

# Θερμοχημεία

Θερμοχημεία: Είναι ο κλάδος της Χημείας που μελετά

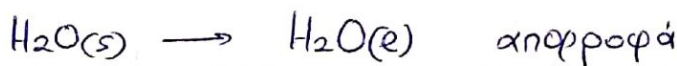
ως ενεργειακές μεταβολές που συνοδεύουν τις χημικές μεταβολές, με τη μορφή θερμότητας.  $[ \text{Χημική Ενέργεια} \longleftrightarrow \text{Θερμική Ενέργεια} ]$

Πού οφείλονται αυτές οι μεταβολές:

Χημική ενέργεια ανταλλάσσεται

- Διάσπαση δεσμών: Απαιτεί ενέργεια (απορροφάται)
- Σχηματισμός δεσμών: Ελευθερώνει ενέργεια (εκλύεται)

Και στα διάφορα φυσικά φαινόμενα απορροφάται ή εκλύεται θερμότητα



$$E(s) < E(l)$$

Βασικές έννοιες:

→ Σύστημα  
→ Περιβάλλον

Θερμότητα ( $Q$ ) Ενέργεια

(Ποσό ενέργειας που μεταφέρεται λόγω διαφοράς θερμοκρασίας) Θερμότητα  $\xrightarrow{Q}$  Υψηλότερο

SI : J (Joule)

$$1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J} \quad [1 \text{ kcal} = 4,184 \text{ kJ}]$$

Θερμοκρασία (πόσο ζεστό)

Μέτρο κίνησης δομικών σωματιδίων της ύλης

( $^{\circ}\text{C}$ )

$$\text{SI} : K = 273 + ^{\circ}\text{C}$$

$$(T = 273 + \theta)$$

Τι είναι ενθαλπία; ( $H$ )

$$H = U + P \cdot V$$



εσωτερική ενέργεια

Δείχνει την ενέργεια ενός συστήματος  
υπό σταθερή  $P$  ( $J$ )  
↓  
μονάδα

$$H_{\text{συστήματος}} = \sum H_{\text{αδρών}}$$

- Η ενθαλπία δεν είναι θερμότητα. Ένα σώμα  $\rightarrow$  έχει  $H$  δίνει ή παίρνει  $Q$
- Είναι καταστατική ιδιότητα (ορισμένη τιμή σε καθορισμένη κατάσταση)  
πχ 1 mol  $CH_4(g)$ ,  $P = 1 \text{ atm}$ ,  $\theta = 25^\circ C$  έχει 1 δια  $H$ .
- Είναι εκτατική ιδιότητα (εξαρτάται από ποσότητα)  
πχ 1 mol  $CH_4(g)$  έχει  $H$   
2 mol  $CH_4(g)$  έχει  $2H$  } σε καθορισμένες συνθήκες

Η ενθαλπία δεν είναι μετρήσιμη. Μόνο μεταβολές  
ενθαλπίας μπορούμε να μετρήσουμε.

$$\Delta H_{\text{συστήματος}} = H_{\text{τελική}} - H_{\text{αρχική}}$$

Σε μία χημική αντίδραση:



$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{αντίδρασης}} &= H_{\text{προϊόντων}} - H_{\text{αντιδρώντων}} \\ &= (H_{\Gamma} + H_{\Delta}) - (H_A + H_B) \end{aligned}$$

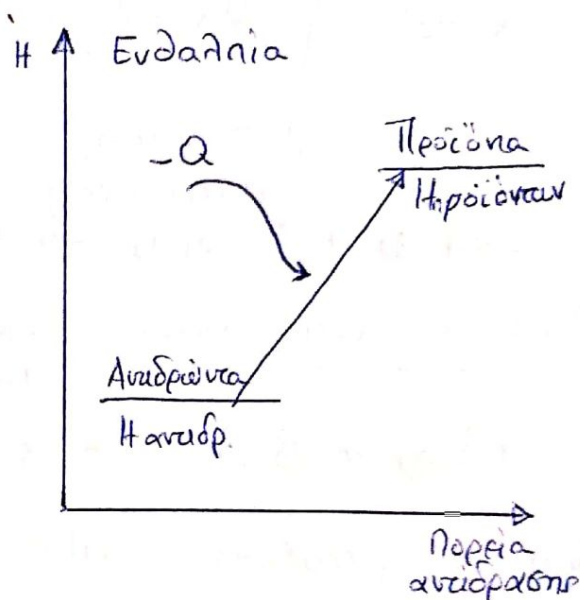
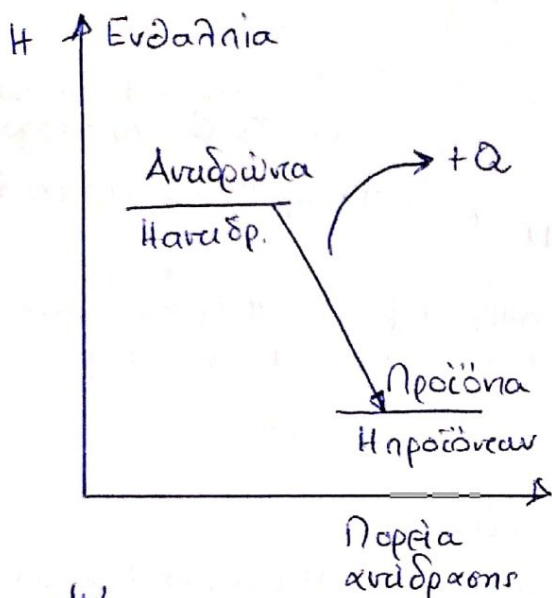
- Η  $\Delta H$  σε μία χημική αντίδραση είναι αριθμητικά ίση με το ποσό θερμότητας  $q$ , το οποίο εκλύεται ή απορροφάται υπό σταθερή  $P$ .

$$|\Delta H| = |H_{\text{προϊόντων}} - H_{\text{αντιδρώντων}}| = q$$

Κατάταξη αναδράσεων ανάλογα με το αν εκλύουν ή απορροφούν ενέργεια υπό μορφή θερμότητας:

Εξώθερμες: Εκλύεται  $Q$  στο περιβάλλον  $(+Q)$

Ενδόθερμες: Απορροφάται  $Q$  από το περιβάλλον  $(-Q)$



Σύστημα

Εξώθερμη

$$\Delta H = H_{\text{πρ.}} - H_{\text{αν}} < 0$$

παραβάνει  $(H_{\text{πρ.}} < H_{\text{αν}})$

$Q \rightarrow$  πάει στο περιβάλλον και αυξάνεται η ενέργειά του

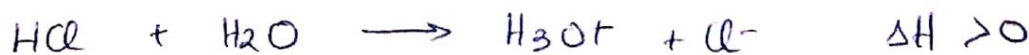
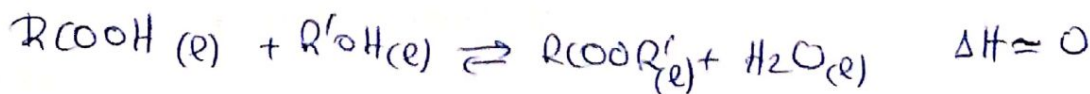
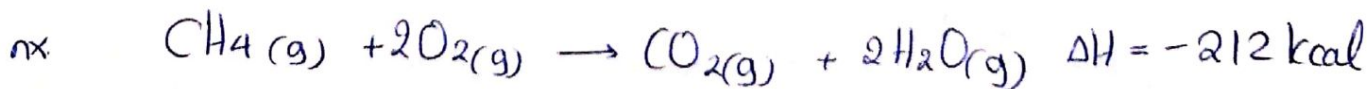
Ενδόθερμη

$$\Delta H = H_{\text{πρ.}} - H_{\text{αν}} > 0$$

$(H_{\text{πρ.}} > H_{\text{αν}})$

$Q \rightarrow$  απορροφάται από το περιβάλλον και μειώνεται η ενέργειά του.

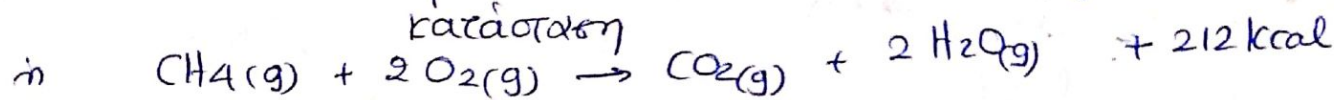
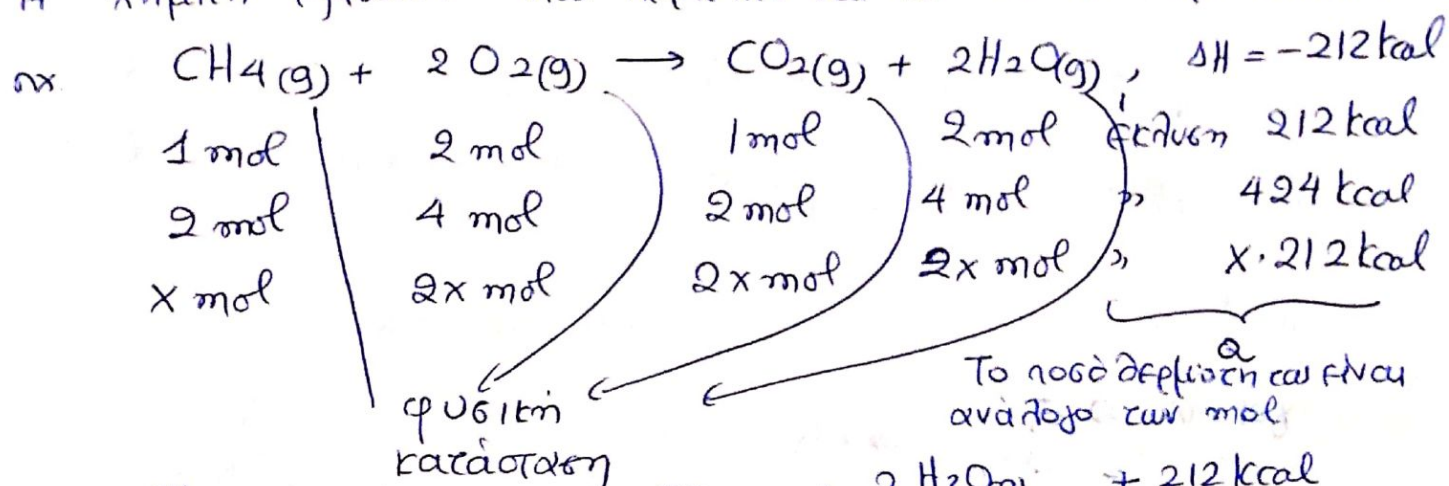
★ Θερμονδότηση:  $H_{\text{αν}} \approx H_{\text{πρ.}}$  και  $\Delta H \approx 0$



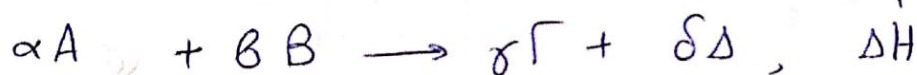


Θερμότητα αντίδρασης:

Η χημική εξίσωση που περιέχει το  $\Delta H$  στα προϊόντα (ή το Q)



Ενθαλπία αντίδρασης: ( $\alpha$  mol A αντιδρούν με  $\beta$  mol B και δίνουν  $\gamma$  mol Γ και  $\delta$  mol Δ σε κατάσταση P, θ)

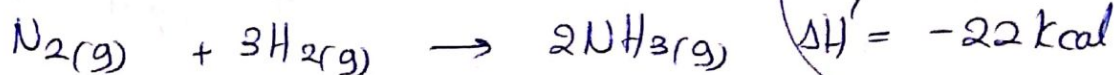
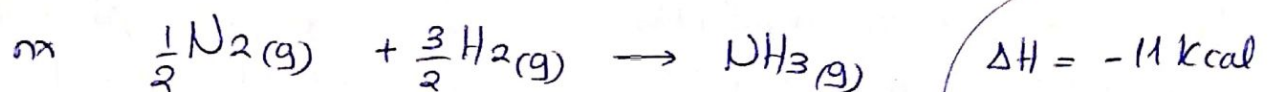


Είναι η μεταβολή  $\Delta H = H_{\text{np.}} - H_{\text{αντ.}}$

$\downarrow$   $\rightarrow H(\alpha \text{ mol A} + \beta \text{ mol B})$   
 $H(\gamma \text{ mol } \Gamma + \delta \text{ mol } \Delta)$

Η ενθαλπία αντίδρασης ( $\Delta H$ ) αναφέρεται σαν συγκεκριμένο

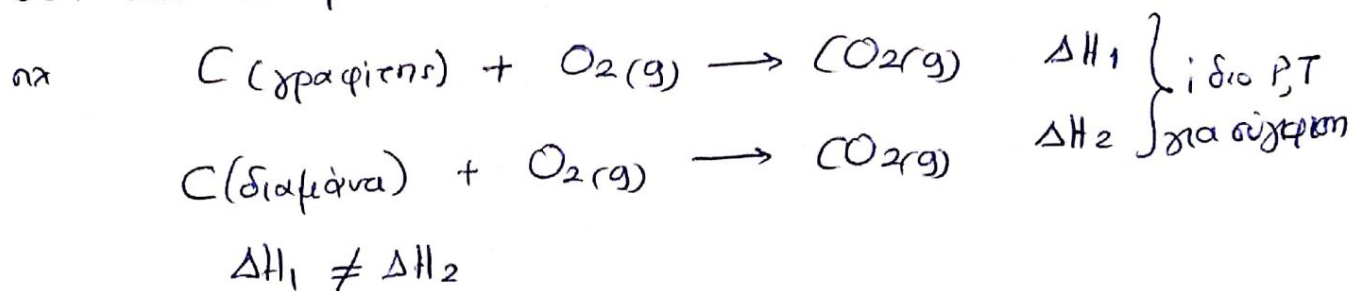
τρόπο γραφής της χημικής εξίσωσης.



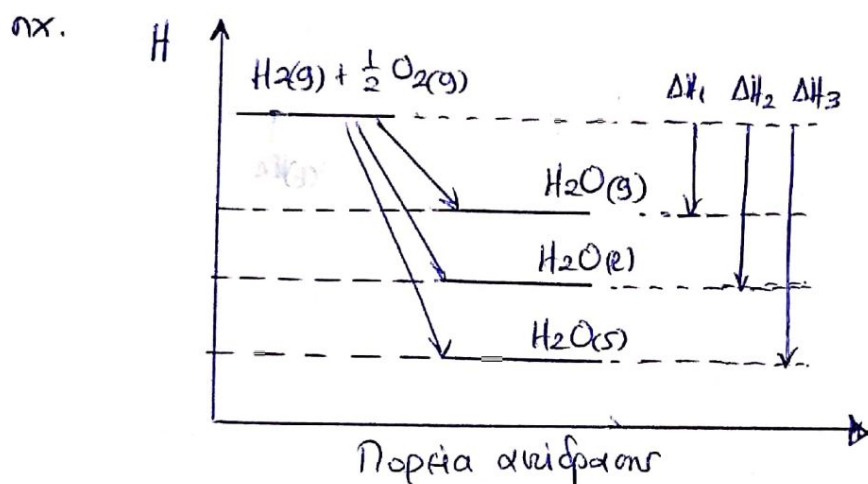
Πολλαπλασιασμός  
ολόκληρου × 2

Παράγοντες που επηρεάζουν την ενθαλπία αντίδρασης ( $\Delta H$ ):

α) Φύση των αντιδρώντων:



β) Φυσική κατάσταση αντιδρώντων και προϊόντων



γ) Συνθήκες  $P, T$

Πρότυπη ενθαλπία αντίδρασης ( $\Delta H^\circ$ ):

Είναι η μεταβολή της ενθαλπίας κατά την αντίδραση, όταν όλες οι χημικές ουσίες (αντιδρώντα και προϊόντα) είναι σε πρότυπη κατάσταση.

Πρότυπη κατάσταση μιας χημικής ουσίας είναι η σταθερότερη μορφή της σε πρότυπες συνθήκες δηλ:

$$P = 1 \text{ atm}$$

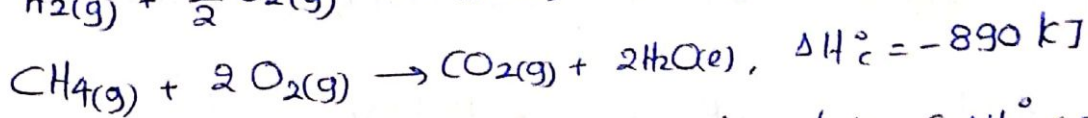
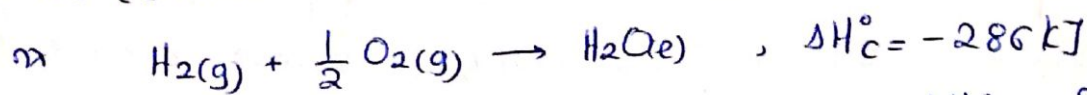
$$\theta = 25^\circ\text{C} \text{ ή } 298 \text{ K}$$

$$C = 1 \text{ M (για τα διαλύματα)}$$



## Πρότυπη Ενθαλπία Καύσης μιας ουσίας ( $\Delta H_c^\circ$ ):

Ονομάζεται η μεταβολή της ενθαλπίας κατά την πλήρη καύση 1 mol της ουσίας (στοιχείου ή ένωσης) σε πρότυπη κατάσταση.



Η ενθαλπία καύσης παίρνει πάντα αρνητικές τιμές ( $\Delta H_c^\circ < 0$ ) επειδή η καύση είναι αντίδραση εξώθερμη.

## Πρότυπη Ενθαλπία Εξουδετέρωσης ( $\Delta H_n^\circ$ ):

Ονομάζεται η μεταβολή της ενθαλπίας κατά την πλήρη εξουδετέρωση ενός mol ιόντων  $\text{H}^+$  ενός οξέος από μια βάση ή ενός mol ιόντων  $\text{OH}^-$  μιας βάσης από ένα οξύ, σε αραιό υδατικό διάλυμα σε πρότυπη κατάσταση.

Η ενθαλπία εξουδετέρωσης παίρνει πάντα αρνητικές τιμές ( $\Delta H_n^\circ < 0$ ), επειδή η αντίδραση εξουδετέρωσης είναι εξώθερμη.

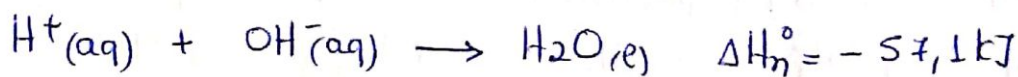
Η τιμή της  $\Delta H_n^\circ$  εξαρτάται από την ισχύ του οξέος και της βάσης.

Περίπτωσης:

α) Εξουδετέρωση ισχυρού οξέος με ισχυρή βάση

Σε αυτή την περίπτωση η τιμή της πρότυπης ενθαλπίας εξουδετέρωσης έχει περίπου σταθερή τιμή ( $\Delta H_n^\circ = -57,1 \text{ kJ/mol}$ ), ανεξάρτητα από το είδος του οξέος ή της βάσης.

Αυτό γίνεται επειδή τα ισχυρά οξέα και οι ισχυρές βάσεις ιοντίζονται (ή δίσταται) πλήρως σε ιόντα και κατά την εξουδετέρωσή τους γίνεται η αντίδραση:

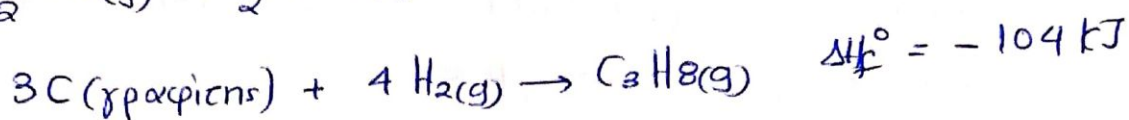
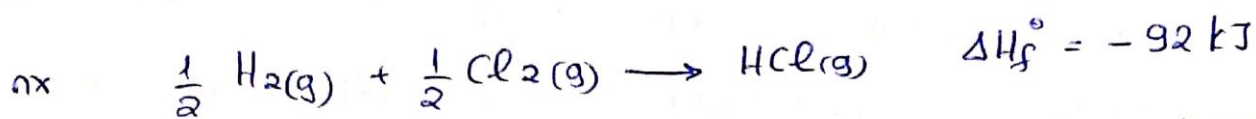


β) Εξουδετέρωση που συμμετέχει αδυνές οξύ ή αδυνής βάση.

Σε αυτή την περίπτωση η πρότυπη ενθαλπία εξουδετέρωσης  $\Delta H_n^\circ$  είναι (κατά απόλυτη τιμή) μικρότερη σε σχέση με την

## Πρότυπη Ενθαλπία Σχηματισμού μιας ένωσης ( $\Delta H_f^\circ$ ):

Ονομάζεται η μεταβολή ενθαλπίας κατά το σχηματισμό 1 mol μιας ένωσης από τα συστατικά της στοιχεία, σε πρότυπη κατάσταση.



Η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού ενός στοιχείου όταν βρίσκεται στη σταθερότερη μορφή του, θεωρείται ίση με το μηδέν.

π.χ. Για τον άνθρακα είναι  $\Delta H_f^\circ(\text{γραφίτης}) = 0$ , ενώ  $\Delta H_f^\circ(\text{διαμάντι}) \neq 0$  αφού ο γραφίτης είναι η πιο σταθερή μορφή του άνθρακα.

Οι ενθαλπίες σχηματισμού μπορεί να έχουν θετικές τιμές ή αρνητικές επειδή οι αντιδράσεις σχηματισμού των ενώσεων από τα στοιχεία τους μπορεί να είναι ενδόθερμες ή εξώθερμες.

Γενικά: Όσο πιο μικρή τιμή αλγεβρικά έχει η  $\Delta H_f^\circ$  μιας ένωσης, τόσο πιο σταθερή θεωρείται η ένωση σε σχέση με τα στοιχεία της.

Υπολογισμός πρότυπης ενθαλπίας μιας αντίδρασης ( $\Delta H^\circ$ ) από τις πρότυπες ενθαλπίες σχηματισμού ( $\Delta H_f^\circ$ ) των ενώσεων που συμμετέχουν στην αντίδραση.



Όπου  $\alpha, \beta, \gamma$  και  $\delta$  οι στοιχειομετρικοί συντελεστές των ενώσεων A, B, Γ και Δ αντίστοιχα. Τότε,

$$\left[ \begin{array}{l} \Delta H^\circ = \sum \Delta H_f^\circ (\text{προϊόντων}) - \sum \Delta H_f^\circ (\text{αντιδρώντων}) \quad \text{ή} \\ \Delta H^\circ = (\gamma \Delta H_{f\Gamma}^\circ + \delta \Delta H_{f\Delta}^\circ) - (\alpha \Delta H_{fA}^\circ + \beta \Delta H_{fB}^\circ) \end{array} \right]$$

Αν κάποια από τις ουσίες A, B, Γ και Δ είναι χημικό στοιχείο στη σταθερότερη κατάσταση του, θα έχει  $\Delta H_f^\circ = 0$



(8)  
εξουδετέρωση ισχυρού οξέος με ισχυρή βάση, αφού ένα μέρος  
από την ενέργεια που ελευθερώνεται δαπανάται για τον ιοντισμό  
του ασθενούς ηλεκτρολύτη, που είναι ενδόθερμη αντίδραση.



Οξέα : Ισχυροί ηλεκτρολύτες:  $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{HI}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HClO}_4$ ,  
 $\text{H}_2\text{SO}_4$  (1<sup>ο</sup> στάδιο ιοντισμού)

Ασθενείς ηλεκτρολύτες: Τα υδροξείδια

Βάσεις : Ισχυροί ηλεκτρολύτες: Τα ευδιάλυτα υδροξείδια  
 $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{Ba(OH)}_2$

Ασθενείς ηλεκτρολύτες:  $\text{NH}_3$ , αμίνες

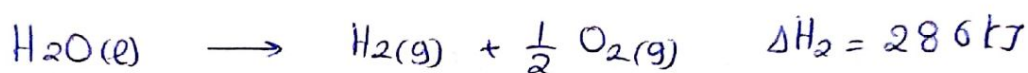


## Νόμοι της Θερμοχημείας

- ① Νόμος των Lavoisier - Laplace ( είναι άμεση συνέπεια της αρχής διατήρησης της ενέργειας)

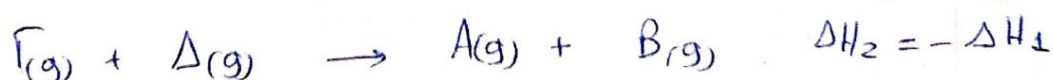
Το ποσό θερμότητας που εκλύεται ή απορροφάται κατά τη σύνθεση 1 mol μιας χημικής ένωσης από τα συστατικά της στοιχεία, είναι ίσο με το ποσό της θερμότητας που απορροφάται ή εκλύεται αντίστοιχα κατά τη διάσπαση 1 mol της ίδιας ένωσης στα συστατικά της στοιχεία.

$$\Delta H_1 = -\Delta H_2$$



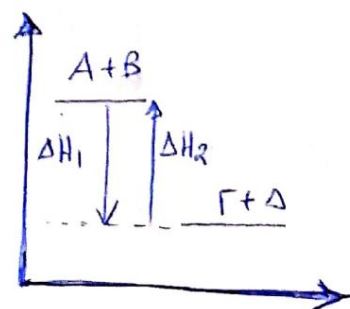
Ο νόμος L-L ισχύει με προϋπόθεση ότι και οι δύο αντιδράσεις γίνονται στις ίδιες συνθήκες P, θ και η φυσική κατάσταση των ουσιών είναι καθορισμένη.

Ο νόμος L-L ισχύει γενικά για μία χημική αντίδραση



$$\Delta H_1 = \underbrace{(\text{H}_\Gamma + \text{H}_\Delta)}_{\text{Η προϊόντων}} - \underbrace{(\text{H}_\text{A} + \text{H}_\text{B})}_{\text{Η αντιδρώντων}}$$

$$\Delta H_2 = \underbrace{(\text{H}_\text{A} + \text{H}_\text{B})}_{\text{Η αντιδρώντων}} - \underbrace{(\text{H}_\Gamma + \text{H}_\Delta)}_{\text{Η προϊόντων}} = -\Delta H_1$$



Γενικά: Όταν αναστρέφουμε μία αντίδραση τότε  $\Delta H_2 = -\Delta H_1$

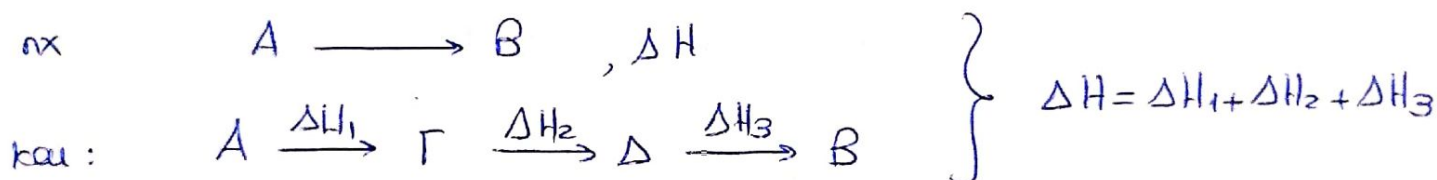
② Νόμος του Hess (είναι άμεση συνέπεια της αρχής διατήρησης<sup>(10)</sup> της ενέργειας [πρώτος θερμοδυναμικός νόμος])

Το ποσό της θερμότητας που εκλύεται ή απορροφάται όταν γίνεται μια χημική αντίδραση, είναι το ίδιο είτε η αντίδραση γίνεται σε ένα είτε σε περισσότερα στάδια.

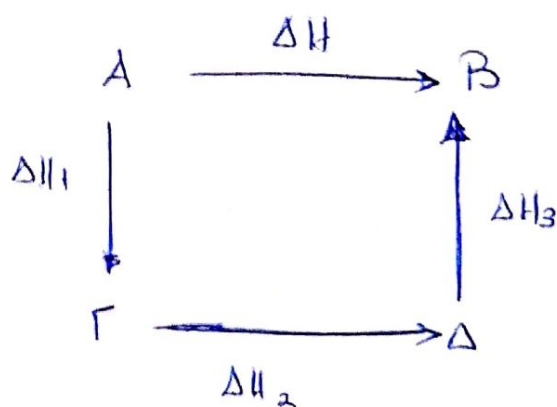
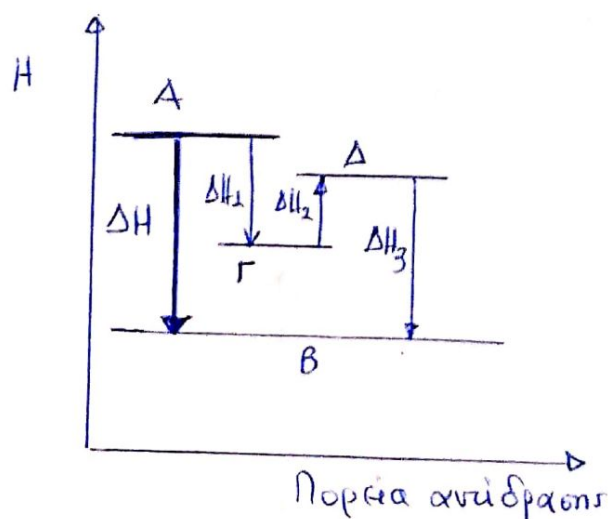
Δηλ. η μεταβολή της ενθαλπίας ( $\Delta H$ ) σε μια χημική αντίδραση είναι ανεξάρτητη από τα ενδιάμεσα στάδια που ακολουθήσε η αντίδραση για να πάει από την αρχική στην τελική κατάσταση, και ισχύει:

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \dots$$

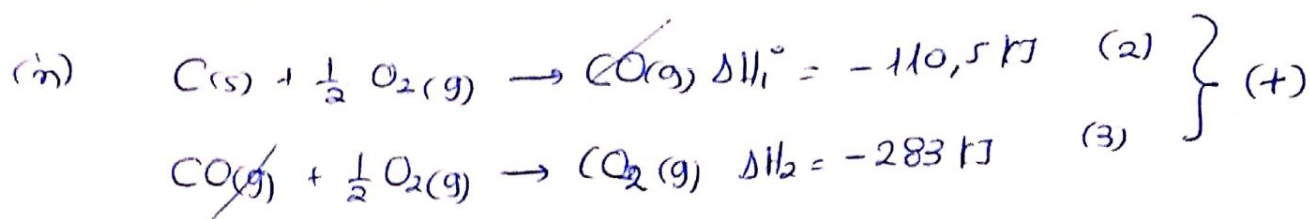
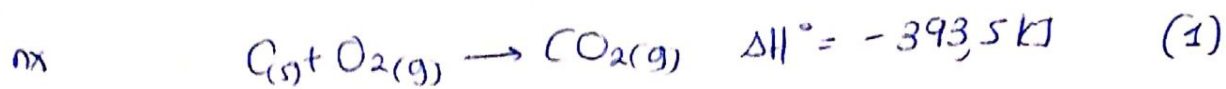
ενδιάμεσα στάδια



Προκύπτει (σύμφωνα με το νόμο του Hess) ο θερμοχημικός κώδικας:

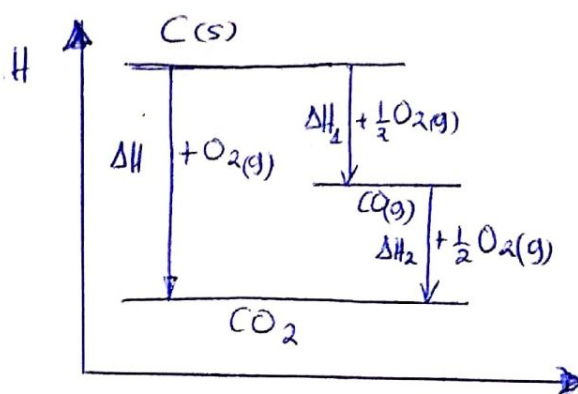
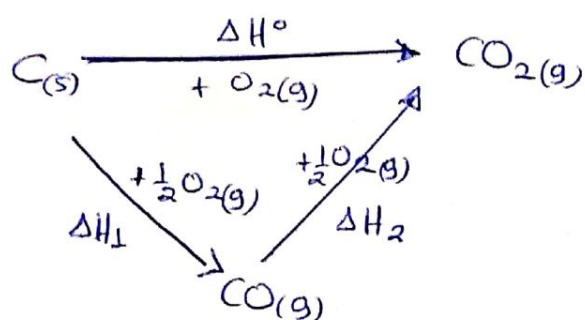
$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$$


Διαγραμματική απεικόνιση  
νόμου Hess



(1) = (2) + (3)

ή με θερμότητα κώλο



Ο νόμος του Hess μας επιτρέπει να υπολογίσουμε έμμεσα ευδαλμένες αντιδράσεις ( $\Delta H$ ) που είναι δύσκολο να προσδιοριστούν άμεσα όπως αντιδράσεις που : δεν πραγματοποιούνται ή είναι πολύ αργά ή έχουν μικρή απόδοση ή συνοδεύονται από δευτερεύουσες αντιδράσεις

Η γενίκευση του νόμου του Hess αποτελεί το αξίωμα αρχικής και τελικής κατάστασης

Το ποσό θερμότητας που εκλύεται ή απορροφάται κατά την μετάβαση ενός χημικού συστήματος από μία καθορισμένη αρχική κατάσταση σε μία καθορισμένη τελική κατάσταση, είναι ανεξάρτητο από τα ενδιάμεσα στάδια με τα οποία μπορεί να γίνει η μεταβολή.



### Ερωτήσεις-Ασκήσεις

1. Πρότυπη κατάσταση στη θερμοχημεία είναι:
- πίεση 1atm, θερμοκρασία 0°C και για τα διαλύματα συγκέντρωση 1M
  - πίεση 1atm, θερμοκρασία 25°C και για τα διαλύματα συγκέντρωση 1M
  - πίεση 1mmHg, θερμοκρασία 25°C και για τα διαλύματα συγκέντρωση 1M
  - πίεση 1mmHg, θερμοκρασία 0°C και για τα διαλύματα συγκέντρωση 1M
2. Δίνεται η θερμοχημική εξίσωση:  $S_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow SO_{2(g)}$ ,  $\Delta H = -296\text{kJ}$ .
- Πως ορίζεται η ενθαλπία της αντίδρασης αυτής;
  - Από ποιους παράγοντες εξαρτάται η ενθαλπία μιας αντίδρασης;
  - Να εξηγήσετε αν είναι σωστή η εξής πρόταση: «κατά την πλήρη καύση ποσότητας 0,5molS προς  $SO_2$  εκλύεται ποσό θερμότητας ίσο με 296kJ».
3. Όταν 4g άνθρακα ( $A_{rC} = 12$ ) καίγονται πλήρως σε πρότυπη κατάσταση, εκλύεται θερμότητα 131kJ. Τότε η πρότυπη ενθαλπία καύσης του άνθρακα είναι:
- $\Delta H_{c(C)}^\circ = 131\text{kJ/mol}$ .
  - $\Delta H_{c(C)}^\circ = -131\text{kJ/mol}$ .
  - $\Delta H_{c(C)}^\circ = 393\text{kJ/mol}$ .
  - $\Delta H_{c(C)}^\circ = -393\text{kJ/mol}$ .
4. Η ενθαλπία  $\Delta H_1$  της αντίδρασης:  $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$ ,  $\Delta H_1 < 0$  είναι ανεξάρτητη από:
- την πίεση,
  - τη θερμοκρασία,
  - τη φυσική κατάσταση των ουσιών
  - τις μάζες των αντιδρώντων
5. Δίνεται η αντίδραση:  $C + O_2 \rightarrow CO_2$ ,  $\Delta H_1$ . Η ενθαλπία  $\Delta H_1$  της αντίδρασης αυτής εξαρτάται από:
- το ρυθμό παραγωγής του  $CO_2$
  - τη μάζα του  $CO_2$
  - τη μάζα των αντιδρώντων
  - τη μορφή του άνθρακα.
6. Δίνεται η αντίδραση:  $H_{2(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(g)}$ ,  $\Delta H_1$ . Η ενθαλπία  $\Delta H_1$  της αντίδρασης αυτής εξαρτάται από :
- τη φυσική κατάσταση των σωμάτων
  - την πίεση και τη θερμοκρασία
  - τη μάζα των αντιδρώντων
  - την κινητικότητα των μορίων
7. Δίνεται η θερμοχημική εξίσωση:  $H_{2(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(l)}$   $\Delta H^\circ = -286\text{ kJ}$ .
- Η πρότυπη ενθαλπία της αντίδρασης  $2H_2O_{(l)} \rightarrow 2H_{2(g)} + O_{2(g)}$  είναι:
- 286 kJ
  - 572kJ
  - 286kJ
  - 572kJ.
8. Από τις επόμενες μεταβολές φυσικής κατάστασης, εξώθερμη είναι η:
- $H_2O_{(s)} \rightarrow H_2O_{(l)}$
  - $H_2O_{(l)} \rightarrow H_2O_{(g)}$
  - $H_2O_{(s)} \rightarrow H_2O_{(g)}$
  - $H_2O_{(g)} \rightarrow H_2O_{(l)}$
9. Από τη θερμοχημική εξίσωση:  $H_{2(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(g)}$ ,  $\Delta H = -68\text{kcal}$ , προκύπτει ότι η ενθαλπία της αντίδρασης διάσπασης του υγρού νερού σε  $H_{2(g)}$  και  $O_{2(g)}$ , σε ίδιες συνθήκες μπορεί να είναι:
- 68kcal/mol
  - 68kcal/mol
  - 65kcal/mol
  - 71kcal/mol.
10. Να απεικονίσετε στο ίδιο διάγραμμα ενέργειας-πορείας αντίδρασης τις ενεργειακές μεταβολές που συμβαίνουν κατά την καύση του αερίου  $H_2$  με περίσσεια αερίου  $O_2$  όταν το νερό που παράγεται είναι:
- αέριο
  - υγρό
  - στερεό
- Αν σε κάθε περίπτωση καίγεται ίση ποσότητα αερίου  $H_2$  σε ίδιες συνθήκες, σε ποια από τις καύσεις α, β, γ, εκλύεται μεγαλύτερο ποσό θερμότητας;
- Να εξηγήσετε την απάντησή σας.
11. Να απεικονίσετε στο ίδιο διάγραμμα ενέργειας-πορείας αντίδραση τις ενεργειακές μεταβολές που συμβαίνουν κατά την καύση με περίσσεια αερίου  $O_2$ :
- υγρού  $CH_4$  με όλα τα προϊόντα αέρια
  - αερίου  $CH_4$  με όλα τα προϊόντα αέρια
- Αν καεί ίδια ποσότητα  $CH_4$  με περίσσεια αερίου  $O_2$  σε ίδιες συνθήκες, με κάθε έναν από τους δύο τρόπους πότε εκλύεται μεγαλύτερο ποσό ενέργειας;
- Να εξηγήσετε την απάντησή σας.



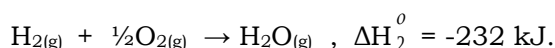
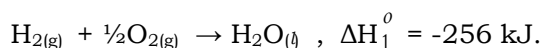
- γ. Τα προϊόντα της αντίδρασης έχουν μικρότερη ενθαλπία από τα αντιδρώντα.  
 δ. Το 1mol υγρού NO<sub>2</sub> για να διασπαστεί σε NO<sub>(g)</sub> και O<sub>2(g)</sub> απαιτεί περισσότερη ενέργεια από 62 kJ/mol.

**18.** Να χαρακτηρίσετε τις παρακάτω προτάσεις σωστές ή λανθασμένες δίνοντας μια σύντομη εξήγηση.

- α. Αν από την καύση 2g CH<sub>4(g)</sub> ελευθερώνονται 26 kJ, τότε από την καύση 8g CH<sub>4(g)</sub>, ελευθερώνονται 104 kJ, στις ίδιες συνθήκες.  
 β. Κατά την καύση 5g σκόνης Mg ελευθερώνεται περισσότερη θερμότητα απ' όση ελευθερώνεται κατά την καύση ενός σύρματος Mg 5g σε ίδιες συνθήκες (το σύρμα και η σκόνη δεν αποτελούν διαφορετικές μορφές του Mg).  
 γ. 18g H<sub>2</sub>O, θερμοκρασίας 25 °C και πίεσης 1atm, έχουν περισσότερη ενέργεια απ' ότι ένα μείγμα που αποτελείται από 2g H<sub>2</sub> και 16g O<sub>2</sub>, θερμοκρασίας 25 °C και πίεσης 1atm (Ar<sub>H</sub> = 1, Ar<sub>O</sub> = 16).  
 δ. Κατά την καύση 10g υγρής βενζίνης, ελευθερώνεται περισσότερη θερμότητα απ' όση ελευθερώνεται από την καύση 10g ατμών της ίδιας βενζίνης σε ίδιες συνθήκες.  
 ε. Κατά τη διάσπαση ενός χημικού δεσμού ελευθερώνεται ενέργεια.  
 στ. Στις εξώθερμες αντιδράσεις αυξάνεται η ενέργεια του συστήματος.  
 ζ. Σε κάθε χημική αντίδραση η χημική ενέργεια των αντιδρώντων μετατρέπεται πλήρως σε άλλες μορφές ενέργειας.  
 η. Η διαδικασία μετατροπής του H<sub>2</sub>O<sub>(g)</sub> σε H<sub>2</sub>O<sub>(l)</sub> είναι εξώθερμη.  
 θ. Η μεταβολή ενθαλπίας σε ένα χημικό σύστημα έχει θετικό πρόσημο όταν μεταφέρεται θερμότητα από το περιβάλλον στο σύστημα.  
 ι. Κατά τη διάρκεια μιας χημικής αντίδρασης ενέργεια του συστήματος μπορεί να μεταφερθεί στο περιβάλλον και αντίστροφα.  
 ια. Η συνολική ενέργεια σε ένα χημικό σύστημα παραμένει σταθερή ανεξάρτητα από τις όποιες μεταβολές.  
 ιβ. Η ενθαλπία μιας αντίδρασης εξαρτάται από τις συνθήκες στις οποίες πραγματοποιείται.  
 ιγ. Οι νόμοι της Θερμοχημείας είναι συνέπεια της αρχής διατήρησης της ενέργειας.  
 ιδ. Για τις θερμοχημικές εξισώσεις:  

$$\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}, \quad \Delta H_1, \quad \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2, \quad \Delta H_2$$
  
 ισχύει υποχρεωτικά ότι  $\Delta H_1 + \Delta H_2 = 0$ .  
 ιε. Το αξίωμα αρχικής και τελικής κατάστασης εφαρμόζεται για τον υπολογισμό της ΔH μιας μεταβολής η οποία περιλαμβάνει χημικές αντιδράσεις και φυσικές μεταβολές.

**19.** Δίνονται οι θερμοχημικές εξισώσεις:



Να υπολογισθεί η πρότυπη ενθαλπία εξαερώσεως του νερού:  $\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{(g)}$ .

**20.** Η πρότυπη ενθαλπία πλήρους καύσης του άνθρακα είναι:

$\Delta H_{\text{CC}}^0 = -396 \text{ kJ/mol}$ . Να αντιστοιχίσετε σε κάθε ποσότητα του άνθρακα της στήλης I το ποσό που εκλύεται κατά την πλήρη καύση της από την στήλη II.

| I         | II          |
|-----------|-------------|
| 1. 3mol   | α. 33 kJ.   |
| 2. 24g    | β. 39,6 kJ. |
| 3. 1g     | γ. 1188 kJ. |
| 4. 0,1mol | δ. 1980 kJ. |
| 5. 60g    | ε. 792 kJ.  |

Δίνεται Ar<sub>C</sub> = 12

**21.** Δίνονται οι παρακάτω θερμοχημικές εξισώσεις οι οποίες πραγματοποιούνται σε ίδιες συνθήκες:



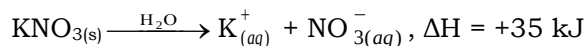
α. Η μετατροπή:  $\text{C}_{(\text{γραφίτης})} \rightarrow \text{C}_{(\text{διαμάντι})}$  έχει  $\Delta H_3^0$  ίση με:

- α. -788 kJ      β. +2 kJ      γ. +788 kJ      δ. -2 kJ.

β. Αν σταθερότερη μορφή μιας ουσίας είναι αυτή με το μικρότερο ενεργειακό περιεχόμενο να εξηγήσετε ποια μορφή άνθρακα είναι πιο σταθερή (ο γραφίτης ή το διαμάντι).



**22.** Η διάλυση του  $\text{KNO}_{3(s)}$  ( $M_r = 101$ ) στο νερό περιγράφεται από τη θερμοχημική εξίσωση:



α. Από την εξίσωση αυτή συμπεραίνουμε ότι:

- α. η διάλυση του  $\text{KNO}_{3(s)}$  στο νερό είναι εξώθερμο φαινόμενο.
- β. η ενθαλπία των προϊόντων είναι μικρότερη από την ενθαλπία των αντιδρώντων.
- γ. αυξάνεται η θερμοκρασία του διαλύματος γιατί απορροφάται θερμότητα.
- δ. κατά τη διάλυση του  $\text{KNO}_{3(s)}$  στο νερό το χημικό σύστημα απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον.

β. Κατά τη διάλυση 40,4g σκόνης  $\text{KNO}_3$  σε νερό:

- α. εκλύεται ποσό θερμότητας 35kJ.
- β. εκλύεται ποσό θερμότητας 14kJ.
- γ. απορροφάται ποσό θερμότητας 35kJ.
- δ. απορροφάται ποσό θερμότητας 14kJ.

**23.** Για τη διάσπαση του ομοιοπολικού δεσμού μεταξύ των δύο ατόμων υδρογόνου σε ένα μόριο  $\text{H}_2$  πρέπει να προσφέρουμε ενέργεια  $7,4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ . Κατά το σχηματισμό 4mol  $\text{H}_2$ :

- α. εκλύεται ποσό θερμότητας  $7,4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ .
- β. απορροφάται ποσό θερμότητας  $7,4 \cdot 4 \cdot N_A \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- γ. εκλύεται ποσό θερμότητας  $7,4 \cdot 4 \cdot N_A \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- δ. απορροφάται ποσό θερμότητας  $7,4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$  ( $N_A$  : αριθμός Avogadro)

**24.** Από ποιους παράγοντες εξαρτάται:

- α) η ενθαλπία της αντίδρασης:  $\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$
- β) το ποσό θερμότητας που εκλύεται όταν πραγματοποιείται η παραπάνω αντίδραση;

**25.** Η ενθαλπία εξουδετέρωσης ενός ισχυρού οξέος με μια ισχυρή βάση είναι

$\Delta H_n^0 = -57 \text{ kJ/mol}$ . Κατά την εξουδετέρωση του  $\text{HCN}$  με  $\text{NaOH}$  η ενθαλπία εξουδετέρωσης είναι ίση με  $-10,5 \text{ kJ/mol}$ . Πού οφείλεται η διαφορετική τιμή για την ενθαλπία εξουδετέρωσης του  $\text{HCN}$ ;

**26.** Αντιστοιχήστε την κάθε ποσότητα υδρατμών ή υγρού νερού της στήλης ( I ) με τη θερμότητα που παράγεται κατά το σχηματισμό της από τα συστατικά της στοιχεία (στήλη II)

| ( I )                             | ( II )     |
|-----------------------------------|------------|
| A. 2 g $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$ | α. 6Kcal   |
| B. 4 g $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$ | β. 7,5Kcal |
| Γ. 2 g $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ | γ. 12Kcal  |
| Δ. 4 g $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ | δ. 10Kcal  |
|                                   | ε. 15Kcal  |

**27.** Η πρότυπη ενθαλπία εξουδετέρωσης ισχυρού οξέος με ισχυρή βάση είναι

$\Delta H_n^0 = -57 \text{ kJ/mol}$ . Να υπολογίσετε τις πρότυπες ενθαλπίες των αντιδράσεων:

- α)  $\text{NaOH}_{(aq)} + \text{HBr}_{(aq)} \rightarrow \text{NaBr}_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)}$
- β)  $\text{M}(\text{OH})_{2(aq)} + 2\text{HCl}_{(aq)} \rightarrow \text{MCl}_{2(aq)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)}$
- γ)  $2\text{M}(\text{OH})_{3(aq)} + 3\text{H}_2\text{SO}_{4(aq)} \rightarrow \text{M}_2(\text{SO}_4)_{3(aq)} + 6\text{H}_2\text{O}_{(l)}$

Τα παραπάνω οξέα και βάσεις είναι ισχυροί ηλεκτρολύτες.

### ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Δίνονται  $A_{rC} = 12$ ,  $A_{rH} = 1$ ,  $A_{rO} = 16$ ,  $A_{rN} = 14$ ,  $A_{rFe} = 56$ ,  $A_{rAl} = 27$ ,  $A_{rCl} = 35,5$ ,  $A_{rS} = 32$ ,  $A_{rNa} = 23$ ,

$A_{rK} = 39$ ,  $A_{rHg} = 200$ ,  $R = 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$

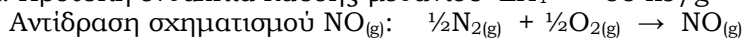
**28.** Σε δοχείο εισάγονται ορισμένες ποσότητες των αερίων Α και Β οπότε πραγματοποιείται η αντίδραση:  $2\text{A}_{(g)} + \text{B}_{(g)} \rightarrow 2\text{Γ}_{(g)}$ ,  $\Delta H = 200 \text{ kJ}$ .

Να υπολογίσετε το ποσό της θερμότητας που απορροφάται, αν οι αρχικές ποσότητες των ουσιών είναι:

- α. 4mol Α και 3mol Β      β. 8mol Α και 3mol Β      γ. 5mol Α και 2,5mol Β
- (Απ: α. 400kJ, β. 600kJ, γ. 500kJ.)

**29.** Να υπολογίσετε τη μάζα του μεθανίου ( $\text{CH}_4$ ) που πρέπει να καεί σε πρότυπη κατάσταση, ώστε να παραχθεί θερμότητα ίση με την θερμότητα που χρειάζεται για την σύνθεση 75g μονοξειδίου του αζώτου ( $\text{NO}$ ) σε πρότυπη κατάσταση.

Δίνονται: Πρότυπη ενθαλπία καύσης μεθανίου  $\Delta H_1^\circ = -55 \text{ kJ/g}$

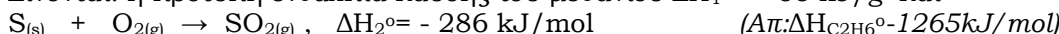


Πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού  $\text{NO}$   $\Delta H_2^\circ = +88 \text{ kJ/mol}$  (Απ: 4g)

**30.** 9,2g ισομοριακού μίγματος μεθανίου ( $\text{CH}_4$ ) και αιθανίου ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) καίγονται πλήρως σε πρότυπη κατάσταση οπότε παράγεται ποσό θερμότητας ίσο με το ποσό της θερμότητας που παράγεται κατά τον σχηματισμό 1,5mol διοξειδίου του θείου ( $\text{SO}_2$ ).

Να υπολογίσετε την πρότυπη ενθαλπία καύσης του αιθανίου.

Δίνονται: η πρότυπη ενθαλπία καύσης του μεθανίου  $\Delta H_1^\circ = -55 \text{ kJ/g}$  και



**31.** Σε κλειστό δοχείο διοχετεύονται 32g  $\text{SO}_2$  και 24g  $\text{O}_2$  και προκαλείται ανάφλεξη οπότε πραγματοποιείται η αντίδραση  $2\text{SO}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow 2\text{SO}_{3(g)}$ . Μετά το τέλος της καύσης υπολογίστηκε ότι εκλύθηκε θερμότητα 50kJ.

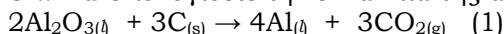
α. Ποιο από τα δύο συστατικά του αρχικού μίγματος αντέδρασε πλήρως;

β. Ποια είναι η σύσταση του μίγματος σε mol, μετά το τέλος της καύσης;

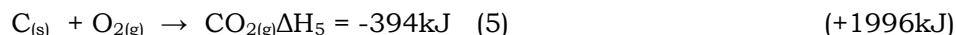
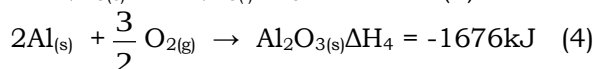
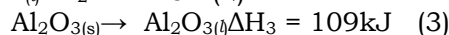
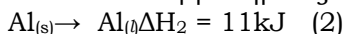
γ. Ποια η ενθαλπία της αντίδρασης;

(Απ: α. το  $\text{SO}_2$ , β. 0,5mol  $\text{O}_2$ , 0,5mol  $\text{SO}_3$ , γ.  $\Delta H = -200 \text{ kJ}$ .)

**32.** Να υπολογίσετε την ενθαλπία της αντίδρασης (1)

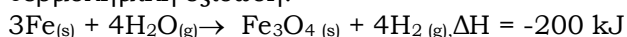


Δίνονται οι θερμοχημικές εξισώσεις:



**33.** Οι πρότυπες ενθαλπίες καύσης του άνθρακα ( $\text{C}$ ), του υδρογόνου ( $\text{H}_2$ ) και του μεθανίου ( $\text{CH}_4$ ) είναι  $\Delta H_1^\circ = -393 \text{ kJ/mol}$ ,  $\Delta H_2^\circ = -256 \text{ kJ/mol}$  και  $\Delta H_3^\circ = -890 \text{ kJ/mol}$  αντίστοιχα. Να υπολογισθεί η πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού του μεθανίου από τα στοιχεία  $\text{C}$  και  $\text{H}_2$ . (Απ:  $\Delta H^\circ = -15 \text{ kJ/mol}$ )

**34.** 30g δείγματος ορυκτού που περιέχει σίδηρο αντιδρά με περίσσεια υδρατμών σύμφωνα με τη θερμοχημική εξίσωση:



Αν από την αντίδραση εκλύονται 30 kJ να υπολογίσετε:

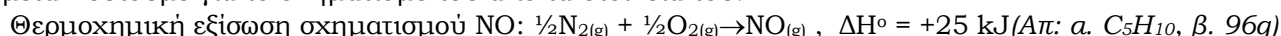
α. Ποια η %w/w καθαρότητα του δείγματος σε  $\text{Fe}$  (οι προσμείξεις εκτός του  $\text{Fe}$  δεν συμμετέχουν στην αντίδραση).

β. Πόσα λίτρα  $\text{H}_2$  εκλύθηκαν κατά την αντίδραση μετρημένα σε stp. (Απ: α. 84%w/w, β. 13,44L)

**35.** 17,5g ενός αλκενίου καίγονται πλήρως σε πρότυπη κατάσταση οπότε εκλύονται 100 kJ. Αν το ποσό θερμότητας μετρήθηκε χωρίς απώλειες και η πρότυπη ενθαλπία καύσης του αλκενίου είναι  $\Delta H^\circ = -400 \text{ kJ/mol}$  να βρείτε:

α. Το μοριακό τύπο του αλκενίου.

β. Τη μάζα του  $\text{NO}$  που θα σχηματιστεί αν τη θερμότητα που παράγεται με απώλειες 20%, την εκμεταλλευτούμε για το σχηματισμό του από τα στοιχεία του.



**36.** Ποσότητα μεθανίου ίση με 6,4g καίγεται εν μέρει σε διοξείδιο του άνθρακα και εν μέρει ατελώς σε μονοξείδιο του άνθρακα. Κατά την καύση εκλύονται 260kJ θερμότητας μετρημένα χωρίς απώλειες. Να βρείτε το ποσοστό του μεθανίου που κάηκε πλήρως σε διοξείδιο του άνθρακα.

Δίνονται: Η ενθαλπία πλήρους καύσης του μεθανίου είναι  $\Delta H_1 = -800 \text{ kJ/mol}$  και η ενθαλπία ατελούς καύσης του σε μονοξείδιο  $\Delta H_2 = -500 \text{ kJ/mol}$ . (Απ: 50%)

**37.** Μείγμα που αποτελείται από NaOH και KOH έχει μάζα 9,6g. Το μείγμα διαλύεται σε νερό μέχρι όγκου 500ml και αντιδρά πλήρως με την ακριβώς απαιτούμενη ποσότητα αερίου HCl. Από τις αντιδράσεις που πραγματοποιούνται εκλύονται συνολικά 12kJ θερμότητας. Αν η ενθαλπία εξουδετέρωσης ισχυρού οξέος από ισχυρή βάση είναι 60kJ/mol να βρείτε:

- την %w/w σύσταση του αρχικού μείγματος των δύο βάσεων
- τον όγκο σε πρότυπες συνθήκες του αερίου HCl που απαιτήθηκε.
- τις τελικές συγκεντρώσεις όλων των χημικών ενώσεων στο διάλυμα.

(Απ: α. 41,67% w/w σε NaOH, 4,48 L,  $C_{NaCl} = C_{KCl} = 0,2M$ )

**38.** Δείγμα ορυκτού άνθρακα μάζας 10g καίγεται πλήρως οπότε παράγονται 288kJ θερμότητας. Αν η πρότυπη ενθαλπία τέλει καύσης του άνθρακα είναι  $\Delta H^\circ = -360\text{kJ/mol}$  να υπολογίσετε:

- Την % w/w καθαρότητα του δείγματος σε άνθρακα (οι προσμείξεις δεν συμμετέχουν στην αντίδραση).
- Πόσα kg από τον ορυκτό αυτό άνθρακα θα απαιτηθούν για να προσφέρουν την απαιτούμενη ενέργεια ώστε να διασπαστούν 77,76 kgHgO κατά τη θερμοχημική εξίσωση:  $\text{HgO}_{(s)} \rightarrow \text{Hg}_{(l)} + \frac{1}{2} \text{O}_{2(g)}$ ,  $\Delta H = +400\text{kJ}$

(Απ: α. 96%w/w, β. 5kg)

**39.** Οι πρότυπες ενθαλπίες εξουδετέρωσης δύο οξέων HA και HB είναι

$\Delta H_{HA}^\circ = -13,6 \text{ kcal/mol}$  και  $\Delta H_{HB}^\circ = -11,2 \text{ kcal/mol}$  αντίστοιχα. Όταν σε υδατικό διάλυμα NaOH που περιέχει 1molNaOH προστίθεται υδατικό διάλυμα που περιέχει 1 mol HA και 1 mol HB εκλύονται 13,12 Kcal. Ποιο ποσοστό από κάθε οξύ εξουδετερώθηκε;

(Απ: HA 80%, HB 20%)

**40.** Μεταλλική φιάλη με στρόφιγγα, περιέχει αέριο υδρογόνο ( $\text{H}_2$ ) σε πίεση 8atm και θερμοκρασία 27°C. Ανοίγουμε τη στρόφιγγα και το εξερχόμενο αέριο υδρογόνο καίγεται. Κλείνουμε τη στρόφιγγα, οπότε η πίεση μέσα στη φιάλη ξαναμετρήθηκε και βρέθηκε ίση με 3atm, σε θερμοκρασία 27°C. Αν κατά την καύση αυτή ελευθερώθηκαν 1700kcal, να βρεθεί ο όγκος της φιάλης.

Δίνεται ότι η θερμότητα καύσης του υδρογόνου είναι ίση με 34kcal/g και τα ποσά θερμότητας μετρήθηκαν στις ίδιες συνθήκες.  $\Delta_r H = 1$ .

(Απ: 123L)

**41.** Σε 200ml υδατικού διαλύματος HCl 0,4M προσθέτουμε ορισμένο όγκο υδατικού διαλύματος NaOH 0,2M, οπότε προκύπτει διάλυμα Δ και ελευθερώνεται ποσό θερμότητας ίσο με 2240J. Αν η θερμότητα εξουδετέρωσης του HCl με το NaOH είναι ίση με 56kJ/mol, να βρεθούν:

- Ο όγκος του διαλύματος NaOH που προσθέσαμε στο διάλυμα του HCl.
- Η συγκέντρωση καθεμιάς από τις ενώσεις που περιέχει το τελικό διάλυμα.

(Απ: α. 200ml, β.  $C_{HCl} = C_{NaCl} = 0,1M$ )

**42.** Αέριο μίγμα, το οποίο αποτελείται από  $\text{Cl}_2$  και ατμούς  $\text{I}_2$ , έχει όγκο 16,4 L σε θερμοκρασία 127 °C και πίεση 1atm. Το μίγμα αυτό αντιδρά πλήρως με  $\text{H}_2$ , οπότε ελευθερώνεται ποσό θερμότητας ίσο με 21 KJ.

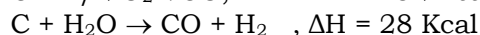
α) Να υπολογιστεί η σύσταση του μίγματος.

β) Ποια πρέπει να είναι η αναλογία mol των συστατικών του μίγματος, ώστε να μην παρατηρείται θερμική μεταβολή;

Δίνονται οι ενθαλπίες σχηματισμού: HCl: -90 KJ/mol, HI: 25 KJ/mol.

( α. 0,2-0,3 molCl<sub>2</sub> και I<sub>2</sub> αντίστοιχα β. 5/18)

**43.** Όταν διαβιβάσουμε μίγμα υδρατμών και  $\text{O}_2$  σε σωλήνα που περιέχει C σε κατάσταση ερυθροπυρώσεως πραγματοποιούνται οι αντιδράσεις:



α) Ποια πρέπει να είναι η αναλογία mol υδρατμών και  $\text{O}_2$  σε ένα μίγμα τους ώστε αν αυτό διαβιβαστεί σε σωλήνα που περιέχει ερυθροπυρωμένο C, να μην παρατηρηθεί θερμική μεταβολή;

β) Σε σωλήνα που περιέχει C σε κατάσταση ερυθροπυρώσεως διαβιβάσουμε ισομοριακό μίγμα υδρατμών και  $\text{O}_2$  όγκου 112 L, μετρημένα σε stp.

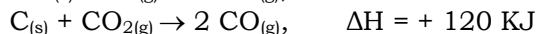
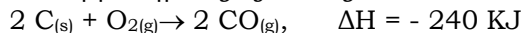
i) Ποιο θα είναι το θερμικό αποτέλεσμα της αντίδρασης;

ii) Ποιος είναι ο όγκος του αερίου μίγματος σε stp, που εξέρχεται τελικά από το σωλήνα;

( α. 16/7 β. i) 90 Kcal, ii) 224 L )



**44.** Δίνονται οι παρακάτω θερμοχημικές εξισώσεις σε  $\theta$   $^{\circ}\text{C}$ :



Σε θερμικά μονωμένο δοχείο που περιέχει αρκετή ποσότητα άνθρακα, στους  $\theta$   $^{\circ}\text{C}$ , εισάγεται κατάλληλα, σε  $\theta$   $^{\circ}\text{C}$ , μίγμα  $\text{O}_2$  και  $\text{CO}_2$ , με τέτοια αναλογία όγκων, ώστε να μην παρατηρηθεί θερμοκρασιακή μεταβολή κατά την αντίδραση του άνθρακα και με τα δύο συστατικά του μίγματος.

α) Να βρεθεί η αναλογία όγκων,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$  στο αρχικό μίγμα.

β) Να γραφεί η συνολική θερμοχημική εξίσωση.

γ) Με βάση το παραπάνω παράδειγμα-πείραμα να εξηγηθεί, πως μπορεί σε «αντίδραση» να μη μεταβάλλεται η ενθαλπία των ουσιών.

δ) Αν αντί για  $\text{O}_2$  είχαμε χρησιμοποιήσει αέρα, να βρεθεί η αναλογία όγκων αέρα,  $\text{CO}_2$  στο αρχικό μίγμα. ( α.  $1/2$  β.  $4 \text{C}_{(\text{s})} + \text{O}_{2(\text{g})} + 2 \text{CO}_{2(\text{g})} \rightarrow 6 \text{CO}_{(\text{g})}, \quad \Delta H = 0 \text{ KJ}$  δ.  $5/2$  )

**45.** Κατά την καύση 1 g αμύλου ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ )<sub>n</sub> εκλύεται ποσό θερμότητας ίσο με 4,2 Kcal. Να υπολογιστεί η ενθαλπία σχηματισμού 1 g αμύλου.

Δίνονται οι ενθαλπίες σχηματισμού των  $\text{CO}_2$  και  $\text{H}_2\text{O}$ : -94 Kcal/mol και -68 Kcal/mol αντίστοιχα. Επίσης Ar: C = 12, H = 1, O = 16.

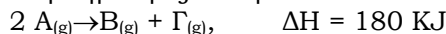
( -1,38 Kcal/g )

**46.** Αέριο μίγμα αποτελείται από  $\text{H}_2$  και ισομοριακές ποσότητες  $\text{CH}_4$  και  $\text{C}_2\text{H}_6$ . Το μίγμα αυτό έχει όγκο 9,84 L, σε πίεση 1 atm και θερμοκρασία 27  $^{\circ}\text{C}$ , ενώ η μερική πίεση του  $\text{H}_2$  είναι 0,5 atm.

α) Ποια είναι η σύσταση του μίγματος σε mol;

β) Το μίγμα καίγεται πλήρως. Να υπολογιστεί το ποσό θερμότητας που ελευθερώθηκε.

γ) Το ποσό θερμότητας που ελευθερώθηκε από την καύση χρησιμοποιείται για τη διάσπαση του σώματος Α σύμφωνα με τη χημική εξίσωση:

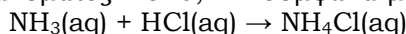


Αν κατά την καύση υπάρχουν απώλειες θερμότητας 10%, να υπολογιστεί ο αριθμός mol του σώματος Α που διασπάται.

Δίνονται οι ενθαλπίες καύσης των  $\text{H}_{2(\text{g})}$ : -285 KJ/mol,  $\text{CH}_{4(\text{g})}$ : -890 KJ/mol και  $\text{C}_2\text{H}_6$ : -1540 KJ/mol. ( α. 0,1-0,1-0,2 mol β. 300 KJ γ. 3 mol )

**47.** Η αμμωνία αντιδρά σε υψηλή θερμοκρασία με το  $\text{O}_2$  παράγοντας  $\text{N}_2$  και  $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  και η αντίδραση αυτή διευκολύνεται με τη χρήση  $\text{Cu}(\text{s})$  ως καταλύτη. Αντίθετα, η αμμωνία, σε άλλες συνθήκες και παρουσία  $\text{Pt}(\text{s})$  ως καταλύτη οδηγεί στο σχηματισμό  $\text{NO}$  και  $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ . Οι θερμοχημικές εξισώσεις που αντιστοιχούν στις παραπάνω μετατροπές είναι οι εξής:  $4\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\Delta H = -1500 \text{ kJ}$   
 $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \rightarrow 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\Delta H = -900 \text{ kJ}$ .

Ποσότητα  $\text{NH}_3$  αντιδρά με  $\text{O}_2$  σε κατάλληλες συνθήκες παρουσία καταλύτη και προκύπτουν 1200 mol  $\text{NO}$  και 60 mol  $\text{N}_2$  σύμφωνα με τις δύο παραπάνω αντιδράσεις. Η ποσότητα της  $\text{NH}_3$  που δεν αντέδρασε συλλέγεται ποσοτικά σε νερό σχηματίζοντας διάλυμα (Y) όγκου 50 L. 5 mL από το διάλυμα (Y) αντέδρασε πλήρως με 45 mL διαλύματος  $\text{HCl}$  0,4 M σύμφωνα με την εξίσωση:

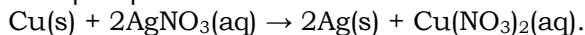


α) Να προσδιοριστεί το ποσοστό της  $\text{NH}_3$  που μετασχηματίστηκε σε  $\text{NO}$ .

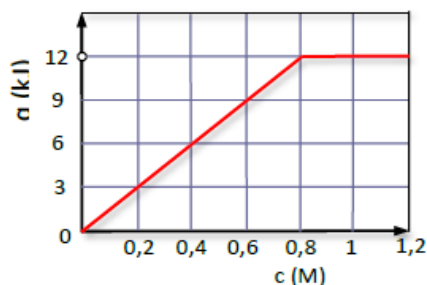
β) Να υπολογίσετε το ποσό θερμότητας που παράγεται κατά την αντίδραση της ποσότητας της  $\text{NH}_3$  με το  $\text{O}_2$  και την παραγωγή 1200 mol  $\text{NO}$  και 60 mol  $\text{N}_2$ . Το ποσό θερμότητας και οι ενθαλπίες αντιστοιχούν στις ίδιες συνθήκες.

( α) 80%. β)  $3,15 \cdot 10^5 \text{ kJ}$  )

**48.** Διαθέτουμε μία σειρά διαλυμάτων  $\text{AgNO}_3(\text{aq})$  ίδιου όγκου 100 mL αλλά διαφορετικών συγκεντρώσεων. Στα διαλύματα αυτά προσθέτουμε την ίδια ποσότητα  $\text{Cu}(\text{s})$  και διεξάγεται η εξώθερμη αντίδραση που ακολουθεί.



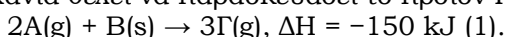
Το εκλυόμενο ποσό θερμότητας από την αντίδραση ως συνάρτηση της συγκέντρωσης c (M) των διαλυμάτων  $\text{AgNO}_3(\text{aq})$  δίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



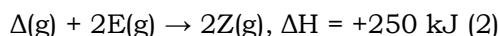
α) Να εξηγήσετε γιατί το ποσό θερμότητας αυξάνεται γραμμικά μέχρι την τιμή  $c = 0,8 \text{ M}$  και στη συνέχεια παραμένει σταθερό.

β) Να υπολογίσετε την ενθαλπία ( $\Delta H$ ) της αντίδρασης καθώς και την ποσότητα (σε mol) του  $\text{Cu(s)}$  που προστέθηκε αρχικά στα διαλύματα  $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ . Τα ποσά θερμότητας και η ενθαλπία της αντίδρασης αντιστοιχούν στις ίδιες συνθήκες. (β)  $\Delta H = -150 \text{ kJ}$

**49.** Μία βιομηχανία θέλει να παρασκευάσει το προϊόν  $\Gamma(\text{g})$  με βάση την αντίδραση (1) που ακολουθεί.



Ο αντιδραστήρας στον οποίο γίνεται η αντίδραση τροφοδοτείται συνεχώς με αντιδρώντα και παραλαμβάνεται συνεχώς το προϊόν  $\Gamma$ . 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 στον οποίο παράγεται ένα άλλο χρήσιμο προϊόν, το σώμα  $\text{Z}(\text{g})$ , με βάση την αντίδραση (2):



Αν το σώμα  $\Gamma$  στο μεγάλο αντιδραστήρα προκύπτει με σταθερό ρυθμό  $0,05 \text{ mol} \cdot \text{min}^{-1}$ , με ποιο σταθερό ρυθμό (σε  $\text{mol} \cdot \text{min}^{-1}$ ) πρέπει να παράγεται το σώμα  $\text{Z}(\text{g})$  ώστε να απορροφάται το 80% του ποσού θερμότητας που παράγεται από την αντίδραση (1);

(=  $0,016 \text{ mol} \cdot \text{min}^{-1}$ )

**50.** Κατά τον σχηματισμό  $1 \text{ g}$   $\text{NO}$  από τα στοιχεία του απορροφάται ποσό θερμότητας ίσο με  $3 \text{ kJ}$ .

α) Να υπολογίσετε την ενθαλπία σχηματισμού του  $\text{NO}$  ( $\Delta H_1$ ).

β) Σε δοχείο που περιέχει  $x \text{ mol}$   $\text{O}_2$  εισάγονται  $6 \text{ mol}$   $\text{NO}$ , οπότε πραγματοποιείται η αντίδραση:



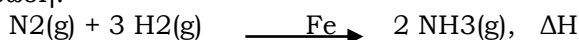
Κατά την αντίδραση εκλύεται ποσό θερμότητας ίσο με  $342 \text{ kJ}$ . Το αέριο μείγμα που προκύπτει περιέχει 75% v/v  $\text{NO}_2$ . Να υπολογίσετε:

- τη σύσταση (σε mol) του αερίου μείγματος μετά την αντίδραση,
- τον αριθμό  $x \text{ mol}$  του  $\text{O}_2$  που περιέχεται αρχικά στο δοχείο.

Δίνεται η ενθαλπία σχηματισμού του  $\text{NO}_2(\text{g})$   $\Delta H_3 = 33 \text{ kJ/mol}$ .

(α)  $90 \text{ kJ/mol}$  β) i.  $2 \text{ mol}$  –  $6 \text{ mol}$  ii.  $5 \text{ mol}$

**51.** Αέριο μείγμα, το οποίο περιέχει 80% w/w  $\text{N}_2$  και 20% w/w  $\text{H}_2$ , αντιδρά σε κατάλληλες συνθήκες, σύμφωνα με την χημική εξίσωση:

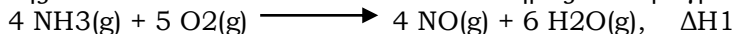


Από την αντίδραση παράγονται  $136 \text{ g}$   $\text{NH}_3$  και ελευθερώνεται ποσό θερμότητας ίσο με  $360 \text{ kJ}$ .

α) Να υπολογίσετε:

- την ενθαλπία της αντίδρασης  $\Delta H$ ,
- τη σύσταση (σε mol) του αρχικού μείγματος  $\text{N}_2$  και  $\text{H}_2$ .

β) Η ποσότητα της  $\text{NH}_3$  που παράγεται εισάγεται σε δοχείο που περιέχει  $9 \text{ mol}$   $\text{O}_2$ , οπότε οι ποσότητες της  $\text{NH}_3$  και του  $\text{O}_2$  καταναλώνονται πλήρως και πραγματοποιούνται οι χημικές αντιδράσεις:



Να υπολογίσετε:

- τον αριθμό mol του  $\text{NO}$  που παράγεται,
- το ποσοστό (%) μετατροπής της  $\text{NH}_3$  σε  $\text{NO}$ ,
- το ποσό θερμότητας που ελευθερώνεται από την αντίδραση οξείδωσης της  $\text{NH}_3$ .

Δίνονται οι θερμοχημικές εξισώσεις:  $\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{NO}(\text{g}), \Delta H_3 = 180 \text{ kJ}$



(α) i)  $-90 \text{ kJ}$  ii)  $4 \text{ mol}$   $\text{N}_2$ ,  $14 \text{ mol}$   $\text{H}_2$  β) i)  $6 \text{ mol}$  ii) 75% iii)  $1980 \text{ kJ}$