

## 1.Ακτινοβολία μέλανος σώματος

### A1. ΘΕΜΑΤΑ

**A1.1** Ποιες από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές;

- α. Τα φωτόνια έχουν μηδενική μάζα ηρεμίας.
- β. Υπάρχουν και φωτόνια λευκού φωτός.
- γ. Ένα φωτόνιο ερυθρής ακτινοβολίας έχει περισσότερη ενέργεια από ένα φωτόνιο πράσινης.
- δ. Ένα μέλαν σώμα χαμηλής θερμοκρασίας εκπέμπει κυρίως στην υπέρυθη περιοχή
- ε. Το φάσμα της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος είναι συνεχές.

**A1.2** Ποιες από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές;

- α. Το 1eV είναι μονάδα ενέργειας.
- β. Σύμφωνα με τον Planck η υπεριώδης ακτινοβολία μεταφέρει περισσότερη ενέργεια από την υπέρυθη.
- γ. Ένα κβάντο ενέργειας είναι ίδιο σε όλες τις περιστάσεις όπως ένα κβάντο φορτίου.
- δ. Η ελάχιστη μεταβολή ενέργειας ενός κβαντικού ταλαντωτή είναι το  $h \cdot f$ .
- ε. 1 κβάντο ερυθρού φωτός έχει μεγαλύτερη ενέργεια από ένα κβάντο κίτρινου φωτός.

**A1.3** Το μέλαν σώμα ορίζεται ως ένα αντικείμενο που

- α. απορροφά όλη την ακτινοβολία που πέφτει πάνω του, σε όλες τις συχνότητες (για αυτό και φαίνεται μαύρο).
- β. απορροφά μέρος της ακτινοβολίας που πέφτει πάνω του, σε διακριτές συχνότητες.
- γ. απορροφά μέρος της ακτινοβολίας που πέφτει πάνω του μόνο σε χαμηλές συχνότητες υπέρυθρου.
- δ. απορροφά μέρος της ακτινοβολίας που πέφτει πάνω του μόνο σε υψηλές συχνότητες υπεριώδους.

**A1.4** Σύμφωνα με το νόμο του Wien για το μέλαν σώμα, το μήκος κύματος στο οποίο εκπέμπεται το μέγιστο της έντασης της ακτινοβολίας ενός σώματος είναι

- α. μεγαλύτερο σε υψηλότερες θερμοκρασίες
- β. ανάλογο προς την απόλυτη θερμοκρασία,  $T$ .
- γ. μικρότερο σε υψηλότερες θερμοκρασίες
- δ. ίδιο σε κάθε θερμοκρασία.

**A1.5** Αν αναλύσουμε με ένα φασματοσκόπιο το φως του αστέρα που παρατηρούμε με το τηλεσκόπιο θα διαπιστώσουμε ότι,

- α. εάν είναι θερμότερος από τον Ήλιο, το μήκος κύματος στο οποίο εκπέμπεται το μέγιστο της έντασης της ακτινοβολίας του είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο του Ήλιου.
- β. εάν είναι ψυχρότερος από τον Ήλιο, το μήκος κύματος στο οποίο εκπέμπεται το μέγιστο της έντασης της ακτινοβολίας του είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο του Ήλιου.
- γ. εάν είναι θερμότερος από τον Ήλιο, το μήκος κύματος στο οποίο εκπέμπεται το μέγιστο της έντασης της ακτινοβολίας του είναι ίδιο με το αντίστοιχο του Ήλιου
- δ. εάν είναι ψυχρότερος από τον Ήλιο, το μήκος κύματος στο οποίο εκπέμπεται το μέγιστο της έντασης της ακτινοβολίας του είναι μικρότερο από το αντίστοιχο του Ήλιου.

**A1.6** Σύμφωνα με το νόμο του Wien για το μέλαν σώμα,

- α. το γινόμενο  $\lambda_{\max} \cdot T$  είναι συνάρτηση του χρόνου.
- β. το γινόμενο  $\lambda_{\max} \cdot T^2$  είναι σταθερό.
- γ. το πηλίκο  $\lambda_{\max}/T$  είναι σταθερό.
- δ. το γινόμενο  $\lambda_{\max} \cdot T$  είναι σταθερό.

**A1.7** Μερικοί αστέρες φαίνονται κυανοί και άλλοι κοκκινωποί. Αυτό σημαίνει ότι

- α. δεν μπορούμε να βγάλουμε κανένα συμπέρασμα για την επιφανειακή θερμοκρασία τους.
- β. οι κυανοί είναι θερμότεροι
- γ. οι κοκκινωποί είναι θερμότεροι
- δ. οι κυανοί βρίσκονται μακρύτερα από τους κοκκινωπούς.

**A1.8** Αν το γινόμενο  $\lambda_{\max} \cdot T = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$  και το δέρμα του ανθρώπου έχει θερμοκρασία  $35^\circ\text{K}$ , τότε I. το μήκος κύματος στο οποίο η ακτινοβολία που εκπέμπεται είναι μέγιστη θα είναι

- α. 9740nm                      β. 9,74m                      γ. 974nm                      δ. 9,74mm.

II. Η περιοχή αυτής της ακτινοβολίας είναι στο

- α. υπεριώδες
- β. ορατό
- γ. υπέρυθρο
- δ. μικροκύματα

**A1.9** Η ένταση ακτινοβολίας είναι το πηλίκο

- α. της ενέργειας της ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφανείας
- β. της ενέργειας της ακτινοβολίας ανά μονάδα όγκου
- γ. της ισχύος της ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφανείας
- δ. της ενέργειας της ακτινοβολίας ανά χρόνου

**A1.10** Η ένταση της ακτινοβολίας μετριέται σε

- α.  $\text{J/m}^2\text{s}$                       β.  $\text{J/m}^2$                       γ. watt/m                      δ. J/s

**A1.11** Για το μέλαν σώμα η εκπεμπόμενη θερμική ισχύς είναι συνάρτηση

- α. μόνο της συχνότητας (f).
- β. μόνο της θερμοκρασίας (T).
- γ. μόνο της συχνότητας και της θερμοκρασίας και είναι μέγιστη.
- δ. μόνο της συχνότητας και της θερμοκρασίας και είναι ελάχιστη.

**A1.12** Κάθε σώμα που θερμαίνεται εκπέμπει ακτινοβολία η οποία

- α. σε υψηλές θερμοκρασίες είναι στο υπέρυθρο και όσο μειώνεται η θερμοκρασία μετατοπίζεται προς το ορατό.
- β. σε χαμηλές θερμοκρασίες είναι στο υπεριώδες και όσο αυξάνεται η θερμοκρασία μετατοπίζεται προς το ορατό.
- γ. σε χαμηλές θερμοκρασίες είναι στο υπέρυθρο και όσο αυξάνεται η θερμοκρασία μετατοπίζεται προς το ορατό.
- δ. σε χαμηλές θερμοκρασίες είναι στο υπέρυθρο και όσο αυξάνεται η θερμοκρασία παραμένει εκεί.

**A1.13** Οι αστέρες που φαίνονται κυανοί

- α. έχουν ίδια θερμοκρασία με όσους φαίνονται κοκκινωποί.
- β. εκπέμπουν κυρίως σε μεγαλύτερα μήκη κύματος
- γ. έχουν χαμηλότερη θερμοκρασία από τους κοκκινωπούς
- δ. έχουν υψηλότερη θερμοκρασία από τους κοκκινωπούς

**A1.14** Καθώς η θερμοκρασία ενός σώματος αυξάνεται, το μέγιστο της καμπύλης εκπομπής έντασης ακτινοβολίας – μήκους κύματος, (I-λ)

- α. μετακινείται προς υψηλότερες συχνότητες
- β. μετακινείται προς χαμηλότερες συχνότητες
- γ. μένει αμετάβλητο
- δ. μετακινείται προς μεγαλύτερα μήκη κύματος

**A1.15** Σύμφωνα με τον νόμο μετατόπισης του Wien

- α. η ενέργεια των ταλαντούμενων ατόμων μπορεί να πάρει μόνο διακριτές (κβαντισμένες) τιμές.
- β. όσο αυξάνεται το μήκος κύματος μια ακτινοβολίας, αυξάνεται και η ενέργεια.
- γ. όταν η θερμοκρασία αυξάνεται, το σημείο μέγιστης εκπομπής ακτινοβολίας μετατοπίζεται προς μεγαλύτερα μήκη κύματος.
- δ. όταν η θερμοκρασία αυξάνεται, το σημείο μέγιστης εκπομπής ακτινοβολίας μετατοπίζεται προς μικρότερα μήκη κύματος.

**A1.16** Σε απόλυτο σκοτάδι τα αντικείμενα που βρίσκονται σε θερμοκρασία δωματίου (γύρω στους 20°) δεν φαίνονται διότι

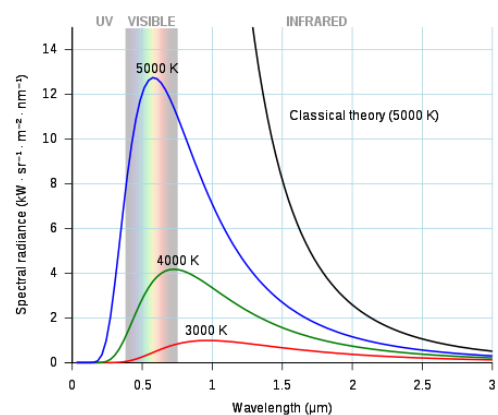
- α. δεν εκπέμπουν καμιά ακτινοβολία.
- β. εκπέμπουν ορατές ακτινοβολίες χαμηλής έντασης και δεν γίνονται αντιληπτοί από τον ανθρώπινο οφθαλμό.
- γ. εκπέμπουν ακτινοβολία στην περιοχή του υπέρυθρου που δεν είναι ορατό
- δ. εκπέμπουν ακτινοβολία στην περιοχή του υπεριώδους που δεν είναι ορατό.

**A1.17** Ποιες από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές;

- α. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία ενός σώματος, το χρώμα της λάμψης αλλάζει από κόκκινο σε κίτρινο, σε λευκό σε μπλε.
- β. Κάθε σώμα εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία όταν έχει θερμοκρασία πάνω από το απόλυτο μηδέν.
- γ. Ένα αντικείμενο που απορροφά όλη την ακτινοβολία που πέφτει πάνω του, σε όλα τα μήκη κύματος, ονομάζεται μέλαν σώμα.
- δ. όταν η θερμοκρασία αυξάνεται, το σημείο μέγιστης εκπομπής ακτινοβολίας μετατοπίζεται προς μεγαλύτερα μήκη κύματος.
- ε. 1 κβάντο κυανού φωτός έχει μεγαλύτερη ενέργεια από ένα κβάντο υπεριώδους φωτός.

**A1.18** Η γραφική παράσταση απεικονίζει ένταση ακτινοβολίας ανά μονάδα μήκους σε σχέση με το μήκος κύματος. Ποιες από τις προτάσεις που ακολουθούν και σχετίζονται με την παράσταση είναι σωστές;

- α. Στους 1000K το μήκος κύματος αιχμής είναι στο υπέρυθρο.
- β. Στους 5000K το μήκος κύματος αιχμής είναι στο ορατό.
- γ. Σύμφωνα με κλασσική θεωρία στους 5000K θα έπρεπε να ακτινοβολεί με μέγιστη ένταση στο υπέρυθρο.
- δ. Το μήκος κύματος αιχμής μεταβάλλεται ανάλογα με την απόλυτη θερμοκρασία.
- ε. Η ένταση της ακτινοβολίας είναι σταθερή για όλα τα μήκη κύματος



## Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

### A2. ΘΕΜΑΤΑ

**A2.1** Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία, το φως

- α. είναι ηλεκτρομαγνητικό κύμα που διαδίδεται στην ύλη και στο κενό με την ταχύτητα του φωτός.
- β. εκπέμπεται ή απορροφάται από τα άτομα της ύλης με τρόπο ασυνεχή κατά στοιχειώδη ποσά (πακέτα) ενέργειας που λέγονται κβάντα φωτός ή φωτόνια.
- γ. το φως αποτελείται από δύο χρονικά και τοπικά αρμονικά μεταβαλλόμενα πεδία ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό.
- δ. δεν διαδίδεται στην ύλη παρά μόνο στο κενό και τον αέρα.

**A2.2** Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία, η ενέργεια ενός φωτονίου συχνότητας  $f$  ισούται με

α.  $E=h \cdot f^2$

β.  $E=\frac{1}{2}h \cdot f$

γ.  $E=h \cdot f$

δ.  $E=\frac{h}{f}$

**A2.3** Σύμφωνα με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία η ταχύτητα του φωτός,  $c$  συνδέεται με τη συχνότητα,  $f$  και το μήκος κύματος  $\lambda$  με τη σχέση

α.  $c=\lambda \cdot f^2$

β.  $c=\frac{\lambda}{f}$

γ.  $f=c \cdot \lambda$

δ.  $c=\lambda \cdot f$

**A2.4** Η κβαντική θεωρία περί σωματιδιακής φύσης του φωτός μπορεί να ερμηνεύσει

- α. την περίθλαση του φωτός
- β. τη συμβολή του φωτός
- γ. την ανάκλαση του φωτός
- δ. το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

**A2.5** Ποιες από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές; Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία του Planck:

- α. Το φως εκπέμπεται και απορροφάται από τα άτομα της ύλης με συνεχή τρόπο.
- β. Τα φωτόνια είναι στοιχειώδη ποσά ενέργειας που χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένη συχνότητα και συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας.
- γ. Η ενέργεια κάθε φωτονίου είναι ανάλογη της συχνότητας  $f$ .
- δ. Η ενέργεια ενός φωτονίου είναι πολύ μικρότερη από την κινητική ενέργεια μιας μπάλας του τένις αμέσως μετά το χτύπημα από τη ρακέτα.
- ε. Η ενέργεια ενός φωτονίου δεν εξαρτάται από την ταχύτητα του φωτός.

**A2.6** Ποιες από τις προτάσεις αυτές είναι σωστές; Η ενέργεια ενός φωτονίου:

- α. είναι ανάλογη του μήκους κύματος της ακτινοβολίας.
- β. είναι ανάλογη της συχνότητας της ακτινοβολίας.
- γ. είναι ανάλογη του αριθμού των φωτονίων που εκπέμπονται από την πηγή στη μονάδα του χρόνου.
- δ. μεταβάλλεται αν το φως αλλάξει οπτικό μέσο (πχ από τον αέρα στο νερό).
- ε. δεν εξαρτάται από την ταχύτητα του φωτός

**A2.7** Ποιες από τις προτάσεις που ακολουθούν και αναφέρονται στην ταχύτητα του φωτός είναι σωστές;

- α. Η ταχύτητα διάδοσης κάθε ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο κενό είναι η ίδια, ανεξάρτητα από τη συχνότητα αυτού και ίση με 300.000 km/s.
- β. Η ταχύτητα του φωτός εξαρτάται από την ταχύτητα της φωτεινής πηγής που το εκπέμπει.

- γ. Σε κάθε διαφανές μέσο το φως διαδίδεται με ταχύτητα  $3 \cdot 10^8$  m/s.  
δ. Η ταχύτητα του φωτός στο γυαλί είναι μικρότερη από  $3 \cdot 10^8$  m/s.  
ε. Η ταχύτητα του φωτός σε ένα διαφανές μέσο αυξάνεται αν μειωθεί το μήκος κύματος

**A2.8** Κατά το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο έχουμε

- α. εξαγωγή φωτονίων από μέταλλο λόγω του βομβαρδισμού του με ηλεκτρόνια.  
β. εξαγωγή ηλεκτρονίων από οποιοδήποτε σώμα λόγω βομβαρδισμού του με φως.  
γ. εξαγωγή ηλεκτρονίων από μέταλλο λόγω βομβαρδισμού μόνο με μονοχρωματική ακτινοβολία.  
δ. εξαγωγή ηλεκτρονίων από μέταλλο λόγω βομβαρδισμού του με φως.

**A2.9** Κατά το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο έχουμε εκπομπή φωτοηλεκτρονίων

- α. μόνο όταν η συχνότητα του προσπίπτοντος φωτός είναι ίση μιας ορισμένης συχνότητας, η οποία είναι χαρακτηριστική για το μέταλλο.  
β. μόνο όταν η συχνότητα του προσπίπτοντος φωτός είναι μικρότερη μιας ορισμένης συχνότητας, η οποία είναι χαρακτηριστική για το μέταλλο  
γ. μόνο όταν η συχνότητα του προσπίπτοντος φωτός είναι μεγαλύτερη ή ίση μιας ορισμένης συχνότητας, η οποία είναι χαρακτηριστική για το μέταλλο  
δ. για κάθε τιμή της συχνότητας του προσπίπτοντος φωτός.

**A2.10** Στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο ορίζουμε ως συχνότητα κατωφλίου  $f_0$

- α. τη συχνότητα του προσπίπτοντος φωτός  
β. την ελάχιστη συχνότητα του προσπίπτοντος φωτός στο μέταλλο ώστε να εξέλθουν φωτοηλεκτρόνια.  
γ. τη μέγιστη συχνότητα του προσπίπτοντος φωτός στο μέταλλο ώστε να εξέλθουν φωτοηλεκτρόνια.  
δ. κάθε συχνότητα του προσπίπτοντος φωτός που μπορεί να προκαλέσει έξοδο φωτοηλεκτρονίων από το μέταλλο.

**A2.11** Το έργο εξαγωγής  $\phi$  είναι

- α. το ίδιο για κάθε είδος μετάλλου  
β. το ποσό ενέργειας που πρέπει να προσλάβει ένα ηλεκτρόνιο για να εξέλθει από το μέταλλο με μια συγκεκριμένη ποσότητα κινητικής ενέργειας χαρακτηριστική του μετάλλου.  
γ. το ελάχιστο ποσό ενέργειας που πρέπει να προσλάβει ένα φωτόνιο για να εξέλθει από το μέταλλο.  
δ. το ελάχιστο ποσό ενέργειας που πρέπει να προσλάβει ένα ηλεκτρόνιο για να εξέλθει από το μέταλλο

**A2.12** Το έργο εξαγωγής,  $\phi$  συνδέεται με την συχνότητα κατωφλίου,  $f_0$  με τη σχέση

α.  $\phi = h \cdot f_0$

β.  $\phi = \frac{h}{f_0}$

γ.  $\phi = 2 h \cdot f_0$

δ.  $\phi = \frac{f_0}{h}$

**A2.13** Σύμφωνα με τη φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein η ενέργεια των φωτονίων  $hf$ , το έργο εξαγωγής  $\phi$  και η κινητική ενέργεια,  $K$  των φωτοηλεκτρονίων συνδέονται με τη σχέση

α.  $K = \phi - hf$

β.  $hf = K + \phi$

γ.  $K = \phi + hf$

δ.  $\phi = K + hf$

**A2.14** Ο αριθμός των ηλεκτρονίων ανά μονάδα χρόνου που αποσπώνται από το μέταλλο του φωτοκύτταρου κατά το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο είναι

- α. ανάλογος της συχνότητας του προσπίπτοντος φωτός που προσπίπτει στο μέταλλο.  
β. ανεξάρτητος της έντασης του προσπίπτοντος φωτός που προσπίπτει στο μέταλλο.  
γ. ανάλογος της έντασης του προσπίπτοντος φωτός που προσπίπτει στο μέταλλο.

δ. εξαρτώμενος από το έργο εξαγωγής του μετάλλου

**A2.15** Η ταχύτητα με την οποία εξέρχονται τα ηλεκτρόνια από την κάθοδο του φωτοκύτταρου

- α. αυξάνεται όταν μειώνεται η συχνότητα του προσπίπτοντος φωτός
- β. είναι ανάλογη της συχνότητας του προσπίπτοντος φωτός
- γ. εξαρτάται από την ένταση του προσπίπτοντος φωτός
- δ. αυξάνεται όταν αυξάνεται η συχνότητα του προσπίπτοντος φωτός

**A2.16** Ποιες από τις επόμενες προτάσεις είναι ορθές;

- α. Το έργο εξαγωγής ποικίλει από μέταλλο σε μέταλλο.**
- β. Κάθε φωτόνιο δίνει όλη του την ενέργεια σε ένα μόνο ηλεκτρόνιο.**
- γ. Η τάση αποκοπής  $V_0$  είναι χαρακτηριστική του είδους του μετάλλου.**
- δ. Ο αριθμός των εξερχομένων ηλεκτρονίων ανά μονάδα χρόνου είναι ανάλογος της έντασης του προσπίπτοντος φωτός**
- ε. Η συχνότητα κατοφλίου είναι ανάλογη του έργου εξαγωγής**

**A2.17** Η ενέργεια,  $E$ , ενός φωτονίου συνδέεται με την ορμή του,  $p$  με τη σχέση

α.  $E=p \cdot c$

β.  $E=p \cdot c^2$

γ.  $E=\frac{p}{c}$

δ.  $E=p^2 \cdot c$

**A2.18** Η ορμή του φωτονίου είναι

- α. ανάλογη του μήκους κύματος,  $\lambda$
- β. αντιστρόφως ανάλογη του μήκους κύματος,  $\lambda$ .
- γ. ανεξάρτητη του μήκους κύματος
- δ. αντιστρόφως ανάλογη της συχνότητας  $f$ .

**A2.19** Η ορμή του φωτονίου συνδέεται με το μήκος κύματος με τη σχέση

α.  $p=h \cdot \lambda$

β.  $p=\frac{\lambda}{h}$

γ.  $p=\frac{h}{\lambda}$

δ.  $p=h \cdot \lambda^2$

**A2.20** Ποιες από τις επόμενες προτάσεις είναι ορθές;

- α. Αν αυξήσουμε την ένταση μιας μονοχρωματικής δέσμης που προσπίπτει στην κάθοδο του φωτοκύτταρου αυξάνεται ο αριθμός των ηλεκτρονίων που εκπέμπονται σε ορισμένο χρόνο.
- β. Τα φωτοηλεκτρόνια βγαίνουν με μεγαλύτερη ταχύτητα όταν η συχνότητα του προσπίπτοντος φωτός μεγαλώνει.
- γ. Ο αριθμός των εκπεμπόμενων φωτοηλεκτρονίων για ορισμένης έντασης φωτεινή μονοχρωματική δέσμη, εξαρτάται από το μήκος κύματος της δέσμης.
- δ. Για να παρατηρηθεί το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο απαιτείται μονοχρωματικό φως.
- ε. Το έργο εξαγωγής εξαρτάται από το είδος του μετάλλου.

**A2.21** Φως συχνότητας  $f$  προσπίπτει στην κάθοδο ενός φωτοκύτταρου της οποίας το υλικό έχει έργο εξαγωγής  $\phi$ . Η τάση αποκοπής δίνεται από τη σχέση

α.  $V_0 = \frac{hf}{e}$

β.  $V_0 = \frac{hf+\phi}{e}$

γ.  $V_0 = \frac{\phi}{e}$

δ.  $V_0 = \frac{hf-\phi}{e}$

**A2.22** Η τάση αποκοπής στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

- α. εξαρτάται από τη συχνότητα της φωτεινής δέσμης και είναι μεγαλύτερη στην ερυθρά ακτινοβολία παρά στην ιώδη.

β. είναι ανεξάρτητη από το έργο εξαγωγής

γ. εξαρτάται από την ένταση του προσπίπτοντος φωτός

δ. εξαρτάται από τη συχνότητα της φωτεινής δέσμης και είναι μεγαλύτερη στην ιώδη ακτινοβολία παρά για στην ερυθρά.

**A2.23** Οι επόμενες προτάσεις αφορούν στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Ποιες από αυτές είναι ορθές;

α. Η τάση αποκοπής εξαρτάται από τη συχνότητα της φωτεινής δέσμης και είναι μεγαλύτερη για την πράσινη ακτινοβολία παρά για την κίτρινη ( $f_{\pi} > f_k$ ).

β. Η αύξηση της έντασης της δέσμης συνεπάγεται αύξηση της συχνότητας κατωφλίου.

γ. Η συχνότητα κατωφλίου εξαρτάται από το έργο εξαγωγής του μετάλλου και είναι μεγαλύτερη για το κάλιο ( $\phi_K = 2,2\text{eV}$ ) από ό,τι για το καίσιο ( $\phi_{Cs} = 1,4\text{eV}$ )

δ. Η τάση αποκοπής εξαρτάται από το έργο εξαγωγής του μετάλλου και είναι μεγαλύτερη για το κάλιο ( $\phi_K = 2,2\text{eV}$ ) από ό,τι για το καίσιο ( $\phi_{Cs} = 1,4\text{eV}$ )

ε. Η τάση αποκοπής εξαρτάται από την ενέργεια των φωτονίων της φωτεινής δέσμης και ελαττώνεται όταν φωτίζουμε την κάθοδο με φωτόνια μεγαλύτερης ενέργειας.

**A2.24** Κατά το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο τα φωτοηλεκτρόνια έχουν μεγαλύτερη κινητική ενέργεια όταν

α. το έργο εξαγωγής του μετάλλου είναι μεγαλύτερο

β. όταν η κάθοδος φωτίζεται με μπλε φως από ό,τι όταν φωτίζεται με κίτρινο φως.

γ. όταν η κάθοδος φωτίζεται με κίτρινο φως από ό,τι όταν φωτίζεται με ιώδες φως.

δ. όταν είναι μεγαλύτερη και η ένταση του προσπίπτοντος φωτός

**A2.25** Στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων εξαρτάται

α. μόνο από το έργο εξαγωγής

β. εκθετικά από την συχνότητα του προσπίπτοντος φωτός και είναι ανεξάρτητη της έντασής της.

γ. από την συχνότητα του προσπίπτοντος φωτός και είναι ανεξάρτητη της έντασής της.

δ. αυξάνεται όταν μειώνεται η συχνότητα του προσπίπτοντος φωτός.

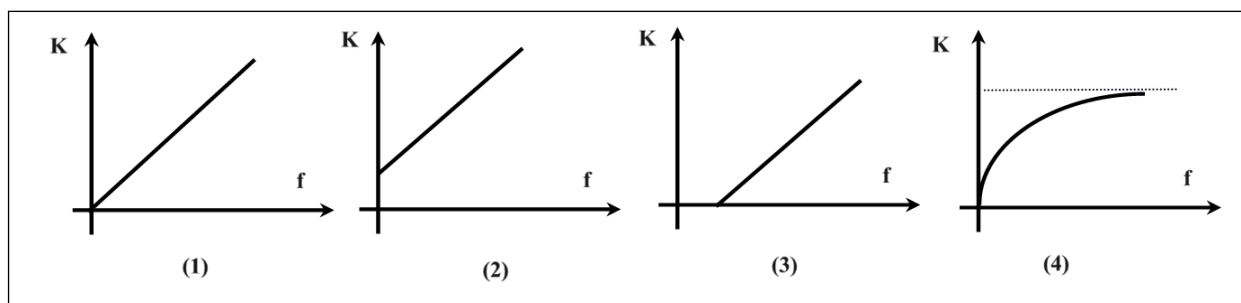
**A2.26** Η γραφική παράσταση της κινητικής ενέργειας των ηλεκτρονίων σε σχέση με τη συχνότητα του προσπίπτοντος φωτός είναι η

α. (1)

β. (2)

γ. (3)

δ. (4)



**A2.27** Το διάγραμμα (i-V) του σχήματος παριστάνει την ένταση του ρεύματος σε συνάρτηση με την τάση μεταξύ ανόδου καθόδου - στο κύκλωμα του φωτοκύτταρου. Με βάση το διάγραμμα αυτό ποιες από τις προτάσεις είναι σωστές.

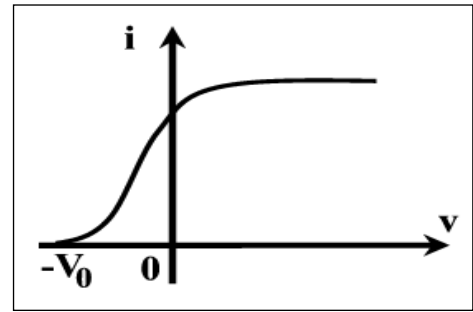
α. Το διάγραμμα αναφέρεται σε σταθερή συχνότητα φωτός,  $f$  και σε συγκεκριμένο μέταλλο.

β. το γεγονός ότι για τάση  $V=0$  υπάρχει ρεύμα  $i \neq 0$  δηλώνει ότι τα ηλεκτρόνια βγαίνουν από το μέταλλο με κάποια αρχική κινητική ενέργεια.

γ. Η τιμή του μέγιστου ρεύματος εξαρτάται από την ένταση του προσπίπτοντος φωτός.

δ. Η τάση αποκοπής  $V_0$  είναι ανάλογη της έντασης του προσπίπτοντος φωτός

ε. Η απόλυτη τιμή της τάσης αποκοπής αυξάνεται γραμμικά με τη συχνότητα  $f$ .



**A2.28** Το διάγραμμα (i-V) του σχήματος παριστάνει την ένταση του ρεύματος σε συνάρτηση με την τάση μεταξύ ανόδου καθόδου - στο κύκλωμα του φωτοκύτταρου για δύο διαφορετικές τιμές  $I$  και  $2I$  της έντασης μιας φωτεινής δέσμης σταθερής συχνότητας. Με βάση το διάγραμμα αυτό ποιες από τις προτάσεις είναι σωστές;

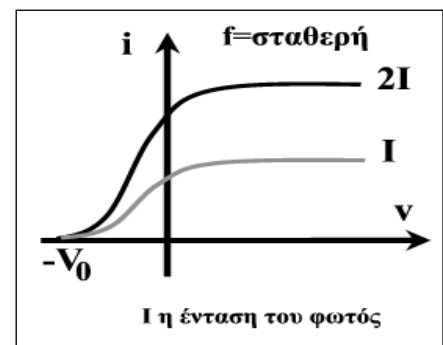
α. Η τάση αποκοπής δεν εξαρτάται από την ένταση της φωτεινής δέσμης.

β. Η ένταση του ρεύματος κόρου είναι ανάλογη της έντασης του φωτός.

γ. Η τάση αποκοπής δεν θα αλλάξει αλλά αλλάξουμε τη συχνότητα  $f$  του φωτός

δ. Η τιμή της έντασης του ρεύματος για  $V=0$  εξαρτάται από τη συχνότητα  $f$  του φωτός.

ε. Η απόλυτη τιμή της τάσης αποκοπής θα αυξηθεί, αν αυξηθεί το έργο εξαγωγής.



**A2.29** Ποιες από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές; Η τάση αποκοπής,  $V_0$

α. δίνεται από τη σχέση  $V_0 = \frac{h}{e} (f - f_0)$

β. αυξάνεται γραμμικά αν αυξηθεί η συχνότητα  $f$

γ. είναι διαφορετική για το Na και το Ni.

δ. επηρεάζεται από τον αριθμό των φωτονίων ανά μονάδα χρόνου που πέφτουν στην κάθοδο.

ε. είναι ανάλογη της ισχύος της φωτεινής δέσμης

**A2.30** Φωτοηλεκτρόνια εκπέμπονται από μία μεταλλική επιφάνεια μόνο αν η ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια είναι:

α. μονοχρωματική.

β. κάτω από ένα ελάχιστο μήκος κύματος.

γ. κάτω από μία ελάχιστη συχνότητα.

δ. πάνω από μία ελάχιστη ένταση.

**A2.31** Στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο:

α. Η εκπομπή των ηλεκτρονίων από την κάθοδο γίνεται αμέσως μόλις αυτή φωτιστεί από κατάλληλη ακτινοβολία.

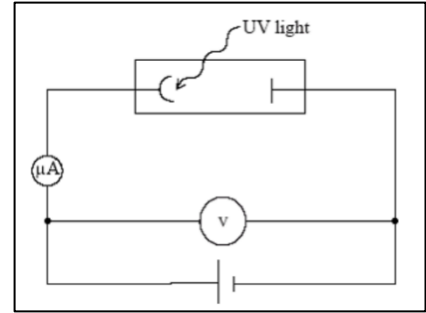
β. Εκπομπή ηλεκτρονίων παρατηρείται μόνο αν η ακτινοβολία έχει μήκος κύματος πάνω από μία ελάχιστη τιμή.

γ. Η ενέργεια των ηλεκτρονίων εξαρτάται από την ένταση της ακτινοβολίας.

δ. Η ενέργεια των ηλεκτρονίων δεν εξαρτάται από τη συχνότητα της ακτινοβολίας.

**A2.32** Όταν υπεριώδες φως πέφτει στη μεταλλική κάθοδο μιας φωτοευαίσθητης επιφάνειας δημιουργεί στο διπλανό κύκλωμα ροή ηλεκτρονίων. Για να σταματήσει αυτή η ροή θα πρέπει:

- α. να αντικατασταθεί το μέταλλο της καθόδου με άλλο, με μικρότερο έργο εξαγωγής.
- β. να αυξηθεί η συχνότητα της ακτινοβολίας.
- γ. να αυξηθεί η ένταση της ακτινοβολίας, δίχως να αλλάξει η συχνότητά της.
- δ. να αυξηθεί η διαφορά δυναμικού της πηγής.



**A2.33** Μονοχρωματική ακτινοβολία σταθερής συχνότητας προσπίπτει σε μια φωτοευαίσθητη επιφάνεια προκαλώντας απελευθέρωση ηλεκτρονίων από αυτή. Η ένταση της ακτινοβολίας προοδευτικά αυξάνει οπότε

- α. Ο ρυθμός απελευθέρωσης των ηλεκτρονίων θα αυξηθεί και η κινητική ενέργεια με την οποία καθένα από αυτά φεύγει από την κάθοδο θα αυξηθεί.
- β. Ο ρυθμός απελευθέρωσης των ηλεκτρονίων θα μειωθεί και η κινητική ενέργεια με την οποία καθένα από αυτά φεύγει από την κάθοδο θα παραμείνει αμετάβλητη.
- γ. Ο ρυθμός απελευθέρωσης των ηλεκτρονίων θα μειωθεί και η κινητική ενέργεια με την οποία καθένα από αυτά φεύγει από την κάθοδο θα αυξηθεί.
- δ. Ο ρυθμός απελευθέρωσης των ηλεκτρονίων θα αυξηθεί και η κινητική ενέργεια με την οποία καθένα από αυτά φεύγει από την κάθοδο θα παραμείνει αμετάβλητη.

**A2.34** Κατά την εξέλιξη του φωτοηλεκτρικού φαινόμενο παρατηρούμε πειραματικά ότι τα φωτοηλεκτρόνια δεν έχουν όλα την ίδια ενέργεια όταν βγαίνουν από το μέταλλο παρά το γεγονός ότι χρησιμοποιούμε μονοχρωματική ακτινοβολία. Ποιες από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές; Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι

- α. η ενέργεια ενός φωτονίου δεν δίνεται εξ ολοκλήρου σε ένα ηλεκτρόνιο
- β. το κάθε μέταλλο έχει περισσότερα από ένα έργα εξαγωγής,  $\phi$ .
- γ. δεν υπάρχει 100% μονοχρωματική ακτινοβολία
- δ. ένα ηλεκτρόνιο μπορεί να χάσει μέρος της ενέργειάς του σε αλληλεπιδράσεις με άλλα ηλεκτρόνια.
- ε. Η ένταση της ακτινοβολίας δεν κατανέμεται ισόποσα στην επιφάνεια του μετάλλου.

A2.35

## B2. ΘΕΜΑΤΑ

(Δίνονται:  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{Js}$  ή  $h = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{eV}\cdot\text{s}$ ,  $c = 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ,  $1 \text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{J}$ ,  $e/m_e = 18 \cdot 10^{10} \text{C/kg}$ )

**B2.1** Τα ηλεκτρόνια που βγαίνουν από την επιφάνεια ενός μετάλλου που φωτίζεται με μονοχρωματική ακτινοβολία μήκους κύματος  $\lambda_1 = \lambda$  έχουν κινητική ενέργεια  $K_1$ . Αν το ίδιο μέταλλο φωτιστεί με ακτινοβολία μήκους κύματος  $\lambda_2 = 1,5\lambda$ , τότε τα ηλεκτρόνια βγαίνουν με κινητική ενέργεια  $K_2$ . Η μεταβολή της κινητικής ενέργειας των ηλεκτρονίων είναι  $\Delta K = K_2 - K_1$

α.  $\Delta K = -\frac{hc}{3\lambda}$

β.  $\Delta K = -\frac{2hc}{3\lambda}$

γ.  $\Delta K = -\frac{3hc}{\lambda}$

**B2.2** Δύο διαφορετικά μέταλλα  $M_1$  και  $M_2$  φωτίζονται με διαφορετικές μονοχρωματικές ακτινοβολίες  $\lambda_1 = \lambda$  και  $\lambda_2 = 2\lambda$ . Αν οι κινητικές ενέργειες των εξερχομένων ηλεκτρονίων είναι μεταξύ τους ίσες, τότε η διαφορά των έργων εξαγωγής  $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$  θα είναι

α.  $\Delta\phi = \frac{hc}{3\lambda}$

β.  $\Delta\phi = \frac{hc}{2\lambda}$

γ.  $\Delta\phi = \frac{3hc}{2\lambda}$

**B2.3** Το έργο εξαγωγής για ένα μέταλλο είναι  $\phi$ . Φως που προσπίπτει στην κάθοδο έχει μήκος κύματος  $\lambda$  και το έργο εξαγωγής ισούται με το 75% της ενέργειας των φωτονίων αυτού του φωτός. Το δυναμικό αποκοπής  $V_0$  ισούται με

α.  $V_0 = \frac{hc}{3e\lambda}$

β.  $V_0 = \frac{3hc}{4e\lambda}$

γ.  $V_0 = \frac{hc}{4e\lambda}$

**B2.4** Το δυναμικό αποκοπής για μια μεταλλική επιφάνεια που φωτίζεται με φως συχνότητας  $f_1$  είναι  $V_0$ . Όταν η ίδια επιφάνεια φωτιστεί με φως συχνότητας  $f_2$  το δυναμικό αποκοπής διπλασιάζεται. Η μεταβολή  $\Delta f = f_2 - f_1$  της συχνότητας του φωτός είναι

α.  $\Delta f = \frac{eV_0}{h}$

β.  $\Delta f = \frac{eV_0}{2h}$

γ.  $\Delta f = \frac{2eV_0}{h}$

**B2.5** Η συχνότητα κατωφλίου για ένα μέταλλο είναι  $f_0$  και το έργο εξαγωγής  $\phi$ . Όταν το μέταλλο φωτίζεται με φως συχνότητας μεγαλύτερης κατά 25% της συχνότητας κατωφλίου, τότε η κινητική ενέργεια με την οποία βγαίνουν τα ηλεκτρόνια είναι

α.  $K = 2\phi$

β.  $K = \frac{1}{4}\phi$

γ.  $K = \phi$

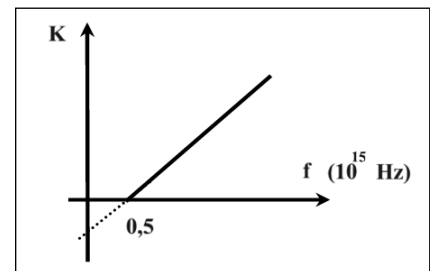
**B2.6** Στο διάγραμμα βλέπουμε τη γραφική παράσταση της κινητικής ενέργειας  $K$  των εξερχομένων φωτοηλεκτρονίων σε συνάρτηση με τη συχνότητα  $f$  της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η σταθερά του Planck είναι  $h = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{eV}\cdot\text{s}$ .

**I.** Η συχνότητα κατωφλίου είναι

α.  $f_0 = 0,5 \cdot 10^{15} \text{Hz}$

β.  $0,25 \cdot 10^{15} \text{Hz}$

γ.  $10^{15} \text{Hz}$



**II.** Η τιμή της κινητικής ενέργειας στο σημείο που η γραφική παράσταση τέμνει τον άξονα των  $K$  είναι

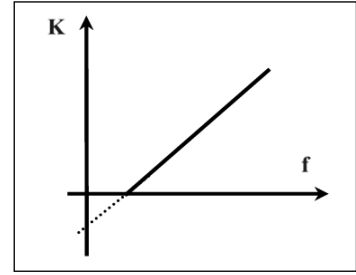
α.  $1,03 \text{eV}$

β.  $2,07 \text{eV}$

γ.  $4,12 \text{eV}$

**B2.7** Στο διάγραμμα βλέπουμε τη γραφική παράσταση της κινητικής ενέργειας  $K$  των εξερχομένων φωτοηλεκτρονίων σε συνάρτηση με τη συχνότητα  $f$  του προσπίπτοντος φωτός. Η κλίση της ευθείας αυτής ισούται αριθμητικά με

- α. με το έργο εξαγωγής
- β. τη σταθερά του Planck
- γ. τη συχνότητα κατωφλίου



**B2.8** Αν τα φωτοηλεκτρόνια που εξέρχονται από την κάθοδο ακινητοποιούνται για τάση  $V_0=4V$  η μέγιστη ταχύτητα των ηλεκτρονίων είναι

- α.  $v_{\max}=1,4 \cdot 10^6 \text{ m/s}$
- β.  $v_{\max}=1,2 \cdot 10^6 \text{ m/s}$
- γ.  $v_{\max}=1,2 \cdot 10^6 \text{ m/s}$

Δίνεται το ειδικό φορτίο του ηλεκτρονίου  $e/m=18 \cdot 10^{10} \text{ C/kg}$

**B2.9** Αν το έργο εξαγωγής για κάθοδο σιδήρου είναι  $\phi=4,5 \text{ eV}$  και τα φωτοηλεκτρόνια παράγονται από φως με μήκος κύματος  $\lambda=250 \text{ nm}$  η τάση αποκοπής είναι

- α.  $V \approx 0,57 \text{ V}$
- β.  $V_0 \approx 0,47 \text{ V}$
- γ.  $V_0 \approx 0,67 \text{ V}$

Η σταθερά του Planck είναι  $h=4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$  και  $c=3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

**B2.10** Αν το έργο εξαγωγής για το νάτριο είναι  $\phi$  τότε το μεγαλύτερο μήκος κύματος για την προσπίπτουσα ακτινοβολία είναι

- α.  $\lambda_{\max} = \frac{h \cdot c}{\phi}$
- β.  $\lambda_{\max} = \frac{h \cdot c}{2\phi}$
- γ.  $\lambda_{\max} = \frac{2h \cdot c}{\phi}$

**B2.11** Μια πηγή φωτός φωτίζει ένα μέταλλο με φως μήκους κύματος  $\lambda$  και προκαλεί έξοδο φωτοηλεκτρονίων με μέγιστη κινητική ενέργεια  $1 \text{ eV}$ . Μια δεύτερη πηγή φωτός φωτίζει το ίδιο μέταλλο με φως μήκους κύματος  $\lambda/2$  και προκαλεί εκπομπή φωτοηλεκτρονίων αντίστοιχης ενέργειας  $4 \text{ eV}$ . Το έργο εξαγωγής του μετάλλου είναι

- α.  $\phi=2 \text{ eV}$
- β.  $0,5 \text{ eV}$
- γ.  $2 \text{ eV}$

**B2.12** Το μέταλλο της καθόδου του φωτοκύτταρου έχει έργο εξαγωγής  $\phi=2 \text{ eV}$ . Η μέγιστη τιμή του μήκους κύματος του προσπίπτοντος φωτός για να έχουμε εξαγωγή φωτοηλεκτρονίων είναι  $350 \text{ nm}$ . Η τάση αποκοπής είναι

- α.  $V_0=2 \text{ eV}$
- β.  $V_0=1,55 \text{ eV}$
- γ.  $V_0=1,8 \text{ eV}$

Η σταθερά του Planck είναι  $h=4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$  και  $c=3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

**B2.13** Όταν η συχνότητα του φωτός είναι  $f$  τα ηλεκτρόνια μάζας  $m$  εξέρχονται από το μέταλλο με ταχύτητα  $v_1$ . Όταν η συχνότητα είναι  $3f$  τότε εξέρχονται από το ίδιο μέταλλο με ταχύτητα  $v_2$  τέτοια ώστε  $v_2=2v_1$ , Η ταχύτητα  $v_1$  είναι

- α.  $v_1=2\sqrt{\frac{h \cdot f}{3m}}$
- β.  $v_1=2\sqrt{\frac{h \cdot f}{m}}$
- γ.  $v_1=\sqrt{\frac{h \cdot f}{3m}}$

**B2.14** Διαθέτουμε τα εξής υλικά: Ταντάλιο (4,2 eV), Σίδηρος (4,5eV), Βάριο (2,5 eV), Νάτριο (2,28 eV). Στην παρένθεση αναφέρεται το έργο εξαγωγής του αντίστοιχου μετάλλου σε eV. Δίνονται  $h=4,14\cdot 10^{-15}\text{eV}\cdot\text{s}$  και  $c=3\cdot 10^8\text{m/s}$ . Τα υλικά που δίνουν φωτοηλεκτρόνια για ορατό φως μήκους κύματος από 400nm έως 700nm είναι τα εξής δύο:

- α. Ταντάλιο και Σίδηρος
- β. Βάριο και Νάτριο
- γ. Σίδηρος και Βάριο

**B2.15** Επιφάνεια Ni, για το οποίο το έργο εξαγωγής είναι 5eV, δέχεται υπεριώδη ακτινοβολία μήκους κύματος 200 nm. Δίνονται  $h=4,14\cdot 10^{-15}\text{eV}\cdot\text{s}$  και  $c=3\cdot 10^8\text{m/s}$ . Το δυναμικό αποκοπής είναι

α. 1,41V

β. 1,51V

γ. 1,21V

**B2.16** Φωτόνια με μήκος κύματος  $\lambda=663\text{ nm}$  προσκρούουν κάθετα σε μια απόλυτα ανακλαστική και ακλόνητη επιφάνεια κάνοντας κρούση μετωπικά και ελαστική. Δίνεται  $h = 6,63\cdot 10^{-34}\text{Js}$ .

Για να ασκήσουν σ' αυτή δύναμη 1N πρέπει ο αριθμός των ηλεκτρονίων ανά μονάδα χρόνου να είναι

α.  $N/t= 5\cdot 10^{26}\text{ ηλ/s}$

β.  $N/t= 5\cdot 10^{27}\text{ ηλ/s}$

γ.  $N/t= 5\cdot 10^{35}\text{ ηλ/s}$

**B2.17** Το μήκος κύματος που πρέπει να έχει μια ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ώστε ένα φωτόνιο της να έχει την ίδια ορμή με ένα ηλεκτρόνιο που κινείται με ταχύτητα  $2,1\cdot 10^5\text{ m/s}$  είναι

α.  $\lambda=3\text{nm}$

β. 4nm

γ. 3,5nm

Δίνονται:  $h = 6,63\cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $m_e = 9 \times 10^{-31}\text{kg}$

**B2.18** Η ενέργεια και η ορμή φωτονίου μήκους κύματος 500nm είναι

α.  $E=3,98\cdot 10^{-19}\text{J}$  και  $p=1,32\cdot 10^{-27}\text{kgm/s}$

β.  $E=1,32\cdot 10^{-19}\text{J}$  και  $p=3,98\cdot 10^{-27}\text{kgm/s}$

γ.  $E=2,98\cdot 10^{-19}\text{J}$  και  $p=1,32\cdot 10^{-27}\text{kgm/s}$

Δίνεται:  $h = 6,63\cdot 10^{-34}\text{Js}$

**B2.19** Μια δέσμη φωτός μήκους κύματος  $\lambda$  και ισχύος  $P$  προσπίπτει σε μεταλλική επιφάνεια. Υποθέτουμε ότι κάθε φωτόνιο προκαλεί την έξοδο ενός ηλεκτρονίου από το μέταλλο. Ο αριθμός των φωτοηλεκτρονίων ανά μονάδα χρόνου που παράγονται είναι  $n=N/t$ . Αν η ισχύς της δέσμης μειωθεί στο μισό και το μήκος κύματος διπλασιαστεί τότε ο νέος αριθμός φωτοηλεκτρονίων ανά μονάδα χρόνου που παράγονται θα είναι

α.  $N'/t= 2n$

β.  $N'/t= \frac{1}{4}n$

γ.  $N'/t= n$

**B2.20** Μια λυχνία ατμών νατρίου έχει ισχύ εξόδου 10w και το μέσο μήκος κύματος της πηγής αυτής είναι  $\lambda=596,7\text{nm}$ . Δίνονται  $c = 3\cdot 10^8\text{ m/s}$ ,  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}\text{Js}$ . Ο αριθμός των φωτονίων που εκπέμπονται ανά δευτερόλεπτο είναι

α.  $2\cdot 10^{20}\text{ φωτ/s}$

β.  $3\cdot 10^{19}\text{ φωτ/s}$

γ.  $3\cdot 10^{17}\text{ φωτ/s}$

**B2.21** Φωτοκύταρο έχει κάθοδο Νικελίου του οποίου το έργο εξαγωγής είναι  $\Phi=5\text{eV}$ . Όταν το μέταλλο της καθόδου φωτίζεται με φως μήκους κύματος  $\lambda_0$  τότε τα φωτοηλεκτρόνια εξέρχονται οριακά. Αν φωτιστεί με φως μήκους κύματος  $\lambda=\frac{1}{4}\lambda_0$  τότε η κινητική ενέργεια εξόδου των φωτοηλεκτρονίων θα είναι

α.  $K=10\text{eV}$

β.  $K=15\text{eV}$

γ.  $K=20\text{eV}$

**B2.22** Η ελάχιστη συχνότητα φωτονίου που μπορεί να εκπέμψει ηλεκτρόνιο από μέταλλο με έργο εξαγωγής  $2,9\text{ eV}$  είναι

α.  $7 \cdot 10^{13}\text{Hz}$

β.  $7 \cdot 10^{15}\text{Hz}$

γ.  $7 \cdot 10^{14}\text{Hz}$

Δίνονται:  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $1\text{eV}=1.6 \cdot 10^{-19}\text{C}$

**B2.23** Ακτινοβολία μήκους κύματος  $\lambda$  πέφτει πάνω σε ένα μέταλλο με έργο εξαγωγής  $\phi$ . Η ταχύτητα των εξερχόμενων φωτοηλεκτρονίων θα είναι ίση με:

α.  $v=\sqrt{\frac{2}{m} \left( \frac{h \cdot c}{\lambda} - \phi \right)}$

β.  $v=\sqrt{\frac{2}{m} \left( \frac{h \cdot c}{\lambda} + \phi \right)}$

γ.  $v=\sqrt{\frac{m}{2} \left( \frac{h \cdot c}{\lambda} - \phi \right)}$

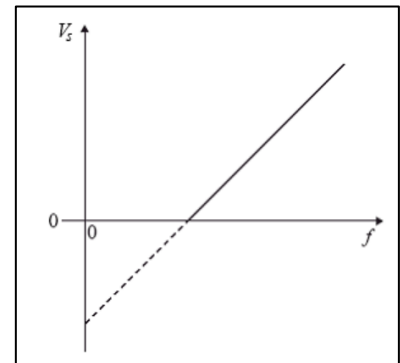
**B2.24** Υπεριώδης ακτινοβολία προσπίπτει σε μια μεταλλική επιφάνεια οπότε απελευθερώνονται από αυτή ηλεκτρόνια. Στο διπλανό διάγραμμα φαίνεται πώς μεταβάλλεται η τάση αποκοπής με τη συχνότητα της ακτινοβολίας. Η σταθερά του Planck μπορεί να υπολογιστεί ως γινόμενο του φορτίου του ηλεκτρονίου με:

α. την τάση στην οποία η γραφική παράσταση τέμνει τον κατακόρυφο άξονα.

β. τη συχνότητα στην οποία η γραφική παράσταση τέμνει τον οριζόντιο άξονα.

γ. την κλίση της γραφικής παράστασης.

δ. το εμβαδόν της μεταξύ της γραφικής παράστασης και του οριζόντιου άξονα.



## Γ2. ΘΕΜΑΤΑ

Δίνονται:  $|e|= 1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$ ,  $m_e=9 \cdot 10^{-31}\text{kg}$ ,  $1\text{eV}=1,6 \cdot 10^{-19}\text{J}$  και  $1\text{J}= 6,25 \cdot 10^8\text{eV}$ ,  $h=4,14 \cdot 10^{-15}\text{eV}\cdot\text{s}$  και  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}\text{Js}$

**Γ2.1** Το έργο εξαγωγής για ένα μέταλλο είναι 1,8 eV. Να υπολογιστούν

α. Το δυναμικό αποκοπής για φως που έχει μήκος κύματος  $\lambda=400\text{ nm}$ ;

β. Η συχνότητα κατωφλίου.

Δίνεται  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $c=3 \cdot 10^8\text{ m/s}$ ,  $1\text{eV}=1,6 \cdot 10^{-19}\text{J}$

α.  $1,305\text{V}$ , β.  $f_0= 0,434 \cdot 10^{15}\text{Hz}$

**Γ2.2** Φωτεινή ακτινοβολία μήκους κύματος 400 nm προσπίπτει σε μεταλλική επιφάνεια. Αυτή εκπέμπει φωτοηλεκτρόνια που έχουν ταχύτητα  $8 \cdot 10^5\text{ m/s}$ .

α. Ποιο είναι το έργο εξαγωγής για το μέταλλο της καθόδου;

β. Πόση θα είναι η κινητική ενέργεια των φωτοηλεκτρονίων αν η ίδια κάθοδος βομβαρδιστεί με ακτινοβολία πενταπλάσια του έργου εξαγωγής;

Δίνονται  $h = 6,63 \times 10^{-34}\text{Js}$ ,  $c=3 \cdot 10^8\text{ m/s}$ ,  $m_e = 9 \cdot 10^{-31}\text{kg}$ ,  $1\text{eV}=1,6 \cdot 10^{-19}\text{J}$

α.  $1,3\text{eV}$ , β.  $5,2\text{eV}$

**Γ2.3** Το έργο εξαγωγής για το νάτριο είναι 2,7 eV.

α. Ποιο είναι το μεγαλύτερο μήκος κύματος;

β. Ποιο είναι το δυναμικό αποκοπής για μήκος κύματος  $\lambda=300\text{nm}$ ;

Δίνονται:  $c=3 \times 10^8\text{ m/s}$ ,  $h = 6,63 \times 10^{-34}\text{Js}$ ,  $1\text{eV}=1,6 \times 10^{-19}\text{J}$

α.  $460\text{nm}$ , β.  $V=1,44\text{V}$

**Γ2.4** Η συχνότητα κατωφλίου για ένα μέταλλο είναι  $5,6 \times 10^{14}\text{ Hz}$ .

α. Να υπολογιστεί η κινητική ενέργεια με την οποία εγκαταλείπει το μέταλλο ένα φωτοηλεκτρόνιο όταν το μέταλλο φωτίζεται με φως συχνότητας  $8,6 \times 10^{14}\text{ Hz}$ .

β. Να υπολογιστεί η κινητική ενέργεια αυτών των φωτοηλεκτρονίων όταν φτάνουν επιταχυνόμενα στην άνοδο με δεδομένο ότι η διαφορά δυναμικού μεταξύ ανόδου και καθόδου σε ορθή πόλωση είναι  $V=2\text{V}$ .

Δίνονται  $h = 6,63 \times 10^{-34}\text{Js}$ ,  $1\text{eV}=1,6 \times 10^{-19}\text{J}$ ,  $c=3 \cdot 10^8\text{m/s}$

α.  $K= 1,24\text{eV}$ , β.  $3,24\text{V}$

**Γ2.5** Τα ηλεκτρόνια που βγαίνουν από την επιφάνεια ενός μετάλλου που φωτίζεται με μονοχρωματική ακτινοβολία μήκους κύματος 400nm έχουν κινητική ενέργεια 0,8eV. Με ποια ενέργεια εκπέμπονται φωτοηλεκτρόνια από την ίδια επιφάνεια με ακτινοβολία μήκους κύματος 500nm; Δίνονται  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $c=3 \cdot 10^8\text{ m/s}$ ,  $1\text{eV}=1,6 \cdot 10^{-19}\text{J}$

0,18eV

**Γ2.6** Το δυναμικό αποκοπής για μια μεταλλική επιφάνεια που φωτίζεται με φως μήκους κύματος 491 nm είναι 0,71 V. Όταν η ίδια επιφάνεια φωτιστεί με φως άλλου μήκους κύματος, το δυναμικό αποκοπής γίνεται 1,43 V. Να υπολογίσετε:

α. το έργο εξαγωγής για το μέταλλο αυτό

β. το νέο μήκος κύματος.

Δίνονται  $h = 6,63 \times 10^{-34}\text{Js}$ ,  $c=3 \times 10^8\text{ m/s}$ ,  $e = 1,6 \times 10^{-19}\text{C}$ ,  $1\text{eV}=1,6 \times 10^{-19}\text{J}$

α.  $1,82\text{eV}$ , β.  $382\text{nm}$

**Γ2.7** Μια μεταλλική επιφάνεια φωτίζεται με φως μήκους κύματος  $\lambda_1 = 550\text{nm}$  και εκπέμπει φωτοηλεκτρόνια για τα οποία το δυναμικό αποκοπής είναι  $V_1 = 0,19\text{V}$ . Να υπολογίσετε:

α. το έργο εξαγωγής του μετάλλου.

β. το δυναμικό αποκοπής στην περίπτωση που η επιφάνεια φωτίζεται με ακτινοβολία μήκους κύματος  $\lambda = 200\text{nm}$

γ. τη συχνότητα κατωφλίου για το μέταλλο αυτό.

Δίνονται:  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ,  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ ,  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ,  $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$$\alpha. 2,07\text{eV}, \beta. 4,14\text{V}, \gamma. 0,5 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

**Γ2.8** Σε ένα φωτοηλεκτρικό πείραμα με νάτριο βρέθηκε ότι η τάση αποκοπής είναι  $V_1 = 1,85\text{V}$  για μήκος κύματος  $\lambda_1 = 300\text{nm}$  και  $V_2 = 0,82\text{V}$  για  $\lambda_2 = 400\text{nm}$ . Να υπολογιστούν

α. Η σταθερά του Planck

β. Το έργο εξαγωγής του νατρίου

γ. Η συχνότητα κατωφλίου.

Δίνονται  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ ,  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ,  $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$$\alpha. h = 4,12 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} \quad \beta. \phi = 2,27\text{eV}, \gamma. f_0 = 0,55 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

**Γ2.9** Μια δέσμη φωτός μήκους κύματος  $\lambda = 124\text{nm}$  και ισχύος  $P = 2,5\text{W}$  προσπίπτει σε μεταλλική επιφάνεια. Παρατηρούμε ότι η κινητική ενέργεια των φωτοηλεκτρονίων είναι  $K = 4,16\text{eV}$ . Υποθέτουμε ότι κάθε φωτόνιο προκαλεί την έξοδο ενός ηλεκτρονίου από το μέταλλο. Να υπολογιστούν

α. Το έργο εξαγωγής σε eV.

β. Ο αριθμός των φωτοηλεκτρονίων ανά sec.

γ. Αν η ισχύς της δέσμης μειωθεί στο μισό χωρίς να αλλάξει το  $\lambda$  ποιος είναι ο νέος αριθμός φωτοηλεκτρονίων ανά sec;

δ. Αν το μήκος κύματος μειωθεί στο μισό χωρίς να αλλάξει η ισχύς ποιος είναι ο νέος αριθμός φωτοηλεκτρονίων ανά sec;

Δίνονται  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ ,  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ,  $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$$\alpha. \phi = 5,84\text{eV}, \beta. 15,6 \cdot 10^{17} \text{ ηλ/sec}, \gamma. 7,8 \cdot 10^{17} \text{ ηλ/sec}, \delta. 7,8 \cdot 10^{17} \text{ ηλ/sec}$$

**Γ2.10** Σώμα μάζας  $m = 1\text{kg}$  είναι δεμένο στο άκρο ελατηρίου σταθεράς  $k = 1000\text{N/m}$  και κάνει ΑΑΤ με πλάτος  $A = 0,2\text{m}$ . Να υπολογιστούν

α. Ενέργεια και συχνότητα ταλαντωτή.

β. Ο κβαντικός αριθμός  $n$  γι αυτόν τον ταλαντωτή

Δίνονται  $\pi^2 = 10$  και  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ ,  $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ,  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ .

$$\alpha. E = 20\text{J}, f = 20\text{Hz}, \beta. n = 15 \cdot 10^{32},$$

**Γ2.11** Μεταλλική επιφάνεια φωτοκυττάρου όταν φωτιστεί με φως μήκους κύματος  $\lambda_1 = 660\text{nm}$  εκπέμπει ηλεκτρόνια για τα οποία η τάση αποκοπής είναι  $V_1 = 0,2\text{V}$ .

α. Να υπολογιστεί το έργο εξαγωγής του μετάλλου.

β. Αν φωτιστεί με φως μήκους κύματος  $\lambda_2 = 300\text{nm}$  πόση θα γίνει η τάση αποκοπής;

γ. Αν το μήκος κύματος της ακτινοβολίας είναι το  $\lambda_1 = 660\text{nm}$  και η ισχύς της φωτεινής δέσμης είναι  $P = 0,03\text{W}$  και υποθέσουμε ότι κάθε φωτόνιο εξάγει και ένα ηλεκτρόνιο τότε να υπολογιστεί το μέγιστο ρεύμα στο σωλήνα.

Δίνονται  $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ ,  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ,  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ,  $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$$\alpha. \phi = 1,675\text{eV}, \beta. 2,45\text{V}, \gamma. 16\text{mA}$$

### 3. Φαινόμενο Compton

#### A3. ΘΕΜΑΤΑ

**A3.1** Το μήκος κύματος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας X κατά το φαινόμενο Compton είναι

- α. μεγαλύτερο από αυτό της προσπίπτουσας.
- β. μικρότερο από αυτό της προσπίπτουσας.
- γ. ίσο με αυτό της προσπίπτουσας
- δ. μεγαλύτερο ή ίσο με αυτό της προσπίπτουσας

**A3.2** Κατά το φαινόμενο Compton τα σκεδαζόμενα φωτόνια έχουν

- α. μεγαλύτερη ενέργεια από τα προσπίπτοντα
- β. μικρότερη ή ίση ενέργεια από τα προσπίπτοντα
- γ. ίση ενέργεια με τα προσπίπτοντα
- δ. μικρότερη ενέργεια από τα προσπίπτοντα

**A3.3** Κατά το φαινόμενο Compton η διαφορά ενέργειας των φωτονίων

- α. είναι ίση με το μηδέν
- β. ισούται με την ενέργεια του ηλεκτρονίου
- γ. είναι μικρότερη από την ενέργεια του ηλεκτρονίου
- δ. είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια του ηλεκτρονίου.

**A3.4** Η διαφορά μεταξύ  $\lambda'$ - $\lambda$  των μηκών κύματος της της σκεδαζόμενης και της προσπίπτουσας ακτινοβολίας X και γίνεται μέγιστη όταν η γωνία μεταξύ της σκεδαζόμενης και της προσπίπτουσας

- α.  $0^\circ$                       β.  $30^\circ$                       γ.  $90^\circ$                       δ.  $45^\circ$

**A3.5** Δύο δέσμες ακτίνων X με μήκη κύματος  $\lambda_1$  και  $\lambda_2$  (με  $\lambda_1 > \lambda_2$ ) σκεδάζονται σε ηλεκτρόνια. Για την ίδια γωνία σκέδασης η αύξηση του μήκους κύματος μεταξύ προσπίπτουσας και σκεδαζόμενης ακτινοβολίας

- α. είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση της ακτίνας με μήκος κύματος  $\lambda_1$
- β. είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση της ακτίνας με μήκος κύματος  $\lambda_2$ .
- γ. είναι ίδια και στις δύο περιπτώσεις
- δ. εξαρτάται από την τιμή της γωνίας σκέδασης,  $\phi$ .

**A3.6** Ένα φωτόνιο ακτίνων X συχνότητα  $f$  σκεδάζεται από ένα αρχικά ακίνητο ηλεκτρόνιο. Η συχνότητα του σκεδαζόμενου φωτονίου  $f'$  είναι

- α. μεγαλύτερη από την συχνότητα  $f$
- β. μικρότερη από τη συχνότητα  $f$
- γ. ίση με τη συχνότητα  $f$
- δ. μικρότερη ή ίση με τη συχνότητα  $f$ .

**A3.7** Σε ένα πείραμα σκέδασης Compton, ένα φωτόνιο με ενέργεια  $E$  σκεδάζεται από ένα ακίνητο ηλεκτρόνιο. Μετά τη σκέδαση

- α. η συχνότητα του φωτονίου είναι μεγαλύτερη από  $E/h$ .
- β. η ενέργεια του φωτονίου είναι ίση με  $E$
- γ. το μήκος κύματος του φωτονίου είναι μικρότερο από  $h \cdot c/E$
- δ. το μήκος κύματος του φωτονίου είναι μεγαλύτερο από  $h \cdot c/E$

**A3.8** Σε ένα πείραμα σκέδασης Compton, ένα φωτόνιο με συχνότητα  $f$  σκεδάζεται από ένα ακίνητο ηλεκτρόνιο. Μετά τη σκέδαση το φωτόνιο έχει συχνότητα  $f'$ . Η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου θα είναι

α.  $K=h \cdot (f+f')$

β.  $K= h(f-f')$

γ.  $K=h(f'-f)$

δ.  $K=\frac{1}{2}h(f-f')$

**A3.9** Στην εξίσωση  $\Delta\lambda=\lambda'-\lambda=\frac{h}{m \cdot c} (1-\cos\varphi)$ , η ποσότητα  $\frac{h}{m \cdot c}$  έχει διαστάσεις

α. μήκους κύματος

β. ενέργειας

γ. συχνότητας

δ. ορμής

**A3.10** Οι ακτίνες X είναι

α. ηλεκτρόνια υψηλής ταχύτητας

β. πρωτόνια μεγάλης ενέργειας

γ. φωτόνια μεγάλου μήκους κύματος

δ. φωτόνια πολύ μικρού μήκους κύματος της τάξης από  $10^{-8}\text{m}$  έως  $10^{-13}\text{m}$ .

**A3.11** Ποιες από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές;

Σύμφωνα με την κλασσική θεωρία και σε σχέση με το φαινόμενο Compton

α. η σκεδαζόμενη δέσμη πρέπει να έχει την ίδια συχνότητα με τη προσπίπτουσα.

β. Το μήκος κύματος της σκεδαζόμενης ακτίνας  $\lambda'$  πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το μήκος κύματος  $\lambda$  της προσπίπτουσας.

γ. ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα συχνότητας  $f$  που προσπίπτει σ' ένα υλικό αναγκάζει τα ηλεκτρόνια του υλικού να ταλαντώνονται με την ίδια συχνότητα και να παράγουν με τη σειρά τους ηλεκτρομαγνητικό κύμα της ίδιας συχνότητας  $f$ .

δ. το πρόβλημα της σκέδασης της ακτινοβολίας μετατρέπεται σε πρόβλημα κρούσης ανάμεσα σε ένα φωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο.

ε. Η συχνότητα της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας έπρεπε να εξαρτάται από την ένταση της προσπίπτουσας.

### B3. ΘΕΜΑΤΑ

**B3.1** Κατά το φαινόμενο Compton η γωνία μεταξύ προσπίπτουσας και σκεδαζόμενης ακτινοβολίας είναι  $\varphi=60^\circ$ . Τότε η αύξηση του μήκους κύματος  $\Delta\lambda$  είναι

$$\alpha. \Delta\lambda = \frac{h}{4m \cdot c}$$

$$\beta. \Delta\lambda = \frac{h}{2m \cdot c}$$

$$\gamma. \Delta\lambda = \frac{h}{m \cdot c}$$

όπου  $m$  η μάζα του ηλεκτρονίου και  $c$  η ταχύτητα του φωτός.

**B3.2** Δύο δέσμες ακτίνων  $X$  με μήκη κύματος  $\lambda_1$  και  $\lambda_2$  (με  $\lambda_1 > \lambda_2$ ) σκεδάζονται σε ακίνητα ηλεκτρόνια σε δύο διαφορετικά πειράματα. Για την ίδια γωνία σκέδασης, η κινητική ενέργεια του ανακρουσμένου ηλεκτρονίου στην πρώτη περίπτωση είναι  $K_1$  και στη δεύτερη,  $K_2$ . Για τις κινητικές ενέργειες ισχύει ότι

$$\alpha. K_1 = K_2$$

$$\beta. K_1 < K_2$$

$$\gamma. K_1 > K_2$$

**B3.3** Ακτίνα  $X$  με μήκος κύματος  $\lambda$  προσπίπτει σε ηλεκτρόνιο μάζας  $m$  και η σκεδαζόμενη ακτινοβολία έχει μήκος κύματος  $\lambda'$ . Η γωνία σκέδασης είναι  $\varphi=60^\circ$ . Τότε η κινητική ενέργεια  $K$  του ανακρουσμένου ηλεκτρονίου είναι

$$\alpha. K = \frac{h^2}{2m\lambda \cdot \lambda'}$$

$$\beta. K = \frac{h^2}{m\lambda \cdot \lambda'}$$

$$\gamma. K = \frac{2h^2}{m\lambda \cdot \lambda'}$$

**B3.4** Ακτίνα  $X$  με μήκος κύματος  $\lambda=2h/mc$  σκεδάζει μετωπικά σε ακίνητο ηλεκτρόνιο με αποτέλεσμα η γωνία σκέδασης να είναι  $\varphi=180^\circ$ .

**I.** Η μεταβολή του μήκους κύματος του φωτονίου είναι

$$\alpha. \Delta\lambda = h/mc$$

$$\beta. \Delta\lambda = 2h/mc$$

$$\gamma. \Delta\lambda = h/2mc$$

**II.** Η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου μετά τη σκέδαση είναι

$$\alpha. K = \frac{m \cdot c^2}{4}$$

$$\beta. K = \frac{m \cdot c^2}{2}$$

$$\beta. K = \frac{m \cdot c^2}{8}$$

**B3.5** Φωτόνιο με συχνότητα  $f$  σκεδάζει σε ακίνητο ηλεκτρόνιο μάζας  $m$ . Η μέγιστη δυνατή κινητική ενέργεια του ανακρουσμένου ηλεκτρονίου είναι

$$\alpha. K_{\max} = \frac{h^2 \cdot f^2}{mc^2 + 2hf}$$

$$\beta. K_{\max} = \frac{4h^2 \cdot f^2}{mc^2 + 2hf}$$

$$\gamma. K_{\max} = \frac{2h^2 \cdot f^2}{mc^2 + 2hf}$$

**B3.6** Ακτίνα  $X$  με μήκος κύματος  $\lambda=3h/2mc$  σκεδάζει σε ακίνητο ηλεκτρόνιο με αποτέλεσμα η γωνία σκέδασης να είναι  $\varphi=90^\circ$ . Η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου μετά τη σκέδαση.

$$\alpha. K = \frac{m \cdot c^2}{3}$$

$$\beta. K = \frac{m \cdot c^2}{15}$$

$$\gamma. K = \frac{4m \cdot c^2}{15}$$

### Γ3. ΘΕΜΑΤΑ

**Γ3.1** Φωτόνιο ακτίνων X μήκους κύματος  $10^{-11}\text{m}$  προσκρούει σε ηλεκτρόνιο μετωπικά και σκεδάζεται κατά  $\varphi=180^\circ$ . Να υπολογιστούν

- α. Η ενέργεια και η ορμή της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.
- β. Το μήκος κύματος του φωτονίου της σκεδαζόμενης δέσμης
- γ. Η μεταβολή της ενέργειας του φωτονίου λόγω της σκέδασης.

Δίνονται:  $h = 6,63 \times 10^{-34}\text{Js}$ ,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ,  $m_e = 9 \times 10^{-31}\text{kg}$ ,  $1\text{eV}=1,6 \times 10^{-19}\text{J}$ ,  $h/mc = 2,4 \cdot 10^{-12}\text{m}$

α.  $E=124,3\text{keV}$ ,  $p=6,63 \cdot 10^{-23}\text{kgm/s}$  β.  $\lambda'=14,8\text{pm}$ , γ. Μειώθηκε περίπου κατά  $40,3 \text{ keV}$ ,

**Γ3.2** Ακτίνες X με μήκος κύματος  $\lambda=10\text{pm}$  σκεδάζονται σε ένα ακίνητο ηλεκτρόνιο..

α. Να υπολογιστεί το μήκος κύματος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας αν η σκέδαση είναι κατά  $\varphi=45^\circ$ . Δίνεται  $\sin 45^\circ=0,7$  και  $h/mc = 2,4 \cdot 10^{-12}\text{m}$ .

β. Να υπολογίσετε το μέγιστο μήκος κύματος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας.

γ. Να υπολογίσετε τη μέγιστη κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου

Δίνονται:  $h = 6,63 \times 10^{-34}\text{Js}$ ,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ,  $m_e = 9 \times 10^{-31}\text{kg}$ ,  $1\text{eV}=1,6 \times 10^{-19}\text{J}$ ,  $1\text{pm}=10^{-12}\text{m}$ .

α.  $\lambda' = 10,72\text{pm}$ , β.  $\lambda'_{\max}=14,8\text{pm}$ , γ.  $K_{e,\max}=40,2\text{keV}$

**Γ3.3** Φωτόνια μήκους κύματος  $2,4 \text{ pm}$  προσπίπτουν σε ελεύθερα ακίνητα ηλεκτρόνια. Να υπολογιστεί το μήκος κύματος ενός φωτονίου που σκεδάστηκε

α) κατά  $30^\circ$  και β) κατά  $60^\circ$

Δίνονται:  $h=6,63 \times 10^{-34}\text{Js}$ ,  $c=3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ,  $m_e = 9 \times 10^{-31}\text{kg}$

$2,7\text{pm}$ ,  $3,6\text{pm}$

**Γ3.4** Μια δέσμη φωτονίων που έχουν ενέργεια  $0,2 \text{ MeV}$  σκεδάζεται από τα ηλεκτρόνια ενός στόχου από άνθρακα.

α. Ποιο είναι το μήκος κύματος των φωτονίων της δέσμης πριν τη σκέδαση;

β. Ποιο είναι το μήκος κύματος των φωτονίων που σκεδάζονται κατά  $\varphi=90^\circ$  γωνία σε σχέση με την αρχική τους διεύθυνση;

γ. Ποια είναι η ενέργεια ενός φωτονίου το οποίο έχει σκεδαστεί κατά  $\varphi=60^\circ$  σε σχέση με την αρχική του διεύθυνση;

Δίνονται:  $h = 6,63 \times 10^{-34}\text{Js}$ ,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ,  $m_e = 9 \times 10^{-31}\text{kg}$ ,  $1\text{eV}=1,6 \times 10^{-19}\text{J}$

Απ:  $6,2 \times 10^{-12}\text{m}$ ,  $8,6 \times 10^{-12}\text{m}$ ,  $0,168\text{MeV}$

**Γ3.5** Δέσμη ακτίνων X με  $\lambda = 0,1\text{nm}$  ( $10^{-10}\text{m}$ ) σκεδάζεται από επιφάνεια άνθρακα. Μετά τη σκέδαση, η δέσμη σχηματίζει γωνία  $90^\circ$  με την προσπίπτουσα. Να υπολογιστούν:

α. Η ενέργεια και η ορμή των φωτονίων της προσπίπτουσας δέσμης.

β. Το μήκος κύματος, η ενέργεια και η ορμή του φωτονίου της σκεδαζόμενης δέσμης.

γ. Η κινητική ενέργεια που προσδίδεται σε ένα ανακρουσμένο ηλεκτρόνιο.

## 4. Η κυματική φύση της ύλης

### A4. ΘΕΜΑΤΑ

**A4.1** Ποιες από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές;

- α. Τα σωματίδια έχουν και κυματικές ιδιότητες ενώ τα κύματα δεν έχουν σωματιδιακές.
- β. Η κυματική φύση των σωματιδίων φαίνεται σε φαινόμενα όπως η περίθλαση και η συμβολή.
- γ. Οι σωματιδιακές ιδιότητες των κυμάτων φαίνονται κατά την εκπομπή ή την απορρόφηση τους.
- δ. Στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο εκδηλώνεται η σωματιδιακή φύση του φωτός.
- ε. Η σωματιδιακή και κυματική φύση του φωτός είναι συμπληρωματικές και δεν αναιρεί η μία την άλλη

**A4.2** Η υπόθεση de Broglie ότι σε κάθε κινούμενο σώμα αντιστοιχεί ένα κύμα δεν έχει εφαρμογή στα φαινόμενα της καθημερινής ζωής. Αυτό συμβαίνει γιατί το αντίστοιχο μήκος κύματος

- α. είναι πολύ μικρό
- β. είναι πολύ μεγάλο
- γ. είναι αδύνατον να μετρηθεί
- δ. δεν ισχύει στον μακρόκοσμο

**A4.3** Η υπόθεση του de Broglie για την κυματική φύση της ύλης έχει ουσιαστικά εφαρμογή

- α. για όλα τα υλικά σώματα
- β. μόνο για σώματα υποατομικής κλίμακας
- γ. μόνο για σώματα που κινούνται με μεγάλες ταχύτητες
- δ. μόνο για σωματίδια ατομικής και υποατομικής κλίμακας.

**A4.4** Το μήκος κύματος ενός υποατομικού σωματιδίου είναι

- α. ανεξάρτητο της ενέργειας του σωματιδίου
- β. ανάλογο της ενέργειας του σωματιδίου
- γ. αντιστρόφως ανάλογο της ενέργειας του σωματιδίου
- δ. ανάλογο της ορμής του σωματιδίου.

**A4.5** Σύμφωνα με την υπόθεση του de Broglie οποιοδήποτε σωματίο ορμής  $p$  είναι συνδεδεμένο με ένα κύμα μήκους κύματος  $\lambda$  που δίνεται από τη σχέση

α.  $\lambda = \frac{p}{h}$

β.  $\lambda = \frac{h}{p}$

γ.  $\lambda = \frac{p^2}{h}$

δ.  $\lambda = \frac{p}{h^2}$

**A4.6** Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία το μήκος κύματος  $\lambda$  ενός σωματιδίου συνδέεται με την ενέργεια αυτού,  $E$ , σύμφωνα με τη σχέση

α.  $\lambda = \frac{h \cdot c}{E^2}$

β.  $\lambda = \frac{E}{h \cdot c}$

γ.  $\lambda = \frac{h \cdot c^2}{E}$

δ.  $\lambda = \frac{h \cdot c}{E}$

**A4.7** Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία η ενέργεια  $E$  συνδέεται με την ορμή  $p$  ενός φωτονίου με τη σχέση

α.  $E = p \cdot c^2$

β.  $E = p \cdot c$

γ.  $E = \frac{p}{c}$

δ.  $E = \frac{c}{p}$

**A4.8** Πρωτόνιο εισέρχεται σε μαγνητικό πεδίο κάθετα στις δυναμικές γραμμές. Το μήκος κύματος de Broglie

- α. αυξάνεται
- β. μειώνεται
- γ. διατηρείται σταθερό
- δ. μεταβάλλεται περιοδικά με το χρόνο

**A4.9** Πρωτόνιο εισέρχεται σε ομογενές ηλεκτρικό πεδίο με ταχύτητα ίδιας κατεύθυνσης με τις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Το μήκος κύματος de Broglie

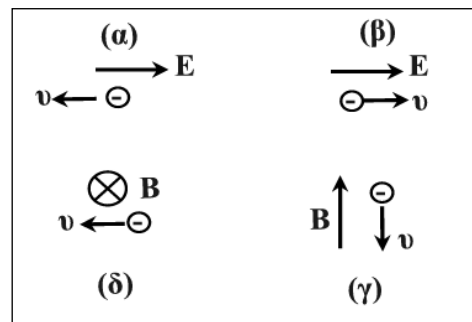
- α. αυξάνεται
- β. μειώνεται
- γ. διατηρείται σταθερό
- δ. μεταβάλλεται περιοδικά με το χρόνο

**A4.10** Ηλεκτρόνιο εισέρχεται σε ομογενές ηλεκτρικό πεδίο με ταχύτητα αντίθετης κατεύθυνσης με τις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Το μήκος κύματος de Broglie

- α. αυξάνεται
- β. μειώνεται
- γ. διατηρείται σταθερό
- δ. μεταβάλλεται περιοδικά με το χρόνο

**A4.11** Στο σχήμα φαίνονται τέσσερις περιπτώσεις ηλεκτρονίων που κινούνται μέσα σε ηλεκτρικό ή μέσα σε μαγνητικό πεδίο. Ποια από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι η σωστή. Το μήκος κύματος de Broglie

- α. μένει σταθερό σε όλες τις περιπτώσεις
- β. αυξάνεται σε όλες τις περιπτώσεις
- γ. μειώνεται στην (α), αυξάνεται στη (β) και μένει σταθερό στις (γ) και (δ).
- δ. αυξάνεται στην (α), μειώνεται στη (β) και μένει σταθερό στις (γ) και (δ)



**A4.12** Υποατομικό φορτισμένο σωματίδιο κινείται. Σε ποιες από τις ακόλουθες περιπτώσεις το μήκος κύματος de Broglie διατηρείται σταθερό. Όταν το σωματίδιο

- α. εισέρχεται με ταχύτητα κάθετα στις δυναμικές γραμμές ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου.
- β. κάνει ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση.
- γ. κάνει ευθύγραμμη ομαλή και ομαλή κυκλική κίνηση.
- δ. κάνει ομαλά επιταχυνόμενη κυκλική κίνηση.

**A4.13** Ποιες από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές;

- α. Οποιοδήποτε σωματίδιο ορμής  $p$  είναι συνδεδεμένο με ένα κύμα μήκους κύματος  $\lambda$  που δίνεται από τη σχέση  $\lambda = h/p$ .
- β. Όταν ένα σωματίδιο εκδηλώνει την κυματική του φύση, δεν πρόκειται για υλικό κύμα αλλά για κύμα πιθανότητας.
- γ. Στον πραγματικό κόσμο το μήκος κύματος των αντικειμένων δεν μπορεί να γίνει αντιληπτό διότι είναι πολύ μικρό.
- δ. Στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και στο φαινόμενο Compton το φως συμπεριφέρεται ως σωματίδιο.
- ε. Όταν το φως αλληλεπιδρά με την ύλη συμπεριφέρεται ως κύμα.

**A4.14** Απόδειξη για την υπόθεση de Broglie για τη δυαδικότητα της ύλης προήλθε από:

- α. Τις διακριτές ενεργειακές στάθμες ενός ατόμου.

β. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

γ. Την κβάντωση της ενέργειας μιας ακτινοβολίας

δ. Την περίθλαση των ηλεκτρονίων.

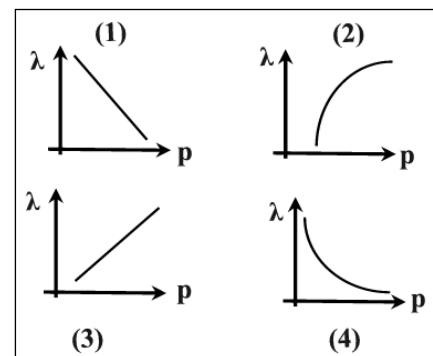
**A4.15** Σύμφωνα με την υπόθεση του de Broglie οποιοδήποτε σωματίο ορμής  $p$  είναι συνδεδεμένο με ένα κύμα μήκους κύματος  $\lambda$ . Η γραφική παράσταση που περιγράφει τη σχέση του μήκους κύματος με τη ορμή είναι

α. (1)

β. (2)

γ. (3)

δ. (4)



**A4.16** Η υπόθεση de Broglie εφαρμόζεται

α. μόνο σε πρωτόνια και νετρόνια.

β. μόνο σε ηλεκτρόνια.

γ. μόνο σε φωτόνια.

δ. για όλα τα σωματίδια ατομική και υποατομικής κλίμακας

## B4. ΘΕΜΑΤΑ

**B4.1** Σωματίδιο κινείται με κινητική ενέργεια  $K$ . Το μήκος κύματος de Broglie, χωρίς να ληφθούν υπόψη σχετικιστικά φαινόμενα, είναι

α.  $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2Km}}$

β.  $\lambda = \frac{h^2}{\sqrt{2Km}}$

γ.  $\lambda = \frac{2h}{\sqrt{2Km}}$

**B4.2** Η διαφορά δυναμικού,  $V$  που πρέπει να επιταχυνθεί μια δέσμη ηλεκτρονίων ώστε να αποκτήσει μήκος κύματος de Broglie,  $\lambda$  είναι

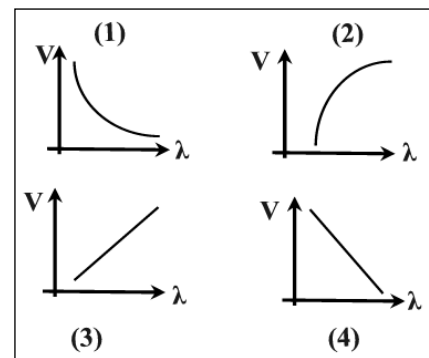
α.  $V = \frac{h^2}{\lambda^2 m |e|}$

β.  $V = \frac{h^2}{2 \cdot \lambda^2 m |e|}$

γ.  $V = \frac{h^2}{4 \cdot \lambda^2 m |e|}$

**B4.3** Ένα αρχικώς ακίνητο σωματίδιο επιταχύνεται από μία τάση  $V$  οπότε αντιστοιχεί σε μήκος κύματος  $\lambda$ . Η γραφική παράσταση που περιγράφει τη συνάρτηση του μήκους κύματος με την τάση είναι η:

- α. (1)
- β. (2)
- γ. (3)
- δ. (4)



**B4.4** Ένα πρωτόνιο και ένα σωματίο  $\alpha$  έχουν το ίδιο μήκος κύματος de Broglie. Ο λόγος της ταχύτητας του σωματίου  $\alpha$  προς την ταχύτητα του πρωτονίου ( $\frac{v_\alpha}{v_p}$ ) είναι:

α.  $\frac{1}{4}$

β.  $\frac{1}{2}$

γ. 4

Για τις μάζες πρωτονίου  $m_p$  και σωματίου  $\alpha$   $m_\alpha = 4m_p$

**B4.5** Αν από την ίδια διαφορά δυναμικού επιταχυνθούν, από την ηρεμία, ένα πρωτόνιο και ένα σωματίο  $\alpha$ , τότε ο λόγος των μηκών κύματος  $\frac{\lambda_p}{\lambda_\alpha}$  που αντιστοιχούν στο καθένα είναι:

α. 2

β.  $2\sqrt{2}$

γ.  $\sqrt{2}$

Για τις μάζες πρωτονίου  $m_p$  και σωματίου  $\alpha$   $m_\alpha = 4m_p$  και για τα φορτία  $q_\alpha = 2q_p$

#### Γ4. ΘΕΜΑΤΑ

**Γ4.1** Να βρείτε το μήκος κύματος de Broglie που αντιστοιχεί

α) σε ηλεκτρόνιο ( $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{kg}$ ) που κινείται με ταχύτητα  $2 \times 10^6 \text{ m/s}$

β) σε πρωτόνιο ( $m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{kg}$ ) της ίδιας ταχύτητας.

γ) σε μπαλάκι ( $m=0,2 \text{kg}$ ) της ίδιας ταχύτητας.

Δίνεται  $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{Js}$

$$\alpha) 3,6 \times 10^{-10} \text{ m}, \beta) 2 \times 10^{-13} \text{ m}, \gamma) 1,65 \times 10^{-39} \text{ m}$$

**Γ4.2** Ένα ηλεκτρόνιο επιταχύνεται από την ηρεμία με τάση 150 V. Να υπολογίσετε το μήκος κύματος de Broglie του ηλεκτρονίου.

Δίνονται  $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{Js}$ ,  $e=1,6 \times 10^{-19} \text{J}$ ,  $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{kg}$

$$\lambda = 10^{-10} \text{ m}$$

**Γ4.3 α)** Ποια είναι η ενέργεια ενός φωτονίου με μήκος κύματος 1 nm;

β) Ποια είναι η κινητική ενέργεια ενός ηλεκτρονίου για το οποίο το μήκος κύματος de Broglie είναι 1 nm; Δίνονται  $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{Js}$ ,  $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{kg}$ ,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ,  $1 \text{eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{J}$

$$\alpha) 1242 \text{ eV}, \beta) 1,5 \text{ eV}$$

**Γ4.4** Σε πόση διαφορά δυναμικού πρέπει να επιταχυνθεί μια δέσμη ηλεκτρονίων ώστε να αποκτήσει μήκος κύματος de Broglie,  $\lambda = 20 \text{ pm} = 20 \cdot 10^{-12} = 2 \cdot 10^{-11} \text{m}$ .

Δίνονται:  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{Js}$ ,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ,  $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{kg}$ ,  $1 \text{e} = 1,6 \times 10^{-19} \text{C}$ ,

$$V = 3.825 \text{ V}$$

## 5. Η αρχή της αβεβαιότητας

### A ΘΕΜΑΤΑ

#### A5.1 Σύμφωνα με την αρχή της αβεβαιότητας

- α. είναι δυνατόν να μετρήσουμε ταυτόχρονα τη θέση και την ορμή ενός σωματιδίου με απόλυτη ακρίβεια.
- β. το γινόμενο των αβεβαιοτήτων θέσης και ορμής είναι μικρότερο από  $h/2\pi$ .
- γ. το πηλίκο των αβεβαιοτήτων θέσης και ορμής είναι μεγαλύτερο από  $h/2\pi$ .
- δ. το γινόμενο των αβεβαιοτήτων θέσης και ορμής είναι μεγαλύτερο από  $h/2\pi$ .

#### A5.2 Σύμφωνα με την αρχή της βεβαιότητας

- α. η αβεβαιότητα στη μέτρηση της ενέργειας μιας κατάστασης ενός συστήματος είναι ανάλογη με τον χρόνο που το σύστημα παραμένει σ' αυτή την κατάσταση.
- β. όλες οι μετρήσεις ενέργειας περιέχουν μια αβεβαιότητα, εκτός αν την κάνουμε σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.
- γ. η αβεβαιότητα στη μέτρηση της ενέργειας μιας κατάστασης ενός συστήματος είναι αντίστροφα ανάλογη με τον χρόνο που το σύστημα παραμένει σ' αυτή την κατάσταση.
- δ. δεν υπάρχει αβεβαιότητα στη μέτρηση της ενέργειας μιας κατάστασης ενός συστήματος.

#### A5.3 Αν ένα σωματίδιο κινείται σε ευθεία τροχιά και $\Delta x$ και $\Delta p$ είναι η αβεβαιότητα θέσης και ορμής, τότε ισχύει

- α.  $\Delta p \cdot \Delta x \leq h/2\pi$                       β.  $\Delta p \cdot \Delta x = h/2$                       γ.  $\Delta p \cdot \Delta x \geq h/2\pi$                       α.  $\Delta p \cdot \Delta x \geq h$

#### A5.4 Αν $\Delta t$ είναι ο χρόνος που πρέπει να περιμένουμε για να γίνει μια αισθητή μεταβολή στην κατάσταση ενός συστήματος και $\Delta E$ η αβεβαιότητα στην μέτρηση της ενέργειας του τότε

- α.  $\Delta E \cdot \Delta t \geq h/2\pi$                       β.  $\Delta E / \Delta t \geq h/2\pi$                       γ.  $\Delta E \cdot \Delta t \leq h/2\pi$                       δ.  $\Delta E \cdot \Delta t \geq h$

#### A5.5 Ποιες από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές;

- α. Όταν η αβεβαιότητα στη μέτρηση της ορμής είναι μεγάλη, τότε η αβεβαιότητα στον εντοπισμό της θέσης είναι μικρή.
- β. Όταν η αβεβαιότητα στη μέτρηση της ενέργειας είναι μεγάλη, τότε ο χρόνος μέσα στον οποίο έγινε η μέτρηση της ενέργειας είναι μεγαλύτερος.
- γ. Όταν η αβεβαιότητα στη μέτρηση της ενέργειας είναι μικρή, τότε ο χρόνος μέσα στον οποίο έγινε η μέτρηση της ενέργειας είναι μεγάλος.
- δ. Το γινόμενο αβεβαιοτήτων ορμής και θέσης είναι πάντα σταθερό.
- ε. Τα αντικείμενα του μακρόκοσμου έχουν μικρή αβεβαιότητα στον εντοπισμό της θέσης τους.

#### A5.6 Ένα υποατομικό σωματίδιο υπό ορισμένες συνθήκες μπορεί να συμπεριφέρεται σαν κύμα. Για την περιγραφή του χρειαζόμαστε μία κυματοσυνάρτηση $\Psi$ η οποία είναι

- α. μια συνάρτηση μόνο της θέσης,  $\Psi(x,y,z)$
- β. μια συνάρτηση μόνο του χρόνου  $\Psi(t)$ .
- γ. μια συνάρτηση θέσης – χρόνου  $\Psi(x,y,z,t)$ .
- δ. μια συνάρτηση ενέργειας - χρόνου

#### A5.7 Ποιες από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές;

Σύμφωνα με τον Max Born

- α. ερμηνεύουμε το  $|\Psi|^2$  σαν την πιθανότητα θέσης ανά μονάδα όγκου
- β. το γινόμενο  $|\Psi|^2 dV$  δίνει την πιθανότητα να βρίσκεται το σωματίο μέσα στον όγκο  $dV$  στη δεδομένη χρονική στιγμή.
- γ. το γινόμενο  $|\Psi|^2 dV$  είναι ίσο με το μηδέν
- δ. αυτό που θεωρούμε ως κύμα δεν είναι το ίδιο το σωματίο αλλά η πιθανότητα να το βρούμε στη μια ή την άλλη περιοχή του χώρου.
- ε. το γινόμενο  $|\Psi|^2 dV$  είναι ίσο με τη μονάδα.

**A5.8** Ποιες από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές;

- α. Η έκφραση  $|\Psi(x,t)|^2 dx$  είναι η πιθανότητα να βρούμε το σωματίο μεταξύ  $x$  και  $x+dx$  (σε μία διάσταση), και το ολοκλήρωμά του σε όλο το μήκος θα είναι μονάδα.
- β. Το κύμα δεν είναι το ίδιο το σωματίο αλλά η πιθανότητα να το βρούμε στη μια ή την άλλη περιοχή του χώρου.
- γ. Όσο πιο αυστηρά καθορισμένη είναι η θέση ενός σωματιδίου, τόσο μικρότερη είναι η αβεβαιότητα στην ορμή του.
- δ. Η ελάχιστη τιμή του γινομένου των αβεβαιοτήτων θέσης και ορμή είναι ίση με τη σταθερά Planck,  $h$ .
- ε. όσο πιο αργά μεταβάλλεται ένα φυσικό σύστημα τόσο πιο καλά καθορισμένη είναι η ενέργειά του.

**A5.9** Η μεγάλη ακρίβεια στη θέση ενός σωματιδίου δημιουργεί:

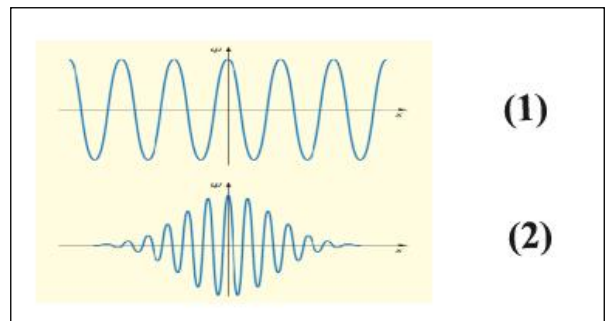
- α. Μεγάλη αβεβαιότητα στην ορμή του διότι δεν έχουμε αρκετά ακριβή όργανα μέτρησης.
- β. Μικρή αβεβαιότητα στην ορμή του.
- γ. Μεγάλη αβεβαιότητα στο μήκος κύματος του σωματιδίου διότι προκύπτει από την επαλληλία πολλών διαφορετικών μηκών κύματος.
- δ. Μικρή αβεβαιότητα στο μήκος κύματος του σωματιδίου διότι αυτό προκύπτει από την υπόθεση de Broglie.

**A5.10** Όταν γνωρίζουμε με μικρή αβεβαιότητα το μήκος κύματος de Broglie ενός πρωτονίου τότε:

- α. Θα έχουμε μεγάλη αβεβαιότητα στην ορμή του.
- β. Θα έχουμε μεγάλη αβεβαιότητα στην ενέργειά του.
- γ. Θα γνωρίζουμε επακριβώς τη θέση του.
- δ. Δε θα ξέρουμε που είναι.

**A5.11** Στο σχήμα βλέπουμε δύο διαγράμματα (1) και (2) που απεικονίζουν τις κυματοσυναρτήσεις δύο ηλεκτρονίων. Ποιες από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές;

- α. Στο διάγραμμα (1) υπάρχει μεγαλύτερη αβεβαιότητα για τη θέση του ηλεκτρονίου σε σχέση με το διάγραμμα (2).
- β. Η ορμή στο πακέτο (2) προσδιορίζεται με μεγαλύτερη αβεβαιότητα.
- γ. Ορμή και μήκος κύματος στο πακέτο (1) προσδιορίζονται με μεγαλύτερη ακρίβεια
- δ. Στο πακέτο (1) είναι μεγαλύτερο το εύρος των μηκών κύματος που έχουν λάβει μέρος στην υπέρθεση.
- ε. Στο πακέτο (2) υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα στο μήκος κύματος και μεγάλη ακρίβεια στην ορμή.



## B5. ΘΕΜΑΤΑ

**B5.1** Ένα σωματίδιο κινείται σε ευθεία, με ταχύτητα πολύ μικρότερη από την ταχύτητα του φωτός. Αν η αβεβαιότητα  $\Delta x$  της θέσης του είναι ίση με το μισό του μήκους κύματος που έχει κατά de Broglie, δείξτε ότι η αβεβαιότητα της ταχύτητας του είναι

$$\alpha. \Delta v_x = \frac{v_x}{2\pi}$$

$$\beta. \Delta v_x = \frac{v_x}{\pi}$$

$$\gamma. \Delta v_x = \frac{2v_x}{\pi}$$

**B5.2** Η αβεβαιότητα  $\Delta f$  της συχνότητας του φωτονίου που εκπέμπεται σε μια ατομική αποδιέγερση με το μέσο χρόνο εκπομπής  $\Delta t$  συνδέεται με τη σχέση

$$\alpha. \Delta f \cdot \Delta t \geq h$$

$$\beta. \Delta f \cdot \Delta t \geq 1/2\pi$$

$$\gamma. \Delta f \cdot \Delta t \geq h/2\pi$$

**B5.3** Πρωτόνιο μάζας  $m$  που κινείται στον άξονα των  $x$  έχει κινητική ενέργεια  $K$ . Αν η αβεβαιότητα στην μέτρηση της ορμής του είναι ίση με την ορμή του, τότε η ελάχιστη αβεβαιότητα της θέσης του, χωρίς να ληφθούν υπόψη σχετικιστικά φαινόμενα, είναι ;

$$\alpha. \Delta x = \frac{h}{2\pi\sqrt{2Km}}$$

$$\beta. \Delta x = \frac{2h}{\pi\sqrt{2Km}}$$

$$\gamma. \Delta x = \frac{h}{\pi\sqrt{2Km}}$$

**B5.4** Ένα πρωτόνιο στον πυρήνα του ατόμου έχει αβεβαιότητα στη θέση του  $10^{-15}\text{m}$ . Η αβεβαιότητα στην ορμή του είναι περίπου:

$$\alpha. 1\text{N}\cdot\text{s},$$

$$\beta. 10^{-9}\text{N}\cdot\text{s}$$

$$\gamma. 10^{-19}\text{N}\cdot\text{s}$$

**B5.5** Η αβεβαιότητα στη θέση ενός σωματιδίου ισούται με το μήκος κύματος de Broglie στο οποίο αντιστοιχεί. Αν το σωματίδιο έχει ορμή  $p$ , τότε η αβεβαιότητα στην ορμή του θα είναι:

$$\alpha. \frac{p}{2\pi}$$

$$\beta. \frac{2\pi}{p}$$

$$\gamma. \frac{h}{p}$$

## Γ5. ΘΕΜΑΤΑ

**Γ5.1** Το ηλεκτρόνιο ενός ατόμου του υδρογόνου παραμένει στην κατάσταση  $n=2$  πριν μεταπέσει στην κατάσταση  $n=1$  επί  $10^{-8}$ s. Ποια είναι η ελάχιστη αβεβαιότητα στην ενέργεια του εκπεμπόμενου φωτονίου σε eV; Δίνονται  $h = 6,63 \times 10^{-34}$ Js,  $1\text{eV}=1,6 \times 10^{-19}$ J

$$\Delta E = 0,66 \times 10^{-7} \text{eV}$$

**Γ5.2** Μια μπάλα μάζας  $m=50$ g κινείται ευθύγραμμα με ταχύτητα  $v=30$ m/s.

α. Να υπολογιστεί το μήκος κύματος de Broglie, λ.

β. Αν η αβεβαιότητα στην μέτρηση της ταχύτητας είναι 0,1% πόση είναι η ελάχιστη αβεβαιότητα για τη θέση της μπάλας

Δίνονται  $h = 6,63 \times 10^{-34}$ Js,  $1\text{eV}=1,6 \times 10^{-19}$ J

$$\alpha. \lambda = 4.42 \cdot 10^{-34} \text{m}, \beta. \Delta x = 7 \cdot 10^{-32} \text{m}$$

**Γ5.3** Ηλεκτρόνιο που κινείται στον άξονα των  $x$  έχει κινητική ενέργεια  $K=3,8$ eV. Αν η αβεβαιότητα στην μέτρηση της ορμής του είναι ίση με την ορμή του, να υπολογιστεί η ελάχιστη αβεβαιότητα της θέσης του;

Δίνονται  $h = 6,63 \times 10^{-34}$ Js,  $1\text{eV}=1,6 \times 10^{-19}$ J,  $m_e = 9 \times 10^{-31}$ kg,

$$\Delta x = 1 \cdot 10^{-10} \text{m}$$

**Γ5.4** α. Από ποια διαφορά δυναμικού  $V$  πρέπει να επιταχυνθεί ένα ηλεκτρόνιο για να αποκτήσει μήκος κύματος de Broglie  $10^{-10}$ m;

β. Αν το μήκος κύματος είναι ίσο με την αβεβαιότητα της θέσης πόση είναι η ελάχιστη τιμή της αβεβαιότητας της ορμής;

$$\alpha. 151 \text{V}, \beta. \Delta p = 1,055 \cdot 10^{-24} \text{kgm/s}$$

**Γ5.5** Ηλεκτρόνιο έχει ενέργεια  $K=10^3$ eV. Αν η αβεβαιότητα της θέσης του είναι 0,1nm τότε ποια είναι η εκατοστιαία αβεβαιότητα ως προς την ορμή του;

Δίνονται  $h = 6,63 \times 10^{-34}$ Js,  $1\text{eV}=1,6 \times 10^{-19}$ J,  $m_e = 9 \times 10^{-31}$ kg

$$\frac{\Delta p}{p} (100\%) = 6\%$$

**Γ5.6** Ένας πυρήνας έχει ακτίνα περίπου ίση με  $5 \cdot 10^{-15}$ m. Κάνοντας χρήση της αρχής αβεβαιότητας βρείτε το κατώτερο όριο ενέργειας που πρέπει να έχει ένα ηλεκτρόνιο για να βρίσκεται μέσα στον πυρήνα.

Δίνονται  $h = 6,63 \times 10^{-34}$ Js,  $1\text{eV}=1,6 \times 10^{-19}$ J,  $m_e = 9 \times 10^{-31}$ kg

$$K = 37,5 \text{MeV}$$

## ΘΕΜΑΤΑ ΓΙΑ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ

**E.1** Μία φωτοευαίσθητη επιφάνεια έχει έργο εξαγωγής  $1,5\text{eV}$  και φωτίζεται από ακτινοβολία συχνότητας  $6 \cdot 10^{14}\text{Hz}$ . Να υπολογιστούν:

A. Το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

B. Η συχνότητα κατωφλίου.

Γ. Η κινητική ενέργεια και η ταχύτητα που μπορεί να έχει ένα φωτοηλεκτρόνιο όταν φεύγει από την κάθοδο.

Δ. Η τάση αποκοπής.

E. Να γίνουν οι γραφικές παραστάσεις της κινητικής ενέργειας και της τάσης αποκοπής σε συνάρτηση με τη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Δίνονται  $h=6,63 \cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $c=3 \cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $m_e=9 \cdot 10^{-31}\text{kg}$ ,  $1\text{eV}=1,6 \cdot 10^{-19}\text{J}$ .

A.  $\lambda=2 \cdot 10^{-8}\text{m}$ , B.  $f_0=3,62 \cdot 10^{14}\text{Hz}$ , Γ.  $K=1,6 \cdot 10^{-19}\text{J}$ ,  $v=6 \cdot 10^5\text{m/s}$ , Δ.  $V_0=1\text{V}$

**E.2** Μονοχρωματική ακτινοβολία, ισχύος  $P$  και μήκους κύματος  $4 \cdot 10^{-7}\text{m}$ , προσπίπτει σε μία φωτοευαίσθητη επιφάνεια, που έχει συχνότητα κατωφλίου  $6 \cdot 10^{14}\text{Hz}$ , οπότε εκπέμπονται  $2 \cdot 10^{10}$  ηλεκτρόνια ανά δευτερόλεπτο.

A. Να υπολογίσετε την ένταση του ρεύματος μεταξύ ανόδου και καθόδου.

B. Η ισχύς της ακτινοβολίας διπλασιάζεται ( $P'=2P$ ). Πώς θα μεταβληθεί η ένταση του φωτορεύματος;

Γ. Ακτινοβολία ισχύος  $2P$  και μήκους κύματος  $6 \cdot 10^{-7}\text{m}$  προσπίπτει τώρα στην ίδια επιφάνεια. Πόση θα γίνει η ένταση του φωτορεύματος;

Δίνονται  $c=3 \cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $e=1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$ .

A.  $I=3,2 \cdot 10^{-9}\text{A}$ , B.  $I=6,4 \cdot 10^{-9}\text{A}$ , Γ.  $I=0\text{A}$

**E.3** Φως, συχνότητας  $8,7 \cdot 10^{14}\text{Hz}$  και έντασης  $1,1 \cdot 10^{-3}\text{W/m}^2$ , προσπίπτει σε μία μεταλλική επιφάνεια που έχει εμβαδόν  $9 \cdot 10^{-6}\text{m}^2$ . Από την επιφάνεια απελευθερώνονται ηλεκτρόνια με κινητική ενέργεια  $1,2\text{eV}$ . Να υπολογίσετε:

A. Το έργο εξαγωγής ενός ηλεκτρονίου από την επιφάνεια σε  $\text{eV}$

B. Την ένταση του φωτορεύματος που δημιουργείται.

Γ. Την τάση αποκοπής του φωτορεύματος.

Δίνονται  $h=6,63 \cdot 10^{-34}\text{Js}$ , ή  $4,14 \cdot 10^{-15}\text{eV}\cdot\text{s}$ ,  $|e|=1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$ .

A.  $\phi=2,4\text{eV}$  B.  $I=2,7 \cdot 10^{-9}\text{A}$ , Γ.  $I, 2\text{V}$

**E.4** Το έργο εξαγωγής για ένα μέταλλο είναι  $1,8\text{eV}$ . Να υπολογιστούν:

A. Η τάση αποκοπής για φως που έχει μήκος κύματος  $\lambda=400\text{nm}$ .

B. Η συχνότητα κατωφλίου.

Γ. Η κινητική ενέργεια εκπομπής των ηλεκτρονίων.

Δ. Πόσο θα γίνει το έργο εξαγωγής, πόση η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων αν το ίδιο μέταλλο φωτιστεί με ακτινοβολία μήκους κύματος  $\lambda_1=100\text{nm}$ ;

E. Πόσο θα γίνει η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων αν το ίδιο μέταλλο φωτιστεί με ακτινοβολία μήκους κύματος  $\lambda_2=900\text{nm}$ ;

Δίνονται  $h=6,63 \cdot 10^{-34}\text{Js}$ , ή  $4,14 \cdot 10^{-15}\text{eV}\cdot\text{s}$ ,  $c=3 \cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $m_e=9 \cdot 10^{-31}\text{kg}$ ,  $1\text{eV}=1,6 \cdot 10^{-19}\text{J}$ .

A.  $V_0=1,305\text{V}$ , B.  $f_0=4,34 \cdot 10^{14}\text{Hz}$ , Γ.  $K=1,305\text{eV}$ , Δ.  $\phi=1,8\text{eV}$ ,  $K=10,62\text{eV}$ , E.  $K=0$

**E.5** Φως, με μήκος κύματος  $3 \cdot 10^{-7}\text{m}$ , πέφτει σε μία φωτοευαίσθητη επιφάνεια και προκαλεί εκπομπή ηλεκτρονίων με κινητική ενέργεια  $2\text{eV}$  με ρυθμό  $10^{18}\text{ηλ/sec}$ . Το φως παράγεται από μία λάμπα ισχύος  $P$ . Να υπολογιστούν

A. Η ένταση του παραγόμενου φωτορεύματος.

B. Η ισχύς της φωτεινής δέσμης αν δεχτούμε ότι κάθε ένα φωτόνιο εξάγει και ένα φωτοηλεκτρόνιο.

Γ. Το έργο εξαγωγής από την επιφάνεια αυτή και η συχνότητα κατωφλίου.

Δ. Η νέα κινητική ενέργεια των φωτοηλεκτρονίων και η νέα ένταση του φωτορεύματος αν η λάμπα αντικατασταθεί από μία άλλη, διπλάσιας ισχύος αλλά ίδιας συχνότητας.

Δίνονται  $h=6,63 \cdot 10^{-34} \text{Js}$ , ή  $4,14 \cdot 10^{-15} \text{eV} \cdot \text{s}$ ,  $c=3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ,  $|e|=1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ ,  $1\text{eV}=1,6 \cdot 10^{-19} \text{J}$ .

A.  $i=0,16 \text{A}$ , B.  $0,663 \text{W}$ , Γ.  $\phi=2,14 \text{eV}$ ,  $f_0=0,517 \text{Hz}$ , Δ.  $K'=2 \text{eV}$ ,  $i'=0,32 \text{A}$

**E.6** Μία φωτοευαίσθητη μεταλλική επιφάνεια φωτίζεται από ακτινοβολία μήκους κύματος  $\lambda=2,3 \cdot 10^{-7} \text{m}$  και εκπέμπει ηλεκτρόνια που έχουν τάση αποκοπής  $V_1$ . Αν η ίδια επιφάνεια φωτιστεί από ακτινοβολία μήκους κύματος  $\lambda'=1,8 \cdot 10^{-7} \text{m}$ , τότε η τάση αποκοπής διπλασιάζεται. Να υπολογιστούν:

A. Το έργο εξαγωγής από την επιφάνεια αυτή.

B. Η τάση αποκοπής για την πρώτη ακτινοβολία.

Γ. Ο λόγος  $K_1/K_2$  των κινητικών ενεργειών στις δύο περιπτώσεις.

Δ. Η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων αν η ίδια επιφάνεια φωτιστεί με ακτινοβολία μήκους κύματος  $1200 \text{nm}$ ;

Δίνονται  $h=6,63 \cdot 10^{-34} \text{Js}$ , ή  $4,14 \cdot 10^{-15} \text{eV} \cdot \text{s}$ ,  $c=3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ,  $|e|=1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ .

A.  $\phi=3,9 \text{eV}$ , B.  $V_1=1,49 \text{V}$ , Γ.  $K_1/K_2=1/2$ , Δ.  $K=0$

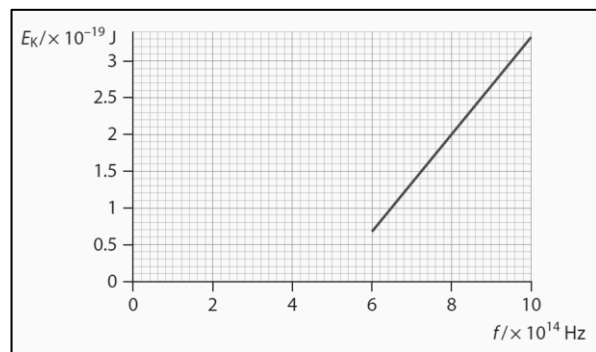
**E.7** Το διπλανό διάγραμμα δείχνει πώς μεταβάλλεται η κινητική ενέργεια ενός ηλεκτρονίου με τη συχνότητα του φωτός που πέφτει σε μία φωτοευαίσθητη επιφάνεια.

A. Πόση είναι η συχνότητα κατωφλίου και πόσο το έργο εξαγωγής από την επιφάνεια αυτή;

B. Πόση είναι η κινητική ενέργεια ενός ηλεκτρονίου και πόση η τάση αποκοπής όταν η επιφάνεια φωτίζεται με φως μήκους κύματος  $\lambda=\frac{3}{8} \cdot 10^{-6} \text{m}$ ;

Γ. Μια δεύτερη φωτοευαίσθητη επιφάνεια έχει συχνότητα κατωφλίου  $6 \cdot 10^{14} \text{Hz}$ . Να συμπληρώσετε στο παραπάνω διάγραμμα την αντίστοιχη καμπύλη για τη δεύτερη επιφάνεια.

Δίνονται  $h=6,63 \cdot 10^{-34} \text{Js}$ , ή  $4,14 \cdot 10^{-15} \text{eV} \cdot \text{s}$ ,  $c=3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ,  $|e|=1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ ,  $1\text{eV}=1,6 \cdot 10^{-19} \text{J}$ .



A.  $f_0=5 \cdot 10^{14} \text{Hz}$ ,  $\phi=2,065 \text{eV}$ , B.  $K=1,25 \text{eV}$ ,  $V=1,25 \text{V}$

**E.8** Στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο δεν εκπέμπονται ηλεκτρόνια από την επιφάνεια ενός μετάλλου όταν η συχνότητα του φωτός είναι κάτω από τη συχνότητα κατωφλίου.

A. Με βάση την κβαντομηχανική θεώρηση του φαινομένου, να εξηγήσετε γιατί υπάρχει αυτή η ελάχιστη συχνότητα.

B. Γιατί η συχνότητα κατωφλίου είναι διαφορετική για κάθε μέταλλο;

Μονοχρωματική ακτινοβολία συχνότητας  $10^{15} \text{Hz}$  προσπίπτει σε μια μεταλλική επιφάνεια που έχει έργο εξαγωγής  $3,2 \cdot 10^{-19} \text{J}$ . Να υπολογίσετε:

Γ. Την κινητική ενέργεια που έχουν τα ηλεκτρόνια μόλις απελευθερωθούν από το μέταλλο.

Δ. Το μήκος κύματος de Broglie στο οποίο αντιστοιχούν τα ηλεκτρόνια αυτά.

Ε. Την τάση αποκοπής του φωτορεύματος.

Δίνονται  $h=6,63 \cdot 10^{-34} \text{Js}$ ,  $c=3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ,  $|e|=1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ ,  $1\text{eV}=1,6 \cdot 10^{-19} \text{J}$ ,  $m_e=9,1 \cdot 10^{-31} \text{kg}$ .

$$\Gamma. K=3,43 \cdot 10^{-19} \text{ J}, \Delta. \lambda=0,84 \cdot 10^{-9} \text{ m}, E. V=2,14 \text{ V}$$

**E.9** Ένα ηλεκτρόνιο, που αρχικά ηρεμούσε, επιταχύνεται μέσω μιας διαφοράς δυναμικού 54V και ένα τούβλο μάζας 0,25kg κινείται με ταχύτητα 10m/s. .

A. Ποιο μήκος κύματος αντιστοιχεί στο κινούμενο ηλεκτρόνιο;

B. Ποιο μήκος κύματος αντιστοιχεί στο κινούμενο τούβλο;

Γ. Είναι λογικό να συμπεριφερθούμε στο τούβλο με βάση τη δυαδικότητα της ύλης;

Δίνονται  $h=6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ ,  $c=3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ,  $m_e=9 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ,  $e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

$$A. \lambda_e=1,7 \cdot 10^{-10} \text{ m}, B. \lambda_t=2,65 \cdot 10^{-34} \text{ m}$$

**E.10** Το κόκκινο έχει μήκος κύματος στο κενό  $\lambda=680 \text{ nm}$ .

A. Πόση ταχύτητα πρέπει να έχει ένα ηλεκτρόνιο ώστε να αντιστοιχεί σε μήκος κύματος ίδιο με του κόκκινου χρώματος και από πόση τάση θα πρέπει να επιταχυνθεί αν ήταν αρχικώς ακίνητο;

B. Πόση κινητική ενέργεια θα έπρεπε να έχει ένα παιδί μάζας  $m_\pi=50 \text{ kg}$  ώστε να αντιστοιχεί σε μήκος κύματος ίδιο με του κόκκινου χρώματος

Δίνονται  $h=6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ ,  $c=3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ,  $m_e=9 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ,  $e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

$$A. v=1,08 \cdot 10^3 \text{ m/s}, V=3,28 \cdot 10^{-6} \text{ V}, B. K=5 \cdot 10^{-23} \text{ J}$$

**E.11** Ένα αρχικώς ακίνητο πρωτόνιο επιταχύνεται από μία διαφορά δυναμικού 0,2kV. Να υπολογιστούν

A. Η ταχύτητα που αποκτά τελικά το σωματίδιο.

B. Το μήκος κύματος που αντιστοιχεί στο σωματίδιο.

Γ. Η περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ανήκει;

Δ. Η ταχύτητα θα έπρεπε να έχει ένα ηλεκτρόνιο ώστε να αντιστοιχεί στο ίδιο μήκος κύματος με το πρωτόνιο αυτό;

Δίνονται  $h=6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ ,  $c=3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ,  $m_e=9 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ,  $m_p=1,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ,  $e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

$$A. 2 \cdot 10^5 \text{ m/s}, B. \lambda=2,07 \text{ pm}, \Gamma. \text{ σκληρές ακτίνες X}, v=\underline{3,6 \cdot 10^8 \text{ m/s}} \text{ αδύνατον}$$

**E.12** Το ηλεκτρόνιο ενός διεγερμένου ατόμου στην  $1^{\text{η}}$  διεγερμένη στάθμη παραμένει εκεί για χρόνο  $10^{-8} \text{ sec}$  και μετά επιστρέφει στη θεμελιώδη κατάσταση εκπέμποντας ένα φωτόνιο.

A. Πόση είναι η αβεβαιότητα στην ενέργεια του φωτονίου;

B. Αν η ενέργεια του ηλεκτρονίου στη θεμελιώδη κατάσταση είναι -13,6eV και στην πρώτη διεγερμένη είναι -3,4eV, πόσο είναι το ποσοστό της αβεβαιότητας της ενέργειας και πόσο είναι το μήκος κύματος του εκπεμπόμενου φωτονίου;

Δίνονται  $h=6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ ,  $c=3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ,  $1 \text{ eV}=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ .

$$A. \Delta E \geq 0,66 \cdot 10^{-7} \text{ eV}, B. \frac{\Delta E}{E}=6 \cdot 10^{-9}, \Gamma. \lambda=121,8 \text{ nm}$$

**E.13** Ένα ηλεκτρόνιο, μάζας  $m_e=9 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$  και ακτίνας  $R_e=3 \cdot 10^{-15} \text{ m}$ , έχει ταχύτητα  $4 \cdot 10^5 \text{ m/s}$  μετρημένη με ακρίβεια 1%, προς μία κυκλική οπή διπλάσιας ακτίνας ( $2R_e$ ). Ένα μπαλάκι του τένις, μάζας  $m_t=200 \text{ g}$  και ακτίνας  $R_t=3 \text{ cm}$ , κινείται με ταχύτητα 30m/s, μετρημένη με αβεβαιότητα 1%, προς το κέντρο ενός ανοιχτού κυκλικού παράθυρου διπλάσιας ακτίνας ( $2R_t$ ).

A. Βρείτε το μήκος κύματος de Broglie που αντιστοιχεί στο καθένα.

B. Θα μπορέσει το ηλεκτρόνιο να περάσει σίγουρα από την οπή;

Γ. Θα μπορέσει το μπαλάκι να περάσει σίγουρα από το παράθυρο;

Δίνονται  $h=6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ ,  $c=3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ .

A.  $\lambda_e = 1,84 \cdot 10^{-9} \text{m}$ ,  $\lambda_\mu = 1,105 \cdot 10^{-34} \text{m}$ . B. Το ηλεκτρόνιο όχι,  $\Delta x = 3 \cdot 10^{-4} \text{m}$ ,  
Γ. το μπαλακι ναι  $\Delta x = 1,75 \cdot 10^{-34} \text{m}$

**E.14** Σε μία πειραματική μελέτη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, κάποιος σταθερός αριθμός φωτονίων προσπίπτει σε μία φωτοευαίσθητη μεταλλική επιφάνεια.

A. Να εξηγήσετε τι εννοούμε με τον όρο φωτόνιο.

B. Να κάνετε ποιοτικό διάγραμμα της έντασης του φωτορεύματος σε συνάρτηση με τη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Στο διάγραμμα να φαίνεται και η τιμή της συχνότητας κατωφλίου.

Γ. Να αναφέρετε μία παρατήρηση από το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο που δε μπορεί να ερμηνεύσει η κλασσική κυματική θεωρία και να εξηγήσετε πώς η ίδια παρατήρηση ερμηνεύεται από την κβαντομηχανική προσέγγιση του φαινομένου.

Κατά τη μελέτη προέκυψε το διπλανό διάγραμμα της τάσης αποκοπής με τη συχνότητα της ακτινοβολίας, για κάποια ορισμένη τιμή της έντασης της ακτινοβολίας.

Δ<sub>1</sub>. Πόσο είναι το έργο εξαγωγής από τη μεταλλική επιφάνεια;

Δ<sub>2</sub>. Πόση είναι η τιμή της σταθεράς του Planck που προκύπτει από το διάγραμμα;

Δ<sub>3</sub>. Πόσο είναι το μέγιστο μήκος κύματος που θα μπορούσε να προκαλέσει εκπομπή ηλεκτρονίων από την επιφάνεια;

Δ<sub>4</sub>. Η ένταση της ακτινοβολίας διπλασιάζεται. Πώς θα επηρεαστεί το παραπάνω διάγραμμα; Δίνονται  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{Js}$ ,  $c = 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ,  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ .

