 = k\cdot[A]_0^2$, ενώ τη στιγμή $t = 50$ s, ισχύει: $\upsilon_1 = k\cdot[A]_1^2$. Επομένως, ισχύει:

$$\frac{\upsilon_0}{\upsilon_1} = 4 = \frac{[A]_0^2}{[A]_1^2},\ [A]_1 = \frac{[A]_0}{2}$$

12.20. Επιλογή η 2. Ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης είναι $\upsilon = k\cdot[A]$ και η [A] μεταβάλλεται με το χρόνο σύμφωνα με το διάγραμμα ΙΙΙ. Δηλαδή, η ταχύτητα της αντίδρασης είναι μέγιστη στην αρχή και μειώνεται στη συνέχεια λόγω της βαθμιαίας μείωσης της [A]. Αν η ταχύτητα της αντίδρασης ήταν σταθερή η αντίδραση θα ήταν μηδενικής τάξης.

12.21. α) Η αντίδραση $X(g) \rightarrow A(g)$ είναι ενδόθερμη και η αντίδραση $X(g) \rightarrow B(g)$ εξώθερμη.

β) i. Η αντίδραση $X(g) \rightarrow A(g)$ έχει μεγαλύτερη ενέργεια ενεργοποίησης από την αντίδραση $X(g) \rightarrow B(g)$ και επομένως η 1η αντίδραση έχει μικρότερη ταχύτητα. ii. $k_1 < k_2$, s^{-1}.

12.22. α) Επιλογή Β.

β) Σε σχέση με το δοχείο Α, στο δοχείο Β η [X] είναι η ίδια ενώ η [Y] έχει διπλασιαστεί. Σε σχέση με το δοχείο Α, στο δοχείο Γ και οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων έχουν διπλασιαστεί. Αντικαθιστούμε στο νόμο ταχύτητας της αντίδρασης (ίδια k) και διαιρούμε κατά μέλη.

12.23. α) Επιλογή i.

β) Αν στο πείραμα 1 η σταθερά ταχύτητας είναι k, στο πείραμα 2 θα είναι $2k$ και στο πείραμα 3 θα είναι $4k$.

Πείραμα 1: $\upsilon_{01} = k\cdot0{,}02\cdot0{,}02 = 4k\cdot10^{-4}$.

Πείραμα 2: $\upsilon_{02} = 2k\cdot0{,}01\cdot0{,}02 = 4k\cdot10^{-4}$.

Πείραμα 3: $\upsilon_{03} = 4k\cdot0{,}01\cdot0{,}01 = 4k\cdot10^{-4}$.

12.24. α) Υπολογίζουμε τις σταθερές ταχύτητας (k) στα τρία πειράματα.

1ο πείραμα

$8\cdot10^{-6} = k\cdot0{,}01\cdot0{,}02^2 \Rightarrow k = 2\ M^{-2}\cdot s^{-1}$

2ο πείραμα

$72\cdot10^{-6} = k\cdot0{,}01\cdot0{,}06^2 \Rightarrow k = 2\ M^{-2}\cdot s^{-1}$

2ο πείραμα

$20\cdot10^{-6} = k\cdot0{,}02\cdot0{,}02^2 \Rightarrow k = 2{,}5\ M^{-2}\cdot s^{-1}$

β) $\theta_1 < \theta_2$. Η σταθερά ταχύτητας αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

12.25. α) Το 1ο στάδιο που έχει πολύ μεγαλύτερη ενέργεια ενεργοποίησης ($E_{a1} > E_{a2}$).

β) $\upsilon = k\cdot[HCl]\cdot[CH_2{=}CH_2]$, 2ης τάξης. Το αργό στάδιο καθορίζει την ταχύτητα της όλης αντίδρασης.

γ) Εξώθερμη, $\Delta H < 0$ (δες το διάγραμμα).

12.26. α) Επιλογή ii.

β) Με βάση τα πειράματα 3 και 4 παρατηρούμε ότι με διπλασιασμό της συγκέντρωσης του HCl(aq) ο χρόνος για την ολοκλήρωση της αντίδρασης υποτετραπλασιάστηκε και επομένως η ταχύτητα της αντίδρασης τετραπλασιάστηκε. Το ίδιο μπορούμε να παρατηρήσουμε και με βάση τα πειράματα 1 και 3. Έτσι, καθώς το άλλο αντιδρών είναι στερεό, ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης θα είναι $\upsilon = k\cdot[HCl]^2$.

12.27. α) $OH^- + HOI \rightarrow H_2O + OI^-$.

β) Το HOCl, το OH^- και το HOI.

12.28. α) Επιλογή 3.

β) (M) $2NO(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO_2(g)$

	0,4	0,2
	−0,2	−0,1
	0,2	0,1

Όταν [NO] = 0,2 M, ισχύει: $[O_2] = 0{,}1$ M.

$\upsilon_1 = k\cdot0{,}4^2\cdot0{,}2$ (1)

$\upsilon_2 = k\cdot0{,}2^2\cdot0{,}1$ (2).

Με διαίρεση κατά μέλη των δύο εξισώσεων προκύπτει η επιλογή 3.

12.29. Επιλογή iii.

Με την προσθήκη 20 mL NaOCl(aq) 0,5 M:

H_2O_2(aq): $0{,}4\cdot0{,}02 = c_1\cdot0{,}4$, $c_1 = 0{,}2$ M

NaOCl(aq): $0{,}5\cdot0{,}02 = c_2\cdot0{,}4$, $c_2 = 0{,}25$ M

$\upsilon_1 = k\cdot[NaOCl]\cdot[H_2O_2] = k\cdot0{,}2\cdot0{,}25 = k\cdot0{,}05$

Με την προσθήκη 30 mL NaOCl(aq) 0,5 M:

H_2O_2(aq): $0{,}4\cdot0{,}02 = c_1\cdot0{,}05$, $c_1 = 0{,}16$ M

NaOCl(aq): $0{,}5\cdot0{,}03 = c_2\cdot0{,}05$, $c_2 = 0{,}3$ M

$\upsilon_1 = k\cdot0{,}16\cdot0{,}3 = k\cdot0{,}048$

Με την προσθήκη 80 mL NaOCl(aq) 0,5 M:

H_2O_2(aq): $0{,}4\cdot0{,}02 = c_1\cdot0{,}1$, $c_1 = 0{,}08$ M

NaOCl(aq): $0{,}5\cdot0{,}08 = c_2\cdot0{,}1$, $c_2 = 0{,}4$ M

$\upsilon_2 = k\cdot0{,}08\cdot0{,}4 = k\cdot0{,}032$

Με σύγκριση των τιμών προκύπτει ότι η υ_3 είναι μικρότερη.

12.30. 3ης τάξης, $5{,}76\cdot10^{-4}\ M^{-2}\cdot s^{-1}$.

12.31. α) $\upsilon = k\cdot[H_2O_2]\cdot[I^-]$, δεύτερης τάξης.

β) $1{,}15\cdot10^{-2}\ M^{-1}\cdot s^{-1}$.

γ) $2{,}3\cdot10^{-6}\ M\cdot s^{-1}$.

12.32. α) $\upsilon = k\cdot[NO]^2\cdot[H_2]$, ο νόμος ταχύτητας καθορίζεται από το αργό στάδιο.

β) i. $[NO] = 0{,}1$ M, $[H_2] = 0{,}05$ M, $[N_2] = 0{,}05$ M, $[H_2O] = 0{,}1$ M. ii. $2\cdot10^{-3}\ M\cdot s^{-1}$.

12.33. α) i. $\upsilon_1(N_2O_5) = 2\upsilon_1 = 5{,}4\cdot10^{-4}\ M\cdot s^{-1}$. ii. $\upsilon_2(NO_2) = 4\upsilon_2 = 5{,}4\cdot10^{-4}\ M\cdot s^{-1}$.

β) $\upsilon = k\cdot[N_2O_5]$, 1ης τάξης, k σε s^{-1}.

12.34. α) $2\cdot10^{-4}\ L^2\cdot mol^{-2}\cdot s^{-1}$.

β) $4\cdot10^{-4}\ mol\cdot L^{-1}\cdot s^{-1}$. γ) 0 (τέλος της αντίδρασης).

12.35. Με αντικατάσταση στο νόμο ταχύτητας της αντίδρασης:

$\upsilon = k\cdot[H_2S]\cdot[Cl_2] = 3{,}5\cdot10^{-2}\cdot2\cdot10^{-4}\cdot2\cdot10^{-2} = 1{,}4\cdot10^{-7}\ M\cdot s^{-1}$

Ο ρυθμός παραγωγής του HCl(aq) την ίδια χρονική στιγμή (t) θα είναι διπλάσιος από την ταχύτητα της αντίδρασης.

$\upsilon(HCl) = 2{,}8\cdot10^{-7}\ M\cdot s^{-1}$

12.36. Από το 1ο γράφημα προκύπτει ότι η ταχύτητα της αντίδρασης είναι ανάλογη της [B]. Επίσης, από το 2ο γράφημα προκύπτει ότι η ταχύτητα της αντίδρασης είναι ανάλογη της [A]. Επομένως ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης είναι $\upsilon = k\cdot[A]\cdot[B]$ και η αντίδραση είναι 2ης τάξης.

β) Για το 2ο γράφημα ισχύει: $\upsilon = k\cdot[B]\cdot[A]$, όπου το (σταθερό) γινόμενο $k\cdot[B]$ αντιστοιχεί στην κλίση της ευθείας. Επομένως: $0{,}06 = k\cdot[B] = k\cdot0{,}4$, $k = 0{,}06/0{,}4 = 0{,}15\ L\cdot mol^{-1}\cdot s^{-1}$.

12.37. α) $8\cdot10^{-4}\ L\cdot mol^{-1}\cdot s^{-1}$.

β) 0,1 M, 0, 0,05 M, 0,15 M.

12.38. α) Έστω x mol η αρχική ποσότητα του X(s).

(mol) X(s) + 2Ψ(g) → Ω(g)
x 0,6 –
−0,1 −0,2 0,1
t_1 x – 0,1 0,4 0,1
$\upsilon = k\cdot[\Psi]^2 = 10^{-3}\cdot(0{,}4/2)^2 = 4\cdot10^{-5}$ M·s^{-1}.
β) Το Ψ έχει συντελεστή 2 και άρα: $\upsilon(\Psi) = 2\upsilon = 8\cdot10^{-5}$ M·s^{-1}.
γ) (mol) X(s) + 2Ψ(g) → Ω(g)
x 0,6 –
−ω −2ω ω
t_2 x – ω 0,6 – 2ω ω
Ισχύει: 0,6 – 2ω + ω = 0,4, ω = 0,2 mol. Άρα, στο τέλος της αντίδρασης θα συνυπάρχουν 0,6 – 2ω = 0,2 mol Ψ (αντιδρών σε περίσσεια) και ω = 0,2 mol Ω. Παράλληλα, έχει αντιδράσει όλη η ποσότητα του Χ (περιοριστικό αντιδρών) και επομένως η τελική ποσότητά του θα είναι 0.

12.39. α) Ο νόμος ταχύτητας δίνεται είναι: $\upsilon = k\cdot[A]\cdot[B]$. Η αρχική συγκέντρωση του Α(g) είναι: $[A]_0 = 2/5 = 0{,}4$ M ενώ η αρχική συγκέντρωση του Β(g) είναι: $[B]_0 = 2{,}5/5 = 0{,}5$ M.
$4\cdot10^{-3} = k\cdot0{,}4\cdot0{,}5$, $k = 0{,}02$ M$^{-1}\cdot$s^{-1}.
β) i. (mol) 2A(g) + B(g) → 2Γ(g)
2 2,5 –
−2x −x 2x
x = 0,5 mol
t_1 = 50 s 1 2 1
$\upsilon = k\cdot[A]\cdot[B] = 0{,}02\cdot(1/5)\cdot(2/5) =$
$0{,}02\cdot0{,}08 = 1{,}6\cdot10^{-3}$ mol·L$^{-1}\cdot$s^{-1}.
ii.

$$\upsilon = \frac{1}{2}\frac{\Delta[\Gamma]}{\Delta t} = \frac{1}{2}\frac{0{,}2-0}{50} = 2\cdot10^{-3}\ \text{M}\cdot\text{s}^{-1}$$

iii. Όταν σχηματίζονται 2 mol Γ εκλύονται 60 kJ
1 mol Γ y = 30 kJ
γ) i. (mol) 2A(g) + B(g) → 2Γ(g)
2 2,5 –
−2ω −ω 2ω
t_2 2 – 2ω 2,5 – ω 2ω
Τα mol των αερίων που συνυπάρχουν τη στιγμή t_2 είναι:
$n_{ολ} = 2 - 2\omega + 2{,}5 - \omega + 2\omega = 4{,}5 - \omega$
Από την καταστατική εξίσωση των αερίων:
$P\cdot V = n_{ολ}\cdot R\cdot T$, $28{,}7\cdot5 = n_{ολ}\cdot0{,}082\cdot500$, $n_{ολ} = 3{,}5$ mol.
Ισχύει: 4,5 – ω = 3,5, ω = 1 mol.
ii. Άρα, η ποσότητα του Α(g) έχει μηδενιστεί τη στιγμή t_2 και η αντίδραση έχει τελειώσει, οπότε $\upsilon = 0$.

12.40. α) Έστω $\upsilon = k\cdot[A_2]^\alpha\cdot[B_2]^\beta$ ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης. Για τα 3 πειράματα ισχύουν:
$5\cdot10^{-6} = k\cdot(10^{-2})^\alpha\cdot(2\cdot10^{-2})^\beta$ (1)
$1{,}5\cdot10^{-5} = k\cdot(10^{-2})^\alpha\cdot(6\cdot10^{-2})^\beta$ (2)
$8\cdot10^{-5} = k\cdot(4\cdot10^{-2})^\alpha\cdot(2\cdot10^{-2})^\beta$ (3)
Από τις εξισώσεις (1), (2) και (3): α = 2, β = 1.
β) Από την εξίσωση (1): $5\cdot10^{-6} = k\cdot(10^{-2})^2\cdot(2\cdot10^{-2})$,
$k = 2{,}5$ mol$^{-2}\cdot$L$^2\cdot$s^{-1}
γ) i. (mol·L^{-1}) $xA_2(g) + B_2(g) \rightarrow 2BA_x(g)$
$4\cdot10^{-2}$ $2\cdot10^{-2}$ –
$-x\cdot10^{-2}$ -10^{-2} $2\cdot10^{-2}$
$(4-x)\cdot10^{-2}$ 10^{-2} $2\cdot10^{-2}$
$2{,}5\cdot10^{-6} = 2{,}5\cdot(4-x)^2\cdot10^{-4}\cdot10^{-2} = 2{,}5\cdot(4-x)^2\cdot10^{-6}$,
$1 = (4-x)^2$, x = 3 (δεκτή λύση).
ii. Δεν είναι απλή, γιατί αν ήταν απλή ο νόμος ταχύτητας θα ήταν $\upsilon = k\cdot[A_2]^3\cdot[B_2]$ (4ης τάξης).

12.41. α) $\upsilon = k = 2{,}0\cdot10^{-2}$ mol·L$^{-1}\cdot$h^{-1}, μηδενικής τάξης.
β) $-\Delta[C_2H_5OH] = k\cdot t$, $t = 2{,}2$ h.

12.42. α) Θα δείξουμε ότι η αρχική πίεση στο δοχείο είναι ανάλογη με την αρχική συγκέντρωση του Α(g).
$P_0\cdot V = n_{0A}\cdot R\cdot T \Rightarrow [A]_0 = P_0 / R\cdot T$
Έστω $\upsilon = k\cdot[A]^x$ ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης.
$32\cdot10^{-4} = k\cdot[A]^x = k\cdot(0{,}4 / R\cdot T)^x$ (1)
$2\cdot10^{-4} = k\cdot(0{,}1 / R\cdot T)^x$ (2)
Με διαίρεση κατά μέλη των δύο εξισώσεων: $4^x = 16 \Rightarrow x = 2$.
Ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης είναι: $\upsilon = k\cdot[A]^2$. Από την εξίσωση (1): $32\cdot10^{-4} = k\cdot[A]^2 = k\cdot(0{,}4/40)^2 \Rightarrow k = 32$ M$^{-1}\cdot$s^{-1}.
γ) Μένει σταθερή, γιατί ο συνολικός αριθμός mol μένει σταθερός (V, T σταθερά).

12.43. α) 3ης τάξης.
β) $k = 6\cdot10^8$ M$^{-2}\cdot$s^{-1}.

12.44. Επιλογή Β. Από το δεύτερο στο τρίτο διάγραμμα έχει διπλασιαστεί η συγκέντρωση του Β (χωρίς μεταβολή στη συγκέντρωση του Α και παράλληλα έχει διπλασιαστεί ο αριθμός των αποτελεσματικών συγκρούσεων (διπλασιασμός της ταχύτητας της αντίδρασης). Επομένως, η ταχύτητα της αντίδρασης είναι ανάλογη με τη [Β] (1ης τάξης ως προς το αντιδρών Β). Από το τρίτο στο τέταρτο διάγραμμα έχει διπλασιαστεί η συγκέντρωση του Α (χωρίς μεταβολή στη συγκέντρωση του Β) και παράλληλα έχει διπλασιαστεί ο αριθμός των αποτελεσματικών συγκρούσεων (διπλασιασμός της ταχύτητας της αντίδρασης). Επομένως, η ταχύτητα είναι ανάλογη και με τη [Α] (1ης τάξης και ως προς το Α).

12.45. α) i. $\upsilon_A = 0{,}6/40 = 1{,}5\cdot10^{-2}$ M·s^{-1}.
ii. $\upsilon_B = 0{,}6/40 = 1{,}5\cdot10^{-2}$ M·s^{-1}.
(M) A(g) → 2B(g)
0,6 –
−0,3 0,6
0,3 0,6
(M) A(g) → Γ(g)
0,3 –
−0,3 0,3
– 0,3
$\upsilon_\Gamma = 0{,}3/40 = 7{,}5\cdot10^{-3}$ M·s^{-1}.
β) (M) A(g) → 2B(g)
0,6 –
−x 2x
0,6 – x 2x
(M) A(g) → Γ(g)
0,6 – x –
−y y
0,6 – x – y y
Ισχύει: 0,6 – x – y = 2x = 0,3, x = 0,15.
0,6 – x – y = 0,3, y = 0,3 – x = 0,15 M
[Γ] = y = 0,15 M
γ) Για τη στιγμή t_2 ισχύουν:
(M) A(g) → 2B(g)
0,6 –
−λ 2λ
0,6 – λ 2λ
(M) A(g) → Γ(g)
0,6 – λ –
−μ μ
0,6 – λ – μ μ
Ισχύει: 0,6 – λ – μ = μ, 0,6 – λ = 2μ (1).
Επειδή οι δύο αντιδράσεις έχουν την ίδια σταθερά ταχύτητας θα ισχύει: $\upsilon_1 = k_1\cdot[A]$ και $\upsilon_2 = k_2\cdot[A]$ και άρα οι ταχύτητες των δύο αντιδράσεων θα είναι ίσες σε κάθε χρονική στιγμή.

Επομένως, σε κάθε χρονική στιγμή η [Β] θα είναι διπλάσια από τη [Γ]. Δηλαδή, θα ισχύει: 2λ = 2μ, μ = λ. Από τη σχέση (1): λ = μ = 0,2. Επομένως: [Γ] = μ = 0,2 M.

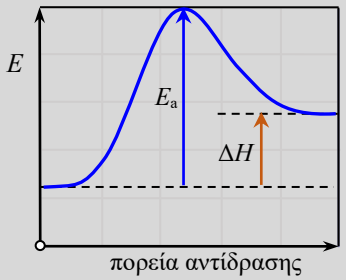
ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 12

1. Δ. **2.** Γ. **3.** Α. Η σταθερά ταχύτητας (k) της αντίδρασης έχει την ίδια μονάδα με την ταχύτητα της αντίδρασης και επομένως ο νόμος ταχύτητας θα έχει τη μορφή $\upsilon = k$ (αντίδραση μηδενικής τάξης). **4.** Γ. **5.** Γ. **6.** Γ. **7.** Β.
8. Β. Ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης προκύπτει από το αργό στάδιο.
9. Το διάγραμμα Ι.
10. α) Επιλογή iv.
β) Τη στιγμή t που έχει υποδιπλασιαστεί η συγκέντρωση του εστέρα θα έχει υποδιπλασιαστεί και η συγκέντρωση του NaOH. Η αντίδραση είναι απλή και επομένως θα ισχύει:
$\upsilon = k\cdot[CH_3COOC_2H_5]\cdot[NaOH]$.
$\upsilon_0 = k\cdot 0{,}02\cdot 0{,}02$ (1)
$\upsilon_1 = k\cdot 0{,}01\cdot 0{,}01$ (2)
Με διαίρεση κατά μέλη των (1) και (2) προκύπτει: $\upsilon_1 = \upsilon_0/4$
11. α) $\upsilon = k\cdot[A]^2\cdot[B]$. Είναι δύσκολη η ταυτόχρονη σύγκρουση 2 σωματιδίων Α με ένα σωματίδιο Β.
β) i. 1ης τάξης, s^{-1}. ii. Η σταθερά k δεν εξαρτάται από τη συγκέντρωση των αντιδρώντων ενώ αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.
γ) Όπως φαίνεται από τη σχέση, $\upsilon = k\cdot[B]$, το διάγραμμα είναι ευθεία γραμμή και η σταθερά k προκύπτει από την κλίση της ευθείας αυτής (που ισούται με την εφαπτομένη της γωνίας).
δ) Επιλογή Γ. Η ταχύτητα καθορίζεται από το πιο αργό στάδιο.
12. α) 2ης τάξης ως προς SO_2 και μηδενικής τάξης ως προς O_3.
β) $k = 0{,}8\ M^{-1}\cdot min^{-1}$.
γ) $[O_3] = 0{,}1$ M.

ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΑ (5)

Θέμα Α
Α1. Δ. Α2. Α. Α3. Γ. Ένα από τα προϊόντα της αντίδρασης λειτουργεί ως καταλύτης. Α4. Α. Α5. Α.

Θέμα Β
Β1. α) Επιλογή ii. β) Η καμπύλη αντιστοιχεί στο Β καθώς είναι το περιοριστικό αντιδρών και η ποσότητά του θα μηδενίζεται στο τέλος της αντίδρασης. Επομένως, η εφαπτομένη (ε) της καμπύλης δίνει το ρυθμό κατανάλωσης του Β(g) τη στιγμή τ και όχι στην ταχύτητα της αντίδρασης, που δίνεται από τη σχέση: $\upsilon = \upsilon_B/2$.
Β2. α) Ενδόθερμη.
β)



γ) $E_a' = 150$ kJ, $\Delta H' = -115$ kJ.
Β3. Επιλογή Β. Η ταχύτητα της αντίδρασης μειώνεται με το χρόνο. Αφού στα πρώτα 10 s η μείωση της συγκέντρωσης του αντιδρώντος Α είναι 0,4 M, στα επόμενα 10 s η μείωση της συγκέντρωσης του Α θα είναι μικρότερη και επομένως για τη νέα συγκέντρωση του Α θα ισχύει: 0,6 > [Α] > 0,2 M.
Β4. α) Με άθροιση των τριών σταδίων, προκύπτει:
$H_2O_2(aq) + 2I^-(aq) + 2H_3O^+(aq) \rightarrow I_2(aq) + 4H_2O(\ell)$
Τα ενδιάμεσα του μηχανισμού είναι το $IO^-(aq)$ και το HIO(aq).
β) Ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης καθορίζεται από το αργό στάδιο: $\upsilon = k\cdot[H_2O_2]\cdot[I^-]$. 2ης τάξης.
γ) Καμία μεταβολή. Τα ιόντα H_3O^+ δεν συμμετέχουν στο νόμο ταχύτητας της αντίδρασης.

Θέμα Γ
Γ1. 3^4 φορές.
Γ2. α) Επιλογή ii.
β) Παρατηρούμε ότι παράγεται μικρότερη ποσότητα αερίου και επομένως χρησιμοποιήθηκε μικρότερη ποσότητα Fe(s). Παράλληλα, η αρχική ταχύτητα της αντίδρασης είναι μεγαλύτερη και επομένως χρησιμοποιήθηκε μεγαλύτερη θερμοκρασία, καθώς η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την ταχύτητα της αντίδρασης λόγω αύξησης του ρυθμού των αποτελεσματικών συγκρούσεων.
Γ3. α) Στο σώμα Β(g) καθώς το Α(g) είναι σε περίσσεια και η συγκέντρωσή του δεν μηδενίζεται στο τέλος της αντίδρασης.
β) (Μ) $A(g) + 2B(g) \rightarrow 2\Gamma(g) + \Delta(s)$

	0,4	0,4	–
	−x	−2x	2x

Ισχύει: 0,4 – 2x = 2x, x = 0,1 M. Από το διάγραμμα βλέπουμε ότι [Β] = [Γ] = 0,2 M τη χρονική στιγμή t = 1 min.
γ) Η αρχική συγκέντρωση του Β(g) είναι 0,4 M και επομένως, ο όγκος του δοχείου είναι $V = 0{,}8/0{,}4 = 2$ L.
Από το διάγραμμα προκύπτει ότι τη στιγμή t = 2 min, [Β] = 0,1 M και επομένως η ποσότητα του Β είναι 0,2 mol.
Β: 0,8 − 2y = 0,2, y = 0,3 mol.
Ο ρυθμός κατανάλωσης του Α(g) είναι: $-\Delta[A]/\Delta t = 0{,}15/2 = 0{,}075\ M\cdot min^{-1}$.
δ) Κατασκευάζουμε τον πίνακα της αντίδρασης (σε mol) από την έναρξη της αντίδρασης μέχρι την ολοκλήρωσή της.
(mol) $A(g) + 2B(g) \rightarrow 2\Gamma(g) + \Delta(s)$

	0,8	0,8	–	–
	−0,4	−0,8	0,8	0,4
	0,4	–	0,8	0,4

Άρα, η τελική ποσότητα του Δ(s) είναι 0,4 mol.
Γ4. α) Υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις των δύο ενώσεων στο τελικό διάλυμα.
A(aq): $0{,}1\cdot 1 = c_1\cdot 0{,}5 \Rightarrow c_1 = 0{,}2$ M
B(aq): $0{,}5\cdot 0{,}4 = c_2\cdot 0{,}5 \Rightarrow c_2 = 0{,}4$ M
Ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης είναι $\upsilon = k\cdot[A]\cdot[B]$.
Με αντικατάσταση: $\upsilon_0 = 0{,}08\cdot 0{,}2\cdot 0{,}4 = 6{,}4\cdot 10^{-3}\ M\cdot s^{-1}$.
β) (Μ) $A(aq) + 2B(aq) \rightarrow AB_2(aq)$

	0,2	0,4	—
	−0,1	−0,2	0,1
	0,1	0,2	0,1

$\upsilon = k\cdot[A]\cdot[B] = 0{,}08\cdot 0{,}1\cdot 0{,}2 = 1{,}6\cdot 10^{-3}\ M\cdot s^{-1}$.

Θέμα Δ
Δ1. α) $\upsilon = k\cdot[NO]^2\cdot[O_2]$.
β) $k = 1600\ M^{-2}\cdot s^{-1}$.
Δ2. α) Έστω x mol από το κάθε συστατικό. Ισχύει:
2x = 22.4/22,4 = 1, x = 0,5 mol
(mol) $2NO(g) + H_2(g) \rightarrow N_2O(g) + H_2O(g)$

t = 0	0,5	0,5	–	–
	−2y	−y	y	y
10 s	0,5 − 2y	0,5 − y	y	y

Ισχύει: y·400 = 80, y = 0,2 mol.
Επομένως:
$\upsilon = \Delta[N_2O]/\Delta t = 0,02/10 = 2\cdot10^{-3}$ M·s^{-1}
β) $\upsilon = k\cdot[NO]^2\cdot[H_2] = 300\cdot0,01^2\cdot0,03 = 9\cdot10^{-4}$ M·s^{-1}
γ) (mol) $2NO(g) + H_2(g) \rightarrow N_2O(g) + H_2O(g)$

$t = 0$	0,5	0,5	–	–
	−2ω	−ω	ω	ω
	0,5 – 2ω	0,5 − ω	ω	ω

Ισχύει: ω·400 = 100, y = 0,25 mol.
Η ποσότητα του NO(g) έχει μηδενιστεί και άρα $\upsilon = 0$.
Δ3. Επιλογή iii.
Επιλογή i: $\upsilon_{01} = k\cdot[NO]^2\cdot[H_2] = k\cdot0,1^2\cdot0,1$.
Επιλογή ii: $\upsilon_{02} = k\cdot0,05^2\cdot0,25$.
Επιλογή iii: $\upsilon_{03} = k\cdot0,2^2\cdot0,2$.
Επιλογή iv: $\upsilon_{04} = k\cdot0,1^2\cdot0,3$.
Επιλογή v: $\upsilon_{05} = k\cdot0,1^2\cdot0,5$.

ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΑ (6)

Θέμα Α Α1. Α. Α2. Δ. Α3. Β. Α4. Α. Α5. Α.

Θέμα Β

Β1. α) Επιλογή Β.
β) Και στις 2 περιπτώσεις εμφανίζονται διαμοριακές δυνάμεις διασποράς ή London, που εξαρτώνται από τη σχετική μοριακή μάζα (που εδώ είναι ίδια) και από το σχήμα του μορίου. Στο διμεθυλοπροπάνιο το σχήμα είναι μάλλον σφαιρικό και η επαφή μεταξύ των μορίων μικρή με αποτέλεσμα οι δυνάμεις διασποράς να είναι ασθενέστερες και το σημείο βρασμού να είναι μικρότερο.
Β2. α) Επιλογή Β.
β) Το Δ2 έχει μικρότερη συγκέντρωση καθώς έχει η διαλυμένη ουσία έχει μεγαλύτερη M_r. Έτσι, το διάλυμα αυτό εμφανίζεται υποτονικό σε σχέση με το διάλυμα Δ1 και τα μόρια του H_2O μετακινούνται προς το διάλυμα μεγαλύτερης συγκέντρωσης, δηλαδή προς τα αριστερά. Ως αποτέλεσμα, η στάθμη του διαλύματος Δ1 ανέρχεται και του Δ2 κατέρχεται.
Β3. α) Επιλογή i.
β) Ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης είναι $\upsilon = k\cdot[A]^2\cdot[B]$.
Για το δοχείο Ι: $\upsilon_{01} = k\cdot(4\alpha^2/V^2)\cdot(2\alpha/V) = 8\cdot k\cdot(\alpha/V)^3$
Για το δοχείο ΙΙ: $\upsilon_{02} = k\cdot(\alpha^2/V^2)\cdot(4\alpha/V) = 4\cdot k\cdot(\alpha/V)^3$
Για το δοχείο ΙΙΙ: $\upsilon_{03} = k\cdot(4\alpha^2/V^2)\cdot(\alpha/V) = 4\cdot k\cdot(\alpha/V)^3$
Ισχύει: $\upsilon_{01} = 2\upsilon_{02} = 2\upsilon_{03}$
γ) Στο δοχείο ΙΙΙ. Και στις τρεις περιπτώσεις το Α(g) είναι το περιοριστικό αντιδρών και επομένως αντιδρά πλήρως. Στα δοχεία Ι και ΙΙ η τελική ποσότητα του Γ(g) θα είναι 2α αλλά στο δοχείο ΙΙ είναι ο όγκος μεγαλύτερος και επομένως η συγκέντρωση του Γ(g) θα είναι μικρότερη: $2\alpha/2V = \alpha/V$.
Β4. α) 147,5 kJ·mol^{-1}.
β) Η μετατροπή, $H_2O(\ell) \rightarrow H_2O(g)$ είναι ενδόθερμο φαινόμενο ($\Delta H > 0$) και άρα η $\Delta H_f°(H_2O(g))$ θα έχει αλγεβρικά μεγαλύτερη τιμή από τη $\Delta H_f°(H_2O(\ell))$. Επομένως, η $\Delta H° = \Delta H_f°(Sb_2O_3) + 3\cdot\Delta H_f°(H_2O(g)) - 2\cdot\Delta H_f°(SbH_3(g))$ θα έχει μεγαλύτερη τιμή.

Θέμα Γ

Γ1. α) Για $c < 0,8$ M ο $AgNO_3(aq)$ είναι σε έλλειμμα και αντιδρά όλη η ποσότητά του παράγοντας αναλογικά όλο και μεγαλύτερο ποσό θερμότητας καθώς το ποσό θερμότητας είναι ανάλογο με τις ποσότητες των αντιδρώντων σωμάτων. Για $c = 0,8$ M η ποσότητα του $AgNO_3(aq)$ είναι σε στοιχειομετρική αναλογία με την ποσότητα του Cu(s) ενώ για $c > 0,8$ M ο $AgNO_3(aq)$ είναι σε περίσσεια και δεν παράγεται μεγαλύτερο ποσό θερμότητας.
β) Για $c = 0,8$ M, $n = 0,8\cdot0,1 = 0,08$ mol.

$$Cu(s) + 2AgNO_3(aq) \rightarrow 2Ag(s) + Cu(NO_3)_2(aq)$$

0,04 mol 0,08 mol 0,08 mol 0,04 mol

Όταν αντιδρούν 0,08 mol $AgNO_3(aq)$ ελευθερώνονται 12 kJ
2 x = 300 kJ
Επομένως: $\Delta H = -300$ kJ.
Γ2. α) (mol) $2N_2O_5(g) \rightarrow 4NO_2(g) + O_2(g)$

	0,04	–	–
	−2x	4x	x
	0,04 – 2x	4x	x

Ισχύει: $4x = 2\cdot(0,04 - 2x) \Rightarrow 4x = 0,08 - 4x \Rightarrow x = 0,01$ mol.
Επομένως: $[N_2O_5] = 0,02/2 = 0,01$ M, $[NO_2] = 0,02$ M, $[O_2] = 0,005$ M.
β) Ορισμός (μέσης) ταχύτητας:

$$\upsilon = \frac{\Delta[O_2]}{\Delta t} = \frac{5\cdot10^{-3}}{400} = 1,25\cdot10^{-5}\ M\cdot s^{-1}$$

Επομένως: $\upsilon(N_2O_5) = 2\upsilon = 2,5\cdot10^{-5}$ M·s^{-1}
$\upsilon(NO_2) = 4\upsilon = 5\cdot10^{-5}$ M·s^{-1}
$\upsilon(O_2) = \upsilon = 1,25\cdot10^{-5}$ M·s^{-1}
γ) (mol) $2N_2O_5(g) \rightarrow 4NO_2(g) + O_2(g)$

	0,04	–	–
	−0,04	0,08	0,02
	—	0,08	0,02

Επομένως: $[NO_2]_{τελ.} = 0,04$ M, $[O_2]_{τελ.} = 0,01$ M.
δ) $P\cdot V = n_{ολ}\cdot R\cdot T$
Τα $n_{ολ}$ αυξάνονται κατά τη διάρκεια της αντίδρασης (2 < 4 + 1) και επομένως, αφού V, T, R = σταθερά, η πίεση αυξάνεται.
Γ3. α) Το φαινόμενο της ώσμωσης εκδηλώνεται από το υποτονικό διάλυμα (μικρότερης συγκέντρωσης) προς το υπερτονικό, άρα από το διαμέρισμα ΙΙ στο διαμέρισμα Ι.
β) Έστω V_1 και V_2 οι όγκοι των δύο διαλυμάτων μετά την εξίσωση των συγκεντρώσεων (έστω c η κοινή συγκέντρωση).
Θα ισχύει: $V_1 + V_2 = 1$ (1).
Για τη γλυκόζη: $n_{αρχ} = n_{τελ}$ και άρα: $1,2\cdot0,5 = c\cdot V_1$ (2)
Για τη σακχαρόζη: $n_{αρχ} = n_{τελ}$ και άρα: $0,8\cdot0,5 = c\cdot V_2$ (3)
Από τις εξισώσεις (2) και (3) προκύπτει:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{3}{2}\ (4)$$

Τέλος, από τις (1) και (4): $V_1 = 600$ mL και $V_2 = 400$ mL.

Θέμα Δ

Δ1. α) i. Καμπύλη (1): Β, καμπύλη (2): Γ, καμπύλη (3): Α. Η καμπύλη που λείπει αντιστοιχεί στο σώμα Δ.
ii. 0,4 mol, 0, 0,4 mol και 0,2 mol.
β) Εκλύονται 20 kJ.
γ) i. $\upsilon = k\cdot[A]\cdot[B]$, 2ης τάξης, ii. 0,2 L·mol^{-1}·s^{-1}, iii. Όχι.
δ) Το πρώτο.
Δ2. α) Σταθερή. $\upsilon = 4\cdot10^{-4}$ M·s^{-1}.
β) 50 s. Η συγκέντρωση μειώνεται αναλογικά με το χρόνο.
Δ3. (mol) $CO(g) + 2H_2(g) \rightarrow CH_3OH(g)$, $\Delta H_1 = -120$ kJ (1)

300	x		
−y	−2y	y	εκλύονται $q_1 = 120y$ kJ

(mol) $CO(g) + 3H_2(g) \rightarrow CH_4(g) + H_2O(g)$, $\Delta H_2 = -200$ kJ (2)

300 – y	x – 2y			
−ω	−3ω	ω	ω	$q_2 = 200\omega$ kJ

Οι ποσότητες του CO και του H_2 μηδενίζονται και επομένως:
300 = y + ω (3) και x = 2y + 3ω (4)
Επίσης, ισχύει: 120y + 200ω = 52.000, 1,2y + 2ω = 520 (5).
Από τις εξισώσεις (3) και (5), έχουμε:

$2y + 2\omega = 600$, $0{,}8y = 80$, $y = 100$ και άρα $\omega = 200$.
Από την εξίσωση (4): $x = 800$ mol.

ΧΗΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ

13. ΧΗΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ (1): ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ

13.1. Γ. Μπορεί κάποιο αντιδρών να είναι σε περίσσεια, οπότε και μετά το τέλος της μονόδρομης αντίδρασης η ποσότητά του δεν μηδενίζεται.

13.2. Γ. Στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας ισχύει: $\upsilon_1 = \upsilon_2 \neq 0$.

13.3. Α. Στο δοχείο 1 παρατηρούμε ότι οι ποσότητες των προϊόντων και των αντιδρώντων δεν μεταβάλλονται από τη χρονική στιγμή t_2 προς τη χρονική στιγμή t_3 που σημαίνει ότι έχει αποκατασταθεί χημική ισορροπία.

13.4. Δ. Στην κατάσταση ισορροπίας πραγματοποιούνται και οι δύο αντίθετης φοράς αντιδράσεις με την ίδια ταχύτητα.

13.5. Β. Στην κατάσταση ισορροπίας πραγματοποιούνται και οι δύο αντίθετης φοράς αντιδράσεις με την ίδια ταχύτητα.

13.6. i. Γ. Κατασκευάζουμε τον πίνακα της χημικής ισορροπίας. Αν x (x < 1) είναι η ποσότητα σε mol του H_2 που αντέδρασε μέχρι την αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας, η ποσότητα του HI που σχηματίστηκε είναι $2x < 2$.
ii. Β. Σύμφωνα με τον πίνακα της χημικής ισορροπίας οι ποσότητες στην ισορροπία θα είναι $(1 - x)$ mol H_2, $(2 - x)$ mol I_2 και $2x$ mol HI, συνολικά 3 mol.

13.7. Β. Η αντίδραση είναι αμφίδρομη (η ποσότητα του Α δεν μηδενίζεται) και ο συντελεστής του Β είναι διπλάσιος από αυτόν του Α.

13.8. Α. Το αντιδρών σε έλλειμμα θα αντιδρούσε πλήρως αν η αντίδραση ήταν μονόδρομη.

13.9. Β. Αν το $O_2(g)$ είναι το περιοριστικό αντιδρών η απόδοση θα είναι $\alpha = 0{,}4$ ενώ αν το $SO_2(g)$ είναι το περιοριστικό αντιδρών τότε η απόδοση θα είναι $\alpha \geq 0{,}4$. Σε κάθε περίπτωση η απόδοση της αντίδρασης θα είναι $\alpha \geq 0{,}4$.

13.10. Γ. Πριν την αποκατάσταση της ισορροπίας εκδηλώνεται αντίδραση προς τα δεξιά και η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα της αντίδρασης προς τα αριστερά.

13.11. Γ. Η σχηματιζόμενη ποσότητα του Γ θα πρέπει να είναι τριπλάσια από την ποσότητα του Α που αντέδρασε και επομένως η καμπύλη Ι αντιστοιχεί στο σώμα Α και η ΙΙ στο σώμα Β. Άρα ο συντελεστής στο σώμα Β είναι 3.

13.12. Α. Σε σχέση με την εξίσωση της χημικής ισορροπίας εξελίσσεται αντίδραση προς τα αριστερά. Έτσι, αν έχουν αντιδράσει $2x$ mol Γ θα έχουν παραχθεί x mol Α και $2x$ mol Β.

13.13. Γ. Η ποσότητα του Α που αντέδρασε θα πρέπει να είναι ίση με την ποσότητα του Γ που παράχθηκε. Επίσης, η ποσότητα του Β που αντέδρασε θα πρέπει να είναι διπλάσια από την ποσότητα του Α που αντέδρασε,

13.14. α) Λ. Το αν μία αντίδραση είναι αργή ή γρήγορη δεν σχετίζεται με το αν είναι αμφίδρομη ή μονόδρομη.
β) Σ. γ) Λ. δ) Σ. ε) Λ.

13.15. α) Επιλογή i.

(mol)	$N_2(g)$	+	$3H_2(g)$	$\rightleftharpoons$	$2NH_3(g)$
	x		x		–
	−y		−3y		2y
	x – y		x – 3y		2y

Ισχύει: $[H_2] < [NH_3] \Rightarrow x - 3y < 3y \Rightarrow 5y > x$ (1)
Καθώς το $H_2(g)$ είναι το περιοριστικό αντιδρών η απόδοση της αντίδρασης θα είναι:
$\alpha = 3y/x > 0{,}6$
β) Έστω ότι $[NH_3] > [N_2] \Rightarrow 2y > x - y \Rightarrow 3y > x$
Στην περίπτωση αυτή θα ισχύει: $\alpha = 3y/x > 1$ (αδύνατο).
Έστω ότι $[NH_3] = [N_2] \Rightarrow 2y = x - y \Rightarrow 3y = x$
Στην περίπτωση αυτή θα ισχύει: $\alpha = 3y/x = 1$ (αδύνατο).
Επομένως θα ισχύει: $[NH_3] < [N_2]$.

13.16. Στο δοχείο Β. Στο δοχείο Β θα εξελιχθεί αντίδραση προς τα αριστερά καθώς σε αυτό δεν υπάρχει αρχική ποσότητα $NO_2(g)$. Έτσι, μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας η ποσότητα του CO(g) θα είναι $(1 + x)$ mol. Στα δοχεία Α και Γ θα εξελιχθεί αντίδραση προς τα δεξιά και η τελική ποσότητα του CO(g) θα είναι μικρότερη από 1 mol. Στο δοχείο Δ θα εξελιχθεί αντίδραση προς τα αριστερά αλλά η τελική ποσότητα του CO(g) θα είναι μικρότερη από 1 mol καθώς δεν μπορεί να αντιδράσει ολόκληρη η ποσότητα του $CO_2(g)$ και του NO(g).

13.17. α) Επιλογή 2.
β) Έστω x mol η αρχική ποσότητα της ουσίας Α.

mol	A(g)	$\rightleftharpoons$	2B(g)
Αρχικά	x		–
Μεταβολές	−ω		2ω
Χ.Ι.	x - ω		2ω

Για την απόδοση της αντίδρασης (1) ισχύει: $0{,}6 = \omega/x$ και επομένως $\omega = 0{,}6x$.

mol	B(g)	$\rightleftharpoons$	Γ(g)
Αρχικά	2ω		–
Μεταβολές	−y		y
Χ.Ι.	2ω - y		y

Για την απόδοση της αντίδρασης (2) ισχύει: $0{,}9 = y/2\omega$ και επομένως $y = 1{,}8\omega = 1{,}08x$. Η θεωρητική ποσότητα του προϊόντος Γ είναι ίση με $2x$ και επομένως η απόδοση της όλης διαδικασίας θα είναι: $\alpha = y/2x = 1{,}08x/2x = 0{,}54$ (54%).

13.18. α) Το διάγραμμα Δ.
β) Κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της αντίδρασης και μέχρι την αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας ο συνολικός αριθμός mol των αερίων μειώνεται. Έτσι, αν x mol η αρχική ποσότητα του CO(g) στη χημική ισορροπία θα συνυπάρχουν $(x - 2y)$ mol CO(g) και y mol $CO_2(g)$ και θα ισχύει: $x - 2y > 0$ και επομένως $y < x/2$. Ο συνολικός αριθμός mol των αερίων θα είναι: $(x - 2y) + y = x - y > x/2$. Από την καταστατική εξίσωση των αερίων:
$P_0 \cdot V = x \cdot R \cdot T$ και $P \cdot V = (x - y) \cdot R \cdot T$
Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει ότι στη χημική ισορροπία θα ισχύει: $P_0 > P > P_0/2$.

13.19. α) $[CO] = 0{,}96$ M, $[H_2] = 0{,}32$ M, $[CH_3OH] = 0{,}04$ M.
β) 4%.

13.20. NaCl: $n = c \cdot V = 2 \cdot 0{,}05 = 0{,}1$ mol
H_2SO_4: $n = c \cdot V = 6 \cdot 0{,}025 = 0{,}15$ mol
MnO_2: $n = m/M_r = 4{,}35/87 = 0{,}05$ mol
NaCl: $0{,}1/4 = 0{,}025$
H_2SO_4: $0{,}15/2 = 0{,}075$
MnO_2: $0{,}05/1 = 0{,}05$
Το περιοριστικό αντιδρών είναι το NaCl. Η θεωρητική ποσότητα του $Cl_2(g)$ είναι 0,025 mol.
$\alpha = 0{,}8 =$ (πρακτική ποσότητα Cl_2)/(θεωρητική ποσότητα Cl_2)
πρακτική ποσότητα $Cl_2 = 0{,}8 \cdot 0{,}025 = 0{,}02$ mol

$V = 0{,}02 \cdot 22{,}4 = 0{,}448$ L.

13.21. α) (mol) $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$

Αρχικά	0,2	0,25	
Μεταβολές	−0,15	−0,075	0,15
ΧΙ	0,05	0,175	0,15

β) Το $SO_2(g)$ είναι σε έλλειμμα και άρα: $\alpha = 0{,}15/0{,}2 = 0{,}75$.

13.22. Έστω x mol $H_2(g)$ στο αέριο μίγμα και y mol $N_2(g)$.

$x + y = 33{,}6/22{,}4$, $x + y = 1{,}5$

Στα αέρια μίγματα η αναλογία όγκων είναι και αναλογία mol.

$x = (40/100) \cdot 1{,}5 = 0{,}6$ mol $H_2(g)$

$y = (60/100) \cdot 1{,}5 = 0{,}9$ mol $N_2(g)$

(mol) $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$

0,9	0,6	–
−ω	−3ω	2ω
0,9 − ω	0,6 − 3ω	2ω

Η θεωρητική ποσότητα της $NH_3(g)$ υπολογίζεται με βάση το αντιδρών σε έλλειμμα (H_2) ότι είναι 0,6 mol. Επομένως:

$\alpha = 3\omega/0{,}6 = 0{,}1$, $\omega = 0{,}02$ mol.

NH_3: ($M_r = 17$): $m = 0{,}04 \cdot 17 = 0{,}68$ g.

13.23. α) i. Προς τα δεξιά. ii. I: O_2, II: SO_3, III: SO_2.

β) $[SO_2] = [SO_3] = 0{,}4$ M, $[O_2] = 0{,}7$ M.

13.24. 0,1 mol, 0,1 mol, 0,2 mol και 0,2 mol, $\alpha = 2/3$.

13.25. α) $\lambda = 12$ mol, $\mu = 10$ mol, β) $\alpha = 2/3$.

13.26. α) Κατασκευάζουμε τον πίνακα της ισορροπίας:

mol	$2SO_2(g)$	+ $O_2(g)$	$\rightleftharpoons$ $2SO_3(g)$
Αρχικά	x	y	
Μεταβολές	−2ω	−ω	2ω
Χ.Ι.	x − 2ω	y − ω	2ω

Ισχύει: $2\omega/x = 0{,}8$ και επομένως: $x = 2{,}5\omega$.

Επίσης: $\omega/y = 0{,}5$ και επομένως: $y = 2\omega$.

Άρα το O_2 είναι σε περίσσεια και η θεωρητική ποσότητα του $SO_3(g)$ είναι ίση με 2,5ω.

$\alpha = 2\omega/2{,}5\omega = 0{,}8$ (80%).

β) Επιλογή 3. Κατασκευάζουμε τον πίνακα της ισορροπίας:

mol	$2SO_2(g)$	+ $O_2(g)$	$\rightleftharpoons$ $2SO_3(g)$
Αρχικά	x	x	
Μεταβολές	−2ω	−ω	2ω
Χ.Ι.	x − 2ω	x − ω	2ω

Ισχύει: $\omega/x = 0{,}25$, $\omega = 0{,}25x$. Η απόδοση υπολογίζεται από το αντιδρών σε έλλειμμα που είναι το SO_2: $\alpha = 2\omega/x = 0{,}5$ (50%).

13.27. $\alpha = 0{,}4$ (40%).

13.28. α) [A] = 0,015 M, [B] = 0,005 M. β) $\alpha = 0{,}75$ (75%).

13.29. α) $COCl_2$ ($M_r = 99$): $n = 29{,}7/99 = 0{,}3$ mol

mol	$COCl_2(g)$	$\rightleftharpoons$ $CO(g)$	+ $Cl_2(g)$
Αρχικά	0,3	—	—
Μεταβολές	–x	x	x
Χ.Ι.	0,3 – x	x	x

$x = 4{,}2/28 = 0{,}15$ mol CO ($M_r = 28$)

Επομένως, στη χημική ισορροπία θα συνυπάρχουν: 0,3 − 0,15 = 0,15 mol $COCl_2$, 0,15 mol CO και 0,15 mol Cl_2.

β) Η απόδοση της αντίδρασης είναι:

$\alpha = x/0{,}3 = 0{,}15/0{,}3 = 0{,}5$ (50%).

γ) Ο συνολικός αριθμός mol στην ισορροπία είναι:

$(0{,}3 - x) + x + x = 0{,}45$

Στα αέρια η αναλογία όγκων είναι και αναλογία mol, θα ισχύει:

$$\%v/v\ CO = \frac{0{,}15}{0{,}45} \cdot 100 = 33{,}3\%$$

13.30. α) $x = y = 2$, β) 0,6 mol, γ) $\alpha = 2/3$.

13.31. α) $4HCl(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2Cl_2(g) + 2H_2O(g)$

β) (mol) $4HCl(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2Cl_2(g) + 2H_2O(g)$

x	x	–	–
−4y	−y	2y	2y
x − 4y	x − y	2y	2y

Ισχύει: $y/x = 0{,}2 \Rightarrow y = 0{,}2x$ (1)

Το HCl(g) είναι το περιοριστικό αντιδρών και επομένως ισχύει:

$\alpha = 4y/x = 0{,}8$ (80%)

γ) Τα συνολικά mol των 4 αερίων της ισορροπίας είναι:

$x - 4y + x - y + 2y + 2y = 2x - y = 1{,}8x$

$P_2 \cdot V = (2x - y) \cdot R \cdot T$

$P_1 \cdot V = 2x \cdot R \cdot T$

Μετά από πράξεις: $P_2/P_1 = 9/10$.

13.32. $x = 2$.

13.33. α) (mol) $A_2(g) + 3B_2(g) \rightleftharpoons 2AB_3(g)$

	6	y	–
	−ω	−3ω	2ω
ΧΙ	6 − ω	y − 3ω	2ω

i. Έστω ότι το περιοριστικό αντιδρών είναι το $A_2(g)$.

$\alpha = \omega/6 = 0{,}6 \Rightarrow \omega = 3{,}6$ mol

Επομένως, στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας θα συνυπάρχουν 2,4 mol $A_2(g)$, (y − 10,8) mol $B_2(g)$ και 7,2 mol $AB_3(g)$. Το μίγμα δεν είναι ισομοριακό και η περίπτωση αυτή απορρίπτεται.

ii. Έστω ότι το περιοριστικό αντιδρών είναι το $B_2(g)$.

$\alpha = 3\omega/y = 0{,}6 \Rightarrow \omega = 0{,}2y$

Επομένως, στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας θα συνυπάρχουν (6 − 0,2y) mol $A_2(g)$, 0,4y mol $B_2(g)$ και 0,4y mol $AB_3(g)$. Θα πρέπει να ισχύει:

$6 - 0{,}2y = 0{,}4y \Rightarrow y = 10$ mol

β) Η ποσότητα της ένωσης $AB_3(g)$ θα είναι $2 \cdot 0{,}2y = 4$ mol.

13.34. 75%, $\alpha = 0{,}75$ (75%).

13.35. α) Η ποσότητα του αέρα αποτελείται από $(80/100) \cdot 275 = 220$ mol N_2 και $275 - 220 = 55$ mol O_2.

(mol) $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$

100	55	–
−2x	−x	2x

Το O_2 είναι σε περίσσεια και άρα: $\alpha = 0{,}9 = 2x/100$, $x = 45$ mol.

Στο δοχείο συνυπάρχουν $100 - 2x = 10$ mol SO_2, $55 - x = 10$ mol O_2, $2x = 90$ mol SO_3 και 220 mol N_2, συνολικά 330 mol.

β) %v/v σε $SO_3 = (90/330) \cdot 100 = (300/11)\%$.

13.36. Η ισορροπία είναι δυναμική και επομένως η διάσπαση ενός μορίου $O_2N^*—^*NO_2$ ($M_r = 94$) οδηγεί στο σχηματισμό 2 μορίων $^*NO_2$ ($M_r = 47$). Στη συνέχεια μπορεί να συνενωθούν 1 μόριο $^*NO_2$ και ένα μόριο NO_2 προς σχηματισμό ενός μορίου $O_2N^*—NO_2$ ($M_r = 93$).

13.37. Κατασκευάζουμε τους πίνακες και των δύο χημικών ισορροπιών.

mol	A(g)	+ B(g)	$\rightleftharpoons$ Γ(g)
Αρχικά	5	6	–
Μεταβολές	–x	–x	x
	5 – x	6 – x	x

mol	2Γ(g)	$\rightleftharpoons$ Δ(g)	+ E(g)
Αρχικά	x	–	–
Μεταβολές	−2y	y	y
	x − 2y	y	y

Ισχύει: $[\Delta(g)] = y/4 = 0{,}375$ M, $y = 1{,}5$ mol.

Επομένως: [E(g)] = y/4 = 0,375 M.
Επίσης, ισχύει: [Γ(g)] = (x − 2y)/4 = 0,25 M, x − 2y = 1 M.
x = 4 mol.
Άρα: [A(g)] = (5 – x)/4 = 0,25 M και [B(g)] = (6 – x)/4 = 0,5 M.

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 13

1. Γ **2.** Γ **3.** Γ **4.** Γ **5.** Γ **6.** Α.
7. α) Επιλογή 3. β) Καθώς δεν εισάγεται ποσότητα $N_2(g)$ θα εξελιχθεί αντίδραση προς τα αριστερά με αποτέλεσμα αρχικά να ισχύει: $\upsilon_1 < \upsilon_2$. Με την πάροδο του χρόνου αποκαθίσταται χημική ισορροπία στην οποία θα ισχύει: $\upsilon_1 = \upsilon_2$.
8. α) (mol) $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$

λ	μ	–
−2	−1	2
λ – 2	μ – 1	2

β) Επιλογή 4.
Ι. Στη χημική ισορροπία θα πρέπει να συνυπάρχουν ποσότητες από όλα τα αντιδρώντα και τα προϊόντα και επομένως:
λ − 2 > 2, λ > 2.
Επίσης θα ισχύει: μ – 1 > 0, μ > 1.
ΙΙ. Αν λ ≥ 2μ, το O_2 θα είναι το περιοριστικό αντιδρών και επομένως θα ισχύει: $\alpha = 1/\mu$.
ΙΙΙ. Αν λ ≤ 2μ, το SO_2 θα είναι είναι το περιοριστικό αντιδρών και επομένως θα ισχύει: α = 2/λ.
9. α) Καμπύλη 1: Γ, καμπύλη 2: Β, καμπύλη 3: Α, λ = 3.
β) 0,25 mol Β, 0,75 mol Γ, γ) 0,8.
10. α) $4HCl(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2Cl_2(g) + 2H_2O(g)$
β) (mol) $4HCl(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2Cl_2(g) + 2H_2O(g)$

2x	x	–	–
−4y	−y	2y	2y
2x – 4y	x − y	2y	2y

Ισχύει: y/x = 0,4 ⇒ y = 0,4x (1)
Το HCl(g) είναι το περιοριστικό αντιδρών και επομένως ισχύει:
α = 4y/2x = 0,8 (80%)
γ) Τα συνολικά mol των 4 αερίων της ισορροπίας είναι:
2x – 4y + x – y + 2y + 2y = 3x – y = 2,6x
$P_2 \cdot V = 2{,}6 \cdot R \cdot T$
$P_1 \cdot V = 3x \cdot R \cdot T$
Μετά από πράξεις: $P_2/P_1 = 26/30$.

14. ΧΗΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ (2): ΑΡΧΗ LE CHATELIER

14.1. Α. Η προσθήκη της επιπλέον ποσότητας στερεού αντιδρώντος ή προϊόντος δεν μεταβάλλει τη θέση μιας χημικής ισορροπίας.
14.2. Γ. Με την εισαγωγή επιπλέον ποσότητας υδρατμών η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα δεξιά (αρχή Le Chatelier) και η ποσότητα του H_2 θα αυξηθεί.
14.3. Α. Με την αύξηση της πίεσης η ισορροπία δεν θα μετατοπιστεί καθώς δεν υπάρχει μεταβολή των mol των αερίων από τα αντιδρώντα στα προϊόντα (αρχή Le Chatelier).
14.4. i. Β. Ο αριθμός mol των αερίων στα αντιδρώντα και στα προϊόντα είναι ο ίδιος.
ii. Α. Θα αυξηθεί λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας ($P \cdot V = n_{ολ} \cdot R \cdot T$ όπου V, $n_{ολ}$, R: σταθερά).
14.5. Δ. Με την προσθήκη επιπλέον ποσότητας Cl_2 η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα αριστερά ενώ με τη μείωση της θερμοκρασίας προς τα δεξιά (αρχή Le Chatelier), οπότε δεν μπορούμε να γνωρίζουμε.
14.6. Δ. Θα πρέπει η ισορροπία να μετατοπιστεί προς τα δεξιά με τη μείωση του όγκου (αύξηση της πίεσης) και επομένως προς τα δεξιά θα πρέπει να είναι τα λιγότερα mol αερίων (μικρότερο άθροισμα συντελεστών των αερίων).
14.7. Δ.Με την απομάκρυνση ποσότητας $H_2O(g)$ η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά (αρχή Le Chatelier).
14.8. Β. Με την προσθήκη επιπλέον ποσότητας $SO_3(g)$ η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα αριστερά και η $[SO_2(g)]$ θα αυξηθεί.
14.9. Β. Με την προσθήκη επιπλέον ποσότητας $H_2O(\ell)$ η ισορροπία θα οδεύσει προς τα δεξιά (αρχή Le Chatelier) και η ποσότητα του οξέος θα αυξηθεί.
14.10. Β. Με την προσθήκη καταλύτη δεν μετατοπίζεται η θέση της χημικής ισορροπίας καθώς αυξάνονται το ίδιο και οι δύο αντίθετης φοράς ταχύτητες.
14.11. Α. Με την αύξηση της $[Fe^{2+}]$ η ισορροπία θα οδεύσει προς τα δεξιά (αρχή Le Chatelier) και η ποσότητα του Ag(s) θα αυξηθεί.
14.12. Β. Με τη χρήση επιπλέον ποσότητας O_2 η ισορροπία θα οδεύσει προς τα δεξιά (αρχή Le Chatelier) και η ποσότητα του NO θα αυξηθεί.
14.13. Γ. Με την προσθήκη της επιπλέον ποσότητας $H_2(g)$ είναι δυνατόν να αντιδράσουν 1 mol N_2 με 3 mol H_2 ώστε να παραχθούν τα 2 mol επιπλέον NH_3. Με τη μείωση του όγκου του δοχείου η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα δεξιά αλλά δεν είναι δυνατόν να αντιδράσουν 3 mol H_2 ώστε να παραχθεί η επιπλέον ποσότητα NH_3.
14.14. Β. Με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνονται και οι δύο ταχύτητες και η θέση της ισορροπίας μετατοπίζεται προς τα αριστερά (προς την ενδόθερμη κατεύθυνση). Για να γίνει αυτό θα πρέπει η υ_2 να αυξηθεί περισσότερο από τη υ_1 (με τη μετατόπιση της ισορροπίας θα αποκατασταθεί νέα ισορροπία στην οποία οι δύο ταχύτητες θα γίνουν πάλι ίσες).
14.15. Β. Με την απομάκρυνση ποσότητας H_2 η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά μειώνεται απότομα. Παράλληλα η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα αριστερά με βάση την αρχή Le Chatelier με αποτέλεσμα η συγκέντρωση του H_2 και του I_2 να αυξάνονται σταδιακά ενώ η συγκέντρωση του HI να μειώνεται. Έτσι, η ταχύτητα προς τα αριστερά μειώνεται και η ταχύτητα προς τα δεξιά αυξάνεται μέχρις ότου οι δύο ταχύτητες να εξισωθούν οπότε αποκαθίσταται νέα χημική ισορροπία.
14.16. Β. Με τη μείωση της θερμοκρασίας η ισορροπία θα οδεύσει προς τα αριστερά οπότε οι συγκεντρώσεις των προϊόντων θα μειωθούν και των αντιδρώντων θα αυξηθούν.
14.17. Β. Με την αύξηση της θερμοκρασίας η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα αριστερά (ενδόθερμη κατεύθυνση) και η ποσότητα του $Ca(OH)_2(s)$ θα αυξηθεί.
14.18. Α. Η χαμηλή πίεση ευνοεί τη μετατόπιση της ισορροπίας προς τα αριστερά και επομένως το $NO_2(g)$ έχει σκοτεινότερο χρώμα. Αφού το χρώμα του συστήματος γίνεται σκοτεινότερο και με την αύξηση της θερμοκρασίας σημαίνει ότι η ισορροπία προς τα αριστερά είναι ενδόθερμη και άρα προς τα δεξιά εξώθερμη.
14.19. Β. Με τη διάλυση της $NH_3(g)$ στο νερό απομακρύνεται από την ισορροπία και επομένως αυτή μετατοπίζεται προς τα δεξιά.
14.20. Δ. Με το διπλασιασμό του όγκου του δοχείο η πίεση απότομα υποδιπλασιάζεται. Στη συνέχεια η ισορροπία οδεύει

προς τα αριστερά (προς τα περισσότερα mol αερίων) και η πίεση αυξάνεται χωρίς να φθάσει στην αρχική τιμή των 50 atm.

14.21. Α. Με το διπλασιασμό του όγκου η συγκέντρωση του $PCl_5(g)$ γίνεται απότομα 0,2 Μ. Στην συνέχεια η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά και η η συγκέντρωση του $PCl_5(g)$ γίνεται μικρότερη από 0,2 Μ.

14.22. α) Λ, β) Σ, γ) Λ, δ) Λ, ε) Λ, στ) Σ, ζ) Σ.

14.23. Με βάση την αρχή Le Chatelier προκύπτουν οι ανισότητες: $n_1 > n_0$, $n_2 < n_0$, $n_3 > n_1$, $n_4 < n_2$, $n_5 > n_3$. Επομένως: n_4, n_2, n_0, n_1, n_3, n_5.

14.24. α) Ετερογενής, Ι: Α, ΙΙ: Γ, λ = 2.

β) i. Δεξιά. ii. Δεν θα μεταβληθεί.

14.25. α) Το διάγραμμα Β. β) Με τον υποδιπλασιασμό του όγκου του δοχείου υπό σταθερή θερμοκρασία η ισορροπία σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier μετακινείται προς τα δεξιά (λιγότερα mol αερίων) με αποτέλεσμα να αυξηθεί η ποσότητα του Β μέχρι την αποκατάσταση νέας χημικής ισορροπίας οπότε και σταθεροποιείται.

14.26. Αυξήσαμε τη θερμοκρασία. Από τις μεταβολές στις συγκεντρώσεις των δύο σωμάτων συμπεραίνουμε ότι η επάνω καμπύλη αντιστοιχεί στο N_2O_4 και η κάτω στο NO_2. Επομένως, η ισορροπία μετατοπίστηκε προς τα αριστερά. Καθώς δεν υπάρχει απότομη μεταβολή σε κάποια συγκέντρωση, η μεταβολή οφείλεται σε μεταβολή της θερμοκρασίας και μάλιστα σε αύξηση της θερμοκρασίας (αρχή Le Chatelier).

14.27. α) Καμία μεταβολή.

β) Η επιπλέον προσθήκη ή η αφαίρεση στερεού συστατικού χημικής ισορροπίας δεν αλλάζει τη θέση της καθώς δεν υπάρχει μεταβολή της συγκέντρωσης.

14.28. α) Επιλογή i. Με την αύξηση του όγκου του δοχείου οι συγκεντρώσεις των συστατικών της ισορροπίας μειώνονται και επομένως μειώνονται και οι δύο ταχύτητες υ_1 και υ_2. Όμως, σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier η θέση της ισορροπίας μετατοπίζεται προς τα δεξιά και επομένως η υ_1 θα είναι μεγαλύτερη από τη υ_2 μέχρι την αποκατάσταση της νέας ισορροπίας στην οποία οι δύο ταχύτητες θα εξισωθούν εκ νέου.

14.29. α) Προσθήκη επιπλέον ποσότητας Γ(g), 1-Α(g), 2-Β(g), 3-Γ(g). β) i. Προς τα δεξιά, ii. προς τα αριστερά.

14.30. α) i. Δεξιά, ii. δεξιά. β) Εξελίσσεται αντίδραση προς τα δεξιά, μέχρι να αποκατασταθεί χημική ισορροπία.

14.31. α) Επιλογή i.

β) Με την προσθήκη επιπλέον 0,8 mol Γ(g) η χημική ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα αριστερά, σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier, με αποτέλεσμα την παραγωγή επιπλέον ποσότητας του Α(g). Μάλιστα, η ποσότητα του Γ(g) που θα αντιδράσει θα είναι μικρότερη από 0,8 mol και επομένως η επιπλέον ποσότητα του Α(g) που θα παραχθεί θα είναι μικρότερη από 1,6 mol. Αντίθετα, με την προσθήκη 0,8 mol Β(g) δεν μπορεί να παραχθεί η επιπλέον ποσότητα 1 mol Α(g), ακόμη και αν αντιδρούσε όλη η επιπλέον ποσότητα. Με τη μείωση της θερμοκρασίας η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα δεξιά και επομένως η ποσότητα του Α(g) θα μειωθεί. Επίσης, με την αύξηση του όγκου του δοχείου (μείωση της πίεσης) η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα δεξιά και επομένως η ποσότητα του Α(g) θα μειωθεί.

14.32. Επιλογή Γ. Με τη διάλυση ποσότητας $I_2(s)$ στη στιβάδα του βενζολίου, η ισορροπία (1) μετατοπίζεται προς τα δεξιά και άρα η $[Cu^{2+}(aq)]$ μειώνεται οπότε η ποσότητα CuI(s) αυξάνεται.

14.33. Επιλογή 4. Με την αραίωση του διαλύματος η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά (υ_1) δεν μεταβάλλεται καθώς το PbI_2 είναι στερεό. Αντίθετα, οι συγκεντρώσεις των Pb^{2+} και I^- μειώνονται απότομα και μειώνεται και η υ_2. Με την πάροδο του χρόνου και σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier η ισορροπία οδεύει προς τα δεξιά, οι $[Pb^{2+}]$ και $[I^-]$ αυξάνονται οπότε αυξάνεται και η υ_2 μέχρις ότου να εξισωθεί με τη υ_1.

14.34. Σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier: Με την προσθήκη ποσότητας του Ε(g) η ισορροπία (2) μετατοπίζεται προς τα δεξιά και επομένως η ποσότητα του Δ(g) αυξάνεται ενώ η ποσότητα του Α(g) μειώνεται. Έτσι, η ισορροπία (1) μετατοπίζεται προς τα αριστερά και η ποσότητα του Β(g) αυξάνεται. Έτσι, η ισορροπία (3) μετατοπίζεται προς τα αριστερά και η ποσότητα του Σ(s) μειώνεται.

14.35. α) Επιλογή ii.

β) Στην αρχική ισορροπία $n_{o\lambda} = 10$ mol. Από την καταστατική εξίσωση: $10 \cdot V = 10 \cdot R \cdot T$, $V = R \cdot T$ (1).

Με διπλασιασμό του όγκου, η πίεση αρχικά υποδιπλασιάζεται οπότε η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα αριστερά, σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier.

(mol)	2Α(g)	+ Β(g)	⇌ 2Γ(g)
	3	3	4
	2x	x	−2x
	3 + 2x	3 + x	4 – 2x

Στην τελική κατάσταση ισορροπίας ισχύει: $n'_{o\lambda} = (10 + x)$ mol. Από την καταστατική εξίσωση, $P_2 \cdot 2V = (10 + x) \cdot R \cdot T$ και λόγω της (1):

$P_2 \cdot 2 = (10 + x) \Rightarrow P_2 = 5 + (x/2)$ (2).

Επίσης, για την ποσότητα του Γ(g) ισχύει: $4 – 2x > 0$, $x < 2$ και επομένως: $x/2 < 1$.

Από την (2): 5 atm < P_2 < 6 atm.

14.36. α) Αντίδραση (1): ενδόθερμη και (2): εξώθερμη.

β) i. Αύξηση της επιφάνειας επαφής του Α(s). ii. Θα αυξηθεί.

γ) i. Θα αυξηθούν. ii. Θα μειωθεί.

δ) i. Θα μειωθούν. ii. Θα μειωθεί.

14.37. α) Παρατηρούμε ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας (στην ίδια πίεση) η απόδοση μειώνεται που σημαίνει ότι η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα αριστερά. Σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier, με την αύξηση της θερμοκρασίας η ισορροπία μετατοπίζεται προς την ενδόθερμη κατεύθυνση και επομένως η αντίδραση προς τα αριστερά είναι ενδόθερμη και προς τα δεξιά εξώθερμη.

β) Παρατηρούμε ότι στην ίδια θερμοκρασία η απόδοση είναι μεγαλύτερη στην πίεση P_2 και επομένως ισχύει $P_2 > P_1$. Πράγματι, με την αύξηση της πίεσης και σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά (προς τα λιγότερα mol αερίων) και η απόδοση αυξάνεται.

14.38. Με προσθήκη επιπλέον ποσότητας Α(g) η ισορροπία, σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier, θα μετατοπιστεί προς τα δεξιά.

(mol)	Α(g)	+ Β(s)	⇌ Γ(g)
Αρχική ΧΙ	0,1	0,1	0,1
Προσθήκη	λ		
Μεταβολές	−x	−x	x
Νέα ΧΙ	0,1 + λ – x	0,1 – x	0,1 + x

Ο συνολικός αριθμός mol των αερίων στην αρχική ισορροπία είναι 0,2 mol ενώ στη νέα χημική ισορροπία είναι:

$n' = 0,1 + \lambda – x + 0,1 + x = 0,2 + \lambda$ (1)

Από την καταστατική εξίσωση των αερίων στην αρχική και στη νέα χημική ισορροπία, έχουμε:

$P \cdot V = 0{,}2 \cdot R \cdot T$
$2P \cdot V = n' \cdot R \cdot T$
Από τις δύο παραπάνω σχέσεις, προκύπτει: $n' = 0{,}4$ mol, οπότε από τη σχέση (1): $\lambda = 0{,}2$ mol.

14.39. α) Το διάγραμμα ΙΙΙ.

β) Με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνονται και οι δύο αντίθετης φοράς αντιδράσεις με αποτέλεσμα την ταχύτερη αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας. Όμως, με την αύξηση της θερμοκρασίας η χημική ισορροπία μετατοπίζεται προς τα αριστερά, σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier, με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγόμενης ποσότητας NH_3.

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 14

1.Α **2.**Δ **3.**Δ **4.**Δ **5.**Α **6.** Α.

7. α) Στο διάλυμα NaCl(aq) εμφανίζονται λόγω διάστασης τα ιόντα Na^+ και Cl^-.

$$NaCl(aq) \rightarrow Na^+ + Cl^-$$

Έτσι, σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier, η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά με αποτέλεσμα την εμφάνιση του μπλε χρωματισμού.

β) Προφανώς, με την αύξηση της θερμοκρασίας η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά για να εμφανίζεται μπλε χρώμα. Σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί μία χημική ισορροπία προς την ενδόθερμη κατεύθυνση και επομένως η συγκεκριμένη ισορροπία θα πρέπει να είναι ενδόθερμη προς τα δεξιά.

8. α) Με την προσθήκη NaCl(s) στο διάλυμα προκύπτουν ιόντα Cl^- ($NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$). Η αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων αυτών έχει ως αποτέλεσμα τη μετατόπιση της ισορροπίας προς τα δεξιά και το κίτρινο χρώμα ενισχύεται (αρχή Le Chatelier).

β) Με τη μείωση της θερμοκρασίας η ισορροπία μετατοπίζεται αριστερά (προς την εξώθερμη κατεύθυνση, αρχή Le Chatelier). Άρα, η αντίδραση προς τα δεξιά θα είναι ενδόθερμη.

9. α) Την καμπύλη (2). Η θέση της χημικής ισορροπίας δεν μεταβάλλεται με τη χρήση καταλύτη και η υ_2 αυξάνεται το ίδιο με τη χρήση καταλύτη.

β) Την καμπύλη (4). Η θέση της ισορροπίας δεν μεταβάλλεται με τη μεταβολή του όγκου ($\Delta n = 0$) και η υ_2 μειώνεται το ίδιο.

γ) Οι δύο αντίθετης φοράς ταχύτητας μειώθηκαν και άρα ο όγκος του δοχείου αυξήθηκε καθώς με τον τρόπο αυτό μειώθηκαν οι συγκεντρώσεις των σωμάτων της ισορροπίας. Λόγω της μείωσης των συγκεντρώσεων του H_2 και του I_2 η υ_1 μειώνεται ενώ λόγω της μείωσης της [HI] μειώνεται και η υ_2.

10. Β (αρχή Le Chatelier).

11. α) $\theta_1 = 25$ °C. Με την αύξηση της θερμοκρασίας και σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα αριστερά και η απόδοση της αντίδρασης μειώνεται.

β) Ετερογενής, καθώς ο καταλύτης και τα αντιδρώντα είναι σε διαφορετική φάση.

γ) Ο καταλύτης αυξάνει την ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά αλλά και την ταχύτητα της αντίδρασης προς τα αριστερά με αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου για την αποκατάσταση της ισορροπίας. Παράλληλα, ο καταλύτης δεν είναι παράγοντας της χημικής ισορροπίας και επομένως δεν έχει καμία επίδραση στη θέση της χημικής ισορροπίας.

12. α) Αρχικά, με διπλασιασμό του όγκου η ισορροπία 1 δεν θα μετατοπιστεί (δεν υπάρχει μεταβολή των mol των αερίων). Η ισορροπία 2 θα μετατοπιστεί προς τα αριστερά σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier και έτσι η ποσότητα του NO_2 θα αυξηθεί. Έτσι η ισορροπία 1 θα μετατοπιστεί προς τα αριστερά και η ποσότητα του NOCl θα μειωθεί.

β) Θα μειωθεί. Μειώνεται ο αριθμός των mol ενώ παράλληλα αυξάνεται ο όγκος του δοχείου (μείωση του αριθμητή και αύξηση του παρονομαστή).

13. Με την απομάκρυνση ποσότητας του Γ(g) η ισορροπία, σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier, οδεύει προς τα δεξιά.

(mol)	A(s)	+ B(g)	⇌ Γ(g)
Αρχική ΧΙ	0,5	1	1
Αφαίρεση			−0,5
Μεταβολές	−x	−x	x
Νέα ΧΙ	0,5 − x	1 − x	0,5 + x

Ισχύει: $1 - x = 0{,}5 + x$, $x = 0{,}25$ mol.

Επομένως, στη νέα ισορροπία θα συνυπάρχουν 0,25 mol A(s), 0,75 mol B(g) και 0,75 mol Γ(g).

15. ΧΗΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ (3): ΣΤΑΘΕΡΑ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

15.1. Β. Στην έκφραση της σταθεράς μιας χημικής ισορροπίας τα στερεά παραλείπονται.

15.2. Α. $K_c = [N_2] \cdot [O_2] / [NO]^2$: M^2/M^2: καθαρός αριθμός.

15.3. Β. Εφόσον η ισορροπία είναι ομογενής, η έκφραση της K_c συμπεριλαμβάνει όλα τα σώματα που συμμετέχουν στην ισορροπία (Α, Β: προϊόντα, Γ, Δ: αντιδρώντα).

15.4. Β. Η τιμή της σταθεράς K_c μιας χημική ισορροπίας εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία. Η δοσμένη χημική ισορροπία με τη μείωση της θερμοκρασίας μετατοπίζεται, σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier, προς τα δεξιά οπότε η τιμή της σταθεράς K_c αυξάνεται.

15.5. Γ. Στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας θα ισχύει: $\upsilon_1 = \upsilon_2$. Επομένως, αφού οι δύο αντίθετης φοράς αντιδράσεις είναι απλές θα ισχύει: $k_1 \cdot [A] = k_2 \cdot [B]^2$.

15.6. Γ. $K_c = 1 / [CO_2]$.

15.7. Δ. Με την αντιστροφή μιας χημικής ισορροπίας αντιστρέφεται η τιμή της σταθεράς K_c.

15.8. i. Β. $K_c = [N_2O_4] / [NO_2]^2 = B/A^2$.

ii. Γ.

(mol ή M)	$2NO_2(g)$	⇌	$N_2O_4(g)$
	x		–
	−2y		y
XI	x − 2y		y

Ισχύουν: $x - 2y = A$ και $y = B$. Από τις δύο αυτές σχέσεις προκύπτει: $x = A + 2B$.

15.9. Α. Η πολύ μεγάλη τιμή της K_c σημαίνει ότι στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας συνυπάρχουν πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις προϊόντων και πολύ μικρές συγκεντρώσεις αντιδρώντων, δηλαδή η αντίδραση είναι πρακτικά μονόδρομη.

15.10. Β. Η τιμή της σταθεράς K_c δεν εξαρτάται από τον όγκο του δοχείου αλλά μόνο από τη θερμοκρασία.

15.11. Γ. Σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier με την αύξηση της θερμοκρασίας η 1η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά και επομένως η τιμή της K_{c1} αυξάνεται. Η 2η ισορροπία είναι η αντίστροφη της 1ης και επομένως η τιμή της K_{c2} μειώνεται.

15.12. Β. Με την αύξηση της θερμοκρασίας και σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά και επομένως η K_c θα πρέπει να αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

15.13. α) $K_c = [NO_2]^2 / [N_2O_4]$, μονάδα: M

β) $K_c = [H_2]^2 \cdot [S_2] / [H_2S]^2$, μονάδα: M

γ) $K_c = 1 / ([Cl_2]^3 \cdot [I_2])$, μονάδα: M^{-4}

δ) $K_c = [CO]^2 / [CO_2]$, μονάδα: M
ε) $K_c = [Cr^{3+}] / [Ag^+]^3$, μονάδα: M^{-2}
στ) $K_c = [Ca^{2+}]\cdot[F^-]^2$, μονάδα: M^3
ζ) $K_c = [CO_2]^2 / [CO]^2$, καθαρός αριθμός
η) $K_c = [Fe(SCN)^{2+}] / ([Fe^{3+}]\cdot[SCN^-])$, μονάδα: M^{-1}
θ) $K_c = [CO_2]/[CO]$, καθαρός αριθμός
ι) $K_c = [CH_3COOCH_3]\cdot[H_2O] / ([CH_3COOH]\cdot[CH_3OH])$, καθαρός αριθμός.
κ) $K_c = [CO_2]/[CO]$, καθαρός αριθμός.

15.14. Επιλογή Α. Με την αύξηση του όγκου το δοχείο η ισορροπία οδεύει προς τα δεξιά, η ποσότητα του CO_2 αυξάνεται αλλά η $[CO_2]$ παραμένει σταθερή καθώς θα πρέπει να ισχύει: $K_c = [CO_2]$ = σταθερή, αν δεν αλλάξει η θερμοκρασία.

15.15. α) Λ, β) Λ, γ) Σ, δ) Λ, ε) Σ.

15.16. α) Η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά δίνεται από τη σχέση: $\upsilon_1 = k_1\cdot[A]^2\cdot[B]$ και η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα αριστερά από τη σχέση: $\upsilon_2 = k_2\cdot[\Gamma]^2$. Στη χημική ισορροπία θα ισχύει: $\upsilon_1 = \upsilon_2$ και επομένως:

$k_1\cdot[A]^2\cdot[B] = k_2\cdot[\Gamma]^2$

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{[\Gamma]^2}{[A]^2\cdot[B]} = K_c$$

β) Επιλογή 3. Για την ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά, ισχύει:

$\upsilon_1 = k_1\cdot[N_2O_4]$

Για την ταχύτητα της αντίδρασης προς τα αριστερά, ισχύει:

$\upsilon_2 = k_2\cdot[NO_2]^2$

Στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας: $\upsilon_1 = \upsilon_2$ και επομένως:

$k_1\cdot[N_2O_4] = k_2\cdot[NO_2]^2$

$k_1/k_2 = [NO_2]^2/[N_2O_4] = K_c$

Καθώς $k_1 < k_2$ προκύπτει τελικά: $K_c < 1$.

15.17. α) Γράφουμε τις εκφράσεις των σταθερών K_c για τις τρεις ισορροπίες και τις συνδυάζουμε αλγεβρικά. Προκύπτει:

$$K_{c_3} = \frac{1}{K_{c_1}^2 . K_{c_2}}$$

β) Όμοια: $K_{c3} = 0{,}55$.

15.18. $\Delta H^o = 500$ kJ > 0 και επομένως με την αύξηση της θερμοκρασίας η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά οπότε η σταθερά K_c αυξάνεται.

15.19. α) Επιλογή 3.

β) Με την αύξηση του όγκου μειώνεται η πίεση και σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά και άρα η ποσότητα του $O_2(g)$ αυξάνεται. Η συγκέντρωση του $O_2(g)$ όμως μένει η ίδια καθώς για τη σταθερά της χημικής ισορροπίας ισχύει: $K_c = [O_2]$. Επειδή δεν υπάρχει μεταβολή στη θερμοκρασία η τιμή της σταθεράς ισορροπίας δεν αλλάζει οπότε και η συγκέντρωση του O_2 μένει η ίδια.

15.20. α) Με την αύξηση του όγκου του δοχείου η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά, σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier, με αποτέλεσμα τη διάσπαση του $CaCO_3(s)$. Όμως, η πίεση στο δοχείο διατηρείται σταθερή, καθώς:

$P\cdot V = n_{CO2}\cdot R\cdot T$, $P = [CO_2]\cdot R\cdot T$, $P = K_c\cdot R\cdot T$ = σταθερή.

Με τη συνεχή αύξηση του όγκου του δοχείου θα διασπαστεί όλη η ποσότητα του $CaCO_3(s)$, οριακά όταν ο όγκος του δοχείου γίνει ίσος με V_1. Για $V > V_1$ δεν υπάρχει χημική ισορροπία και η πίεση μειώνεται συνεχώς λόγω της αύξησης του όγκου. Στην περίπτωση αυτή στο δοχείο θα υπάρχουν μόνο το $CaO(s)$ και το $CO_2(g)$.

β) Η πρόταση είναι σωστή.

(mol) $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$

XI	α	β	γ
	−x	x	+x
	α − x	β + x	γ + x

Με την εξέλιξη της αντίδρασης προς την κατάσταση της νέας ισορροπίας διασπώνται x mol $CaCO_3(s)$ και προκύπτουν ισάριθμα mol $CaO(s)$ που έχει μικρότερη σχετική μοριακή μάζα και επομένως μικρότερη μάζα. Έτσι, η συνολική μάζα των στερεών μειώνεται συνεχώς με την αύξηση του όγκου του δοχείου μέχρι την τιμή V_1 πέρα από την οποία παραμένει σταθερή.

15.21. Με τη μείωση του όγκου του δοχείου η ισορροπία οδεύει προς τα αριστερά (αρχή Le Chatelier) και επομένως η ποσότητα του N_2O_4 αυξάνεται και του NO_2 μειώνεται. Άρα, η $[N_2O_4] = n(N_2O_4)/V$ αυξάνεται. Η σταθερά $K_c = [NO_2]^2/[N_2O_4]$ είναι επίσης σταθερή με τη μεταβολή του όγκου και καθώς η $[N_2O_4]$ αυξάνεται θα πρέπει να αυξηθεί και η $[NO_2]^2$.

15.22. α)

Δοχείο	Αρχικές ποσότητες (mol)			Ποσότητες στη ΧΙ (mol)		
	HI	H_2	I_2	HI	H_2	I_2
A	0,06	0	0	0,04	0,01	0,01
B	0	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02

β) Υπολογίζουμε τις σταθερές ισορροπίας στα δύο δοχεία.

Δοχείο Α

$$K_c = \frac{[H_2]\cdot[I_2]}{[HI]^2} = \frac{(0{,}01)^2}{(0{,}04)^2} = \frac{1}{16}$$

Δοχείο Β

$$K_c = \frac{[H_2]\cdot[I_2]}{[HI]^2} = \frac{(0{,}02)^2}{(0{,}04)^2} = \frac{1}{4} > \frac{1}{16}$$

Η αντίδραση είναι ενδόθερμη και επομένως με την αύξηση της θερμοκρασίας η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά (αρχή Le Chatelier) και άρα η σταθερά K_c αυξάνεται.

15.23. α) Σωστή επιλογή η i.

β) Έστω c_1 η αρχική συγκέντρωση του $COCl_2$. Από τον πίνακα της χημικής ισορροπίας και αντικατάσταση στην K_c προκύπτει: $K_c = \frac{\alpha_1^2\cdot c_1}{1-\alpha_1}$. Από τη σχέση αυτή καταλαβαίνουμε ότι αν η αρχική συγκέντρωση αυξηθεί ($c_2 > c_1$) θα πρέπει η απόδοση της αντίδρασης να μειωθεί ($\alpha_2 < \alpha_1$) καθώς με τη μείωση της απόδοσης ο λόγος $\frac{\alpha^2}{1-\alpha}$ μειώνεται (μείωση του αριθμητή και αύξηση του παρονομαστή). Έτσι, στη δεύτερη περίπτωση η προσθήκη της επιπλέον ποσότητας $COCl_2$ θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της αρχικής συγκέντρωσής του και επομένως η απόδοση της αντίδρασης θα μειωθεί.

15.24. Με βάση την εξίσωση (2) προκύπτει ότι το CO δεσμεύει ποσότητα της Hb με αποτέλεσμα τη μείωση της διαθέσιμης ποσότητάς της για τη μεταφορά O_2. Η μείωση αυτή της διαθέσιμης ποσότητας Hb έχει ως αποτέλεσμα μετατόπιση της ισορροπίας (1) προς τα αριστερά, σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier, που μειώνει τη διαθέσιμη ποσότητα της οξυγονωμένης μορφής, HbO_2. Το φαινόμενο εντείνεται από το γεγονός ότι η σταθερά K_c της ισορροπίας (2) είναι πολύ μεγαλύτερη από τη σταθερά της ισορροπίας (1) καθώς μικρή συγκέντρωση CO είναι ικανή να δεσμεύσει πολύ μεγαλύτερες

ποσότητες Hb σε σχέση με το O_2. Έτσι, το CO ακόμη και σε μικρές συγκεντρώσεις μπορεί να αποβεί θανατηφόρο.

15.25. α) Κατασκευάζουμε τον πίνακα της ισορροπίας:

(mol) $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$

	λ	μ	–
	−x	−3x	2x
(XI)	λ – x	μ – 3x	2x

Ισχύουν: $[NH_3] = 2x/10 = 1$ M, x = 5 mol.

$[H_2] = (\mu - 3x)/10 = 1$ M, μ – 3x = 10, μ = 25 mol.

$$K_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2]\cdot[H_2]^3} = \frac{1^2}{[N_2]\cdot 1^3} = 2,\ [N_2] = 0,5\ M$$

$[N_2] = (\lambda - x)/10 = 0,5$ M, λ = 10 mol

β) Το H_2 είναι σε έλλειμμα και επομένως:

$\alpha = 3x/\mu = 15/25 = 0,6$ (60%).

15.26. α) Κατασκευάζουμε τον πίνακα της ισορροπίας:

(M) $A(g) \rightleftharpoons \beta B(g)$

	0,04	–
	−x	βx
	0,04 – x	βx

Ισχύουν: 0,04 – x = 0,02, x = 0,02 M και βx = 0,04, β = 2.

$$\beta)\ K_c = \frac{[B]^2}{[A]} = \frac{0,04^2}{0,02} = 0,08$$

15.27. (mol·L^{-1}) $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$

	2	1,5	–
	−1,5	−0,75	1,5
XI	0,5	0,75	1,5

$$K_c = \frac{[SO_3]^2}{[SO_2]^2\cdot[O_2]} = \frac{1,5^2}{0,5^2\cdot 0,75} = 12$$

Το $SO_2(g)$ είναι το περιοριστικό αντιδρών και επομένως:

$\alpha = 1,5/2 = 0,75$ (75%).

15.28. α) $N_2O_4(g)$: $M_r = 92$, $n = 46/92 = 0,5$ mol. Από αυτά διασπώνται (20/100)·0,5 = 0,1 mol.

(mol) $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

	0.5	–
	−0,1	0,2
(XI)	0,4	0,2

$$K_c = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]} = \frac{\left(\frac{0,2}{2}\right)^2}{\frac{0,4}{2}} = \frac{0,01}{0,2} = 0,05$$

β) Διασπώνται (50/100)·0,5 = 0,25 mol N_2O_4.

(mol) $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

	0.5	–
	−0,25	0,5
(XI)	0,25	0,5

$$K_c = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]} = \frac{\left(\frac{0,5}{V}\right)^2}{\frac{0,25}{V}} = \frac{1}{V} = 0,05,\ V = 20\ L$$

15.29. $K_c = [Li^+]^2\cdot[CO_3^{2-}] = 0,2^2\cdot 0,1 = 4\cdot 10^{-3}$.

15.30. Έστω x mol C(s) και x mol $H_2(g)$. Η θεωρητική ποσότητα του $CH_4(g)$ είναι (x/2) mol. Τελικά: x = 100 mol.

Κονδύλη, Π. Λατζώνη, Χημεία Γ' Λυκείου, τεύχος 1: chemistrytopics.xyz

15.31. α) Από τον πίνακα της χημικής ισορροπίας, έχουμε:

(mol) $A(s) + B(g) \rightleftharpoons \Gamma(g) + \Delta(g)$

	1	0,6	–	–
	−x	−x	x	x
(XI)	1 – x	0,6 – x	x	x

$n_{ολ}$(αερίων) = 0,6 – x + x + x = 0,6 + x

$P\cdot V = n_{ολ}\cdot R\cdot T$, $n_{ολ} = P\cdot V/R\cdot T = 16,4\cdot 2/0,082\cdot 400 = 1$ mol.

Επομένως: x = 0,4 mol.

Το B(g) είναι σε έλλειμμα: $\alpha = x/0,6 = 2/3$.

$$\beta)\ K_c = \frac{[\Gamma]\cdot[\Delta]}{[A]} = \frac{\left(\frac{0,4}{2}\right)^2}{\frac{0,2}{2}} = 0,4$$

γ) Στα αέρια η αναλογία όγκων είναι και αναλογία mol:

B: $(n_B/n_{ολ})\cdot 100 = (0,2/1)\cdot 100 = 20\%$ v/v.

Γ: $(n_\Gamma/n_{ολ})\cdot 100 = (0,4/1)\cdot 100 = 40\%$ v/v.

Δ: $(n_\Delta/n_{ολ})\cdot 100 = (0,4/1)\cdot 100 = 40\%$ v/v.

15.32. α) Από τον πίνακα της χημικής ισορροπίας, έχουμε:

(mol) $CH_3OH(g) \rightleftharpoons CO(g) + 2H_2(g)$

	1	–	–
	−x	x	2x
(XI)	1 – x	x	2x = 1,5, x = 0,75 mol
(XI)	0,25	0,75	1,5

Άρα στην ισορροπία υπάρχουν 0,25 mol CH_3OH.

$\alpha = x/1 = 0,75$ (75%).

$$\beta)\ K_c = \frac{[CO]\cdot[H_2]}{[CH_3OH]} = \frac{\left(\frac{0,75}{10}\right)\cdot\left(\frac{1,5}{10}\right)^2}{\frac{0,25}{10}} = 3\cdot\left(\frac{1,5}{10}\right)^2 = 0,0675$$

γ) Έστω ότι πρέπει να εισάγουμε ταυτόχρονα λ mol $CH_3OH(g)$ ώστε να μην εξελιχθεί αντίδραση.

(mol) $CH_3OH(g) \rightleftharpoons CO(g) + 2H_2(g)$

	1	6,75	λ

Στην κατάσταση αυτή θα πρέπει να έχουμε χημική ισορροπία:

$$K_c = \frac{[CO]\cdot[H_2]^2}{[CH_3OH]} = \frac{\left(\frac{6,75}{1}\right)\cdot\left(\frac{\lambda}{1}\right)^2}{1} = 0,0675,$$

λ = 0,1 mol.

15.33. α) Η καμπύλη (2) αντιστοιχεί στο αντιδρών B(g) και η καμπύλη (1) αντιστοιχεί στο προϊόν Γ(g). Η αρχική ποσότητα του B(g) είναι: $n = c\cdot V = 0,25\cdot 20 = 5$ mol. Η τελική ποσότητα του Γ(g) είναι: $n = c\cdot V = 0,1\cdot 20 = 2$ mol.

(mol) $A(s) + B(g) \rightleftharpoons 2\Gamma(g)$

x	5	–
−1	−1	2
x – 1	4	2

Αφού η απόδοση είναι $\alpha = 0,25$, το A(s) θα είναι το περιοριστικό αντιδρών και άρα: $\alpha = 0,25 = 1/x$, x = 4 mol.

β) Από την έκφραση της K_c:

$$K_c = \frac{[\Gamma]^2}{[B]} = \frac{(2/20)^2}{4/20} = 0,05$$

15.34. α) Από τον πίνακα της χημικής ισορροπίας, έχουμε:

(mol) $A(g) \rightleftharpoons 2B(g) + \Gamma(s)$

	x	–	–
	−ω	2ω	ω
(XI)	x – ω	2ω	ω

$a = \omega/x$, $\omega = 0{,}5x$

Άρα στη χημική ισορροπία συνυπάρχουν 0,5x mol A(g), x mol B(g) και 0,5x mol Γ(s).

$$K_c = \frac{[B]^2}{[A]} = \frac{\left(\frac{x}{V}\right)^2}{\frac{0{,}5x}{V}} = \frac{2x}{V} \quad (1)$$

(mol)	A(g)	⇌	2B(g)	+	Γ(s)
	y		–		–
	−ξ		2ξ		ξ
(XI)	y − ξ		2ξ		ξ

$0{,}6 = \xi/y$, $\xi = 0{,}6y$

Άρα στη χημική ισορροπία συνυπάρχουν 0,4y mol A(g), 1,2y mol B(g) και 0,6y mol Γ(s).

$$K_c = \frac{[B]^2}{[A]} = \frac{\left(\frac{1{,}2y}{V}\right)^2}{\frac{0{,}4y}{V}} = \frac{3{,}6y}{V} \quad (2)$$

Από τις σχέσεις (1) και (2): $x/y = 1{,}8$.

15.35. α) 0,6 mol, x = 1. β) $a = 0{,}6$ (60%). γ) $K_c = 3$.

15.36. Έστω x g η μάζα της καφεΐνης του παρέμεινε διαλυμένη στο H_2O οπότε τα υπόλοιπα (0,5 – x) g πέρασαν στη στιβάδα του $CHCl_3$. Στην ισορροπία θα ισχύει:

$$K_c = \frac{[\text{καφεΐνη}(CHCl_3)]}{[\text{καφεΐνη}(H_2O)]} = 4, \ \frac{\frac{0{,}5-x}{M_r \cdot 0{,}01}}{\frac{x}{M_r \cdot 0{,}04}} = 4,$$

$$\frac{4\cdot(0{,}5-x)}{x} = 4 \Rightarrow x = 0{,}25 \text{ g}$$

15.37. α) i. Οι ενώσεις Α και Β από 10 mol η κάθε μία.

ii. α = 1, β = 2, γ = 2.

β) $a = 0{,}4$ και $K_c = 1/9$.

15.38. α) Φιάλη 1:

$$K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2]\cdot[I_2]} = \frac{0{,}8^2}{0{,}2\cdot 0{,}1} = 32$$

Φιάλη 2:

$$K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2]\cdot[I_2]} = \frac{0{,}5^2}{0{,}05\cdot 0{,}1} = \frac{0{,}25}{0{,}05\cdot 0{,}1} = \frac{5}{0{,}1} = 50$$

Φιάλη 3:

$$K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2]\cdot[I_2]} = \frac{2^2}{0{,}25\cdot 0{,}5} = \frac{4}{0{,}125} = 32$$

β) Στη φιάλη 2. Η τιμή της σταθεράς K_c εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία και επομένως η θερμοκρασία είναι διαφορετική στη φιάλη 2.

γ) Με την αύξηση της θερμοκρασίας η ισορροπία, σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier, μετατοπίζεται προς τα δεξιά και η K_c αυξάνεται. Έτσι, η θερμοκρασία στη φιάλη 2 θα είναι μεγαλύτερη ενώ στις άλλες φιάλες 1 και 3 η θερμοκρασία θα είναι η ίδια.

15.39. α) $K_c = 0{,}04$, $a = 0{,}4$ (40%).

β) Ακόμη και αν διασπαστεί όλη η ποσότητα του $CaCO_3$ δεν θα μπορεί να ισχύει η σχέση $K_c = [CO_2] = 0{,}04$ M.

15.40. Με την απομάκρυνση του Γ(g) η ισορροπία, σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier, μετατοπίζεται προς τα δεξιά.

(mol)	A(s)	+	B(g)	⇌	Γ(g)
Αρχική ΧΙ	0,5		1		1
Αφαίρεση					−0,5
Μεταβολές	−x		−x		x
Νέα ΧΙ	0,5 – x		1 – x		0,5 + x

Από την αρχική χημική ισορροπία προκύπτει ότι:

$K_c = [\Gamma]/[B] = 1$.

Στη νέα χημική ισορροπία θα ισχύει:

$K_c = 1$, $1 - x = 0{,}5 + x$, $x = 0{,}25$ mol.

Επομένως, 0,25 mol A(s), 0,75 mol B(g) και 0,75 mol Γ(g).

15.41. α)

(mol)	A(g)	⇌	2B(g)
	x		–
	−ω		2ω
(XI)	x − ω		2ω

Αρχικά: $P\cdot V = x\cdot R\cdot T$ (1)

Στη χημική ισορροπία: $1{,}5\cdot P\cdot V = (x+\omega)\cdot R\cdot T$ (2)

Με διαίρεση κατά μέλη των (1) και (2): $\omega = 0{,}5x$.

Επομένως: $a = \omega/x = 0{,}5$ (50%).

β) Στη χημική ισορροπία θα συνυπάρχουν 0,5x mol A(g) και x mol B(g).

$$K_c = \frac{[B]^2}{[A]} = \frac{\left(\frac{x}{V}\right)^2}{\frac{0{,}5x}{V}} = \frac{2x}{V} = 2c_0,$$

όπου $c_0 = x/V$ η αρχική συγκέντρωση της A(g).

15.42. α) λ = 4,6 mol, μ = 2,4 mol.

β) $K_c = 0{,}6$, $a = 0{,}75$.

15.43. α) Έστω x mol N_2 και x mol H_2 στο αρχικό ισομοριακό αέριο μίγμα. Κατασκευάζουμε τον πίνακα της ισορροπίας.

(mol)	N_2(g)	+	$3H_2$(g)	⇌	$2NH_3$(g)
	x		x		–
	−ω		−3ω		2ω
(XI)	x − ω		x − 3ω		2ω

$n_{ολ} = x - \omega + x - 3\omega + 2\omega = 2x - 2\omega$.

Στα αέρια η αναλογία mol είναι και αναλογία όγκων και επομένως ισχύει:

$n(NH_3) = (20/100)\cdot n_{ολ}$, $2\omega = 0{,}2\cdot(2x - 2\omega) = 0{,}4x - 0{,}4\omega$, $6\omega = x$.

Το H_2 είναι το αντιδρών σε έλλειμμα και επομένως:

$a = 3\omega/x = 0{,}5$.

β) Ισχύει: $2x - 2\omega = 12\omega - 2\omega = 10$, $\omega = 1$ mol. Άρα: x = 6 mol.

Στην ισορροπία συνυπάρχουν $x - \omega = 5$ mol N_2(g), $x - 3\omega = 3$ mol H_2(g) και $2\omega = 2$ mol NH_3(g).

$$K_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2]\cdot[H_2]^3} = \frac{(2/V)^2}{(5/V)\cdot(3/V)^3} = \frac{20}{27}$$

$$\frac{4V^2}{5\cdot 27} = \frac{20}{27}, \ V = 5 \text{ L}$$

15.44. Με την αφαίρεση CO_2 η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά, σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier.

(mol)	FeO(s)	+	CO(g)	→	Fe(s)	+	CO_2(g)
XI	0,25		0,25		1,25		1,25
	–		–		–		−λ
	−x		−x		x		x
NXI	0,25 − x		0,25 − x		1,25 + x		1,25 − λ + x

Στη νέα χημική ισορροπία υπάρχει (1/5)·0,25 = 0,05 mol CO(g) και επομένως x = 0,2 mol. Στην αρχική χημική ισορροπία:

$$K_c = \frac{[CO_2]}{[CO]} = \frac{1,25}{0,25} = 5$$ (οι όγκοι απλοποιούνται)

Στη νέα χημική ισορροπία:

$$K_c = \frac{[CO_2]}{[CO]} = \frac{1,45-\lambda}{0,05} = 5,\ 1,45-\lambda = 0,25,\ \lambda = 1,2 \text{ mol}$$

15.45. α) Αυξήθηκε (αρχή Le Chatelier). β) $V_2/V_1 = 1,8$.

15.46. Το σύστημα είναι αρχικά σε κατάσταση ισορροπίας.

(mol) A(g) + 2B(g) ⇌ 2Γ(g)
(XI) 4 4 8

$$K_c = \frac{[\Gamma]^2}{[A]\cdot[B]^2} = \frac{8^2}{4^3} = 1$$

Με τη μεταφορά του αερίου μίγματος της χημικής ισορροπίας από το δοχείο Α στο Β η ποσότητα του Γ(g) μειώνεται και η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα αριστερά.

(mol) A(g) + 2B(g) ⇌ 2Γ(g)
(XI) 4 4 8
+1 +2 −2
(NXI) 5 6 6

Η τιμή της σταθεράς ισορροπίας δεν μεταβάλλεται καθώς η θερμοκρασία παραμένει σταθερή.

$$K_c = \frac{[\Gamma]^2}{[A]\cdot[B]^2} = \frac{\left(\frac{6}{V_B}\right)^2}{\left(\frac{5}{V_B}\right)\cdot\left(\frac{6}{V_B}\right)^2} = 1$$

$V_B = 5$ L.

15.47. α) $V \le 2$ L. β) 4,4 g CO_2(g).

15.48. $[Fe^{3+}]_B/[Fe^{3+}]_A = 8$.

15.49. α) 4. β) 0,8. γ) 3 ή 1/3.

15.50. α) Σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier η μείωση της θερμοκρασίας ευνοεί τις εξώθερμες αντιδράσεις και επομένως σε χαμηλότερη θερμοκρασία η απόδοση θα είναι μεγαλύτερη.

β) $K_c = 4$.

γ) Με τη μεταβολή του όγκου η ποσότητα του NO_2 θα γίνει 25 mol και επομένως η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα δεξιά. Από την έκφραση της $K_c = 4$ υπολογίζουμε το νέο όγκο του δοχείου: $V' = 1,2$ L και άρα ο όγκος μειώνεται κατά 8,8 L.

δ) Σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier με την αύξησης της πίεσης η ισορροπία οδεύει προς τα λιγότερα mol αερίων, οπότε θα ευνοήσει και την παραγωγή μεγαλύτερης ποσότητας HNO_3.

15.51. α) Καθώς ο C(s) είναι σε έλλειμμα και η απόδοση της αντίδρασης είναι 0,5, μέχρι την αποκατάσταση της ισορροπίας θα έχει αντιδράσει 1 mol C(s).

(mol) C(s) + CO_2(g) ⇌ 2CO(g)
2 4 –
−1 −1 2
– 3 2

$$K_c = \frac{[CO]^2}{[CO_2]},\ 8 = \frac{(2/V)^2}{(3/V)} = \frac{4}{3V},\ V = \frac{1}{6} \text{ L}$$

β) Με την αύξηση του όγκου, εξελίσσεται αντίδραση προς τα δεξιά και από κάποιο όγκο και μετά θα αντιδράσει όλη η ποσότητα του C(s) που είναι το ελλειμματικό αντιδρών. Στον ελάχιστο όγκο θα έχει αντιδράσει όλη η ποσότητα του C(s) αλλά θα ισχύει οριακά ο νόμος της χημικής ισορροπίας.

(mol) C(s) + CO_2(g) ⇌ 2CO(g)
2 4 –
−2 −2 4
– 2 4

$$K_c = \frac{[CO]^2}{[CO_2]},\ 8 = \frac{(4/V_{min})^2}{(2/V_{min})} = \frac{8}{V_{min}}$$

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι $V_{min} = 1$ L.

15.52. 8,1 mol.

15.53. α) 8 mol, 12 mol, 8 mol. β) 4,8% w/w.

15.54. α) $K_c = 1$, α = 2/3.

β) 3 mol. γ) $[SO_3] = 0,8$ M, $[NO] = 0,2$ M, $[SO_2] = [NO_2] = 0,4$ M (η ισορροπία δεν αλλάζει θέση, αλλά ο υποδιπλασιασμός του όγκου επιφέρει διπλασιασμό όλων των συγκεντρώσεων).

15.55. α) $\alpha_1 = 2/3$. β) $\alpha_2 = 0,5$.

15.56. α) Καταστρώνουμε τον πίνακα της αντίδρασης.

mol	N_2(g)	+ $3H_2$	⇌ $2NH_3$(g)
Αρχικά	α	β	–
Μεταβολές	–x	–3x	2x
Χ.Ι.	α – x	β – 3x	2x

Ισχύει: α – x = 2 mol, β – 3x = 4 mol και 2x = 6 mol. και επομένως: α = 5 mol και β = 13 mol. Το συστατικό H_2 είναι σε έλλειμμα, επομένως:

$$\alpha = \frac{3x}{\beta} = \frac{9}{13}$$

β) Με την μεταβολή του όγκου εκδηλώθηκε αντίδραση προς τα δεξιά, καθώς η ποσότητα του N_2 μειώθηκε.

mol	N_2(g)	+ $3H_2$	⇌ $2NH_3$(g)
Αρχ. Χ.Ι.	2	4	6
Μεταβολές	−1	−3	2
Τελική Χ.Ι.	1	1	8

$$K_c = 1 = \frac{[NH_3]^2}{[N_2]\cdot[H_2]^3} = \frac{\left(\frac{8}{V}\right)^2}{\frac{1}{V}\cdot\left(\frac{1}{V}\right)^3},\ V = \frac{1}{8} \text{ L}$$

γ) Ισχύει: $K_c' = 1$ και επομένως $\theta_1 = \theta_2$.

Κονδύλη, Π. Λατζώνη, Χημεία Γ' Λυκείου, τεύχος 1: chemistrytopics.xyz

15.57. α) $K_c = 8$.

β) α = 5 mol και β = 14 mol.

γ) Η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα της αντίδρασης προς τα αριστερά.

δ) Τη στιγμή t_2 έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία.

ε) Προς τα δεξιά η αντίδραση είναι εξώθερμη.

15.58. α) Υπολογίζουμε τις αρχικές ποσότητες σε mol του CH_3COOH (Ο) και της C_2H_5OH (Α).

CH_3COOH ($M_r = 60$): $n = 18/60 = 0,3$ mol.

C_2H_5OH ($M_r = 46$): $n = 13,8/46 = 0,3$ mol.

(mol) O + A ⇌ E(εστέρας) + H_2O
0,3 0,3 – –
−x −x x x
0,3 – x 0,3 – x x x

Από την έκφραση της K_c (οι όγκοι απλοποιούνται):

$$K_c = \left(\frac{x}{0,3-x}\right)^2 = 2^2$$

Δεκτή λύση, x = 0,2. Τα αντιδρώντα είναι σε στοιχειομετρική αναλογία και επομένως:
$\alpha = x/3 = 2/3$
β) (mol) O + A ⇌ E + H_2O
XI 0,1 0,1 0,2 0,2
−λ
−y −y y y
ΝΧΙ 0,1 − y 0,1 − y 0,2 + y 0,2 − λ + y
Η νέα απόδοση δίνεται από τη σχέση:
0,8 = (0,2 + y)/0,3, y = 0,04 mol.
Άρα, στην ισορροπία θα συνυπάρχουν 0,06 mol CH_3COOH, 0,06 mol CH_3CH_2OH, 0,24 mol $CH_3COOCH_2CH_3$ και (0,24 − λ) mol H_2O. Αντικαθιστώντας στην έκφραση της K_c:

$$K_c = \frac{0,24 \cdot (0,24 - \lambda)}{0,06 \cdot 0,06}$$

Προκύπτει: λ = 0,18 mol.
γ) (mol) O + A ⇌ E + H_2O
0,2 ξ − −
−ω −ω ω ω
0,2 − ω ξ − ω ω ω
1η περίπτωση: 0,2 ≤ ξ (το O είναι το περιοριστικό αντιδρών).
ω/0,2 = 0,8, ω = 0,16. Αντικαθιστώντας στην έκφραση της K_c:
ξ = 0,32 mol (δεκτή λύση).
2η περίπτωση: 0,2 > ξ (Α το περιοριστικό αντιδρών).
Με παρόμοιο τρόπο: ξ = 0,125 mol (δεκτή λύση).

15.59. α) $K_c = 3$.
β) 0,34 mol.

15.60. Θα πρέπει να μην έχουμε κατάσταση ισορροπίας. Αν το σύστημα είναι σε ισορροπία θα ισχύει: $K_c = 1/[A]$ = σταθ. και επομένως η πίεση θα παραμένει και αυτή σταθερή. Άρα, θα πρέπει να εισάγουμε ποσότητα A(g) ώστε να αντιδράσει όλη η ποσότητα B(s) και να παραμείνει μεγαλύτερη ποσότητα του A(g) σε σχέση με την αρχική κατάσταση της ισορροπίας.
(mol) A(g) + B(s) ⇌ Γ(s)
0,1 0,1 0,1
+λ (LC →)
−0,1 −0,1 +0,1
λ − 0,2
Στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας θα ισχύει:
$P \cdot V = 0,1 \cdot R \cdot T$ (1)
Στην τελικά κατάσταση θα ισχύει:
$2P \cdot V = \lambda \cdot R \cdot T$ (2)
Από τις εξισώσεις (1) και (2) προκύπτει: λ = 0,2 mol.

15.61. Β. Αν $Q_c > K_c$ τότε εκδηλώνεται αντίδραση προς τα αριστερά.

15.62. Δ. Δεν μπορούμε να προβλέψουμε αν ισχύει $Q_c > K_c$ ή $Q_c < K_c$ ή $Q_c = K_c$.

15.63. Γ. Με την προσθήκη επιπλέον ποσότητας B(g) χωρίς μεταβολή της θερμοκρασίας η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα δεξιά και επομένως θα πρέπει να ισχύει: $Q_c < K_c$.

15.64. Β. Με την αύξηση της θερμοκρασίας η σταθερά K_c μειώνεται και επομένως το πηλίκο αντίδρασης γίνεται μεγαλύτερο από την K_c και η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα αριστερά (προς την ενδόθερμη κατεύθυνση).

15.65. α) Επιλογή Α.
β) Υπολογίζουμε την τιμή της K_c και στη συνέχεια την Q_c για το μίγμα:

$$K_c = \frac{4}{V},\ Q_c = \frac{(2+x)^2}{(1+x) \cdot V},\ \frac{(2+x)^2}{(1+x) \cdot V} > \frac{4}{V}$$

Μετά από πράξεις: $x^2 > 0$ (ισχύει).

15.66. Αρχικά ισχύει: $Q_c = [CO_2(g)] > K_c = x$ και επομένως θα πρέπει να εκδηλωθεί αντίδραση προς τα αριστερά. Καθώς όμως δεν υπάρχει στο δοχείο ποσότητα CaO δεν μπορεί να εκδηλωθεί αντίδραση και επομένως δεν μπορεί να αποκατασταθεί χημική ισορροπία.

15.67. Επειδή, $Q_c > K_c$ δεν θα έχουμε ισορροπία και θα εκδηλωθεί αντίδραση προς τα αριστερά.

15.68. α) Με την αύξηση της θερμοκρασίας και σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς αριστερά και επομένως η ποσότητα του B(s) θα αυξηθεί.
β) Η σταθερά K_c δίνεται από τη σχέση:

$$K_c = \frac{[\Gamma] \cdot [\Delta]^2}{[A]^2} = \frac{n_\Gamma \cdot n_\Delta^2}{n_A^2 \cdot V_1}$$

Αμέσως μετά την αραίωση το πηλίκο της αντίδρασης (Q_c) είναι:

$$Q_c = \frac{n_\Gamma \cdot n_\Delta^2}{n_A^2 \cdot V_2} < K_c$$

Επομένως, η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα δεξιά.

15.69. α) Θα πρέπει $Q_c = K_c$ και επομένως (πράξεις): $V = 0,5$ L.
β) Θα πρέπει $Q_c < K_c$ και επομένως (πράξεις): $V > 0,5$ L.
γ) Θα πρέπει $Q_c > K_c$ και επομένως (πράξεις): $V < 0,5$ L.

15.70. α) Στο δοχείο Δ.
β) Προφανώς σε τρία από τα 4 δοχεία θα ισχύει $Q_c > K_c$ ενώ στο τέταρτο δοχείο θα ισχύει $Q_c < K_c$ και επομένως η συγκέντρωση της $NH_3(g)$ θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη και οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων όσο το δυνατόν μεγαλύτερες. Πράγματι στο δοχείο Δ η τιμή του πηλίκου αντίδρασης έχει τη μικρότερη τιμή:

$$Q_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \cdot [H_2]^3} = \frac{0,1^2}{1 \cdot 1^3} = 0,01$$

15.71. α) Το διάγραμμα Β. Τη στιγμή $t = 0$ η τιμή λ = [B] / [A] είναι ίση με τη σταθερά K_c. Τη στιγμή t_1 η τιμή του λ μειώνεται λόγω της αύξησης της [A]. Λόγω της αρχής Le Chatelier η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά με αποτέλεσμα η [A] να μειώνεται και η [B] αυξάνεται. Έτσι, ο λόγος λ αυξάνεται μέχρι να αποκατασταθεί η νέα ισορροπία στην οποία αποκτάται η αρχική τιμή και ίση με τη σταθερά K_c.

15.72. Υπολογίζουμε το πηλίκο της αντίδρασης.
$Q_c = 0,24/0,25 = 0,96 > 0,4$
Επομένως, θα διεξαχθεί αντίδραση προς τα αριστερά.
(mol/L) Γλυκόζη(aq) ⇌ φρουκτόζη(aq)
0,25 0,24
+x −x
0,25 + x 0,24 − x
(0,24 − x)/0,25 + x = 0,4, 0,24 − x = 0,1 + 0,4x,
0,14 = 1,4x, x = 0,1 mol.
Επομένως, στην κατάσταση της ισορροπίας θα συνυπάρχουν 0,35 mol γλυκόζης και 0,14 mol φρουκτόζης.

15.73. α) Στο 1ο διαμέρισμα:

$$K_c = \frac{[N_2O_4]}{[NO_2]^2} = \frac{1/V_1}{(1/V_1)^2} = V_1$$

Στο 2ο διαμέρισμα:

$$K_c = \frac{[N_2O_4]}{[NO_2]^2} = \frac{2/V_2}{(2/V_2)^2} = V_2/2$$

$V_1 = V_2/2 \Rightarrow 2V_1 = V_2$ (1)

Επίσης ισχύει: $V_1 + V_2 = 30$ (2)

Από τις (1) και (2): $V_1 = 10$ L και $V_2 = 20$ L.

β) $K_c = V_1 = 10$

Υπολογίζουμε το πηλίκο αντίδρασης:

$$Q_c = \frac{[N_2O_4]}{[NO_2]^2} = \frac{3/30}{(3/30)^2} = 10$$

Επομένως, το σύστημα είναι σε χημική ισορροπία.

15.74. Δοχείο Α. $K_c = 0{,}01$. $Q_c = [CO_2] = 0{,}05 / 10 = 0{,}005$ M $< 0{,}01$ και επομένως θα εξελιχθεί αντίδραση προς τα δεξιά.

(mol) $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$

Αρχ.	0,1	0,05	0,05
	−x	x	x
ΧΙ	0,1 − x	0,05 + x	0,05 + x

Ισχύει: (0,05 + x) / 10 = 0,01, x = 0,05 mol. Επομένως, στην ισορροπία θα υπάρχουν 0,05 mol $CaCO_3(s)$.

Δοχείο Β. $Q_c = [CO_2] = 0{,}1 / 20 = 0{,}005 < 0{,}01$ και επομένως θα εξελιχθεί αντίδραση προς τα δεξιά.

(mol) $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$

Αρχ.	0,15	0,1	0,1
	−y	y	y
ΧΙ	0,15 − y	0,1 + y	0,1 + y

Ισχύει: (0,1 + y) / 20 = 0,01, y = 0,1 mol. Επομένως, στην ισορροπία θα υπάρχουν 0,05 mol $CaCO_3(s)$.

Τελικά οι ποσότητες του $CaCO_3(s)$ θα είναι ίσες.

15.75. α) Πηλίκο αντίδρασης τη χρονική στιγμή *t*.

$$Q_c = \frac{[CO]^2}{[CO_2]} = \frac{(2/10)^2}{4/10} = 0{,}1 < 10$$

Επομένως, θα πρέπει να εξελιχθεί αντίδραση προς τα δεξιά.

β) Θεωρούμε ότι αντιδρά όλη η ποσότητα του C(s) που είναι το αντιδρών σε έλλειμμα.

Κονδύλη, Π. Λατζώνη, Χημεία Γ' Λυκείου, τεύχος 1: chemistrytopics.xyz

(mol) $C(s) + CO_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g)$

2	4	2
−2	−2	+4
−	2	6

Εξετάζουμε πάλι την τιμή του πηλίκου αντίδρασης:

$$Q_c = \frac{[CO]^2}{[CO_2]} = \frac{(6/10)^2}{2/10} = 1{,}8 < 10$$

Άρα, θα πρέπει να εξελιχθεί αντίδραση προς τα δεξιά. Αυτό όμως δεν είναι δυνατόν καθώς έχει αντιδράσει όλη η ποσότητα του C(s). Έτσι, δεν μπορεί να αποκατασταθεί ισορροπία.

15.76. α) Για το δοχείο όγκου *V* ισχύει:

$$K_c = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]} = \frac{(x/V)^2}{(x/V)} = \frac{x}{V}$$

Για το 2ο δοχείο:

$$Q_c = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]} = \frac{(2x/2V)^2}{(x/2V)} = \frac{2x}{V} > K_c$$

Επομένως, η αντίδραση κατευθύνεται προς τα αριστερά.

β) Καθώς εκλύεται θερμότητα η αντίδραση προς τα αριστερά θα είναι εξώθερμη και προς τα δεξιά ενδόθερμη (αρχή Le Chatelier).

15.77. α) Στο δοχείο Α πραγματοποιείται αρχικά μόνο η αντίδραση προς τα δεξιά καθώς η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα αριστερά είναι ίση με το μηδέν. Ισχύει:

$\upsilon_{01} = k_1 \cdot [PCl_5]$, $k_1 = 5 \cdot 10^{-2} / 2 \cdot 10^{-2} = 2{,}5\ s^{-1}$

Στο δοχείο Β πραγματοποιείται αρχικά μόνο η αντίδραση προς τα αριστερά καθώς η ταχύτητα της αντίδρασης προς τα δεξιά είναι ίση με το 0. Ισχύει:

$\upsilon_{02} = k_2 \cdot [PCl_3] \cdot [Cl_2]$, $k_2 = 10^{-4} / 4 \cdot 10^{-4}$, $k_2 = 0{,}25\ M^{-1} \cdot s^{-1}$.

β) Ισχύει: $K_c = k_1/k_2 = 10$.

γ) (mol) $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$

0,1	−	−
−y	y	y
0,1 − y	y	y

Ισχύει: $[Cl_2] = y/5 = 0{,}01$, y = 0,05 mol.

Υπολογίζουμε την τιμή του πηλίκου της αντίδρασης:

$Q_c = [PCl_3] \cdot [Cl_2] / [PCl_5] = 0{,}05/5 = 0{,}01 < K_c$

Επομένως, δεν θα έχει αποκατασταθεί χημική ισορροπία.

δ) (mol) $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$

0,1 + x	−	−
−ω	ω	ω
0,1 + x − ω	ω	ω = 1 mol

Από την έκφραση της K_c έχουμε:

$10 = 0{,}04/[PCl_5]$, $[PCl_5] = 0{,}004$ M, $n(PCl_5) = 0{,}02$ mol

0,1 + x − ω = 0,02, x = 0,92 mol.

ε) i. Στη νέα θερμοκρασία, ισχύει:

(mol) $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$

−	0,1	0,1
λ	−λ	−λ
λ	0,1 − λ	0,1 − λ = 0,09

Ισχύει: 0,1 − λ = 0,09, λ = 0,01 mol.

Στη χημική ισορροπία στη νέα θερμοκρασία θα συνυπάρχουν 0,09 mol $PCl_3(g)$, 0,09 mol $Cl_2(g)$ και 0,01 mol $PCl_5(g)$. Υπολογίζουμε τη σταθερά ισορροπίας στη νέα θερμοκρασία: $K_c' < K_c$. Επομένως, ο λόγος $k_1/k_2 = K_c'$ μειώθηκε.

ii. Η τιμή της σταθεράς K_c μειώθηκε και άρα με τη μεταβολή της θερμοκρασίας η ισορροπία πήγε προς τα αριστερά. Σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier για να μετατοπιστεί η ισορροπία προς τα αριστερά (εξώθερμη κατεύθυνση) θα πρέπει η θερμοκρασία να μειωθεί.

15.78. α) Το σύστημα είναι αρχικά σε κατάσταση ισορροπίας.

(mol) $SO_2(g) + NO_2(g) \rightleftharpoons SO_3(g) + NO(g)$

(ΧΙ) 1 1,5 8 3

$$K_c = \frac{[SO_3] \cdot [NO]}{[SO_2] \cdot [NO_2]} = \frac{\left(\frac{8}{V}\right) \cdot \left(\frac{3}{V}\right)}{\left(\frac{1}{V}\right) \cdot \left(\frac{1,5}{V}\right)} = 16$$

β) Με την προσθήκη 0,5 mol SO_2 και 5 mol NO:

$$Q_c = \frac{[SO_3] \cdot [NO]}{[SO_2] \cdot [NO_2]} = \frac{8 \cdot 8}{1,5 \cdot 1,5} > 16 \text{ (προς τα αριστερά)}$$

(mol) $SO_2(g) + NO_2(g) \rightleftharpoons SO_3(g) + NO(g)$

(ΧΙ) 1	1,5	8	3
0,5			5
ω	ω	−ω	−ω
(ΝΧΙ) 1,5 + ω	1,5 + ω	8 − ω	8 − ω

Η τιμή της σταθεράς ισορροπίας δεν μεταβάλλεται καθώς η θερμοκρασία θεωρούμε ότι παραμένει σταθερή.

$$Q_c = \frac{[SO_3]\cdot[NO]}{[SO_2]\cdot[NO_2]} = \frac{\left(\frac{8-\omega}{V}\right)^2}{\left(\frac{1,5+\omega}{V}\right)^2} = 16 = 4^2$$

$$\frac{8-\omega}{1,5+\omega} = 4,\ 8-\omega = 6+4\omega,\ \omega = 0,4 \text{ mol}$$

Επομένως, στη νέα χημική ισορροπία θα συνυπάρχουν 1,9 mol $SO_2(g)$, 1,9 mol $NO_2(g)$, 7,6 mol $SO_3(g)$ και 7,6 mol $NO(g)$.

β) Όταν αντέδρασαν 0,4 mol NO απορροφήθηκαν 10 kJ

1 x = 25 kJ

Η αντίδραση προς τα δεξιά θα είναι εξώθερμη με $\Delta H = -25$ kJ.

15.79. α) Κατασκευάζουμε τους πίνακες για τις 2 ισορροπίες:

mol	$PCl_5(g)$	⇌	$PCl_3(g) + Cl_2(g)$
Αρχικά	0,2	–	–
Μεταβολές	–x	x	x
mol	$COCl_2(g)$	⇌	$CO(g) + Cl_2(g)$
Αρχικά	0,2	–	–
Μεταβολές	–y	y	y

Στο δοχείο θα συνυπάρχουν: (0,2 – x) mol PCl_5, x mol PCl_3, (x + y) = 0,15 mol Cl_2, (0,2 – x) mol $COCl_2$, y mol CO.

$$0,15 = \frac{x\cdot(x+y)}{0,2-x},\ x = 0,1 \text{ mol.}$$

x + y = 0,15, y = 0,05 mol

Το ποσοστό διάσπασης του $COCl_2$ είναι 25%.

β) $$K_{c2} = \frac{[CO]\cdot[Cl_2]\cdot}{[COCl_2]} = \frac{y\cdot(x+y)}{0,2-y} = \frac{0,05\cdot0,15}{0,15} = 0,05$$

ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 15

1.Δ. **2.**Β. **3.**Β. **4.**Β. **5.**Β.

6. Στο δοχείο Ι στο οποίο ικανοποιείται η συνθήκη ισορροπίας: $K_c = 4$.

7. α) Η ποσότητα της NH_3 θα μειωθεί και η τιμή της K_c θα μειωθεί. β) Η ποσότητα της NH_3 θα μειωθεί και η τιμή της K_c θα μείνει σταθερή.

8. α) Στο 1ο δοχείο στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας θα συνυπάρχουν (1 – x) mol PbO(s), (1 – x) mol CO, x mol Pb(ℓ) και x mol CO_2 και ισχύει:

$$K_c = \frac{[CO_2]}{[CO]} = \frac{x}{1-x} \quad (1)$$

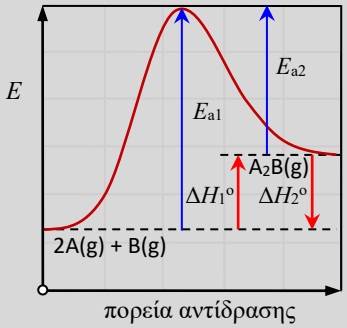
Στο 2ο δοχείο στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας θα συνυπάρχουν y mol PbO(s), y mol CO, (1 – y) mol Pb(ℓ) και (1 – y) mol CO_2 και ισχύει:

$$K_c = \frac{[CO_2]}{[CO]} = \frac{1-y}{y} \quad (2)$$

Μετά από πράξεις, προκύπτει: 1 – x = y και επομένως οι ποσότητες του CO(g) στα δύο δοχεία είναι ίσες.

β) Η προσθήκη της επιπλέον ποσότητας Pb*O(s) δεν θα επηρεάσει τη θέση της χημικής ισορροπίας καθότι στερεό σώμα. Η ισορροπία είναι όμως δυναμική και αντιδρούν συνεχώς ποσότητες PbO(s) και CO(g) προς παραγωγή Pb(ℓ) και $CO_2(g)$, αλλά και ποσότητες Pb(ℓ) και $CO_2(g)$ προς παραγωγή PbO(s) και CO(g). Έτσι, το *O θα υπάρχει σε οποιοδήποτε σώμα έχει O, δηλαδή στο PbO(s), στο CO(g) και στο $CO_2(g)$.

9. Κατασκευάζουμε το ενεργειακό διάγραμμα της αντίδρασης.



i. Σωστό. Από το νόμο Lavoisier - Laplace η αντίστροφη αντίδραση θα έχει την αντίθετη ενθαλπία στις ίδιες συνθήκες.

ii. Λάθος. Από το ενεργειακό διάγραμμα προκύπτει ότι $E_{a2} = E_{a1} - \Delta H_1^o$.

iii. Λάθος. Όταν οι δύο αντίστροφης πορείας αντιδράσεις είναι απλές ισχύει: $K_c = k_1/k_2$.

10. α) Υπολογίζουμε την τιμή της σταθεράς K_c της ισορροπίας:

$$K_c = \frac{[XY]^2}{[X_2]\cdot[Y_2]} = \frac{(4/V)^2}{(2/V)^2} = 4$$

Με τις μεταβολές που έγιναν εκδηλώθηκε αντίδραση προς τα αριστερά καθώς η ποσότητα του $X_2(g)$ αυξήθηκε.

(mol) $X_2(g) + Y_2(g) \rightleftharpoons 2XY(g)$

XI(1) 2 2 4

1 10

1 1 –2

XH(2) 3 4 12

β) Υπολογίζουμε τη νέα τιμή της σταθεράς K_c της ισορροπίας:

$$K_c = \frac{[XY]^2}{[X_2]\cdot[Y_2]} = \frac{(12/V)^2}{(3/V)\cdot(4/V)} = 12$$

Η τιμή της K_c αυξήθηκε, με τη μεταβολή της θερμοκρασίας η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα δεξιά. Η αντίδραση προς τα δεξιά θα είναι ενδόθερμη (αρχή Le Chatelier).

11. α) i. 0,2 mol KO_2 και 0,2 mol CO_2. ii. 0,8 (80%). iii. K_c = 1,2.

β) i. Θα μειωθεί. ii. Θα αυξηθεί.

γ) Όχι. Ακόμη και αν αντιδράσει όλη η ποσότητα του KO_2 θα ισχύει: $Q_c < K_c$.

12. α) (mol) $A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2\Gamma(g)$

4 4 —

–2 –2 4

t 2 2 4

Ισχύει: $\upsilon_1 = k_1\cdot[A]\cdot[B]$

$$k_1 = \frac{2,56\cdot10^{-1}}{[2/1]\cdot[2/1]} \Rightarrow k_1 = 0,064\ M^{-1}\cdot min^{-1}$$

$\upsilon_2 = k_2\cdot[\Gamma]^2$

$$k_2 = \frac{1,6\cdot10^{-2}}{[4/1]^2} \Rightarrow k_2 = 0,001\ M^{-1}\cdot min^{-1}$$

$$K_c = \frac{k_1}{k_2} = 64$$

β) (mol) $A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2\Gamma(g)$

4 4 —

–x –x 2x

XI 4 – x 4 – x 2x

$$K_c = \left(\frac{2x}{4-x}\right)^2 = 64$$

$$\frac{2x}{4-x} = +8 \Rightarrow x = 3,2 \text{ mol}$$

Επομένως, στην κατάσταση της ισορροπίας θα συνυπάρχουν: 0,8 mol A(g), 0,8 mol B(g) και 6,4 mol Γ(g).

13. α) Το αέριο μίγμα της ισορροπίας θα περιέχει 4 mol από κάθε αέριο.

(mol) $2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

	x	y	—
	−2ω	−ω	2ω
ΧΙ	x − 2ω	y − ω	2ω

$2\omega = 4 \Rightarrow \omega = 2$ mol

$x - 2\omega = 4 \Rightarrow x = 8$ mol

$y - \omega = 4 \Rightarrow y = 6$ mol

Το NO είναι το περιοριστικό αντιδρών.

$\alpha = 2\omega/x = 0,5$ (50%)

$$K_c = \frac{[NO_2]^2}{[NO]^2 \cdot [O_2]} = \frac{(4/10)^2}{(4/10)^2 \cdot (4/10)} = 2,5$$

β) Όταν παράγονται 4 mol NO_2 εκλύονται 144 kJ

2 ; = 72 kJ

$2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$, $\Delta H^o = -72$ kJ

Ισχύει: $\Delta H^o = \Sigma \Delta H_f(\text{προϊόντων}) - \Sigma \Delta H_f(\text{αντιδρώντων})$

$-72 = 2 \cdot 33 - 2 \cdot \Delta H_f(NO)$

$\Delta H_f(NO) = 69 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

γ) (mol) $2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

	4	4	4
			−3

Στο νέο όγκο (V_2) το σύστημα θα είναι σε κατάσταση χημικής ισορροπίας με την ίδια σταθερά χημικής ισορροπίας K_c.

$$K_c = 2,5 = \frac{[1/V_2]^2}{[4/V_2]^2 \cdot [4/V_2]} \Rightarrow V_2 = 160 \text{ L}$$

ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΑ (7)

Θέμα Α Α1. Β. Α2. Β. Α3. Β. Α4. Β. Α5. Α.

Θέμα Β Β1. α) Σ. β) Σ. γ) Σ. δ) Σ.

Β2. α) i. Με την αύξηση του όγκου του δοχείου σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά (προς τα περισσότερα mol αερίων).

ii. Η τιμή της σταθεράς ισορροπίας, K_c, θα πρέπει να παραμείνει σταθερή, καθώς δεν υπάρχει μεταβολή της θερμοκρασίας.

$$K_c = \frac{[CO]^2}{[CO_2]}$$

Με τη μετατόπιση της ισορροπίας προς τα δεξιά, η $[CO_2]$ μειώνεται καθώς μειώνεται η ποσότητά του και αυξάνεται ο όγκος του δοχείου. Για να διατηρηθεί ίδια η τιμή της σταθεράς ισορροπίας θα πρέπει να μειωθεί και η [CO].

β) Με την αύξηση του όγκου μειώνεται η πίεση και σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά. Η έκφραση της σταθεράς ισορροπίας είναι: $K_c = [CO_2]$ και άρα στις καταστάσεις ισορροπίας στην ίδια θερμοκρασία η $[CO_2]$ θα είναι η ίδια.

Β3. Επιλογή Α. Έστω x mol $SO_2(g)$ και y mol $O_2(g)$ οι αρχικές ποσότητες. Η ποσότητα του $SO_2(g)$ που αντιδρά είναι $2\omega = 0,8x$ (1) ενώ η ποσότητα του $O_2(g)$ που αντιδρά είναι $\omega = 0,2y$ (2). Από τη σχέση (1) προκύπτει: $x = 2,5\omega$, ενώ από τη σχέση (2): $y = 5\omega$. Το $SO_2(g)$ είναι σε έλλειμμα και άρα η απόδοση υπολογίζεται με βάση το SO_2: $\alpha = 2\omega/x = 0,8$ (80%).

Β4. α) Επιλογή 4.

β) Έστω α (Μ) η συγκέντρωση των ιόντων Ag^+ στην αρχική χημική ισορροπία. Θα ισχύει: $K_c = x/\alpha^2$. Με την αραίωση στο διπλάσιο όγκο οι αρχικές συγκεντρώσεις γίνονται: $[Cu^{2+}(aq)] = x/2$ και $[Ag^+(aq)] = \alpha/2$ και ισχύει: $Q_c > K_c$. Επομένως εξελίσσεται αντίδραση προς τα αριστερά και στη νέα ισορροπία θα ισχύει: $[Cu^{2+}(aq)] < x/2$.

Θέμα Γ

Γ1. Έστω x mol η αρχική ποσότητα της ουσίας A(g). Για την αρχική κατάσταση ισχύει: $P \cdot V = x \cdot R \cdot T$ (1)

Έστω ότι μέχρι την κατάσταση της ισορροπίας αντιδρούν 2y mol της ουσίας A(g) με y mol της ουσίας B(s) και προκύπτουν 2y mol της ουσίας Γ(g) καθώς και y mol της ουσίας Δ(g). Ο συνολικός αριθμός mol των αερίων στην ισορροπία θα είναι: $n_{ολ} = x + y$ και επομένως θα ισχύει: $1,2P \cdot V = (x + y) \cdot R \cdot T$ (2).

Από τις εξισώσεις (1) και (2) προκύπτει: $0,2x = y$. Η απόδοση της αντίδρασης είναι: $\alpha = 2y/x = 0,4$ (40%).

Γ2. α) $\alpha = 0,75$ (75%), 0,5 mol NO, 1,25 mol O_2, 1,5 mol NO_2.

β) $K_c = 36$.

Γ3. α) Ισχύει: $Q_c = K_c = 49$.

β) i. $Q_c < K_c$. Άρα, το σύστημα δεν είναι σε χημική και θα εξελιχθεί αντίδραση προς τα δεξιά. ii. 0,7 mol HI.

Θέμα Δ

Δ1. Έστω ότι προσθέτουμε x mol από το Β.

α) Έστω $x \geq 2$, Το αντιδρών Α θα είναι το περιοριστικό και επομένως θα αντιδράσει το 80% της ποσότητάς του.

(mol) $A(g) + B(g) \rightleftharpoons \Gamma(g) + \Delta(g)$

	2	x	–	–
	−1,6	−1,6	1,6	1,6
	0,4	x − 1,6	1,6	1,6

Από την έκφραση της σταθεράς K_c της ισορροπίας, έχουμε:

$$K_c = \frac{[\Gamma] \cdot [\Delta]}{[A] \cdot [B]} = \frac{1,6 \cdot 1,6}{0,4 \cdot (x - 1,6)}, \; x = 3,2 \text{ mol (δεκτή λύση)}$$

β) Έστω $x \leq 2$. Το Β είναι το ελλειμματικό αντιδρών και επομένως θα αντιδράσει το 80% της ποσότητάς του.

(mol) $A(g) + B(g) \rightleftharpoons \Gamma(g) + \Delta(g)$

	2	x	–	–
	−0,8x	−0,8	0,8x	0,8x
	2 − 0,8x	0,2x	0,8x	0,8x

Από την έκφραση της σταθεράς K_c της ισορροπίας, έχουμε:

$$K_c = \frac{[\Gamma] \cdot [\Delta]}{[A] \cdot [B]} = \frac{0,8x \cdot 0,8x}{0,2x \cdot (2 - 0,8x)} = 4, \; x = 1,25 \text{ mol (δεκτή λύση)}$$

Δ2. α) $\alpha = 0,8$ (80%).

β) $\alpha = 2/3$.

γ) Αυξήθηκε η ποσότητα του προϊόντος αλλά αυξήθηκε και η θεωρητική ποσότητά του, αναλογικά περισσότερο.

Δ3. α) Με την αύξηση του όγκου του διαλύματος δεν έχουμε πια ισορροπία και ισχύει $Q_c < K_c$ και επομένως θα εκδηλωθεί αντίδραση προς τα δεξιά με αποτέλεσμα την αύξηση του ποσοστού διάσπασης του σακχάρου.

β) $V = 400$ mL.

ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΑ (8)

Θέμα Α Α1. Β. Α2. Δ. Α3. Γ. Α4. Β. Α5. Γ.

Θέμα Β

Β1. α) Η περίπτωση αντίδρασης κατά την οποία ένα από τα προϊόντα της λειτουργεί ως καταλύτης.

β) i. Η καμπύλη Γ. ii. Η αντίδραση γίνεται αρχικά με μικρή ταχύτητα λόγω της απουσίας των ιόντων Mn^{2+} που λειτουργούν ως καταλύτης. Στη συνέχεια και λόγω της δημιουργίας $MnSO_4$ η ταχύτητα της αντίδρασης αυξάνεται. Τέλος, η ταχύτητα της αντίδρασης μειώνεται καθώς η συγκέντρωση των αντιδρώντων έχει μειωθεί σημαντικά.
γ) Αν προστεθούν από την έναρξη της αντίδρασης ιόντα Mn^{2+} η αντίδραση θα ξεκινήσει με μεγάλη ταχύτητα.
Β2. α) Α(g): Καμπύλη (2), Δ(g): καμπύλη (1). Η μεταβολή της συγκέντρωσης του Α(g) είναι κατ' απόλυτη τιμή ίση με τη μεταβολή της συγκέντρωσης του Δ(g) καθώς έχουν τον ίδιο συντελεστή (1).
β) i. Με την αύξηση της θερμοκρασίας, η ισορροπία οδεύει προς τα δεξιά (αρχή Le Chatelier) και επομένως η τιμή της σταθεράς ισορροπίας αυξάνεται. ii. Και οι δύο ταχύτητες αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας καθώς αυξάνεται ο ρυθμός των αποτελεσματικών συγκρούσεων και για τις δύο αντιδράσεις (η ταχύτητα προς τα δεξιά αυξάνεται περισσότερο καθώς η ισορροπία κατευθύνεται προς τα δεξιά).
Β3. i. Το Z. Πρόκειται για ηλεκτραρνητικό στοιχείο το άτομο του οποίου με την πρόσληψη ενός ηλεκτρονίου αποκτά δομή ευγενούς αερίου.
ii. Το Ε με 2 μονήρη ηλεκτρόνια στην 2p: $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$.
iii. Το Α με δομή: $1s^2\ 2s^2$. Το 3ο ηλεκτρόνιο αποσπάται από εσωτερική στιβάδα διασπώντας τη σταθερή δομή ευγενούς αερίου.
iv. Το στοιχείο Γ με ηλεκτρονιακή δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^2$ ανήκει στην 4η περίοδο και στην 7η ομάδα. Ο Fe με ηλεκτρονιακή δομή $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^6\ 4s^2$ ανήκει στην 4η περίοδο και στην 8η ομάδα. Στα στοιχεία μετάπτωσης της ίδιας περιόδου η ατομική ακτίνα δεν μεταβάλλεται σημαντικά καθώς τα επιπλέον ηλεκτρόνια εισέρχονται σε εσωτερική στοιβάδα.
Β4. +22 kJ.

Θέμα Γ

Γ1. α) $K_c = [\Gamma]/[A]$ και επομένως $[A] = [\Gamma]/K_c$, που αντιστοιχεί στη γενική εξίσωση της ευθείας $y = \alpha x$, όπου $\alpha = 1/K_c$.
β) $K_c = 0{,}4/0{,}5 = 0{,}8$.
Γ2. α) 1 mol Α, 6 mol Γ. β) 0,1 $M\cdot s^{-1}$.
γ) Πολύπλοκης μορφής (διαθέτει μηχανισμό).
δ) $k = 0{,}2\ M^{-1}\cdot s^{-1}$.
Γ3. α) Έστω c η αρχική συγκέντρωση του διαλύματος της σακχαρόζης και x (mol/L) η συγκέντρωση που διασπάστηκε μέχρι τη χρονική στιγμή t. Επομένως, τη χρονική στιγμή t στο διάλυμα θα συνυπάρχουν σακχαρόζη σε συγκέντρωση $(c - x)$, γλυκόζη σε συγκέντρωση x και φρουκτόζη σε συγκέντρωση x. Με βάση το νόμο του van't Hoff, θα ισχύουν:
$t = 0$: $10 = c\cdot R\cdot T$.
Χρονική στιγμή t: $15 = (c + x)\cdot R\cdot T$. Επομένως:
$1{,}5c = (c + x)$, $x = 0{,}5c$.
Άρα διασπάται το 50% της σακχαρόζης.
β) $\Pi = 20$ atm.

Θέμα Δ

Δ1. $K_c = [Cl_2] = 0{,}12$.
Δ2. α) i. 2 mol Α και 4 mol Β, ii. 0,5. β) 8,5 mol.
γ) Προς τα αριστερά.
Δ3. α) Έστω x mol $O_2(g)$ και y mol $CO_2(g)$.

(σε mol) $2C(s) + O_2(g) \rightarrow 2CO(g)$, $\Delta H = -57$ kcal
2x x 2x

(σε mol) $C(s) + CO_2(g) \rightarrow 2CO(g)$, $\Delta H = 28{,}5$ kcal
y y 2y

Από την 1η αντίδραση εκλύεται ποσό θερμότητας ίσο με 57x kcal ενώ από τη 2η αντίδραση απορροφάται ποσό θερμότητας ίσο με 28,5y kcal. Για να μην παρατηρηθεί θερμική μεταβολή θα πρέπει να ισχύει:
$57x = 28{,}5y$, $2x = y$ (1)
Επίσης, ισχύει: $2x + y = 50$ (2).
Από τις εξισώσεις (1) και (2): $x = 12{,}5$ mol και $y = 25$ mol.
β) Η σχηματιζόμενη ποσότητα CO(g) θα είναι: $2x + 2y = 75$ mol CO(g).

ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΑ (9)



Θέμα Α Α1. Α. Α2. Δ. Α3. Δ. Α4. Γ. Α5. Α.

Θέμα Β

Β1. α) Επιλογή Β.
β) Αν αντιστοιχούσε στο συστατικό Α τότε το Β θα αντιδρούσε πλήρως.
Β2. Ι. Απάντηση γ. Τα τρία στοιχεία ανήκουν στην ίδια περίοδο του Περιοδικού Πίνακα αλλά το $_8$O είναι πιο δεξιά (16η ομάδα). Καθώς σε μία περίοδο η ενέργεια ιοντισμού αυξάνεται προς τα δεξιά το Ο θα έχει τη μεγαλύτερη ενέργεια ιοντισμού.
ΙΙ. Απάντηση α. Τα τρία σωματίδια είναι ισοηλεκτρονιακά καθώς διαθέτουν από 18 ηλεκτρόνια. Καθώς το ιόν $_{17}Cl^-$ έχει το μικρότερο πυρηνικό φορτίο θα ασκεί μικρότερες έλξεις στα εξωτερικά και επομένως θα έχει το μεγαλύτερο μέγεθος.
ΙΙΙ. Απάντηση β. Από τα τρία στοιχεία ο Ρ είναι πιο πάνω και πιο δεξιά στον Περιοδικό Πίνακα. Καθώς η ατομική ακτίνα μειώνεται προς τα δεξιά και προς τα πάνω ο Ρ θα έχει τη μικρότερη ατομική ακτίνα.
ΙV. Απάντηση α. Από τα τρία αυτά στοιχεία της 3ης περιόδου μόνο το Na έχει ένα ηλεκτρόνιο στην εξωτερική στιβάδα και επομένως η απόσπαση του δεύτερου ηλεκτρονίου γίνεται από εσωτερική στιβάδα που είναι πολύ πιο κοντά στον πυρήνα και επιπλέον καταστρέφει δομή ευγενούς αερίου. Επομένως, το άτομο του στοιχείου αυτού θα έχει μεγαλύτερη E_{i2}.
Β3. α) Διάγραμμα Α. Αρχικά έχουμε απότομη αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων CrO_4^{2-}. Στη συνέχεια με βάση την αρχή Le Chatelier η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά και η συγκέντρωση των CrO_4^{2-} μειώνεται ενώ των ιόντων $Cr_2O_7^{2-}$ αυξάνεται διπλάσια.
β) Αυξάνεται, λόγω αύξησης της συγκέντρωσης του CrO_4^{2-}.
Β4. α) Σωστή επιλογή 3.

Δοχείο Α

(mol) $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$
1 1 –
−x −x 2x
1 − x 1 − x 2x

$$K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2]\cdot[I_2]} = \left(\frac{2x}{1-x}\right)^2 \quad (1)$$

Δοχείο Β

(mol) $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$
– – 2
y y −2y
y y 2 −2y

$$K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2]\cdot[I_2]} = \left(\frac{2-2y}{y}\right)^2 \quad (2)$$

Από τις σχέσεις (1) και (2) προκύπτει: $2 - 2y = 2x$. Άρα, τα δοχεία Α και Β θα περιέχουν την ίδια ποσότητα HI(g).

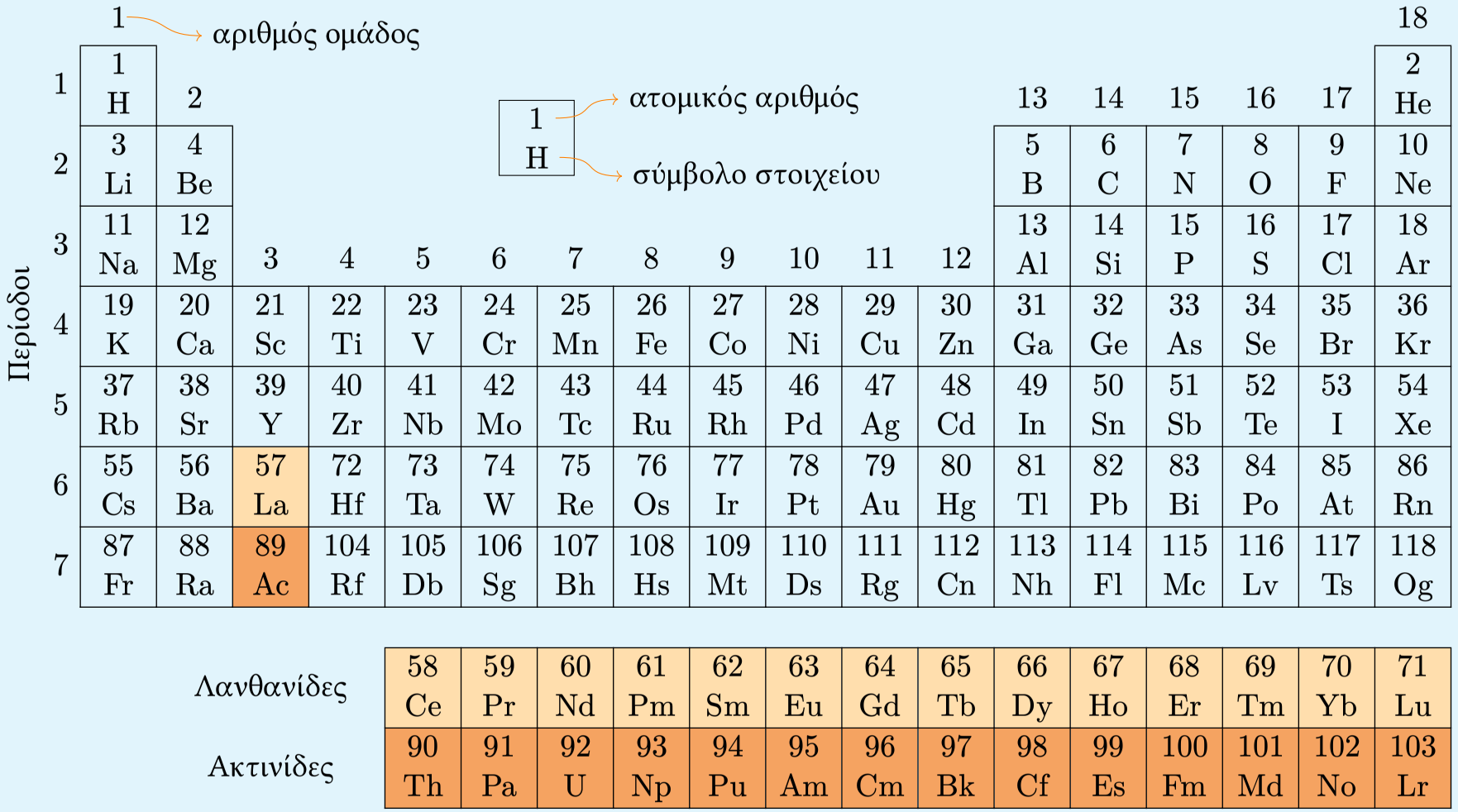
Θέμα Γ

Γ1. α) $\upsilon = 2 \cdot 10^{-4}\ M \cdot s^{-1}$.
β) Μεγαλύτερη (η ταχύτητα της αντίδρασης συνήθως μειώνεται με την πάροδο του χρόνου).
Γ2. α) i. $\upsilon = [HgCl_2] \cdot [C_2O_4^{2-}]^2$, 3ης τάξης.
ii. $k = 8 \cdot 10^{-3}\ M^{-2} \cdot min^{-1}$.
iii. Πολύπλοκης μορφής.
β) $\upsilon_{o4} = 3{,}2 \cdot 10^{-5}\ M \cdot min^{-1}$. $\upsilon = 0$ (τέλος αντίδρασης).
γ) $\theta_2 > \theta_1$, γιατί $k_2 > k_1$.
Γ3. $K_c = 2$.
Γ4. 49200.

Θέμα Δ

Δ1. α) α = 4 mol, β = 6 mol, $K_c = 4$, απόδοση = 2/3.
β) γ = 12 mol.
γ) $V' = 12$ L.
δ) Εξώθερμη, $K_c = 2/3$.
Δ2. Επιλογή Δ. Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι ο ρυθμός αύξησης της συγκέντρωσης του προϊόντος Β παραμένει σταθερός κατά την διάρκεια της αντίδρασης και επομένως η ταχύτητα της αντίδρασης είναι σταθερή (αντίδραση μηδενικής τάξης).

Περιοδικός Πίνακας των Στοιχείων



Κατάλογος χημικών στοιχείων

Z	Όνομα	Σύμβολο	A_r*
1.	Υδρογόνο	H	1,0080
2.	Ήλιο	He	4,0026
3.	Λίθιο	Li	6,94
4.	Βηρύλλιο	Be	9,0122
5.	Βόριο	B	10,81
6.	Άνθρακας	C	12,011
7.	Άζωτο	N	14,007
8.	Οξυγόνο	O	15,999
9.	Φθόριο	F	18,998
10.	Νέον	Ne	20,180
11.	Νάτριο	Na	22,990
12.	Μαγνήσιο	Mg	24,305
13.	Αργίλιο	Al	26,982
14.	Πυρίτιο	Si	28,085
15.	Φωσφόρος	P	30,974
16.	Θείο	S	32,06
17.	Χλώριο	Cl	35,45
18.	Αργό	Ar	39,95
19.	Κάλιο	K	39,098
20.	Ασβέστιο	Ca	40,078
21.	Σκάνδιο	Sc	44,956
22.	Τιτάνιο	Ti	47,867
23.	Βανάδιο	V	50,942
24.	Χρώμιο	Cr	51,996
25.	Μαγγάνιο	Mn	54,938
26.	Σίδηρος	Fe	55,845
27.	Κοβάλτιο	Co	58,933
28.	Νικέλιο	Ni	58,693
29.	Χαλκός	Cu	63,546
30.	Ψευδάργυρος	Zn	65,38
31.	Γάλλιο	Ga	69,723
32.	Γερμάνιο	Ge	72,630
33.	Αρσενικό	As	74,922
34.	Σελήνιο	Se	78,971
35.	Βρώμιο	Br	79,904
36.	Κρυπτό	Kr	83,798
37.	Ρουβίδιο	Rb	85,468
38.	Στρόντιο	Sr	87,62
39.	Ύτριο	Y	88,906
40.	Ζιρκόνιο	Zr	91,224
41.	Νιόβιο	Nb	92,906
42.	Μολυβδένιο	Mo	95,95
43.	Τεχνήτιο	Tc	97
44.	Ρουθήνιο	Ru	101,07
45.	Ρόδιο	Rh	102,91
46.	Παλλάδιο	Pd	106,42
47.	Άργυρος	Ag	107,87
48.	Κάδμιο	Cd	112,41
49.	Ίνδιο	In	114,82
50.	Κασσίτερος	Sn	118,71
51.	Αντιμόνιο	Sb	121,76
52.	Τελλούριο	Te	127,60
53.	Ιώδιο	I	126,90
54.	Ξένο	Xe	131,29
55.	Καίσιο	Cs	132,91
56.	Βάριο	Ba	137,33
57.	Λανθάνιο	La	138,91
58.	Δημήτριο	Ce	140,12
59.	Πρασινοδύμιο	Pr	140,91
60.	Νεοδύμιο	Nd	144,24
61.	Προμήθειο	Pm	145
62.	Σαμάριο	Sm	150,36
63.	Ευρώπιο	Eu	151,96
64.	Γαδολίνιο	Gd	157,25
65.	Τέρβιο	Tb	158,93
66.	Δυσπρόσιο	Dy	162,50
67.	Όλμιο	Ho	164,93
68.	Έρβιο	Er	167,26
69.	Θούλιο	Tm	168,93
70.	Υττέρβιο	Yb	173,05
71.	Λουτήτιο	Lu	174,97
72.	Άφνιο	Hf	178,49
73.	Ταντάλιο	Ta	180,95
74.	Βολφράμιο	W	183,84
75.	Ρήνιο	Re	186,21
76.	Όσμιο	Os	190,23
77.	Ιρίδιο	Ir	192,22
78.	Λευκόχρυσος	Pt	195,08
79.	Χρυσός	Au	196,97
80.	Υδράργυρος	Hg	200,59
81.	Θάλλιο	Tl	204,38
82.	Μόλυβδος	Pb	207,2
83.	Βισμούθιο	Bi	208,98
84.	Πολώνιο	Po	209
85.	Άστατο	At	210
86.	Ραδόνιο	Rn	222
87.	Φράνκιο	Fr	223
88.	Ράδιο	Ra	226
89.	Ακτίνιο	Ac	227
90.	Θόριο	Th	232,04
91.	Πρωτακτίνιο	Pa	231,04
92.	Ουράνιο	U	238,03
93.	Ποσειδώνιο	Np	237
94.	Πλουτώνιο	Pu	244
95.	Αμερίκιο	Am	243
96.	Κιούριο	Cm	247
97.	Μπερκέλιο	Bk	247
98.	Καλιφόρνιο	Cf	251
99.	Αϊνσταΐνιο	Es	252
100.	Φέρμιο	Fm	257
101.	Μεντελέβιο	Md	258
102.	Νομπέλιο	No	259
103.	Λωρένσιο	Lr	262
104.	Ραδερφόρντιο	Rf	267
105.	Ντούμπνιο	Db	268
106.	Σιμπόργκιο	Sg	269
107.	Μπόριο	Bh	270
108.	Χάσιο	Hs	269
109.	Μαϊτνέριο	Mt	277
110.	Νταρμστάντιο	Ds	281
111.	Ρεντγκένιο	Rg	282
112.	Κοπερνίκιο	Cn	285
113.	Νιχόνιο	Nh	286
114.	Φλερόβιο	Fl	290
115.	Μοσκόβιο	Mc	290
116.	Λιβερμόριο	Lv	293
117.	Τενέσιο	Ts	294
118.	Ογκανέσσιο	Og	294

*Οι τιμές των σχετικών ατομικών μαζών είναι από τον περιοδικό πίνακα της IUPAC.

Σχετικές ατομικές μάζες (A_r) στοιχείων

Όνομα	Σύμβολο	A_r
Άζωτο	N	14
Άνθρακας	C	12
Αργίλιο	Al	27
Άργυρος	Ag	108
Ασβέστιο	Ca	40
Βάριο	Ba	137
Βρώμιο	Br	80
Θείο	S	32
Ιώδιο	I	127
Κάλιο	K	39
Κασσίτερος	Sn	119
Μαγγάνιο	Mn	55
Μαγνήσιο	Mg	24
Μόλυβδος	Pb	207
Νάτριο	Na	23
Νικέλιο	Ni	59
Οξυγόνο	O	16
Πυρίτιο	Si	28
Σίδηρος	Fe	56
Υδράργυρος	Hg	201
Υδρογόνο	H	1
Φθόριο	F	19
Φωσφόρος	P	31
Χαλκός	Cu	63,5
Χλώριο	Cl	35,5
Χρώμιο	Cr	52
Ψευδάργυρος	Zn	65



http://chemistrytopics.xyz/