

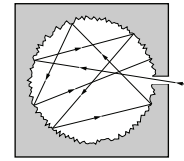
Στοιχεία Κβαντομηχανικής

Συνοπτική θεωρία

1 Η ακτινοβολία του μέλανος σώματος.

Η θερμική ακτινοβολία. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που οφείλεται στην θερμοκρασία ενός σώματος ονομάζεται *θερμική ακτινοβολία*. Η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπει ένα σώμα σε ορισμένη θερμοκρασία, *κατανέμεται με τον ίδιο τρόπο στα διάφορα μήκη κύματος ανεξάρτητα από τη φύση του υλικού του σώματος*. Η εκπομπή θερμικής ακτινοβολίας από ένα σώμα είναι αποτέλεσμα των επιταχύνσεων ηλεκτρικών φορτίων κοντά στην επιφάνεια του σώματος που οφείλονται στη θερμική αναταραχή.

Το μέλαν σώμα. Μέλαν σώμα είναι ένα ιδανικό μοντέλο σώματος, το οποίο μπορεί να απορροφήσει πλήρως κάθε προσπίπτουσα σε αυτό ακτινοβολία από το υπέρυθρο έως το υπεριώδες. Ένα μέλαν σώμα δεν απορροφά μόνο κάθε ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτό αλλά ακτινοβολεί και το ίδιο. Η ονομασία μέλαν σώμα έχει δοθεί γιατί στη θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι μαύρο (μέλαν), επειδή απορροφά όλα τα μήκη κύματος, άρα και το ορατό φως, ενώ εκπέμπει υπέρυθη ακτινοβολία που αόρατη στα ανθρώπινα μάτια. Όμως ένα μέλαν σώμα δεν είναι απαραίτητα «μαύρο σώμα» αφού αν βρίσκεται σε κατάλληλη υψηλή θερμοκρασία έχει κάποιο χρώμα το οποίο εξαρτάται από τη θερμοκρασία του. Ένα μοντέλο μέλανος σώματος κατασκευάζεται αν δημιουργήσουμε μια κοιλότητα στο εσωτερικό ενός σφαιρικού σώματος η οποία επικοινωνεί με το περιβάλλον με μια πολύ μικρή οπή (σχ. 1).



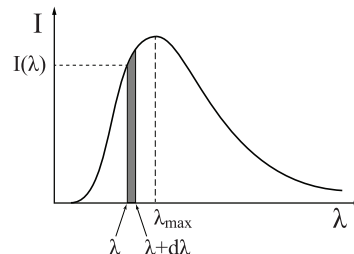
Σχ. 1

Χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος.

1. Το μέλαν σώμα εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε όλα τα μήκη κύματος (συνεχές φάσμα).

2. Η κατανομή της ακτινοβολίας που εκπέμπει το μέλαν σώμα στα διάφορα λ δεν εξαρτάται από την χημική του σύσταση αλλά μόνο από τη θερμοκρασία του.

3. Η ένταση ακτινοβολίας* που εκπέμπει ένα μέλαν σώμα δεν έχει ομοιόμορφη κατανομή σε όλα τα μήκη κύματος. Η κατανομή της έντασης στα διάφορα μήκη κύματος περιγράφεται από μιιά συνάρτηση του μήκους κύματος $I = I(\lambda)$ η οποία έχει την εξής ιδιότητα: για μια τιμή του μήκους κύματος λ το γινόμενο $I(\lambda)d\lambda$ δίνει την ένταση της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί σε μια απειροστή περιοχή μηκών κύματος μεταξύ λ και $\lambda + d\lambda$.



Σχ. 2. Γραφική παράσταση της έντασης της ακτινοβολίας μέλανος σώματος ανά μονάδα μήκους κύματος σε συνάρτηση με το μήκος κύματος, για ορισμένη θερμοκρασία. Το εμβαδόν της σκιασμένης λουρίδας ισούται με την ένταση της ακτινοβολίας στη περιοχή μηκών κύματος από λ έως $\lambda + d\lambda$.

* Ένταση ακτινοβολίας λέγεται η ενέργεια της ακτινοβολίας που διέρχεται κάθετα από μια επιφάνεια ανά μονάδα χρόνου και ανά μονάδα επιφάνειας. Στο S.I. μετριέται σε W/m^2 .

Στο σχήμα 3 φαίνεται η $I(\lambda)$ για τέσσερις διαφορετικές θερμοκρασίες.

Νόμος μετατόπισης του Wien. Το μήκος κύματος λ_{max} στο οποίο, για μια ορισμένη θερμοκρασία T , ένα μέλαν σώμα εκπέμπει το μεγαλύτερο ποσοστό της ακτινοβολούμενης ισχύος είναι αντιστρόφως ανάλογο της απόλυτης θερμοκρασίας T . Δηλαδή:

$$\lambda_{max} \cdot T = \sigma \tau \alpha \theta.$$

Η κβαντική θεωρία του Planck. Για να εξηγήσει θεωρητικά τις πειραματικές καμπύλες του σχήματος 4 ο Planck υπέθεσε ότι τα άτομα του μέλανος σώματος συμπεριφέρονται ως μικροσκοπικοί ηλεκτρομαγνητικοί ταλαντωτές που εκτελούν ταλαντώσεις με διαφορετικές συχνότητες. Για να εξασφαλίσει συμφωνία με τα πειραματικά δεδομένα ο Planck έκανε δύο πρωτοποριακές υποθέσεις:

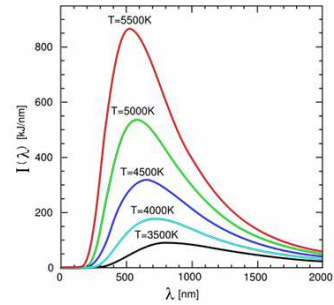
1. Η ενέργεια ενός ταλαντωτή δε μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή παρά μόνο ακέραια πολλαπλάσια της ποσότητας hf , όπου f είναι η συχνότητα του ταλαντωτή και h μία σταθερά που λέγεται σταθερά του Planck.

$$E_n = nhf \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Η ενέργεια λοιπόν ενός ταλαντωτή είναι κβαντισμένη. Η σταθερά Planck έχει τιμή $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J·s. Ο ακέραιος n λέγεται κβαντικός αριθμός.

2. Ένας ταλαντωτής δεν ακτινοβολεί ούτε απορροφά ενέργεια κατά συνεχή τρόπο. Μπορεί να μεταβάλλει την ενέργειά του μόνο κατά $\Delta E = hf$, εκπέμποντας ή απορροφώντας ισόποση ενέργεια. Το ελάχιστο ποσό ενέργειας που μπορεί να εκπέμψει ή να απορροφήσει ένας ταλαντωτής ο Planck το ονόμασε *κβάντο*. Όσο ο ταλαντωτής παραμένει σε κάποια κβαντισμένη κατάσταση δεν εκπέμπει ούτε απορροφά ακτινοβολία.

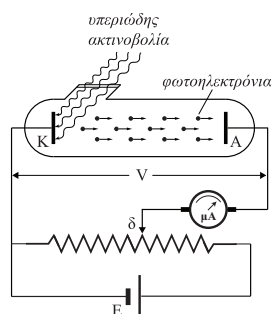
— Για ένα κλασικό ταλαντωτή του μακροκόσμου, το κβάντο hf είναι τόσο μικρό που δεν μπορεί να παρατηρηθεί. Επομένως το ενεργειακό φάσμα ενός ταλαντωτή του μακροκόσμου αν και διακριτό, φαίνεται να είναι συνεχές.



Σχ. 3

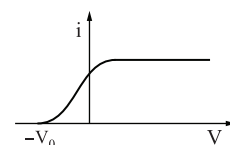
2 Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο είναι η εκπομπή ηλεκτρονίων από την επιφάνεια ενός μετάλλου όταν προσπίτει πάνω της υπεριώδης ή ακόμα και ορατή ακτινοβολία. Τα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται από το μέταλλο ονομάζονται *φωτοηλεκτρόνια*.



Σχ. 4

Για μια ορισμένη συχνότητα και ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας η ένταση του ρεύματος i μεταβάλλεται με την τάση V όπως δείχνει το διπλανό διάγραμμα.



Πειραματικά δεδομένα

1. Εκπομπή φωτοηλεκτρονίων γίνεται μόνον όταν η συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη μιας ορισμένης συχνότητας, η οποία είναι χαρακτηριστική για το μέταλλο. Αυτή η οριακή συχνότητα ονομάζεται *συχνότητα κατωφλίου* f_0 και είναι ανεξάρτητη από την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

2. Εάν $f > f_0$ τότε το πλήθος των φωτοηλεκτρονίων ανά sec είναι ανάλογο της έντασης της ακτινοβολίας.

3. Η ταχύτητα με την οποία εξέρχονται τα ηλεκτρόνια δεν εξαρτάται από την ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας αλλά μόνο από τη συχνότητά της και αυξάνεται όταν η συχνότητα της ακτινοβολίας μεγαλώνει.

4. Η εκπομπή των φωτοηλεκτρονίων γίνεται αμέσως μόλις η ακτινοβολία προσπέσει στην κάθοδο.

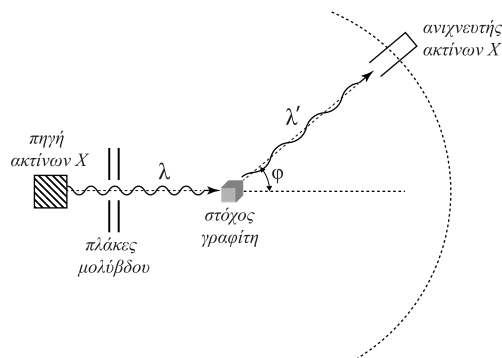
Ερμηνεία του Einstein. Ο Einstein θεώρησε ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία όχι μόνο εκπέμπεται και απορροφάται αλλά διαδίδεται και υπό μορφή κβάντων. Ο Einstein δηλαδή δέχθηκε ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από διάκριτα ποσά ενέργειας, τα οποία ονόμασε *φωτόνια*. Η ενέργεια E των φωτονίων σχετίζεται άμεσα με τη συχνότητα f του ηλεκτρομαγνητικού κύματος μέσω της σχέσης $E = hf$.

Όταν ένα φωτόνιο με ενέργεια hf προσπίπτει στην επιφάνεια ενός μετάλλου, ή απορροφάται από ένα ηλεκτρόνιο ή δεν απορροφάται καθόλου. Αν το φωτόνιο απορροφηθεί από ένα ηλεκτρόνιο, ένα μέρος της ενέργειάς του δαπανάται για να βγει το ηλεκτρόνιο έξω από το μέταλλο, υπερνικώντας τις ελκτικές δυνάμεις που το εμποδίζουν να διαφύγει από την επιφάνεια του μετάλλου, ενώ το υπόλοιπο εμφανίζεται ως κινητική ενέργεια K του φωτοηλεκτρονίου. Αν είναι $f > f_0$, τότε ισχύει η *φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein*

$$K = hf - \phi$$

όπου ϕ είναι η ελάχιστη ενέργεια που πρέπει να δοθεί σε ένα ηλεκτρόνιο για να μπορέσει να περάσει την επιφάνεια του μετάλλου και να βρεθεί έξω από αυτό. Η ενέργεια αυτή λέγεται *έργο εξαγωγής*.

3 Το φαινόμενο Compton

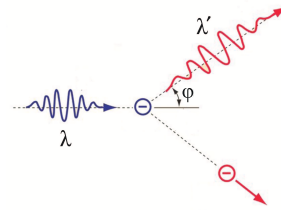


Σχ. 5. Δέση ακτίνων X προσπίπτει σε στόχο από γραφίτη και η σκεδαζόμενη ακτινοβολία ανιχνεύεται σε διάφορες γωνίες ϕ ως προς την διεύθυνση της αρχικής δέσμης. Το μήκος κύματος λ' διαπιστώνεται ότι εξαρτάται μόνο από τη γωνία σκέδασης ϕ και όχι από το υλικό στο οποίο προσπίπτουν οι ακτίνες X.

Ο Compton για να ερμηνεύσει τα πειραματικά δεδομένα υπέθεσε ότι τα φωτόνια συγκρούονται με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του γραφίτη, σύμφωνα με τους νόμους της κρούσης της Μηχανικής. Το φωτόνιο απορροφάται από το ηλεκτρόνιο και αμέσως μετά εκπέμπεται ένα νέο φωτόνιο σε μια κατεύθυνση γενικά διαφορετική από την αρχική.

Εφαρμόζοντας την αρχή διατήρησης της ορμής και τη διατήρηση της ενέργειας για την κρούση του φωτονίου με το ηλεκτρόνιο καταλήγουμε στη σχέση:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\phi)$$



όπου

λ' : το μήκος κύματος της σκεδαζομένης ακτινοβολίας

λ : το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας

h : η σταθερά του Planck

m : η μάζα του ηλεκτρονίου

c : η ταχύτητα του φωτός στο κενό

ϕ : η γωνία μεταξύ της προσπίπτουσας και της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας.

4 Η κυματική φύση της ύλης

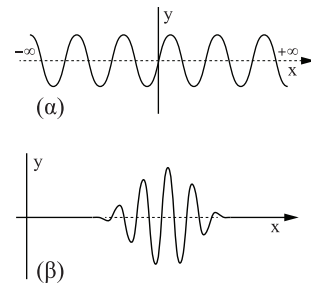
Ο de Broglie υπέθεσε ότι το ηλεκτρόνιο αλλά και κάθε άλλο σωματίδιο έχει διττή υπόσταση. Είναι σωματίδιο αλλά είναι και κύμα. Το μήκος κύματος λ ενός σωματίου με ορμή p δίνεται από τη σχέση:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

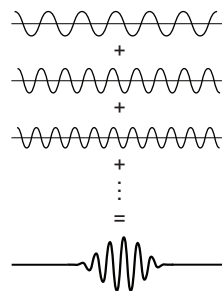
Το κύμα που αντιστοιχεί σε ένα σωματίδιο δεν είναι ούτε ηλεκτρομαγνητικό, ούτε ελαστικό (μηχανικό). Ο de Broglie το ονόμασε «οδηγό κύμα». Αργότερα επικράτησε η ονομασία *υψικό κύμα*. Τα υλικά κύματα de Broglie επιβεβαιώθηκαν πειραματικά από τους αμερικανούς Φυσικούς Davisson και Germer.

5 Η αρχή αβεβαιότητας του Heisenberg

Κυματοπακέτα. Ένα υλικό σωματίδιο δεν έχει άπειρη έκταση, άρα ένα κύμα De Broglie δεν μπορεί να εκτείνεται από το $-\infty$ έως το $+\infty$ όπως αυτό στο σχήμα 6α. Θα πρέπει λοιπόν το υλικό κύμα που το περιγράφει να είναι περιορισμένο σε μια μικρή περιοχή του χώρου (σχ. 6β). Έξω από αυτή την περιοχή δεν θα υπάρχει υλικό κύμα. Ένα τέτοιο κύμα λέγεται κυματοπακέτο, γιατί προκύπτει με επαλληλία ενός πολύ μεγάλου αριθμού κυμάτων με διαφορετικά μήκη κύματος (σχ. 7). Τα κύματα αυτά συμβάλλουν ενισχυτικά στη περιοχή που υπάρχει το κυματοπακέτο και αναιρετικά έξω από αυτή. Το σωματίδιο υπάρχει κάπου στην περιοχή του κυματοπακέτου το οποίο διαδίδεται με την ταχύτητα του σωματιδίου. Τα σωματίδια της ύλης περιγράφονται με κυματοπακέτα.

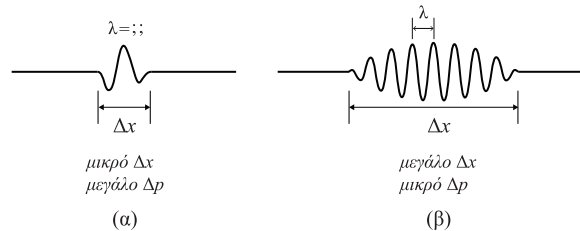


Σχ. 6



Σχ. 7

Όσο πιο στενό είναι ένα κυματοπακέτο τόσο πιο ακριβής είναι ο προσδιορισμός της θέσης του σωματιδίου. Όμως σε ένα στενό κυματοπακέτο το μήκος κύματος λ και η ορμή του σωματιδίου ($\lambda = h/p$) δεν είναι καλά ορισμένα (σχήμα 8α). Από την άλλη πλευρά, ένα ευρύ πακέτο κυμάτων όπως αυτό του σχήματος 8β, έχει μήκος κύματος ορισμένο με καλή ακρίβεια. Η ορμή τώρα είναι μία καλά ορισμένη ποσότητα, όμως δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε τη θέση του σωματιδίου σε συγκεκριμένη στιγμή γιατί το εύρος του κυματοπακέτου είναι πολύ μεγάλο.



Σχ. 8

Η αρχή αβεβαιότητας (ή απροσδιοριστίας) του Heisenberg.

— Αρχή αβεβαιότητας θέσης-ορμής. Εάν μετρήσουμε τη θέση ενός σωματιδίου με αβεβαιότητα Δx και ταυτόχρονα μετρήσουμε την ορμή του με αβεβαιότητα Δp , τότε ισχύει:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{2\pi}$$

Η θέση και η ορμή ενός ηλεκτρονίου είναι δύο ποσότητες που όσο καλύτερα γνωρίζουμε τη μία τόσο μεγαλύτερη άγνοια έχουμε για την άλλη.

— Αρχή της αβεβαιότητας ενέργειας-χρόνου. Αν Δt είναι το χρονικό διάστημα που παραμένει ένα φυσικό σύστημα σε μία κατάσταση και ΔE η αβεβαιότητα της ενέργειάς του (το εύρος της διασποράς των τιμών της ενέργειας του συστήματος), τότε ισχύει:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{2\pi}$$

Το Δt δεν είναι η αβεβαιότητα στη μέτρηση κάποιου χρονικού διαστήματος, αλλά ο χρόνος, κατά μέσο όρο, που παραμένει το σύστημα σε μια δεδομένη κατάσταση.

Η κατάργηση της έννοιας της τροχιάς. Η έννοια της τροχιάς είναι σύμφυτη με την ιδέα, ότι ένα σώμα έχει κάθε χρονική στιγμή μία καλά καθορισμένη θέση και μία καλά καθορισμένη ταχύτητα. Κάτι τέτοιο είναι αυτονόητο για τα σώματα του μακροκόσμου όπου η θέση και η ταχύτητα ενός σώματος είναι δυνατό να μετρηθούν με όση ακρίβεια θέλουμε. Όμως για τα σωματίδια του μικροκόσμου λόγω της αρχής αβεβαιότητας του Heisenberg είναι αδύνατος ο ταυτόχρονος ακριβής προσδιορισμός της θέσης και της ορμής τους. Άρα δεν έχει νόημα η έννοια της τροχιάς για τα σωματίδια του μικροκόσμου.

Η αδυναμία να γνωρίζουμε ταυτόχρονα που ακριβώς βρίσκεται ένα σωματίδιο του μικροκόσμου και προς τα που κινείται έχει ως συνέπεια το σωματίδιο να παρουσιάζει μία παράδοξη και δυσάρεστη νοητικά συμπεριφορά: παρόλο που έχει σωματιδιακές ιδιότητες (είναι αδιαίρετο, έχει ορμή κλπ.), κατά την κίνησή του δεν ακολουθεί κάποια τροχιά. Η απουσία τροχιάς για τα σωματίδια του μικροκόσμου έχει ως επακόλουθο η Κλασική Μηχανική να είναι ανεπαρκής για να περιγράψει τη συμπεριφορά τους.

6 Κυματοσυνάρτηση και εξίσωση του Schrödinger

Σε ατομική κλίμακα δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε την τροχιά ενός σωματιδίου. Εκείνο που μπορούμε να προσδιορίσουμε για ένα σωματίδιο του μικροκόσμου είναι η πιθανότητα να βρεθεί μια χρονική στιγμή t σε κάποια περιοχή του χώρου. Συνεπώς ο προσδιορισμός της θέσης ενός σωματιδίου συγκεκριμένης ταχύτητας μπορεί να γίνει μόνο σε στατιστική βάση.

Η πιθανότητα να βρεθεί το σωματίδιο σε μια περιοχή του χώρου υπολογίζεται με τη βοήθεια μιας συνάρτησης που έχει την ίδια μορφή με εκείνη που περιγράφει τη διάδοση ενός κύματος και γι αυτό λέγεται *κυματοσυνάρτηση* Ψ . Η *κυματοσυνάρτηση* Ψ είναι η *κυματική διαταραχή* (το *κυμαινόμενο μέγεθος*) των υλικών κυμάτων. Η Ψ είναι συνάρτηση της θέσης και του χρόνου, $\Psi = \Psi(x, y, z, t)$ και προκύπτει από τη λύση μιας εξίσωσης γνωστής ως εξίσωση του Schrödinger. Ο Max Born έδωσε την εξής ερμηνεία για την κυματοσυνάρτηση Ψ : η πιθανότητα να βρεθεί το σωματίδιο μιά χρονική στιγμή t σε μια περιοχή του χώρου με στοιχειώδη όγκο dV , γύρω από ένα σημείο με συντεταγμένες (x, y, z) , δίνεται από τη σχέση $|\Psi(x, y, z, t)|^2 dV$.

Η κυματοσυνάρτηση Ψ αυτή καθαυτή δεν έχει φυσική σημασία. Δεν είναι μετρήσιμο μέγεθος. Ως κύμανση δεν απαιτεί ένα μέσο διάδοσης όπως π.χ. ένα υδάτινο ή ένα ακουστικό κύμα. Εκείνο που έχει σημαντική φυσική σημασία είναι το $|\Psi|^2$ που δίνει την πιθανότητα να παρατηρήσουμε το σωματίδιο σε μια μικρή περιοχή του χώρου.

Η εξίσωση Schrödinger είναι μία διαφορική εξίσωση (ένας τύπος εξίσωσης που περιλαμβάνει ως άγνωστο μία συνάρτηση και όχι έναν αριθμό) η λύση της οποίας δίνει τη ζητούμενη κυματοσυνάρτησή του Ψ . Αποτελεί αξίωμα για την Κβαντομηχανική. Ο ρόλος της είναι όμοιος με τη θεμελιώδη εξίσωση της Μηχανικής $\vec{F} = m\vec{a}$. Οι νόμοι του Νεύτωνα δεν αποδεικνύονται, στηριζόμενοι σε κάποιες άλλες αρχές. Απλά επιβεβαιώνονται πειραματικά και γι' αυτό γίνονται αποδεκτοί. Το ίδιο συμβαίνει και με την εξίσωση του Schrödinger, η οποία κατόρθωσε να συνοψίσει όλες τις επί μέρους υποθέσεις (π.χ. κβάντωση της ενέργειας των αρμονικών ταλαντωτών, η κβάντωση της στροφορμής και της ενέργειας του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου κ.λπ.), που είχαν γίνει για να ερμηνεύσουν τη συμπεριφορά του μικρόκοσμου.

1 Η ακτινοβολία του μέλανος σώματος

Ερωτήσεις θεωρίας

Ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής

Στις ερωτήσεις 1-12 βάλτε σε ένα κύκλο το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση.

- 1** Η ένταση της ακτινοβολίας είναι ένα φυσικό μέγεθος που εκφράζει την ενέργεια της ακτινοβολίας:
- ανά μονάδα επιφάνειας που εκπέμπεται από το σώμα.
 - ανά μονάδα χρόνου που εκπέμπεται από το σώμα.
 - ανά μονάδα επιφάνειας που εκπέμπεται από σώμα στη μονάδα του χρόνου.
 - ανά μονάδα μήκους κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το σώμα.
- 2** Ένα σιδερένιο αντικείμενο όταν θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία κοκκινίζει. Η θερμοκρασία τότε είναι:
- Γύρω στους 100° .
 - Μεταξύ 100° και 300° .
 - Λίγο μεγαλύτερη από 1000 K .
 - Μεγαλύτερη από 3000 K .
- 3** Μέλαν λέγεται ένα σώμα όταν:
- δεν εκπέμπει ακτινοβολία.
 - απορροφά πλήρως το ορατό φως.
 - απορροφά πλήρως όλο το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.
 - βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία.
- 4** Για μέλαν σώμα ορισμένης θερμοκρασίας η ένταση της ακτινοβολίας ανά μονάδα μήκους κύματος:
- Είναι ανάλογη της συχνότητας ακτινοβολίας.
 - Είναι ίδια για όλα τα μήκη κύματος.
 - Γίνεται μέγιστη για κάποιο μήκος κύματος.
 - Έχει μονάδες Watt/m .
- 5** Ένα μέλαν σώμα σε θερμοκρασία T εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η ένταση της οποίας:
- κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλα τα μήκη κύματος.
 - το μεγαλύτερο τμήμα της βρίσκεται σε μιά στενή περιοχή μηκών κύματος.
 - είναι αύξουσα συνάρτηση του μήκους κύματος.
 - είναι φθίνουσα συνάρτηση του μήκους κύματος.
- 6** Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία του Planck:
- Η ενέργεια που μεταφέρει η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία παίρνει κάθε τιμή.

β. Η ενέργεια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας παίρνει τιμές οι οποίες είναι ακέραια πολλαπλάσια κάποιας στοιχειώδους ποσότητας.

γ. Η ενέργεια που μπορεί να εκπέμπει ή απορροφά ένα σώμα είναι ακέραιο πολλαπλάσιο μιας στοιχειώδους ποσότητας που ονομάζεται «κβάντο» ενέργειας.

δ. Τα άτομα μπορούν να απορροφήσουν κάθε ποσότητα ενέργειας.

7 Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία του Planck:

α. Η ενέργεια ταλάντωσης των ατόμων μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή.

β. Οι ενέργειες των ταλαντούμενων ατόμων είναι ακέραια πολλαπλάσια μιας ελάχιστης τιμής.

γ. Το ταλαντούμενο άτομο μπορεί να εκπέμπει οποιοδήποτε ποσό ενέργειας.

δ. Το φάσμα του μέλανος σώματος είναι γραμμικό.

8 Το μεγαλύτερο τμήμα της ενέργειας που εκπέμπει το μέλαν σώμα περιορίζεται σε μια στενή περιοχή με «αίχμη» κάποιο μήκος κύματος λ_{max} το οποίο:

α. Είναι ίδιο για όλες τις θερμοκρασίες.

β. Στους 1000 K βρίσκεται στην περιοχή της υπεριώδους ακτινοβολίας.

γ. Αυξάνεται αν αυξηθεί η θερμοκρασία.

δ. Μειώνεται αν αυξηθεί η θερμοκρασία.

9 Αν λ_{max} είναι το μήκος κύματος στο οποίο αντιστοιχεί η μεγιστοποίηση της έντασης ακτινοβολίας ανά μονάδα μήκους κύματος και T η θερμοκρασία ενός μέλανος σώματος:

α. Το λ_{max} είναι το μέγιστο μήκος κύματος που εκπέμπει το σώμα.

β. Το λ_{max} δεν εξαρτάται από τη θερμοκρασία.

γ. Το λ_{max} διπλασιάζεται αν διπλασιαστεί η T .

δ. Το λ_{max} διπλασιάζεται αν υποδιπλασιαστεί η T .

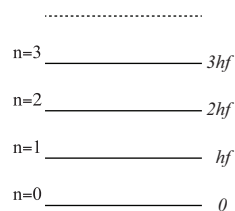
10 Το διπλανό σχήμα δείχνει τις ενεργειακές στάθμες ενός ατόμου που ακολουθεί τις υποθέσεις του Planck. Το άτομο αρχικά βρίσκεται στην ενεργειακή στάθμη με $n = 2$ και στη συνέχεια εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία συχνότητας f . Εξαιτίας της εκπομπής της ακτινοβολίας:

α. Το άτομο δεν αλλάζει ενεργειακή κατάσταση.

β. Η ενέργεια του ατόμου αυξάνεται κατά ένα σκαλοπάτι στην κλίμακα των ενεργειακών σταθμών.

γ. Η ενέργεια του ατόμου μειώνεται κατά δύο σκαλοπάτια στην κλίμακα των ενεργειακών σταθμών.

δ. Το άτομο μεταβαίνει στην ενεργειακή στάθμη που αντιστοιχεί στον κβαντικό αριθμό $n = 1$.



11 Στο διπλανό σχήμα δείχνει τις ενεργειακές στάθμες ενός ατόμου που ακολουθεί τις υποθέσεις του Planck. Όταν το άτομο βρίσκεται στην ενεργειακή στάθμη με $n = 3$ έχει ενέργεια 12 eV. Το κβάντο ενέργειας για το άτομο αυτό είναι ίσο με:

- α. 12 eV β. 6 eV γ. 4 eV δ. 3 eV

12 Απλός αρμονικός ταλαντωτής με μάζα $m = 1 \text{ kg}$ εκτελεί απλή αρμονική ταλάντωση με σταθερά επαναφοράς $D = 400 \text{ N/m}$. Αν h είναι η σταθερά του Planck και $\hbar = h/2\pi$, τότε ένα κβάντο ενέργειας για τον ταλαντωτή αυτόν μονάδες (S.I.) είναι ίσο με:

- α. $20\hbar$ β. $15\hbar$ γ. $\frac{20h}{\pi}$ δ. $\frac{5h}{\pi}$

Ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής με αιτιολόγηση

1 Στο διπλανό διάγραμμα, οι καμπύλες (α) και (β) αναφέρονται στο ίδιο μέλαν σώμα και παριστάνουν την ένταση της ακτινοβολίας ανά μονάδα μήκους κύματος $I(\lambda)$ σε συνάρτηση με το μήκος κύματος λ , για δύο απόλυτες θερμοκρασίες T_1 και T_2 , με $T_2 = 2T_1$. Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η μέγιστη ένταση της ακτινοβολίας ανά μονάδα μήκους κύματος αντιστοιχεί στα μήκη κύματος λ_1 και λ_2 . Αν E_1 και E_2 , είναι η ενέργεια που μεταφέρει το κβάντο της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στα μήκη κύματος λ_1 και λ_2 , τότε ισχύει:

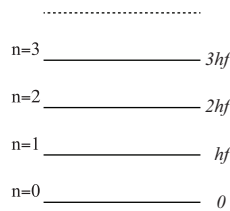
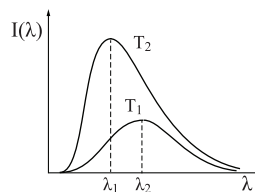
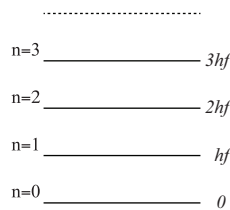
- α. $\frac{E_1}{E_2} = 1$ β. $\frac{E_1}{E_2} = 2$ γ. $\frac{E_1}{E_2} = \frac{1}{2}$

Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση και να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

2 Στο διπλανό σχήμα φαίνεται η εικόνα των ενεργειακών σταθμών στις οποίες μπορεί να βρεθεί ένα άτομο ενός μέλανος σώματος. Η διαφορά ενέργειας μεταξύ των ενεργειακών σταθμών που αντιστοιχούν σε κβαντικούς αριθμούς $n = 3$ και $n = 1$ ισούται με $6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. Αν το γινόμενο της σταθεράς του Planck και της ταχύτητας του φωτός είναι $hc = 19,86 \cdot 10^{-26} \text{ J}\cdot\text{m}$, τότε το μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπει το άτομο αυτό είναι:

- α. $331 \mu\text{m}$ β. $1324 \mu\text{m}$ γ. $662 \mu\text{m}$

Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση και να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.



Ασκήσεις

1 Η επιφάνεια του Ήλιου βρίσκεται σε απόλυτη θερμοκρασία $T_H = 5800\text{ K}$ και η συχνότητα για την οποία η ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπει ανά μονάδα μήκους κύματος είναι μέγιστη, ισούται με $f_1 = 6 \cdot 10^{14}\text{ Hz}$.

α. Να βρείτε την τιμή του μήκους κύματος αιχμής της ακτινοβολίας που εκπέμπει το ανθρώπινο σώμα αν η θερμοκρασία του είναι 37° C . Σε ποια περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ανήκει η ακτινοβολία αυτή;

β. Να εξετάσετε ποιο είναι το φαινόμενο χρώμα του αστέρα Βέγα αν γνωρίζετε ότι η επιφάνειά του βρίσκεται σε απόλυτη θερμοκρασία $T_B = 9600\text{ K}$.

γ. Να σχεδιάσετε ποιοτικά τη γραφική παράσταση της έντασης ανά μονάδα μήκους κύματος της ακτινοβολίας $I(\lambda)$ του Ήλιου και του Βέγα σε συνάρτηση με το λ , στο ίδιο σύστημα αξόνων. Στο σχήμα να φαίνονται και τα μήκη κύματος αιχμής της ακτινοβολίας των δύο αστεριών.

Θεωρήστε ότι οι επιφάνειες των αστεριών καθώς και το δέρμα του ανθρώπου συμπεριφέρονται ως μέλανα σώματα.

[Απ.: α. $\lambda_{max} = 9355\text{ nm}$ (υπέρυθρο)

β. $\lambda_{max} = 302\text{ nm}$ (υπεριώδες) χρώμα: λευκό-μπλέ]

2 α. Ένα άτομο ενός μέλανος σώματος που βρίσκεται σε απόλυτη θερμοκρασία $T = 5800\text{ K}$ μεταβαίνει από μια ενεργειακή στάθμη στην αμέσως κατώτερη και εκπέμπει ακτινοβολία ίση με το μήκος κύματος αιχμής. Να υπολογίσετε την ενέργεια του φωτονίου της ακτινοβολίας που εκπέμπει το άτομο αυτό και να σχεδιάσετε το διάγραμμα των ενεργειακών σταθμών του για τις τέσσερις πρώτες στάθμες χαμηλότερης ενέργειας.

β. Ένα σώμα μάζας $m = 0,5\pi\text{ kg}$ είναι δεμένο σε κατακόρυφο ελατήριο σταθεράς $k = 8\pi\text{ N/m}$ και ταλαντώνεται με αρχικό πλάτος $A = 2\text{ cm}$. Αν θεωρήσουμε το σύστημα αυτό ως ταλαντωτή που ακολουθεί την υπόθεση Planck (κβαντικός ταλαντωτής), να υπολογίσετε:

β1. Τον κβαντικό αριθμό της ενεργειακής στάθμης που βρίσκεται αρχικά ο ταλαντωτής αυτός.

β2. Το ελάχιστο ποσό της ενέργειας που μπορεί να εκπέμψει ο συγκεκριμένος ταλαντωτής αν χάσει ενέργεια.

Δίνονται: η σταθερά του Planck $h = (20/3) \cdot 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$ και η ταχύτητα του φωτός στο κενό $c = 3 \cdot 10^8\text{ m/s}$. Η σταθερά μετατόπισης του Wien ισούται με $2,9 \cdot 10^{-3}\text{ m}\cdot\text{K}$ και για τις πράξεις $\pi = 3,14$ και $\pi^2 = 10$.

[Απ.: α. $E = 4 \cdot 10^{-19}\text{ J}$, β1. $n = 12 \cdot 10^{30}$

β2. $E_{min} = 4,25 \cdot 10^{-34}\text{ J}$]

2 Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Ερωτήσεις θεωρίας

Ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής

Στις ερωτήσεις 1-12 βάλτε σε ένα κύκλο το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση.

1 Όταν μονοχρωματικό φως πέφτει πάνω σε μέταλλο θα εκδηλωθεί το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο :

- α. Όταν ένταση της ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη από κάποια τιμή.
- β. Όταν το μήκος κύματος της ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερο από κάποια τιμή.
- γ. Όταν η συχνότητα της ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη από κάποια τιμή.
- δ. Όποια κι αν είναι η συχνότητα της ακτινοβολίας.

2 Η κάθοδος ενός φωτοκυτάρου ακτινοβολείται με μονοχρωματικό φως συγκεκριμένου μήκους κύματος. Το μέγεθος που καθορίζει αν θα εξαχθούν ηλεκτρόνια από την κάθοδο είναι :

- α. Η ένταση του φωτός.
- β. Ο χρόνος έκθεσης της καθόδου στο φως.
- γ. Το εμβαδόν της επιφάνειας της καθόδου.
- δ. Το έργο εξαγωγής του μετάλλου της καθόδου.

3 Η επιφάνεια ενός μετάλλου φωτίζεται με ακτινοβολία της οποίας το μήκος κύματος είναι μικρότερο από το μήκος κύματος που αντιστοιχεί στη συχνότητα κατωφλίου για αυτό το μέταλλο. Καθώς η ένταση του φωτός αυξάνεται :

- α. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο δεν θα συμβεί όποια κι αν είναι η ένταση φωτός.
- β. Ο αριθμός των φωτοηλεκτρονίων θα αυξηθεί.
- γ. Η ενέργεια των φωτοηλεκτρονίων θα αυξηθεί.
- δ. Τόσο η ενέργεια όσο και ο αριθμός των φωτοηλεκτρονίων θα αυξηθούν.

4 Το έργο εξαγωγής ηλεκτρονίων από ένα μέταλλο :

- α. Ισούται με την κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων αμέσως μόλις εξέρχονται από το μέταλλο.

- β. Εξαρτάται από τη συχνότητα της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο μέταλλο.

- γ. Εξαρτάται από τη συχνότητα κατωφλίου f_0 .

- δ. Είναι το ελάχιστο ποσό ενέργειας που πρέπει να προσλάβει ένα ηλεκτρόνιο για να εξέλθει από την επιφάνεια του μετάλλου με μηδενική ταχύτητα.

5 Ο αριθμός των ηλεκτρονίων ανά μονάδα χρόνου που αποσπώνται από το μέταλλο της καθόδου σε μία φωτοηλεκτρική διάταξη είναι :

α. Ανάλογος της συχνότητας της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο μέταλλο.

β. Ανεξάρτητος από την ένταση της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο μέταλλο.

γ. Ανάλογος με την ένταση της ακτινοβολίας που πέφτει στο μέταλλο.

δ. Ανάλογος με το έργο εξαγωγής του μετάλλου.

6 Μονοχρωματική ακτινοβολία μήκους κύματος λ προσπίπτει στην επιφάνεια ενός μετάλλου. Ένα ηλεκτρόνιο του μετάλλου απορροφά την ενέργεια ενός φωτονίου της ακτινοβολίας και εγκαταλείπει το μέταλλο με μηδενική κινητική ενέργεια. Το έργο εξαγωγής ϕ του ηλεκτρονίου από το μέταλλο ικανοποιεί τη σχέση :

α. $\phi = \frac{hc}{\lambda}$

β. $\phi = \frac{h}{\lambda}$

γ. $\phi = \frac{2hc}{\lambda}$

δ. $\phi = \frac{hc}{2\lambda}$

όπου h η σταθερά του Planck και c η ταχύτητα του φωτός.

7 Στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο η τάση αποκοπής :

α. Είναι ίδια για όλα τα μέταλλα.

β. Είναι μηδέν όταν η συχνότητα είναι ίση με την συχνότητα κατωφλίου.

γ. Αυξάνει αν αυξηθεί ο αριθμός των φωτονίων που πέφτουν στην κάθοδο.

δ. Είναι ανάλογη της συχνότητας της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

8 Στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο η τάση αποκοπής :

α. Εξαρτάται από την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

β. Μειώνεται αν αυξηθεί η συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

γ. Μειώνεται αν αυξηθεί το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

δ. Είναι ανεξάρτητη από το έργο εξαγωγής.

9 Η κινητική ενέργεια με την οποία εξέρχονται τα ηλεκτρόνια από τη φωτοκάθοδο εξαρτάται :

α. Από την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας για δεδομένη συχνότητα.

β. Από την τάση μεταξύ ανόδου - καθόδου.

γ. Από τη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

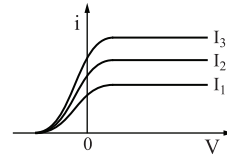
δ. Από τον αριθμό των φωτοηλεκτρονίων ανά μονάδα χρόνου που εξέρχονται από την κάθοδο.

10 Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, της οποίας η ενέργεια φωτονίων είναι 8eV προσπίπτει σε μια πλάκα νικελίου. Τα φωτοηλεκτρόνια που εξέρχονται από την πλάκα έχουν μέγιστη κινητική ενέργεια 3eV . Το έργο εξαγωγής του νικελίου είναι:

- α. 11eV β. 5eV γ. 3eV δ. 8eV

11 Στο διπλανό διάγραμμα φαίνεται πώς μεταβάλλεται η ένταση i του φωτοηλεκτρικού ρεύματος σε συνάρτηση με τη διαφορά δυναμικού V μεταξύ ανόδου-κάθόδου, όταν στην κάθοδο ενός φωτοκυττάρου προσπίπτει ακτινοβολία συγκεκριμένης συχνότητας f και διαφορετικής έντασης I . Για τις τιμές I_1 , I_2 και I_3 της έντασης της ακτινοβολίας, ισχύει:

- α. $I_1 = I_2 = I_3$ β. $I_1 > I_2 > I_3$
 γ. $I_1 < I_2 < I_3$ δ. $I_1 < I_2 = I_3$



12 Πειραματιζόμενοι με μια συσκευή μελέτης του φωτοηλεκτρικού φαινομένου φωτίζουμε την κάθοδο με διάφορες ακτινοβολίες διαφορετικού μήκους κύματος και μετράμε την τάση αποκοπής. Από τις παρακάτω ακτινοβολίες μεγαλύτερη τάση αποκοπής μετράμε όταν χρησιμοποιούμε:

- α. υπέρυθρη ακτινοβολία.
 β. ερυθρό φως.
 γ. ιώδες φως.
 δ. υπεριώδη ακτινοβολία.

Ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής με αιτιολόγηση

1 Χρησιμοποιώντας τα σύμβολα του σχολικού βιβλίου για τα αντίστοιχα μεγέθη, η ορμή ενός φωτονίου που πέφτει στην κάθοδο ενός φωτοηλεκτρικού στοιχείου είναι:

- α. $p = \frac{V_0 e + \phi}{c}$
 β. $p = K_{max} + \phi$
 γ. $p = V_0 e + \phi$

Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση.

Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

2 Μονοχρωματική ακτινοβολία μήκους κύματος λ πέφτει σε μια μεταλλική επιφάνεια της οποίας το έργο εξαγωγής είναι ϕ και προκαλεί οριακά την εξαγωγή ηλεκτρονίων. Αν στην ίδια μεταλλική επιφάνεια πέσει μονοχρωματική ακτινοβολία με μήκος κύματος $\lambda/3$ ο λόγος της κινητικής ενέργειας με την οποία εξέρχονται τα ηλεκτρόνια προς το έργο εξαγωγής είναι:

- α. 1 β. 2 γ. 3

Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση.

Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

3 Μονοχρωματική ακτινοβολία μήκους κύματος λ_1 προσπίπτει σε μεταλλική επιφάνεια από την οποία τα ηλεκτρόνια εξέρχονται με κινητική ενέργεια K και η τάση αποκοπής είναι V_0 . Όταν πάνω στην ίδια μεταλλική επιφάνεια προσπίπτει μονοχρωματική ακτινοβολία μήκους κύματος $\lambda_2 = \lambda_1/4$ τότε πενταπλασιάζεται η τάση αποκοπής. Το έργο εξαγωγής ϕ του μετάλλου είναι:

$$\alpha. \phi = \frac{K}{2} \quad \beta. \phi = \frac{K}{3} \quad \gamma. \phi = \frac{K}{4}$$

Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση.
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

4 Τα ηλεκτρόνια που βγαίνουν από την επιφάνεια ενός μετάλλου που φωτίζεται με μονοχρωματική ακτινοβολία μήκους κύματος λ , έχουν κινητική ενέργεια $K = hc/3\lambda$, όπου h η σταθερά του Planck και c η ταχύτητα του φωτός. Αν στην ίδια επιφάνεια πέσει άλλη μονοχρωματική ακτινοβολία μήκους κύματος $\lambda_1 = \lambda/2$ τότε τα φωτοηλεκτρόνια που εξέρχονται από την κάθοδο έχουν κινητική ενέργεια:

$$\alpha. K_1 = 0 \quad \beta. K_1 = 4K_1/3 \quad \gamma. K_1 = 4K$$

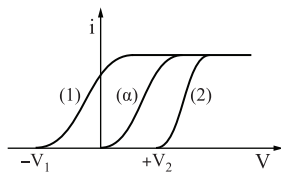
Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση.
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

5 Στην κάθοδο μιας συσκευής μελέτης του φωτοηλεκτρικού φαινομένου προσπίπτει μονοχρωματική ακτινοβολία συχνότητας f και διαπιστώνουμε ότι η τάση αποκοπής για την ακτινοβολία αυτή έχει τιμή ίση με V_1 . Αν στην κάθοδο της συσκευής πέσει άλλη ακτινοβολία διπλάσιας συχνότητας, τότε η τάση αποκοπής γίνεται $V_2 = 6V_1$. Αν f_0 είναι η συχνότητα κατωφλίου για το μέταλλο της καθόδου, τότε ισχύει:

$$\alpha. f = \frac{6}{5}f_0 \quad \beta. f = \frac{3}{2}f_0 \quad \gamma. f = \frac{5}{4}f_0$$

Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση.
Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

6 Η καμπύλη (α) του διπλανού διαγράμματος $i-V$ παριστάνει την ένταση i του ρεύματος των φωτοηλεκτρονίων που εκπέμπονται από την κάθοδο ενός φωτοκυττάρου, σε συνάρτηση με την τάση V μεταξύ ανόδου-καθόδου ($V = V_A - V_K$), όταν στην κάθοδο προσπίπτει ακτινοβολία συχνότητας f .



1. Η συχνότητα f της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην κάθοδο του φωτοκυττάρου, είναι:

- α. Ίση με τη συχνότητα κατωφλίου f_0 .
- β. Μεγαλύτερη από τη συχνότητα κατωφλίου f_0 .
- γ. Μικρότερη από τη συχνότητα κατωφλίου f_0 .

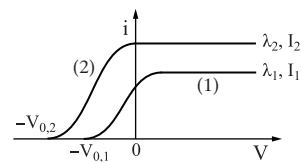
Να επιλέξετε τη σωστή πρόταση και να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

2. Αν στην κάθοδο του φωτοκυττάρου προσπίπτει ακτινοβολία μεγαλύτερης συχνότητας, χωρίς να αλλάξει ο αριθμός των φωτονίων που προσπίπτουν ανά μονάδα χρόνου, τότε η γραφική παράσταση $i-V$ θα έχει τη μορφή:

- α. της καμπύλης (1).
- β. της καμπύλης (2).
- γ. πάλι της καμπύλης (α).

Να επιλέξετε τη σωστή πρόταση και να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

7 Στην κάθοδο ενός φωτοκυττάρου προσπίπτει κατάλληλη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, οπότε εκπέμπονται φωτοηλεκτρόνια τα οποία συλλέγονται από την άνοδο. Με τη βοήθεια μιας ποτενσιομετρικής διάταξης μπορούμε να μεταβάλλουμε τη διαφορά δυναμικού V μεταξύ ανόδου και καθόδου ($V = V_A - V_K$) και να κατασκευάσουμε το διάγραμμα της έντασης i του ρεύματος των φωτοηλεκτρονίων σε συνάρτηση με τη διαφορά δυναμικού V . Χρησιμοποιώντας μονοχρωματικές ακτινοβολίες με μήκη κύματος λ_1 και λ_2 και οι οποίες έχουν εντάσεις ακτινοβολίας I_1 και I_2 αντίστοιχα σχεδιάζουμε τις καμπύλες (1) και (2) που φαίνονται στο διπλανό διάγραμμα. Ο αριθμός των φωτονίων ανά μονάδα χρόνου που προσπίπτει στην κάθοδο είναι ο ίδιος και στα δύο πειράματα.

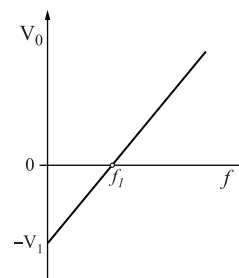


Για τα μήκη κύματος λ_1 και λ_2 και τις εντάσεις ακτινοβολίας I_1 και I_2 αντίστοιχα, ισχύει:

- α. $\lambda_1 > \lambda_2$ και $I_1 < I_2$
- β. $\lambda_1 > \lambda_2$ και $I_1 > I_2$
- γ. $\lambda_1 < \lambda_2$ και $I_1 > I_2$
- δ. $\lambda_1 < \lambda_2$ και $I_1 < I_2$

Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση και να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

8 Στο διπλανό διάγραμμα φαίνεται η γραφική παράσταση της τάσης αποκοπής σε συνάρτηση με τη συχνότητα f της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην κάθοδο μιας συσκευής μελέτης του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Αν προεκταθεί η γραφική παράσταση τέμνει τον κατακόρυφο άξονα στην τιμή $-V_1$. Αν η συχνότητα της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην ίδια κάθοδο γίνει ίση με $3f_1$, τότε η τάση αποκοπής για τη συχνότητα αυτή είναι:



- α. $3V_1$
- β. $2V_1$
- γ. V_1

Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση.

Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

Ασκήσεις

1 Σε ένα πείραμα φωτοηλεκτρικού φαινομένου υπεριώδης μονοχρωματική ακτινοβολία με μήκος κύματος 254 nm προσπίπτει σε μεταλλική επιφάνεια με αποτέλεσμα την εξαγωγή φωτοηλεκτρονίων. Αν η τάση αποκοπής που απαιτείται ώστε τα ηλεκτρόνια να σταματήσουν πριν φτάσουν στην άνοδο είναι $2,1\text{ V}$. Βρείτε:

α. Την ενέργεια των φωτονίων της υπεριώδους ακτινοβολίας.

β. Το έργο εξαγωγής για την επιφάνεια χαλκού σε eV.

γ. Το μήκος κύματος κατωφλιού για την επιφάνεια του χαλκού.

Δίνονται: η σταθερά του Planck $h = 6,63 \cdot 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$, η ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο κενό $c = 3 \cdot 10^8\text{ m/s}$ και ότι $1\text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ J}$.

2 Φωτόνια μήκους κύματος $\lambda = 166\text{ nm}$ προσπίπτουν σε μεταλλική επιφάνεια και εκπέμπονται φωτοηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται εισέρχονται σε μία περιοχή με ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης $B = 5,2 \cdot 10^{-4}\text{ T}$ και έτσι διαγράφουν κυκλική τροχιά ακτίνας $R = 1,5\text{ cm}$. Βρείτε:

α. Την ορμή και την κινητική ενέργεια των φωτοηλεκτρονίων.

β. Την ενέργεια και την ορμή των φωτονίων.

γ. Το έργο εξαγωγής του μετάλλου.

Δίνονται: η σταθερά του Planck $h = 6,63 \cdot 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$, η ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο κενό $c = 3 \cdot 10^8\text{ m/s}$, $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}\text{ kg}$ και ότι $1\text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ J}$.

3 Σε μία φωτοηλεκτρική διάταξη η προσπίπτουσα στην κάθοδο ακτινοβολία έχει μήκος κύματος 400 nm . Αν το έργο εξαγωγής είναι $\phi = 2,1\text{ eV}$ και τα ηλεκτρόνια εξέρχονται με ρυθμό $2 \cdot 10^{10}$ ηλεκτρόνια/s. Να υπολογίσετε:

α. Την ισχύ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

β. Τη συχνότητα κατωφλιού για το μέταλλο της καθόδου.

γ. Την μέγιστη ένταση του ρεύματος στο κύκλωμα.

δ. Πως θα μεταβληθεί η μέγιστη ένταση του ρεύματος.

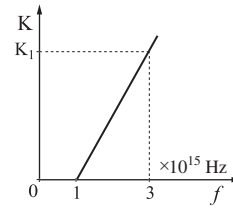
i. Αν η ισχύς της ακτινοβολίας διπλασιαστεί χωρίς να μεταβληθεί η συχνότητα.

ii. Αν το μήκος κύματος αυξηθεί κατά 25% και η ισχύς της ακτινοβολίας μείνει η ίδια.

Θεωρείστε πως κάθε φωτόνιο προκαλεί την εξαγωγή ενός ηλεκτρονίου.

Δίνονται: η σταθερά του Planck $h = 6,63 \cdot 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$, η ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο κενό $c = 3 \cdot 10^8\text{ m/s}$ και ότι $1\text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ J}$.

4 Η κάθοδος μιας συσκευής μελέτης του φωτοηλεκτρικού φαινομένου έχει επιστρωθεί με μέταλλο Α. Στο διπλανό σχήμα φαίνεται η γραφική παράσταση της κινητικής ενέργειας των φωτοηλεκτρονίων που εξέρχονται από το μέταλλο Α σε συνάρτηση με τη συχνότητα της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην κάθοδο.



α. Να βρείτε το έργο εξαγωγής ϕ_A για το μέταλλο Α.

β. Να υπολογίσετε την ορμή ενός φωτοηλεκτρονίου τη χρονική στιγμή που εξέρχεται από την κάθοδο για συχνότητα της ακτινοβολίας $f_1 = 3 \cdot 10^{15}$ Hz καθώς και την τάση αποκοπής για την ίδια συχνότητα.

γ. Αν η κάθοδος είχε επιστρωθεί με μέταλλο Β που έχει έργο εξαγωγής $\phi_B = 4,95$ eV, να μεταφέρετε στο τετράδιό σας τη γραφική παράσταση $K-f$ της εκφώνησης και να σχεδιάσετε στο ίδιο διάγραμμα και την αντίστοιχη γραφική παράσταση για την περίπτωση του μετάλλου Β.

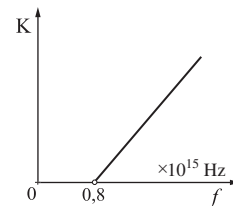
Δίνονται: η σταθερά του Planck $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ J·s, το στοιχειώδες φορτίο $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C, η μάζα του ηλεκτρονίου $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg και $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ J.

5 Στην κάθοδο μιας συσκευής μελέτης του φωτοηλεκτρικού φαινομένου προσπίπτει ακτινοβολία κάθε φωτόνιο της οποίας έχει ορμή μέτρου $p = 1,11 \cdot 10^{-27}$ kg·m/s. Από την κάθοδο εξέρχονται ηλεκτρόνια με κινητική ενέργεια $K = 4,8 \cdot 10^{-20}$ J. Να υπολογίσετε:

- α. Την τάση αποκοπής για την ακτινοβολία αυτή.
β. Το έργο εξαγωγής του μετάλλου της καθόδου.

Δίνονται: η ταχύτητα του φωτός $c = 3 \cdot 10^8$ m/s και το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

6 Στην κάθοδο μιας συσκευής μελέτης του φωτοηλεκτρικού φαινομένου προσπίπτει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και εξέρχονται φωτοηλεκτρόνια. Στο διπλανό διάγραμμα φαίνεται η γραφική παράσταση της κινητικής ενέργειας των φωτοηλεκτρονίων σε συνάρτηση με τη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.



α. Να υπολογίσετε το έργο εξαγωγής ϕ_1 του μετάλλου με το οποίο έχει επικαλυφθεί η επιφάνεια της καθόδου.

β. Να μεταφέρετε στο τετράδιό σας τη γραφική παράσταση της εκφώνησης και να σχεδιάσετε στο ίδιο διάγραμμα τη γραφική παράσταση $K-f$ στην περίπτωση που η επιφάνεια της καθόδου είχε επικαλυφθεί με άλλο μέταλλο το οποίο έχει έργο εξαγωγής $\phi_2 = 1,65$ eV.

Δίνονται: η σταθερά του Planck $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ J·s, και ότι $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ J.

7 Στην κάθοδο μιας συσκευής για τη μελέτη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου προσπίπτει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία συχνότητας $f = 4 \cdot 10^{15}$ Hz και εξέρχονται από αυτή φωτοηλεκτρόνια. Το έργο εξαγωγής για το μέταλλο της καθόδου είναι ίσο με 4 eV.

α. Να υπολογίσετε το μέτρο της ορμής των εξερχόμενων ηλεκτρονίων.

β. Να βρείτε το μήκος κύματος της ακτινοβολίας για την οποία τα φωτοηλεκτρόνια εξέρχονται από την κάθοδο με μηδενική κινητική ενέργεια.

γ. Να σχεδιάσετε τη γραφική παράσταση της κινητικής ενέργειας των εξερχόμενων ηλεκτρονίων σε συνάρτηση με τη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, σε άξονες βαθμολογημένους σε μονάδες του S.I.

Δίνονται: η σταθερά του Planck $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$, η ταχύτητα διάδοσης του φωτός $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, η μάζα του ηλεκτρονίου $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

3 Το φαινόμενο Compton

Ερωτήσεις θεωρίας

Ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής

Στις ερωτήσεις 1-5 βάλτε σε ένα κύκλο το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση.

1 Όταν ακτίνες X αλληλεπιδρούν με την ύλη σκεδάζονται και η σκεδαζόμενη ακτινοβολία:

α. Ανιχνεύεται μόνο σε διεύθυνση κάθετη προς την αρχική διεύθυνση της ακτινοβολίας.

β. Ανιχνεύεται σε κάθε διεύθυνση.

γ. Έχει μήκος κύματος μικρότερο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

δ. Έχει μέγιστο μήκος κύματος σε διεύθυνση κάθετη προς την αρχική διεύθυνση της ακτινοβολίας.

2 Σε μία σκέδαση Compton τα σκεδαζόμενα φωτόνια έχουν μέγιστο μήκος κύματος όταν η γωνία εκτροπής είναι:

α. 0° β. 90° γ. 180° δ. 60°

3 Ένα φωτόνιο συχνότητας f συγκρούεται με πρακτικά ακίνητο ηλεκτρόνιο, οπότε το σκεδαζόμενο φωτόνιο έχει συχνότητα f' . Αν h είναι η σταθερά του Planck, τότε η κινητική ενέργεια K_e που απέκτησε το ηλεκτρόνιο εξαιτίας της σύγκρουσης καθώς και οι συχνότητες f και f' ικανοποιούν τη σχέση:

α. $hf = hf' - K_e$ β. $hf = hf' + K_e$

γ. $hf = hf' + 2K_e$ δ. $hf = 2hf' + K_e$

4 Φωτόνιο ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που έχει μήκος κύματος $\lambda = 2h/m_e c$, σκεδάζεται από ένα πρακτικά ακίνητο ηλεκτρόνιο. Αν το σκεδαζόμενο φωτόνιο έχει μήκος κύματος $\lambda' = 2\lambda$, τότε σχηματίζει με την αρχική διεύθυνση της κίνησής του γωνία ϕ ίση με:

α. 0° β. 120° γ. 135° δ. 180°

όπου h η σταθερά του Planck, m_e η μάζα του ηλεκτρονίου και c η ταχύτητα διάδοσης του φωτός.

5 Δέσμη φωτονίων ακτίνων γ και δέσμη φωτονίων ακτινών X σκεδάζονται από το ίδιο πλακίδιο γραφίτη. Αν η σκεδαζόμενη δέσμη παρατηρείται και στις δύο περιπτώσεις υπό την ίδια γωνία σκέδασης $\phi \neq 0^\circ$, τότε η μεταβολή του μήκους κύματος είναι:

α. Μεγαλύτερη για τα φωτόνια των ακτίνων γ .

β. Μεγαλύτερη για τα φωτόνια των ακτίνων X.

γ. Ίση και διάφορη του μηδενός και για τις δύο δέσμες φωτονίων.

δ. Ίση με μηδέν και για τις δύο δέσμες φωτονίων.

Ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής με αιτιολόγηση

1 Σε μία σκέδαση Compton το μήκος κύματος μεταβάλλεται κατά 50% όταν η γωνία σκέδασης είναι $\phi = 60^\circ$. Η μεταβολή του μήκους κύματος θα είναι 200% για γωνία σκέδασης ϕ ίση με:

α. 90° β. 120° γ. 180°

Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση.

Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

2 Δέσμη ακτίνων X με $\lambda = h/mc$ όπου m η μάζα του ηλεκτρονίου, σκεδάζεται από επιφάνεια άνθρακα. Αν κατά τη σκέδαση το κύματος μεταβάλλεται κατά 100% η γωνία σκέδασης ϕ που σχηματίζει η σκεδαζόμενη ακτινοβολία με την προσπίπτουσα δέσμη είναι:

α. 180° β. 90° γ. 60°

Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση.

Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

3 Σε μία σκέδαση Compton ένα φωτόνιο μήκους κύματος λ προσπίπτει σε ακίνητο και ελεύθερο ηλεκτρόνιο. Όταν το φωτόνιο παθαίνει σκέδαση κατά γωνία $\phi = 90^\circ$ αποκτά μήκος κύματος λ' . Όταν το φωτόνιο παθαίνει σκέδαση κατά 60° τότε αποκτά μήκος κύματος λ'' . Αν η σχέση μεταξύ των λ'' και λ' είναι: $\lambda'' = 0,8\lambda'$ τότε το μήκος κύματος λ είναι ίσο με:

α. $\lambda = \frac{h}{mc}$ β. $\lambda = 1,5 \frac{h}{mc}$ γ. $\lambda = 2 \frac{h}{mc}$

Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση.

Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

4 Ένα φωτόνιο μήκους κύματος λ συγκρούεται με ένα πρακτικά ακίνητο ηλεκτρόνιο και σκεδάζεται υπό γωνία 60° σε σχέση με την αρχική του κατεύθυνση. Το μέτρο p' της ορμής του σκεδαζόμενου φωτονίου και το μέτρο p της ορμής του προσπίπτοντος φωτονίου, έχουν λόγο ίσο με $2/3$. Αν h είναι η σταθερά του Planck, m_e η μάζα του ηλεκτρονίου και c η ταχύτητα διάδοσης του φωτός, τότε το μήκος κύματος λ του προσπίπτοντος φωτονίου είναι:

α. $\lambda = \frac{3h}{2m_e c}$ β. $\lambda = \frac{h}{2m_e c}$ γ. $\lambda = \frac{h}{m_e c}$

Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση.

Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

Ασκήσεις

1 Φωτόνιο με ορμή $p = 16 \cdot 10^{-23} \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ πέφτει σε ένα στόχο και σκεδάζεται σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο κατά γωνία 180° . Βρείτε:

- Την ενέργεια και το μήκος κύματος του φωτονίου.
- Το μήκος κύματος του σκεδαζόμενου φωτονίου.
- Την ορμή που αποκτά το ελεύθερο ηλεκτρόνιο.
- Αν η γωνία σκέδασης είναι 90° ποιο είναι το μέτρο της ορμής που αποκτά το ηλεκτρόνιο μετά τη σκέδαση του φωτονίου ($1,011 \approx 1$).

Δίνονται: η σταθερά του Planck $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$, το μήκος κύματος Compton $\lambda_C = h/m_e c = 2,4 \cdot 10^{-12} \text{ m}$, η ταχύτητα του φωτός $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

2 Μια δέσμη μονοχρωματικής ακτινοβολίας μήκους κύματος λ προσπίπτει σε στόχο και υπόκειται σε σκέδαση Compton. Ένας ανιχνευτής μετρά μέγιστο μήκος κύματος σκεδαζόμενων φωτονίων $\lambda_{max} = 6 \cdot 10^{-12} \text{ m}$. Να υπολογίσετε:

- Το μήκος κύματος λ της ακτινοβολίας.
- Τη μέγιστη δυνατή κινητική ενέργεια που μπορεί να έχει ένα αρχικά ακίνητο ηλεκτρόνιο που ανακρούεται λόγω της κρούσης του με ένα φωτόνιο της δέσμης.

Δίνονται: $hc = 19,8 \cdot 10^{-26} \text{ J}\cdot\text{m}$ και το μήκος κύματος Compton $\lambda_C = h/m_e c = 2,4 \cdot 10^{-12} \text{ m}$.

3 Φωτόνιο μήκους κύματος $\lambda = 0,5 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ προσπίπτει σε στόχο άνθρακα και σκεδάζεται από ένα πρακτικά ακίνητο ηλεκτρόνιο. Το σκεδαζόμενο φωτόνιο έχει μήκος κύματος $\lambda' = 0,745 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ και η κατεύθυνση της κίνησής του σχηματίζει γωνία ϕ με την κατεύθυνση του προσπίπτοντος φωτονίου.

- Να υπολογίσετε την κινητική ενέργεια του ανακρουόμενου ηλεκτρονίου.
- Να υπολογίσετε το μέτρο και την κατεύθυνση της ορμής του ανακρουόμενου ηλεκτρονίου.

Δίνονται: η σταθερά του Planck $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$, η ταχύτητα διάδοσης του φωτός $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ και η μάζα του ηλεκτρονίου $m_e = 9 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.