Νέο Φροντιστήριο

Τράπεζα Θεμάτων Γ Λυκείου

Φυσική Προσανατολισμού

Κεφάλαιο: 7 Στοιχεία Κβαντομηχανικής

Θέμα 4

ΘΕΜΑ 4

Το 1916 ο Αμερικανός φυσικός Millikan ανακοίνωσε φωτοηλεκτρικά δεδομένα μετρήσεων μέσω των οποίων προσδιόρισε τη σταθερά του Planck με σφάλμα της τάξεως του 0,5%.

Τα ακόλουθα δεδομένα μετρήθηκαν για τη φωτοεκπομπή ενός υλικού.

$\lambda\ (nm)$	404,7	365,0	312,5	253,5
$V_o\ (V)$	0,73	1,09	1,67	2,57

4.1. Να προσδιορίσετε τη συχνότητα που αντιστοιχίζεται σε μήκος κύματος $253{,}5nm$.

Μονάδες 6

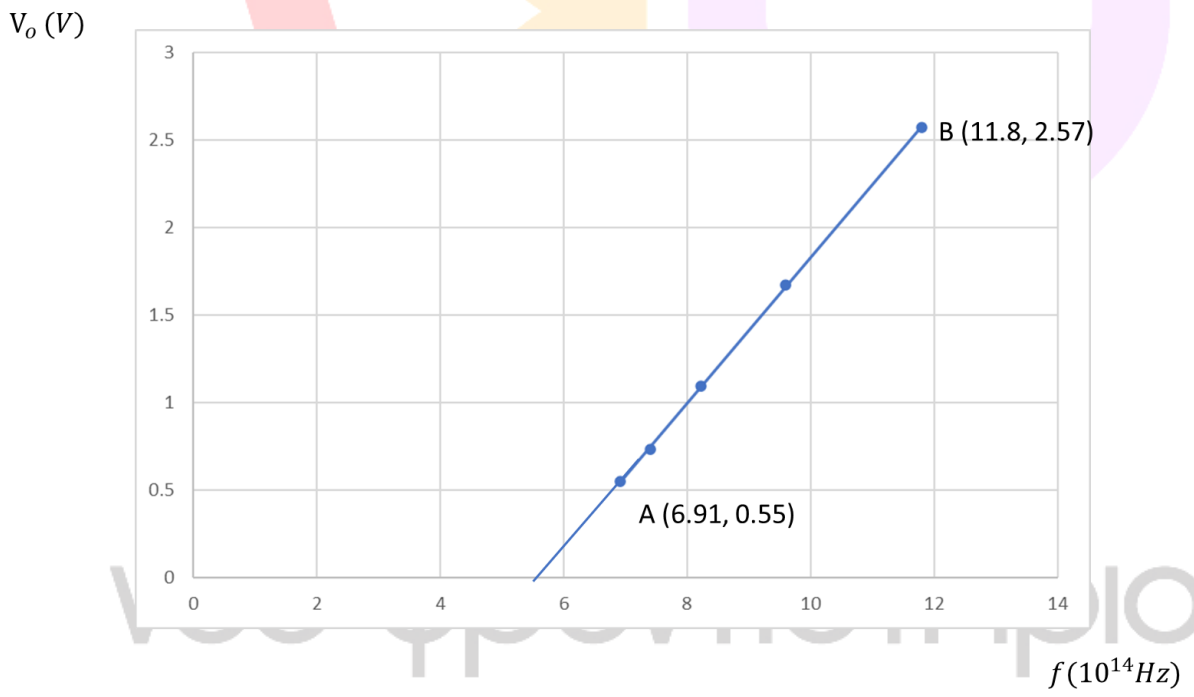
4.2. Να προσδιορίσετε την ενέργεια του φωτονίου σε eV, που αντιστοιχίζεται σε μήκος κύματος 253,5nm.

Μονάδες 7

4.3. Από τη φωτοηλεκτρική εξίσωση $K_{max} = hf - \varphi$, να προσδιορίσετε τη σχέση της τάσης αποκοπής V_o, συναρτήσει της συχνότητας f.

Μονάδες 5

4.4. Το διάγραμμα που ακολουθεί απεικονίζει την τάση αποκοπής V_o, συναρτήσει της συχνότητας f.



Από την κλίση του διάγράμματος να προσδιορίσετε τη σταθερά του Planck.

Μονάδες 7

Για τις τιμές των φυσικών σταθερών, συμβουλευτείτε το τυπολόγιο που σας δόθηκε μαζί με τις εκφωνήσεις

ΘΕΜΑ 4

4.1.

$$c = \lambda \cdot f \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow f = \frac{3 \cdot 10^8}{253{,}5 \cdot 10^{-9}}\text{Hz} \Rightarrow f = 11{,}8 \cdot 10^{14}\text{Hz}$$

Μονάδες 6

4.2. Για την ενέργεια του φωτονίου είναι: $E = h \cdot f \Rightarrow E = (4{,}14 \cdot 10^{-15} eV \cdot s) \cdot (11{,}8 \cdot 10^{14}\text{Hz}) \Rightarrow$

$$\Rightarrow E = 4{,}9\ eV$$

Σημείωση: Για γρήγορη εύρεση της ενέργειας φωτονίου σε eV όταν ξέρουμε το μήκος κύματος σε nm χρησιμοποιούμε τη σχέση:

$$E(eV) \cong \frac{1240(eV \cdot nm)}{\lambda(nm)}$$

Η απόδειξη της σχέσης είναι η ακόλουθη:

$E = h \cdot f$ αλλά $c = \lambda \cdot f$, οπότε $E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$ (1).

Αλλά $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34} Js$ και επειδή $1eV = 1{,}6 \cdot 10^{-19} J$

$$h = \frac{6{,}63}{1{,}6} \cdot 10^{-15} eV \cdot s = 4{,}14 \cdot 10^{-15} eV \cdot s$$

Επειδή $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$, προκύπτει ότι:

$$h \cdot c = 12{,}42 \cdot 10^{-7} eV \cdot m = 12{,}42 \cdot 10^{-7} eV \cdot 10^9 nm = 1242 eV \cdot nm$$

Συνεπώς, από την (1) προκύπτει:

$$E(eV) = \frac{1242(eV \cdot nm)}{\lambda(nm)} \cong \frac{1240(eV \cdot nm)}{\lambda(nm)}$$

Με αντικατάσταση, για την άσκησή μας, έχουμε:

$$E(eV) = \frac{1240(eV \cdot nm)}{253{,}5(nm)} = 4{,}9 eV$$

Μονάδες 7

4.3

$$K_{max} = h \cdot f - \varphi \Rightarrow e \cdot V_o = h \cdot f - \varphi \Rightarrow V_o = \frac{h}{e} \cdot f - \frac{\varphi}{e}$$

Μονάδες 5

4.4. Η κλίση του διαγράμματος είναι ίση με:

$$\kappa = \frac{h}{e}$$

Και η σταθερά του Planck θα ισούται με: $h = \kappa \cdot e$.

$$\kappa = \frac{2{,}57 - 0{,}55}{(11{,}8 - 6{,}91) \cdot 10^{14}} \frac{V}{Hz} = \frac{2{,}02}{4{,}89} \cdot 10^{-14} \frac{V}{Hz} = 4{,}13 \cdot 10^{-15} V \cdot s$$

Άρα:

$$h = 4{,}13 \cdot 10^{-15} eV \cdot s$$

Μονάδες 7

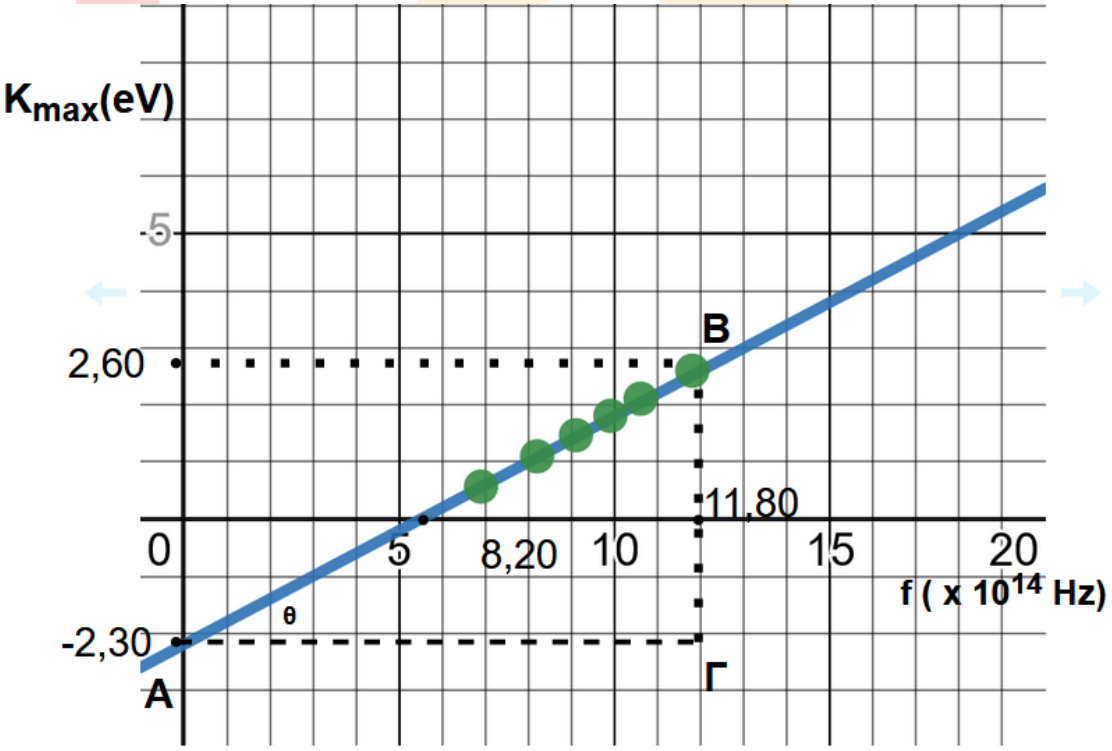
ΑΠΑΝΤΗΣΗ

νέο φροντιστήριο

ΘΕΜΑ 4

Σε ένα πείραμα φωτοηλεκτρικού φαινομένου χρησιμοποιήθηκε ως υλικό καθόδου μια επιφάνεια καθαρού νατρίου. Υπολογίσαμε την τιμή της μέγιστης κινητικής ενέργειας K_{max} των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων. Αυτή μετρήθηκε για ένα αριθμό διαφορετικών συχνοτήτων f της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Τα ζεύγη τιμών που προέκυψαν απεικονίζονται ως πειραματικά σημεία όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Σχεδιάζουμε την γραφική παράσταση της μέγιστης κινητικής ενέργειας K_{max} σε συνάρτηση της συχνότητας f της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, η οποία είναι ευθεία γραμμή.

Με τη βοήθεια του γραφήματος, που είναι το παρακάτω, να υπολογίσετε:



4.1. την τιμή της σταθεράς του Planck h,

Μονάδες 6

4.2. το έργο εξαγωγής Φ του νατρίου,

Μονάδες 6

4.3. τη συχνότητα κατωφλίου f_0 του νατρίου και

Μονάδες 6

4.4. το μήκος κύματος λ_0 που αντιστοιχεί στην συχνότητα κατωφλίου f_0.

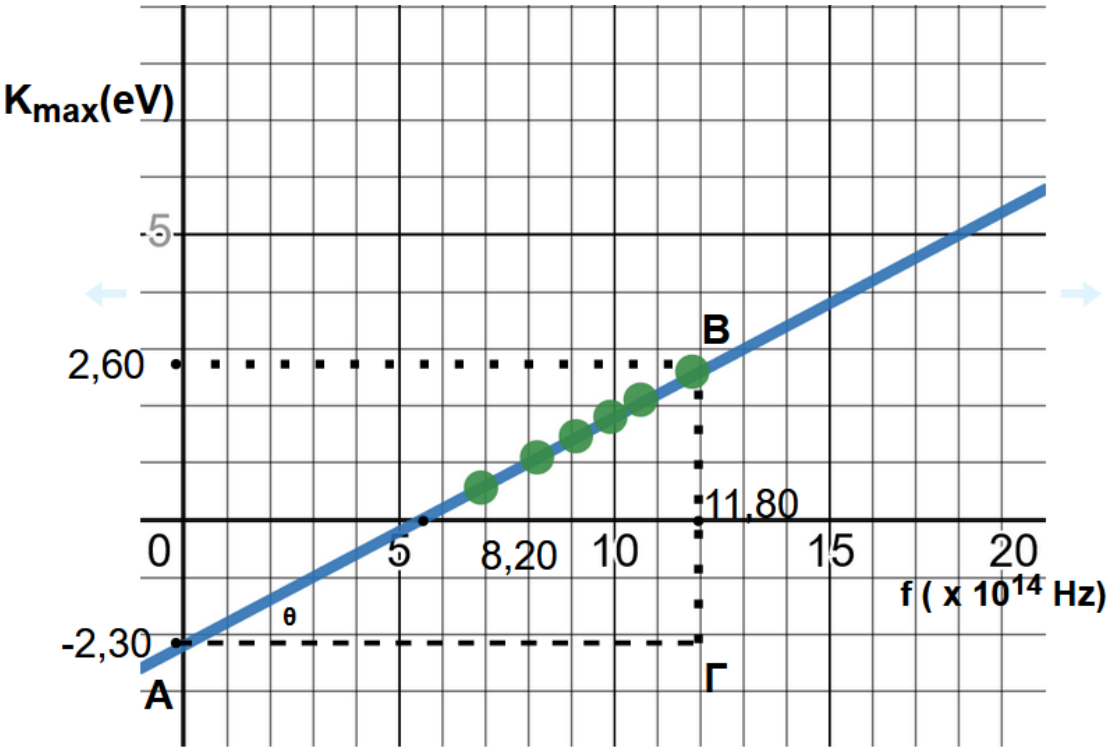
Μονάδες 7

Για τις τιμές των φυσικών σταθερών να συμβουλευτείτε το τυπολόγιο που σας δόθηκε μαζί με τις εκφωνήσεις.

νέο φροντιστήριο

ΘΕΜΑ 4

4.1. Η γραφική παράσταση της K_{max} ως συνάρτηση της συχνότητας f είναι η παρακάτω ευθεία γραμμή.



Η σταθερά του Planck h θα υπολογιστεί από την κλίση της ευθείας.

Γράφουμε την φωτοηλεκτρική εξίσωση:

$$K_{max} = h \cdot f - \Phi$$

αν K_{1max} και K_{2max} δύο τιμές της μέγιστης κινητικής ενέργειας που αντιστοιχούν στις συχνότητες f_1 και f_2, η κλίση της ευθείας θα είναι:

$$h = \frac{K_{2max} - K_{1max}}{f_2 - f_1}$$

Επιλέγοντας τις συντεταγμένες K_{1max} και f_1 του σημείου A της ευθείας και τις συντεταγμένες K_{2max} και f_2 ενός άλλου σημείου όπως του B, τότε ο λόγος:

$$\frac{K_{2max} - K_{1max}}{f_2 - f_1}$$

είναι η κλίση της ευθείας.

Υπολογίζεται ότι:

$$Κλίση = \frac{BΓ}{AΓ} = \frac{(2{,}60 + 2{,}30) \cdot (eV)}{(11{,}80 - 0) \cdot 10^{14}(Hz)} = \frac{4{,}90(eV)}{11{,}80 \cdot 10^{14}(Hz)}$$

Άρα $h = \frac{4{,}90(eV)}{11{,}80 \cdot 10^{14}(Hz)} = \frac{4{,}90 \cdot 1{,}60 \cdot 10^{-19}(V \cdot C)}{11{,}80 \cdot 10^{14}(Hz)} = \frac{7{,}84 \cdot 10^{-19}(J)}{11{,}80 \cdot 10^{14}(Hz)}$ ή

$$h = 6{,}60 \cdot 10^{-34} J \cdot s$$

Μονάδες 6

4.2. Σύμφωνα με την εξίσωση:

$K_{max} = h \cdot f - \Phi$ αν θέσουμε $f = 0$ θα έχουμε:

$K_{max} = -\Phi$ μελετώντας την τιμή της γραφικής παράστασης βλέπουμε ότι:

$K_{max} = -2{,}30(eV)$ επομένως το έργο εξαγωγής του νατρίου είναι:

$$\Phi = 2{,}30(eV) = 2{,}30 \cdot 1{,}60 \cdot 10^{-19}(C \cdot V) \text{ ή}$$

$$\Phi = 3{,}70 \cdot 10^{-19}\,(J)$$

Μονάδες 6

4.3. Το σημείο τομής της ευθείας με τον οριζόντιο άξονα στο γράφημα μας δίνει τη συχνότητα κατωφλίου f_0 :

$$f_0 = 5{,}5 \cdot 10^{14}(Hz)$$

Μονάδες 6

4.4. Το φως στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο συμπεριφέρεται και σαν κύμα με μήκος κύματος λ_0. Έτσι μπορούμε να γράψουμε:

$$c = \lambda \cdot f_0 \text{ ή } \lambda_0 = \frac{c}{f_0} \text{ ή}$$

$$\lambda_0 = \frac{3{,}00 \cdot 10^8 (\frac{m}{sec})}{0{,}55 \cdot 10^{15}(Hz)} = 545 \cdot 10^{-9} m \text{ ή}$$

$$\lambda_0 = 545\ nm$$

Μονάδες 7

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
νέο φροντιστήριο

ΘΕΜΑ 4

Πριν την εισαγωγή της κβαντικής θεωρίας, ένα από τα χαρακτηριστικά του φωτοηλεκτρικού φαινομένου που ήταν αδύνατο να εξηγηθεί ήταν το ελάχιστο χρονικό διάστημα ανάμεσα στην έναρξη φωτισμού του μετάλλου και στην εκπομπή των πρώτων φωτοηλεκτρονίων.

Έστω μεταλλική επιφάνεια που έχει εμβαδόν $40{,}0\ cm^2$, είναι φτιαγμένη από χαλκό, και φωτίζεται από λάμπα, ώστε στην επιφάνεια να προσπίπτει φως έντασης $0{,}280\ W/m^2$. Ο χαλκός έχει έργο εξαγωγής $7{,}52 \times 10^{-19}\ J$, ενώ στην επιφάνειά του υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια κατά μέσο όρο σε απόσταση $2{,}30 \times 10^{-10}\ m$ το ένα από το άλλο.

Θα εκτιμήσουμε πρώτα τον χρόνο που θα χρειαζόταν για να ξεκινήσει η εκπομπή φωτοηλεκτρονίων από την επιφάνεια του μετάλλου, αν ίσχυε η κλασική ηλεκτρομαγνητική θεωρία.

4.1. Να υπολογίσετε τη συνολική ισχύ που πέφτει στη μεταλλική επιφάνεια.

Μονάδες 5

4.2. Να υπολογίσετε την ισχύ του προσπίπτοντος φωτός που αντιστοιχεί κατά μέσο όρο σε κάθε ελεύθερο ηλεκτρόνιο της επιφάνειας.

Μονάδες 7

4.3. Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των προηγούμενων ερωτημάτων, να υπολογίσετε τον μέσο χρόνο που θα χρειαζόταν ένα ηλεκτρόνιο για να εκπεμφθεί από τη μεταλλική επιφάνεια, αν ίσχυε η κυματική θεωρία.

Μονάδες 7

Στην πραγματικότητα, η εκπομπή των φωτοηλεκτρονίων αρχίζει σχεδόν ακαριαία με την πρόσπτωση του φωτός στη χάλκινη επιφάνεια, αρκεί η συχνότητα του φωτός να είναι πάνω από μία συγκεκριμένη τιμή. Αυτό σημαίνει πως η πρόβλεψη του προηγούμενου ερωτήματος δεν ισχύει.

4.4. Εξηγήστε με ποιον τρόπο η σωματιδιακή θεωρία αιτιολογεί τη σχεδόν ακαριαία εκπομπή φωτοηλεκτρονίων.

Μονάδες 6

νέο φροντιστήριο

ΘΕΜΑ 4

4.1.

Η ένταση του φωτός είναι $0{,}280\ W/m^2$ ενώ το εμβαδόν της επιφάνειας είναι $40{,}0\ cm^2 = 40{,}0 \times 10^{-4}\ m^2$. Αυτό σημαίνει πως η συνολική ισχύς στην επιφάνεια θα είναι

$$0{,}280 \frac{W}{m^2} \times 40{,}0 \times 10^{-4}\ m^2 = 1{,}12 \times 10^{-3}\ W$$

Μονάδες 5

4.2.

Κατά μέσο όρο σε κάθε ηλεκτρόνιο αντιστοιχεί εμβαδόν ίσο με $(2{,}30 \times 10^{-10}\ m) \times (2{,}30 \times 10^{-10}\ m) = 5{,}29 \times 10^{-20}\ m^2$

Το πλήθος των ηλεκτρονίων στην επιφάνεια θα είναι

$$\frac{Εμβαδόν}{5{,}29 \times 10^{-20}\ m^2} = \frac{40{,}0 \times 10^{-4}\ m^2}{5{,}29 \times 10^{-20}\ m^2} = 7{,}56 \times 10^{16}\ \text{ηλεκτρόνια}$$

Κατά μέσο όρο σε κάθε ηλεκτρόνιο θα αντιστοιχεί ισχύς

$$\frac{1{,}12 \times 10^{-3}\ W}{7{,}56 \times 10^{16}\ \text{ηλεκτρόνια}} = 1{,}48 \times 10^{-20}\ W$$

Μονάδες 7

4.3.

Για να εκπεμφθεί ένα ηλεκτρόνιο, θα πρέπει να απορροφήσει ενέργεια τουλάχιστον ίση με το έργο εξαγωγής. Με βάση την κυματική θεωρία το φως εκπέμπεται και απορροφάται κατά συνεχή τρόπο. Υποθέτοντας πως τα ηλεκτρόνια απορροφούν κατά μέσο όρο ενέργεια με τον ρυθμό που υπολογίστηκε στο προηγούμενο ερώτημα η εκπομπή θα γίνεται σε χρονικό διάστημα Δt για το οποίο ισχύει:

$$7{,}52 \times 10^{-19}\ J = (1.48 \times 10^{-20}\ W)\Delta t$$

$$\Delta t = 50{,}8\ s$$

Το διάστημα αυτό σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να θεωρηθεί ακαριαίο.

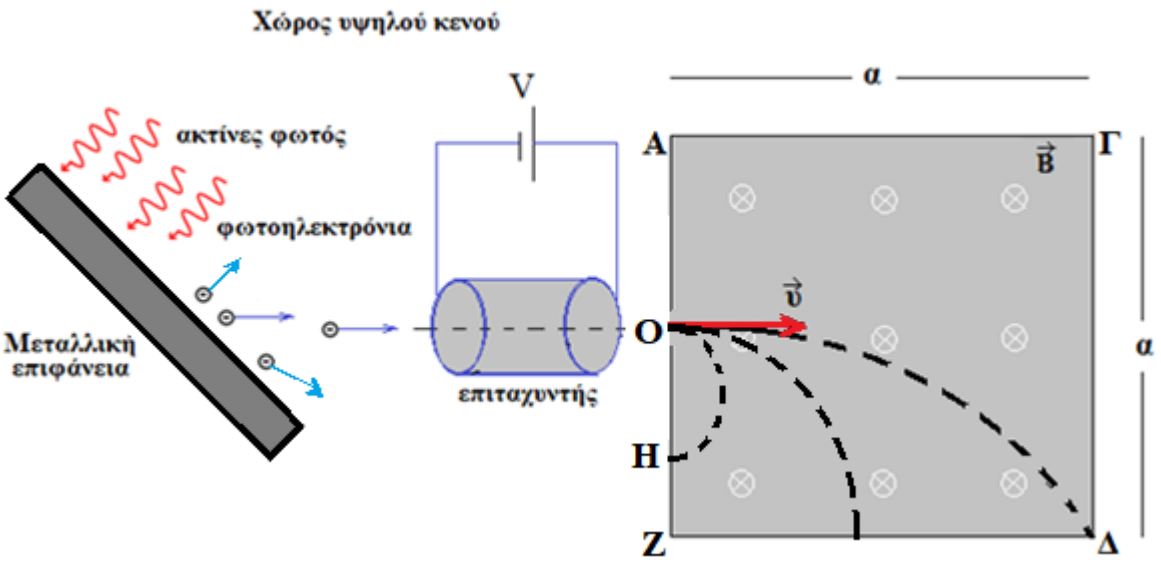
Μονάδες 7

4.4. Με βάση τη σωματιδιακή θεωρία του φωτός, το φως ούτε εκπέμπεται ούτε απορροφάται συνεχώς, αλλά σε πακέτα ενέργειας που ονομάζονται φωτόνια. Για να εκπεμφθεί ένα ηλεκτρόνιο δεν χρειάζεται να συγκεντρώσει σταδιακά την απαιτούμενη ενέργεια (έργο εξαγωγής), άρα δεν απαιτείται να περάσει μεγάλο χρονικό διάστημα. Αρκεί να απορροφήσει ένα μόνο φωτόνιο (κατάλληλης ενέργειας). Κάποια ηλεκτρόνια θα απορροφήσουν τα πρώτα φωτόνια που θα πέσουν στην επιφάνεια και θα εκπεμφθούν άμεσα.

Μονάδες 6

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
νέο φροντιστήριο

ΘΕΜΑ 4



Στο σχήμα απεικονίζεται μια μεταλλική επιφάνεια που βρίσκεται σε χώρο όπου έχουμε υψηλό κενό. Πάνω σε αυτή προσπίπτει μονοχρωματική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία καθορισμένης συχνότητας. Τα φωτοηλεκτρόνια που εκπέμπονται διέρχονται από έναν επιταχυντή, τάσης $V = 160\ V$ και στην συνέχεια περνούν σε περιοχή όπου επικρατεί ομογενές μαγνητικό πεδίο τετραγωνικής διατομής με πλευρά $\alpha = 8\ cm$, με δυναμικές γραμμές κάθετες στην ταχύτητα των φωτοηλεκτρονίων και ένταση μέτρου $B = 2{,}5 \cdot 10^{-3}\ T$. Το έργο εξαγωγής της μεταλλικής επιφάνειας είναι $\varphi = 12\ eV$. Τα φωτοηλεκτρόνια που εξάγονται από τη μεταλλική επιφάνεια μπορούν να κινούνται σε διάφορες διευθύνσεις. Με κατάλληλο πέτασμα εξασφαλίζουμε ότι θα εισέλθουν στο μαγνητικό πεδίο μόνο όσα ακολουθήσουν ευθύγραμμη και οριζόντια πορεία. Η είσοδος στο μαγνητικό πεδίο γίνεται από το μέσο O της πλευράς AZ. Στη συνέχεια τα φωτοηλεκτρόνια διαγράφουν τμήμα κυκλικών τροχιών και εξέρχονται από σημεία των (OZ) και $(Z\Delta)$.

Να υπολογίσετε:

4.1. το μέγιστο μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ώστε να έχουμε εξαγωγή φωτοηλεκτρονίων. Σε ποια περιοχή του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας βρίσκεται αυτό;

Μονάδες 8

4.2. την ελάχιστη απόσταση (OH).

Μονάδες 8

4.3. Για ποια τιμή του μήκους κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας τα φωτοηλεκτρόνια βγαίνουν από την κορυφή Δ; Σε ποια περιοχή του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας βρίσκεται αυτό;

Μονάδες 9

Να θεωρήσετε ότι δεν έχουμε σχετικιστικά φαινόμενα.

Τα αριθμητικά αποτελέσματα της άσκησης να υπολογιστούν με προσέγγιση δύο δεκαδικών ψηφίων.

νέο φροντιστηριο

ΘΕΜΑ 4

4.1. Σύμφωνα με την φωτοηλεκτρική εξίσωση του $Einstein$: $K = hf - \varphi \quad (1)$

Για να εξέλθει το φωτοηλεκτρόνιο από τη μεταλλική επιφάνεια πρέπει

$$hf - \varphi \geq 0 \Rightarrow h\frac{c}{\lambda} \geq \varphi \Rightarrow \lambda \leq \frac{hc}{\varphi} \Rightarrow \lambda_{max} = \frac{hc}{\varphi} = \frac{1200eV \cdot nm}{12eV} = 100\ nm$$

Άρα το μέγιστο μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι $100\ nm$ και βρίσκεται στην περιοχή της υπεριώδους ακτινοβολίας.

Μονάδες 8

4.2. Τα φωτοηλεκτρόνια μάζας m_e, εξέρχονται από το μέταλλο με σχεδόν μηδενική ταχύτητα και κατόπιν επιταχύνονται στον επιταχυντή, αποκτώντας ταχύτητα μέτρου υ. Άρα σύμφωνα με την αρχή διατήρησης ενέργειας έχουμε:

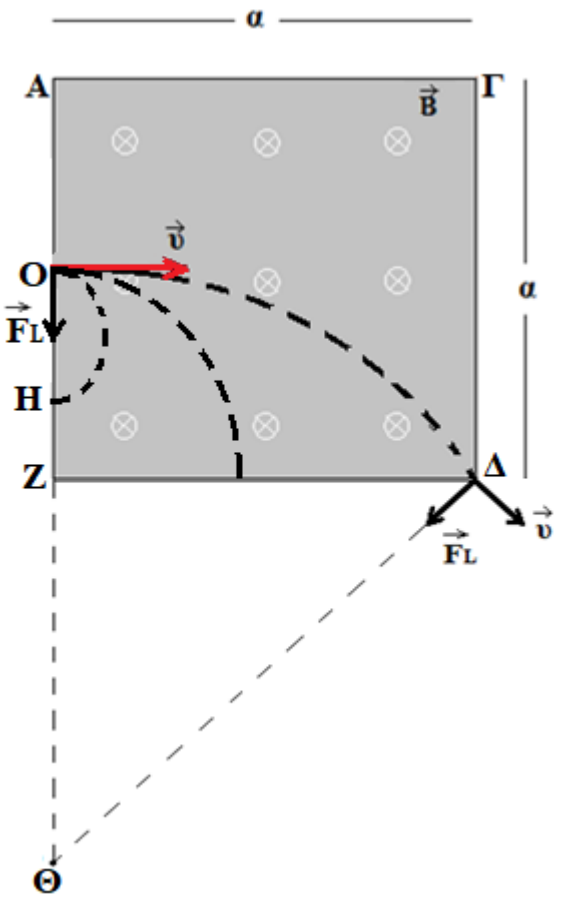
$$W = \mathrm{K} \Longrightarrow eV = \frac{1}{2}m_e\upsilon_{min}^2 \Longrightarrow \upsilon_{min} = \sqrt{\frac{2eV}{m_e}} \quad (2)$$

Ακολούθως τα φωτοηλεκτρόνια εισέρχονται στο ομογενές μαγνητικό πεδίο διαγράφοντας ένα ημικύκλιο με διάμετρο $(OH) = 2R_{min}$, οπότε:

$$R_{min} = \frac{m_e\upsilon_{min}}{Be} \overset{(2)}{\Longrightarrow} R_{min} = \frac{m_e}{Be} \cdot \sqrt{\frac{2eV}{m_e}} = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2m_eV}{e}} \Rightarrow$$

$$R_{min} = 17{,}07 \cdot 10^{-3}\ m$$

Συνεπώς, η ελάχιστη απόσταση από το σημείο O που εξέρχονται τα φωτοηλεκτρόνια από το μαγνητικό πεδίο είναι:



$$(OH) = 2R_{min} = 34{,}14 \cdot 10^{-3}\ m$$

Μονάδες 8

4.3. Τα φωτοηλεκτρόνια που εξέρχονται από το σημείο Δ, δέχονται δύναμη $Lorentz$ F_L σε κάθε σημείο της τροχιάς τους εντός του μαγνητικού πεδίου, άρα και στα σημεία εισόδου O και εξόδου Δ. Δεδομένου ότι η F_L είναι κάθετη στην ταχύτητα $\vec{\upsilon}$, συμπεραίνουμε ότι το κέντρο Θ της κυκλικής τροχιάς που διαγράφουν τα φωτοηλεκτρόνια, είναι το σημείο τομής των διευθύνσεων των δυνάμεων αυτών. Από το τρίγωνο $Z\Delta\Theta$ έχουμε:

$$(\Theta\Delta)^2 = (Z\Theta)^2 + \alpha^2 \Longrightarrow R^2 = \left(R - \frac{\alpha}{2}\right)^2 + \alpha^2 \Longrightarrow R = \frac{5a}{4} = 0{,}1\ m$$

Το μέτρο της ταχύτητας υ του φωτοηλεκτρονίου στο σημείο O υπολογίζεται ως εξής:

$$R = \frac{m_e\upsilon}{Be} \Longrightarrow \upsilon = \frac{BeR}{m_e} = 0{,}44 \cdot 10^8\ m/s$$

Η κινητική ενέργεια K_O κάθε φωτοηλεκτρονίου στο σημείο O, δηλαδή η κινητική ενέργεια εξόδου από τον επιταχυντή είναι:

$$K_O = \frac{1}{2} m_e \upsilon^2 = 0{,}88 \cdot 10^{-15}\, J$$

και επειδή $1eV = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\, J$, η κινητική ενέργεια K_O κάθε φωτοηλεκτρονίου είναι $K_O = 5500\, eV$.

Σύμφωνα με την αρχή διατήρησης ενέργειας τα φωτοηλεκτρόνια που εξάγονται από τη μεταλλική επιφάνεια έχουν κινητική ενέργεια K_φ, που υπολογίζεται ως εξής:

$$K_O = K_\varphi + eV \Longrightarrow K_\varphi = K_O - eV = 5340\, eV$$

Συνεπώς, σύμφωνα με την φωτοηλεκτρική εξίσωση του $Einstein$ (1) έχουμε:

$$K_\varphi = hf - \varphi \Rightarrow K_\varphi = h\frac{c}{\lambda} - \varphi \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{K_\varphi + \varphi} \Rightarrow \lambda = \frac{1200eV \cdot nm}{5352eV} = 0{,}22\, nm$$

Άρα το μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι $0{,}22\, nm$ και βρίσκεται στην περιοχή των ακτίνων Χ.

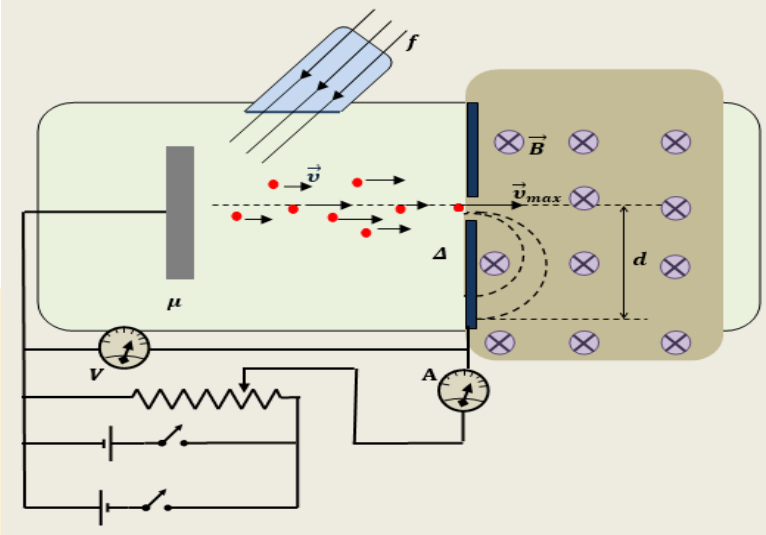
Μονάδες 9

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

νέο φροντιστήριο

ΘΕΜΑ 4

Με τη βοήθεια μιας συσκευής παρατήρησης του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, δημιουργήσαμε μια πειραματική διάταξη μέτρησης της σταθεράς δράσης του Planck (h), η οποία φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Η κάθοδος αποτελείται από μέταλλο (μ), με άγνωστο έργο εξαγωγής (φ) και φωτίζεται κατάλληλα μέσω παραθύρου εισόδου του φωτός. Η άνοδος είναι μια μεταλλική επίπεδη επιφάνεια με οπή σε κατάλληλη θέση, ώστε να περνά μια δέσμη ηλεκτρονίων που κατευθύνονται προς αυτή από την κάθοδο, όταν συμβαίνει φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Στο χώρο πίσω απο την κάθοδο μπορεί να ενεργοποιείται ομογενές μαγνητικό πεδίο, κάθετο στη δέσμη των ηλεκτρονίων, παράλληλο με την επιφάνεια της ανόδου, το οποίο δεν επηρεάζει την κίνηση των ηλεκτρονίων στο χώρο μεταξύ καθόδου και ανόδου, όταν ενεργοποιείται, όπως στο σχήμα. Επίσης μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η κίνηση των ηλεκτρονίων, μέσα στο μαγνητικό πεδίο πίσω από την επιφάνεια της ανόδου, δεν επηρεάζεται καθόλου από το ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ ανόδου-καθόδου. Με τη βοήθεια της διάταξης, βρήκαμε ότι η συχνότητα κατωφλίου είναι $f_0 = 7 \cdot 10^{14}$ Hz. Όταν η κάθοδος φωτίζεται με μονοχρωματικό υπεριώδες φως, συχνότητας $f = 1{,}5 \cdot 10^{15}\ Hz$, δημιουργείται δέσμη ηλεκτρονίων και αν ενεργοποιήσουμε το μαγνητικό πεδίο, χωρίς να εφαρμόσουμε εξωτερική τάση μεταξύ ανόδου-καθόδου, τα ηλεκτρόνια εκτελούν ημικυκλικές τροχιές στο χώρο του μαγνητικού πεδίου και αφήνουν στίγματα σε κατάλληλο υλικό το οποίο αποτελεί την πίσω επιφάνεια της ανόδου. Η μέγιστη διάμετρος που καταγράψαμε στη διάρκεια του πειράματος για τις τροχιές αυτές, είναι $d = 4$ mm, όταν η ένταση του μαγνητικού πεδίου ήταν $B = 3$ mT. Το ηλεκτρικό φορτίο του ηλεκτρονίου είναι $q_e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C$ και η μάζα του $m_e = 9 \cdot 10^{-31}$ kg.



4.1. Να υπολογίσετε σε eV τη μέγιστη κινητική ενέργεια των εξερχόμενων ηλεκτρονίων για τη συχνότητα f του φωτός με το οποίο φωτίζεται το μέταλλο της καθόδου.

Μονάδες 6

4.2. Από τα δεδομένα του πειράματος να υπολογίσετε τη σταθερά του Planck σε μονάδες eV · s, αλλά και J · s.

Μονάδες 7

4.3. Να υπολογίσετε το έργο εξαγωγής φ σε eV, από την επιφάνεια του μετάλλου της καθόδου, χρησιμοποιώντας για τη σταθερά του Planck, την τιμή που υπολογίσατε στο προηγούμενο ερώτημα.

Μονάδες 6

νέο φροντιστήριο

4.4. Να υπολογίσετε την τάση αποκοπής για την συχνότητα f με την οποία φωτίζεται το μέταλλο της καθόδου.

Μονάδες 6

νέο φροντιστήριο

ΘΕΜΑ 4

4.1. Τα ηλεκτρόνια που εισέρχονται στο χώρο του μαγνητικού πεδίου δέχονται δύναμη Lorentz η οποία δρα ως κεντρομόλος και τα θέτει σε κυκλική τροχιά. Εκτελούν ομαλή κυκλική κίνηση και κτυπούν σε απόσταση ίση με τη διάμετρο του κύκλου τους από το σημείο εισόδου στο μαγνητικό πεδίο, πάνω στο υλικό που έχουμε τοποθετήσει στο πίσω μέρος της επιφάνειας της ανόδου, αφήνοντας ίχνος. Αυτά που έχουν την μέγιστη κινητική ενέργεια, εκτελούν και τον κύκλο με τη μέγιστη διάμετρο που μετρήθηκε ίση με d. Ισχύουν:

$$\left.\begin{array}{c} F_L = F_\kappa, \quad B\cdot \upsilon_{max}\cdot e = \frac{m\cdot \upsilon_{max}^2}{\frac{d}{2}}, \quad \upsilon_{max} = \frac{B\cdot e\cdot d}{2\cdot m} \\ K_{max} = \frac{1}{2}\cdot m\cdot \upsilon_{max}^2 = \frac{B^2\cdot e^2\cdot d^2}{8\cdot m} = \frac{(3\cdot 10^{-3})^2\cdot(1{,}6\cdot 10^{-19})^2\cdot(4\cdot 10^{-3})^2}{8\cdot 9\cdot 10^{-31}}\ \mathrm{J} = 2\cdot 1{,}6^2\cdot 10^{-19}\ \mathrm{J} \\ \text{Αλλά είναι } 1\ \mathrm{eV} = 1{,}6\cdot 10^{-19}\ \mathrm{J}, \ \text{ ή } \ 1\ \mathrm{J} = \frac{1}{1{,}6\cdot 10^{-19}}\ \mathrm{eV} \end{array}\right\} \Longrightarrow$$

$$\boldsymbol{K_{max}} = \frac{2\cdot 1{,}6^2\cdot 10^{-19}}{1{,}6\cdot 10^{-19}}\ \mathrm{eV} = \mathbf{3{,}2\ eV}$$

Μονάδες 6

4.2. Η συχνότητα κατωφλίου είναι η ελάχιστη συχνότητα ακτινοβολίας, η οποία μπορεί μόλις να προκαλέσει έξοδο ηλεκτρονίων από την επιφάνεια του μετάλλου της καθόδου, χωρίς ταχύτητα. Ισχύει:

$$h\cdot f_0 = \varphi \qquad (1)$$

Εφαρμόζουμε τώρα τη φωτοηλεκτρική εξίσωση Einstein για τη συχνότητα $f = 1{,}5\cdot 10^{15}$ Hz :

$$h\cdot f = K_{max} + \varphi\ , \quad \overset{(1)}{\Rightarrow} \quad h\cdot f = K_{max} + h\cdot f_0$$

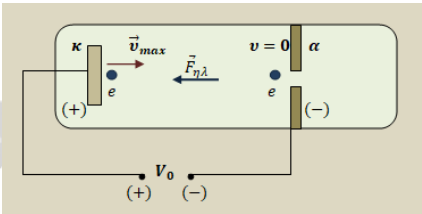
$$\text{ή} \quad h\cdot(f - f_0) = K_{max} \quad \Rightarrow \quad h = \frac{K_{max}}{f - f_0} = \frac{3{,}2}{8\cdot 10^{14}}\ \mathrm{eV\cdot s} = \mathbf{4\cdot 10^{-15}\ eV\cdot s = 6{,}4\cdot 10^{-34}\ J\cdot s}$$

Μονάδες 7

4.3. $$\varphi = h\cdot f_0 = 4\cdot 10^{-15}\cdot 7\cdot 10^{14}\ \mathrm{eV} = \mathbf{2{,}8\ eV}$$

Μονάδες 6

4.4. Η τάση αποκοπής είναι η ελάχιστη τάση που πρέπει να εφαρμόσουμε μεταξύ καθόδου και ανόδου της συσκευής, ώστε να μην φτάνουν στην άνοδο ($\boldsymbol{\alpha}$) τα εξερχόμενα ηλεκτρόνια από το μέταλλο της καθόδου ($\boldsymbol{\kappa}$). Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να εφαρμόσουμε μια αντεστραμμένη διαφορά δυναμικού με (+) στο μέταλλο ($\boldsymbol{\kappa}$) και (−) στο μέταλλο ($\boldsymbol{\alpha}$), τόση ώστε τα ηλεκτρόνια να επιβραδύνονται από τη δύναμη του ηλεκτρικού πεδίου και μόλις να φτάνουν στο μέταλλο ($\boldsymbol{\alpha}$) με μηδενική ταχύτητα εκείνα που εξήλθαν από το μέταλλο ($\boldsymbol{\kappa}$) με τη μέγιστη κινητική ενέργεια.



Εφαρμόζουμε Θεώρημα Μεταβολής της Κινητικής Ενέργειας:

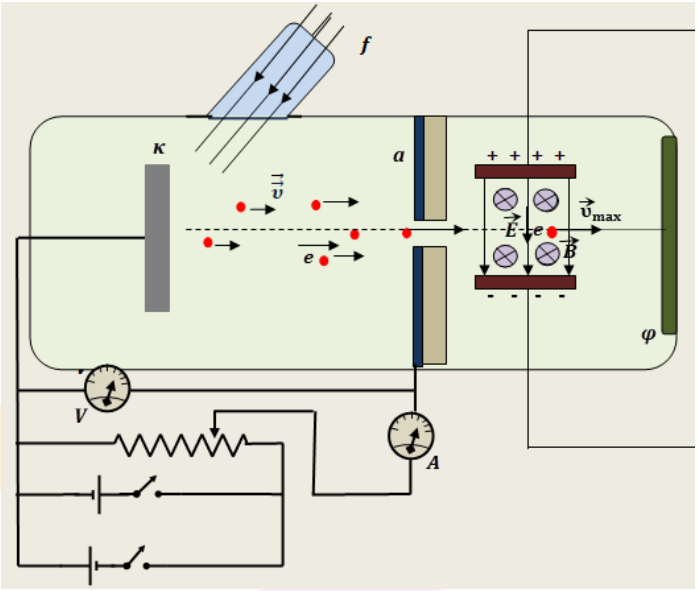
$$\Delta K = W_{\eta\lambda}\ , \quad 0 - K_{max} = q_e(V_\kappa - V_a) \Rightarrow -K_{max} = -eV_0$$

$$\text{Τελικά} \qquad V_0 = \frac{K_{max}}{e} = \frac{3{,}2\ eV}{e} = \mathbf{3{,}2\ V}$$

Μονάδες 6

ΘΕΜΑ 4

Στο σωλήνα υψηλού κενού, μιας συσκευής μελέτης του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, το μέταλλο της καθόδου (κ) φωτίζεται με ακτινοβολία από κατάλληλο παράθυρο. Η άνοδος (α), είναι μια επίπεδη μεταλλική επιφάνεια με κατάλληλη οπή στο κέντρο της από την οποία διέρχεται η δέσμη των ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια που περνούν στο χώρο πίσω από την άνοδο δεν επηρεάζονται καθόλου από το ηλεκτρικό πεδίο που επικρατεί μεταξύ ανόδου και καθόδου της συσκευής.



Η δέσμη των ηλεκτρονίων μετά την άνοδο, περνάει από την περιοχή μεταξύ δύο οριζόντιων φορτισμένων μεταλλικών πλακών (σχήμα) που παράγουν ομογενές ηλεκτρικό πεδίο έντασης $\vec{E}$, παράλληλο στην επιφάνεια της ανόδου και κάθετο στην διεύθυνση κίνησης της δέσμης των ηλεκτρονίων. Στην ίδια περιοχή έχουμε δημιουργήσει ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης $\vec{B}$, το μέτρο της οποίας μπορούμε να μεταβάλλουμε. Η κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου είναι κάθετη στην δέσμη των ηλεκτρονίων αλλά και στην κατεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου, έτσι ώστε η δύναμη Lorentz ($\vec{F}_L$) που δέχονται τα ηλεκτρόνια από αυτό, να είναι αντίθετης κατεύθυνσης από την δύναμη ($\vec{F}_{\eta\lambda}$) που δέχονται από το ηλεκτρικό πεδίο. Τα δύο πεδία ισοδυναμούν με ένα «φίλτρο ταχυτήτων», αφού επιτρέπουν την ευθύγραμμη διάδοση μόνο εκείνων των ηλεκτρονίων που έχουν ορισμένη ταχύτητα. Στο δεξιό άκρο του αερόκενου σωλήνα, έχουμε στρώσει φωτογραφικό φιλμ (φ), στο οποίο τα ηλεκτρόνια αφήνουν ίχνος.

Φωτίσαμε το μέταλλο της καθόδου με ακτινοβολία συχνότητας $f = 1{,}5 \cdot 10^{15}$ Hz. Όταν η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στο φίλτρο ταχυτήτων έχει μέτρο $E = 3{,}2 \cdot 10^3 \ \frac{\text{N}}{\text{C}}$, βρήκαμε ότι το ελάχιστο μέτρο της έντασης μαγνητικού πεδίου στην ίδια περιοχή, για την οποία ηλεκτρόνια περνούν ανεπηρέαστα προς τη φωτογραφική επιφάνεια φ, είναι $B_{min} = 3$ mT. Να θεωρήσετε ότι η μάζα του ηλεκτρονίου είναι $m_e = 9 \cdot 10^{-31}$ kg και το στοιχειώδες φορτίο $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.

4.1 Να υπολογίσετε σε eV, τη μέγιστη κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων που εξέρχονται από το μέταλλο της καθόδου, για τη συγκεκριμένη συχνότητα ακτινοβολίας.

Μονάδες 7

4.2.Αν δίνεται ότι η συχνότητα κατωφλίου για το μέταλλο της καθόδου είναι $f_0 = 7 \cdot 10^{14}$ Hz, να υπολογίσετε τη σταθερά δράσης του Planck, όπως αυτή προσδιορίζεται από τα αποτελέσματα αυτού του πειράματος.

Μονάδες 6

νέο φροντιστήριο

4.3.Χρησιμοποιώντας για τη σταθερά Planck, την τιμή που προσδιορίσατε στο προηγούμενο ερώτημα, να υπολογίστε σε eV το έργο εξαγωγής φ του μετάλλου της καθόδου.

Μονάδες 6

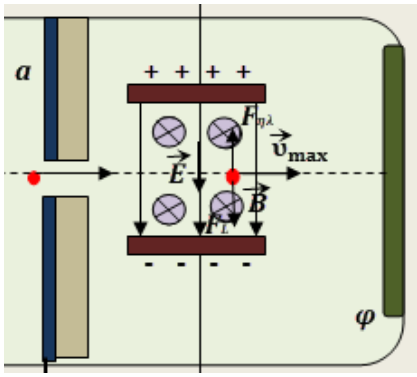
4.4.Για τη συχνότητα ακτινοβολίας $f = 1{,}5 \cdot 10^{15}$ Hz, που χρησιμοποιήσαμε στο παραπάνω πείραμα, να υπολογίσετε την τάση αποκοπής.

Μονάδες 6

νέο φροντιστήριο

ΘΕΜΑ 4

4.1. Τα ηλεκτρόνια που περνούν ανεπηρέαστα από το φίλτρο ταχυτήτων αφήνοντας στίγμα στο φωτογραφικό φιλμ, ακριβώς απέναντι από την οπή της ανόδου, είναι εκείνα που δέχονται αντίθετες δυνάμεις από το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο, καθώς περνούν από το χώρο ανάμεσα στις δύο μεταλλικές φορτισμένες πλάκες, όπως φαίνεται και στο διπλανό σχήμα. Δηλαδή πρέπει να ισχύει:



$$F_L = F_{\eta\lambda.} \quad , \quad B \cdot \upsilon \cdot q = E \cdot q \quad , \quad \upsilon = \frac{E}{B} \qquad (1)$$

Από τη σχέση (1), είναι φανερό, ότι η ελάχιστη ένταση μαγνητικού πεδίου για να συμβαίνει αυτό, δηλαδή για προκύπτει στίγμα στο φιλμ, ακριβώς απέναντι από την οπή της ανόδου, αντιστοιχεί στη μέγιστη ταχύτητα ηλεκτρονίων. Άρα ισχύει:

$$\upsilon_{max} = \frac{E}{B_{min}} \qquad (2)$$

Άρα η μέγιστη κινητική ενέργεια ηλεκτρονίων που εξέρχονται από το μέταλλο της καθόδου είναι:

$$K_{max} = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot \upsilon_{max}^2 = \frac{1}{2} m_e \cdot \frac{E^2}{B_{min}^2} = \frac{1}{2} \cdot 9 \cdot 10^{-31} \cdot \frac{3{,}2^2 \cdot 10^6}{9 \cdot 10^{-6}} \text{ J} \qquad (3)$$

Αλλά ισχύει η σχέση $\quad 1eV = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \Rightarrow 1 \text{ J} = \frac{1}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} \qquad (4)$

Οπότε συνδυάζοντας την (3) και την (4), έχουμε:

$$\boldsymbol{K_{max}} = \frac{9 \cdot 10^{-31} \cdot 3{,}2 \cdot 3{,}2 \cdot 10^6}{2 \cdot 9 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = \mathbf{3{,}2 \text{ eV}}$$

Μονάδες 7

4.2. Η συχνότητα κατωφλίου, είναι η οριακή συχνότητα, για την οποία μόλις που καταφέρνουν να εξέρχονται ηλεκτρόνια από το μέταλλο της καθόδου. Δηλαδή η οριακή συχνότητα για την οποία εξέρχονται ηλεκτρόνια με μηδενική κινητική ενέργεια. Άρα η ενέργεια των φωτονίων με τη συχνότητα κατωφλίου είναι ίση με το έργο εξαγωγής φ του μετάλλου της καθόδου. Δηλαδή ισχύει $\varphi = h \cdot f_0$ και εφαρμόζουμε την φωτοηλεκτρική εξίσωση Einstein για τη συχνότητα $f = 1{,}5 \cdot 10^{15}$ Hz :

$$h \cdot f = K_{max} + \varphi = K_{max} + h \cdot f_0$$

ή $\qquad h \cdot (f - f_0) = K_{max}$

οπότε $\qquad \boldsymbol{h} = \frac{K_{max}}{f - f_0} = \frac{3{,}2}{1{,}5 \cdot 10^{15} - 7 \cdot 10^{14}} \text{ eV} \cdot \text{s} = \frac{3{,}2}{8 \cdot 10^{14}} \text{ eV} \cdot \text{s} = \mathbf{4 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}}$

ή $\qquad \boldsymbol{h} = 4 \cdot 10^{-15} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \cdot \text{s} = \mathbf{6{,}4 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}$

Μονάδες 6

4.3. Το έργο εξαγωγής φ του μετάλλου είναι ίσο με την ενέργεια κάθε φωτονίου της ακτινοβολίας με τη συχνότητα κατωφλίου:

$$\boldsymbol{\varphi} = h \cdot f_0 = 4 \cdot 10^{-15} \cdot 7 \cdot 10^{14}\ \text{eV} = \mathbf{2,8\ eV}$$

Μονάδες 6

4.4. Με την πρόσπτωση ακτινοβολίας συχνότητας $f = 1{,}5 \cdot 10^{15}$ Hz, διαπιστώσαμε ότι από το μέταλλο της καθόδου, εξέρχονται ηλεκτρόνια και η μέγιστη κινητική τους ενέργεια είναι $K_{max} = 3{,}2$ eV. Η τάση αποκοπής είναι η απαιτούμενη τάση αντεστραμμένου πεδίου, η οποία μόλις καταφέρνει να εμποδίσει τα ηλεκτρόνια με τη μέγιστη κινητική ενέργεια να φτάσουν στην άνοδο. Εφαρμόζοντας ενεργειακό θεώρημα:

$$\Delta K = W_{\eta\lambda} \Rightarrow K_{max} = e \cdot V_{\alpha\pi o\kappa.}$$

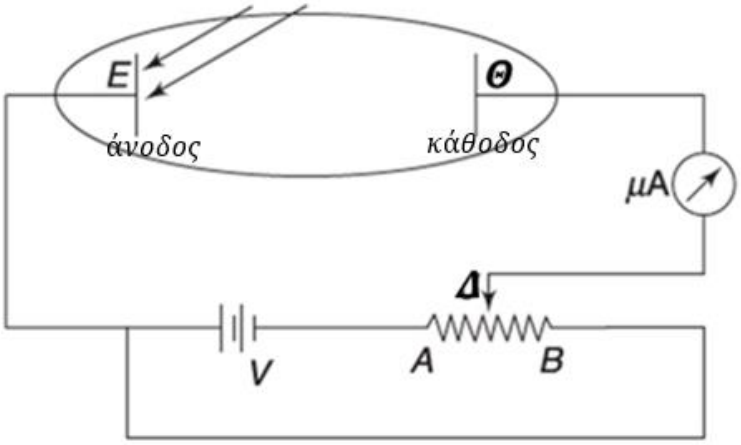
ή $$\boldsymbol{V_{\alpha\pi o\kappa.}} = \frac{K_{max}}{e} = \frac{3{,}2\ eV}{e} = \mathbf{3,2\ V}$$

Μονάδες 6

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
νέο φροντιστήριο

ΘΕΜΑ 4

Σε ένα πείραμα με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, υπεριώδης ακτινοβολία με μήκος κύματος $\lambda = 300\text{nm}$ προσπίπτει στην μεταλλική άνοδο E. Το έργο εξαγωγής του υλικού της ανόδου είναι $\phi = 2{,}4\text{eV}$. Ο αγωγός ΑΒ είναι ομογενής με μήκος $\text{L} = 100\text{cm}$ και αντίσταση R. Η τάση στα άκρα της πηγής είναι $\text{V} = 10\text{V}$. Ο μεταγωγός Δ μπορεί να μετακινείται από το Α στο Β. Όταν ο μεταγωγός είναι στο άκρο Β, η ένδειξη του μικροαμπερομέτρου είναι $\text{i} = 6\mu\text{A}$. Θεωρώντας ότι το φωτοηλεκτρικό ρεύμα είναι πολύ μικρότερο από το ρεύμα που διαρρέει το ποτενσιόμετρο, να απαντήσετε στις επόμενες ερωτήσεις. Δίνεται η ταχύτητα του φωτός στο κενό $\text{c} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, το στοιχειώδες φορτίο $\text{e} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{C}$ και η τιμή του γινομένου της σταθεράς του Planck επί την ταχύτητα του φωτός στο κενό $\text{h} \cdot \text{c} = 1200\text{eV} \cdot \text{nm}$.



4.1. Να υπολογίσετε την ενέργεια των φωτονίων που προσπίπτουν στην άνοδο Ε και το μήκος κύματος αποκοπής.

Μονάδες 6

4.2. Να βρείτε το δυναμικό αποκοπής και την ένδειξη του μικροαμπερομέτρου, όταν ο δρομέας είναι στο άκρο Α του ποτενσιόμετρου.

Μονάδες 6

4.3. Να υπολογίσετε τον ρυθμό ροής των ηλεκτρονίων από την άνοδο Ε στην κάθοδο Θ όταν ο δρομέας Δ βρεθεί στην θέση Β.

Μονάδες 6

4.4. Ο δρομέας μετακινείται από το Α προς το Β. Να σχεδιάσετε ποιοτικά την γραφική παράσταση της ένδειξης του μικροαμπερομέτρου σε συνάρτηση με την απόσταση x του δρομέα Δ από το άκρο Α. Στην γραφική παράσταση να συμπεριλάβετε τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές των μεγεθών των δύο αξόνων.

Μονάδες 7

νέο φροντιστήριο

ΘΕΜΑ 4

4.1. Η ενέργεια των φωτονίων της υπεριώδους ακτινοβολίας που προσπίπτει στην άνοδο είναι

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1200\ \text{eV}\cdot\ \text{nm}}{300\ \text{nm}} = 4\text{eV}$$

Το μήκος κύματος αποκοπής του φωτοηλεκτρικού ρεύματος είναι

$$f_0 = \frac{\phi}{h} \Leftrightarrow \frac{c}{\lambda_0} = \frac{\phi}{h} \Leftrightarrow \lambda_0 = \frac{hc}{\phi} = \frac{1200\text{eV}\cdot\text{nm}}{2{,}4\text{eV}} = 500\text{nm}$$

Μονάδες 6

4.2. Από την φωτοηλεκτρική εξίσωση μπορούμε να υπολογίσουμε το δυναμικό αποκοπής

$$K_{max} = E - \phi \Leftrightarrow eV_0 = E - \phi \Leftrightarrow V_0 = \frac{E-\phi}{e} = 1{,}6\text{V}$$

Η διαφορά δυναμικού που εφαρμόζεται στην φωτοηλεκτρική διάταξη επιβραδύνει τα ηλεκτρόνια κατά την κίνησή τους από την άνοδο στην κάθοδο. Όταν ο δρομέας του ποτενσιόμετρου βρεθεί στο άκρο Α, η τάση που εφαρμόζεται στην φωτοηλεκτρική διάταξη είναι $V = 10\text{V}$ και επειδή είναι μεγαλύτερη από το δυναμικό αποκοπής ($V > V_0$), η ένδειξη του μικροαμπερομέτρου είναι μηδέν.

Μονάδες 6

4.3. Όταν ο δρομέας βρεθεί στην θέση Β, το φωτοηλεκτρικό ρεύμα έχει ένταση $i = 6\mu\text{A}$. Εφαρμόζοντας τον ορισμό της έντασης του ρεύματος, ο ρυθμός εκπομπής φωτοηλεκτρονίων είναι

$$i = \frac{|q|}{t} \Leftrightarrow i = \frac{N\cdot e}{t} \Leftrightarrow \frac{N}{t} = \frac{i}{e} = \frac{6\cdot 10^{-6}}{1{,}6\cdot 10^{-19}}\frac{\text{ηλεκτρόνια}}{\text{s}} = 3{,}75\cdot 10^{13}\frac{\text{ηλεκτρόνια}}{\text{s}}$$

Μονάδες 6

4.4. Όταν ο δρομέας Δ μετακινηθεί κατά x από το Α και δεδομένου ότι η αντίσταση στο ποτενσιόμετρο είναι ανάλογη με το μήκος του αγωγού, η τάση μεταξύ των σημείων Α και Δ είναι

$$\frac{V_{A\Delta}}{V_{AB}} = \frac{I\cdot R_{A\Delta}}{I\cdot R_{AB}} = \frac{x}{L} \overset{V_{AB}=V}{\Longleftrightarrow} V_{A\Delta} = \frac{x}{L}V$$

(1 Μονάδα)

Για να υπάρχει μη μηδενική ένδειξη στο μικροαμπερόμετρο θα πρέπει η τάση που εφαρμόζεται στην φωτοηλεκτρική συσκευή $V - V_{A\Delta}$ να είναι μικρότερη από την τάση αποκοπής V_0.

(1 Μονάδα)

Δηλαδή

$$V - V_{A\Delta} < V_0 \Leftrightarrow V - \frac{x}{L}V < V_0 \Leftrightarrow x > \frac{(V-V_0)L}{V} = \frac{(10-1{,}6)100\text{cm}}{10} \Leftrightarrow x > 84\text{cm}$$

Συνεπώς θα υπάρχει ένδειξη στο μικροαμπερόμετρο όταν $84\text{cm} < x \leq 100\text{cm}$.

(1 Μονάδα)

Όταν ο δρομέας Δ βρίσκεται στην θέση $x = 84\text{cm}$, στην φωτοηλεκτρική διάταξη εφαρμόζεται το δυναμικό αποκοπής $V_0 = 1{,}6\text{V}$ και το ρεύμα είναι μηδέν ($i = 0$).

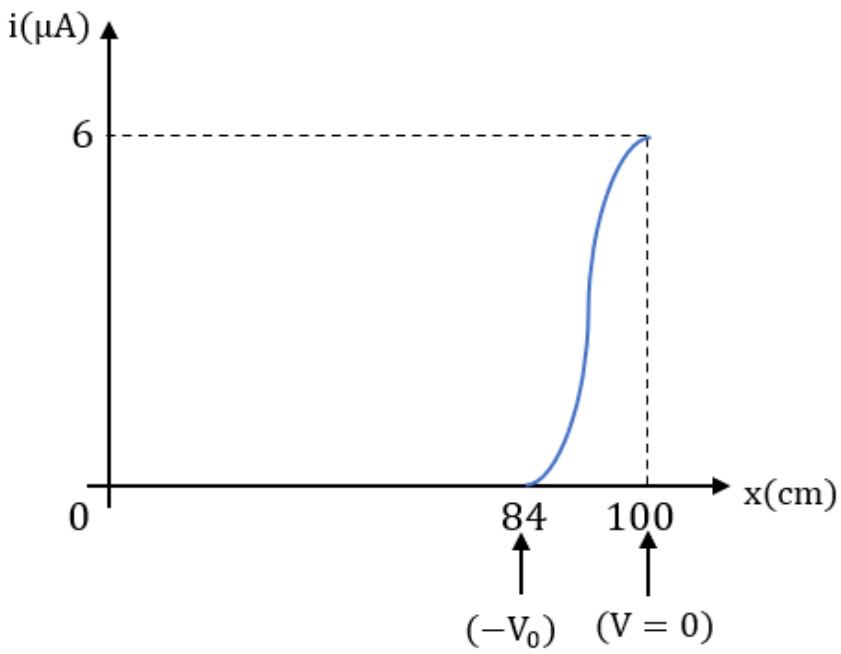
(0,5 για ορθή τιμή V_0, 0,5 για ορθή τιμή i, συνολικά 1 Μονάδα)

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
νέο φροντιστήριο

Όταν ο δρομέας βρεθεί στην θέση $x = 100\text{cm}$, στην φωτοηλεκτρική διάταξη εφαρμόζεται τάση $V = 0\text{V}$ και το ρεύμα στο μικροαμπερόμετρο είναι ίσο με $i = 6\mu\text{A}$.

(0,5 για ορθή τιμή V, 0,5 για ορθή τιμή i, συνολικά 1 Μονάδα)

Ποιοτικά η γραφική παράσταση της έντασης του ρεύματος σε συνάρτηση με την απόσταση x είναι ίδια με αυτή που απεικονίζεται στο 2ο τεταρτημόριο στο σχήμα 7.5, στην σελίδα 231 του σχολικού βιβλίου (τεύχος γ΄). Η μορφή της απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



(Πρώτο τμήμα στρέφει τα κοίλα πάνω: 1 Μονάδα)

(Δεύτερο τμήμα στρέφει τα κοίλα κάτω: 1 Μονάδα)

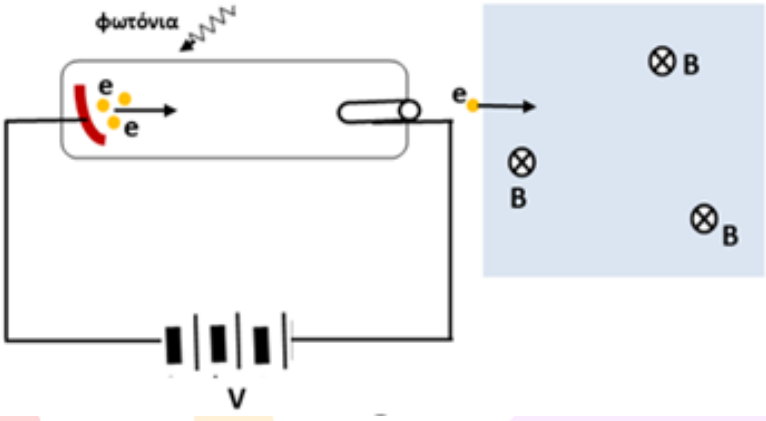
(-0,4 αν το δεξιό άκρο της καμπύλης οριζοντιώνεται)

Μονάδες 7

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
νέο φροντιστήριο

ΘΕΜΑ 4

Σε μια πειραματική διάταξη για την μελέτη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, χρησιμοποιείται πηγή μονοχρωματικής ακτινοβολίας που εκπέμπει φωτόνια συχνότητας $f = 10^{16}\text{Hz}$. Τα ηλεκτρόνια που εξέρχονται από την κάθοδο κινούνται προς την άνοδο και φθάνουν σε αυτή με κινητική ενέργεια $K_2 = 101K_1$ ως προς αυτήν που είχαν κατά την έξοδό τους από την κάθοδο. Το έργο εξόδου είναι $\varphi = 1{,}4\text{eV}$.



Να υπολογίσετε:

4.1. Την τάση αποκοπής του φωτορεύματος στο κύκλωμα.

Μονάδες 5

4.2. Την διαφορά δυναμικού ανόδου-καθόδου που επιταχύνει τα ηλεκτρόνια.

Μονάδες 7

Τα ηλεκτρόνια που φθάνουν στην άνοδο διέρχονται από οπή και με την βοήθεια πετάσματος επιλέγονται μόνο εκείνα που κινούνται ευθύγραμμα και οριζόντια. Από εκεί οδηγούνται σε μαγνητικό πεδίο στις δυναμικές γραμμές του οποίου εισέρχονται κάθετα και εκτελούν κυκλική κίνηση με περίοδο $T = 10^{-7}\text{s}$.

4.3. Να υπολογίσετε την ακτίνα της κυκλικής τους τροχιάς.

Μονάδες 7

4.4. Να υπολογίσετε την ένταση ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου που πρέπει να εφαρμόσουμε κατάλληλα ώστε τα ηλεκτρόνια να κινούνται ευθύγραμμα και ομαλά.

Μονάδες 6

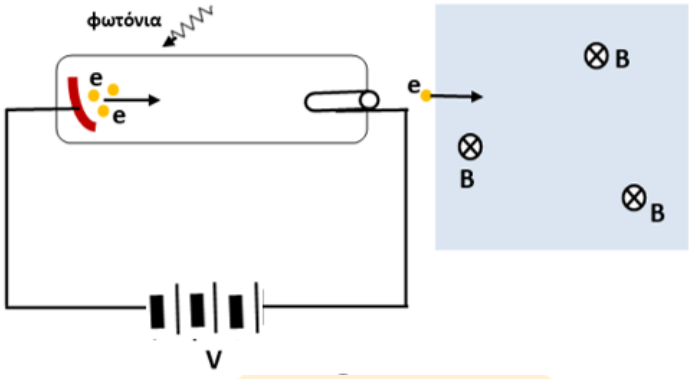
Δίνεται $\sqrt{1{,}42 \cdot 10^{15}} \simeq 37{,}7 \cdot 10^{6}$

Για τις τιμές των φυσικών σταθερών να συμβουλευτείτε το τυπολόγιο που σας δίνεται κατά την εξέταση.

νέο φροντιστήριο

ΘΕΜΑ 4

4.1.



Η τάση αποκοπής του φωτορεύματος δίνεται:

$$V_o = \frac{hf}{e} - \frac{\varphi}{e} \Leftrightarrow V_o = \frac{4{,}14 \cdot 10^{-15} eV \cdot s \cdot 10^{16} s^{-1}}{e} - \frac{1{,}4eV}{e} = 41{,}4V - 1{,}4V \Leftrightarrow V_o = 40V$$

Μονάδες 5

4.2. Για την διαφορά δυναμικού V, που επιταχύνει τα ηλεκτρόνια που εξέρχονται από την κάθοδο, ισχύει:

$$\Delta K = \Sigma W \Leftrightarrow K_2 - K_1 = W_{F_{\eta\lambda}} \Leftrightarrow 101 \cdot K_1 - K_1 = e \cdot V \Leftrightarrow 100 \cdot K_1 = e \cdot V \Leftrightarrow$$

$$100 \cdot \frac{1}{2} m_e \upsilon_1^2 = e \cdot V \qquad (1)$$

Όμως, για την έξοδο του κάθε ηλεκτρονίου από την κάθοδο, ισχύει:

$$\frac{1}{2} m_e \upsilon_1^2 = hf - \varphi \qquad (2)$$

Από (1) και (2):

$$100 \cdot (hf - \varphi) = e \cdot V \Leftrightarrow V = \frac{100 \cdot (hf - \varphi)}{e} = \frac{100 \cdot (4{,}14 \cdot 10^{-15} eV \cdot s \cdot 10^{16} s^{-1} - 1{,}4eV)}{e} \Leftrightarrow$$

$$V = 4000V$$

Μονάδες 7

4.3.Για την περίοδο T της κυκλικής κίνησης των ηλεκτρονίων όταν εισέρχονται στο μαγνητικό πεδίο, ισχύει:

$$T = \frac{2\pi m_e}{Bq} \qquad (3)$$

Για την ακτίνα της κυκλικής τροχιάς που εκτελούν:

$$R = \frac{m_e \upsilon_2}{Bq} \qquad (4)$$

Διαιρώντας κατά μέλη:

$$\frac{(4)}{(3)} \Leftrightarrow \frac{R}{T} = \frac{\frac{m_e \upsilon_2}{Bq}}{\frac{2\pi m_e}{Bq}} = \frac{m_e \upsilon_2}{2\pi m_e} = \frac{\upsilon_2}{2\pi} \Leftrightarrow R = \frac{\upsilon_2}{2\pi} T \qquad (5)$$

Όμως:

$$K_2 = 101 \cdot K_1 \Leftrightarrow \frac{1}{2} m_e \upsilon_2^2 = 101 \cdot \frac{1}{2} m_e \upsilon_1^2 \Leftrightarrow \frac{1}{2} m_e \upsilon_2^2 = 101 \cdot (hf - \varphi) \Leftrightarrow$$

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
νέο φροντιστήριο

$$\upsilon_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 101 \cdot (hf - \varphi)}{m_e}} = \sqrt{\frac{202 \cdot (6{,}63 \cdot 10^{-34}\,J \cdot s \cdot 10^{16} s^{-1} - 1{,}4 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} J)}{9{,}1 \cdot 10^{-31} kg}} \Leftrightarrow$$

$$\upsilon_2 = 37{,}7 \cdot 10^6 \frac{m}{s} \qquad (6)$$

Η (5) λόγω της (6) γίνεται:

$$R = \frac{\upsilon_2}{2\pi} T = \frac{37{,}7 \cdot 10^6 \frac{m}{s} \cdot 10^{-7} s}{2 \cdot 3{,}14} \Leftrightarrow R = 0{,}6m$$

Μονάδες 7

4.4. Για να κινηθούν τα ηλεκτρόνια ευθύγραμμα και ομαλά, θα πρέπει να εφαρμόσουμε κατάλληλο ομογενές ηλεκτρικό πεδίο, ώστε:

$$\vec{F}_{\eta\lambda} = -\vec{F}_L \Leftrightarrow \mathcal{E} \cdot q = B \cdot \upsilon_2 \cdot q \Leftrightarrow \mathcal{E} = B \cdot \upsilon_2 \qquad (7)$$

Από την (3) βρίσκουμε την ένταση του μαγνητικού πεδίου:

$$T = \frac{2\pi m_e}{Bq} \Leftrightarrow B = \frac{2\pi m_e}{Tq} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31} kg}{10^{-7} s \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} C} \Leftrightarrow B = \frac{57{,}14 \cdot 10^{-31} kg}{1{,}6 \cdot 10^{-26} C \cdot s} = 35{,}71 \cdot 10^{-5}\,T \qquad (8)$$

Άρα:

$$\mathcal{E} = B \cdot \upsilon_2 = 35{,}71 \cdot 10^{-5}\,T \cdot 37{,}7 \cdot 10^6 \frac{m}{s} \Leftrightarrow \mathcal{E} = 13462{,}67 \frac{V}{m}$$

Μονάδες 6

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

νέο φροντιστήριο

ΘΕΜΑ 4

Σε ένα πυρηνικό πείραμα, ένας πυρήνας Ηλίου (He) μάζας $m = 6{,}4 \cdot 10^{-27} Kg$ και ηλεκτρικού φορτίου $q = 3{,}2 \cdot 10^{-19} C$, κινείται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης μέτρου $B = 0{,}1T$, κάθετα στις δυναμικές γραμμές του πεδίου και διαγράφει κυκλική τροχιά ακτίνας $R_1 = 6cm$. Κάποια στιγμή ο πυρήνας He διαπερνά ένα λεπτό φύλλο μολύβδου, οπότε χάνει ενέργεια. Αμέσως μετά συνεχίζει να κινείται μέσα στο ίδιο ομογενές μαγνητικό πεδίο αλλά σε κυκλική τροχιά ακτίνας $R_2 = 2cm$.

Να υπολογίσετε:

4.1. την περίοδο της κυκλικής κίνησης του πυρήνα He πριν περάσει το φύλλο του μολύβδου και αφού το διαπεράσει. Τι παρατηρείτε;

Μονάδες 6

4.2. το μήκος κύματος de Broglie που αντιστοιχεί στον πυρήνα He πριν διαπεράσει το φύλλο μολύβδου.

Μονάδες 7

4.3. το ποσοστό επί τοις εκατό της μεταβολής του μήκους κύματος de Broglie που αντιστοιχεί στον πυρήνα He αφού διαπεράσει το φύλλο μολύβδου.

Μονάδες 6

4.4. την απώλεια ενέργειας του πυρήνα He κατά το πέρασμά του μέσα από το φύλλο του μολύβδου.

Μονάδες 6

Να θεωρήσετε ότι η σταθερά του Planck έχει τιμή $h = 6{,}6 \cdot 10^{-34} J \cdot s$.

νέο φροντιστήριο

ΘΕΜΑ 4

4.1. Ο πυρήνας Ηλίου (He) μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο δέχεται δύναμη Lorentz F_L, η οποία παραμένει μονίμως κάθετη στην ταχύτητά του παίζοντας ρόλο κεντρομόλου δύναμης. Έτσι ο πυρήνας He εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση, της οποίας η ακτίνα και η περίοδος δίνονται από τις σχέσεις:

$$R = \frac{mv}{B|q|} \quad (1) \qquad T = \frac{2\pi m}{B|q|} \quad (2)$$

Η περίοδος T_1 της κίνησης του πυρήνα He πριν περάσει το φύλλο του μολύβδου σύμφωνα με τη σχέση (2) είναι: $T_1 = \frac{2\pi m}{B|q|} = 4\pi \cdot 10^{-7} s$

Από τη σχέση (2) παρατηρούμε ότι η περίοδος είναι ανεξάρτητη της ταχύτητας, συνεπώς η περίοδος T_2 της κίνησης του πυρήνα He αφού περάσει το φύλλο του μολύβδου θα είναι $T_2 = T_1 = 4\pi \cdot 10^{-7} s$.

Μονάδες 6

4.2. Από τη σχέση (1) βρίσκουμε την ταχύτητα v_1 του πυρήνα He πριν διαπεράσει το φύλλο μολύβδου:

$$v_1 = \frac{BR_1|q|}{m} = 3 \cdot 10^5 \, m/s$$

Το μήκος κύματος de Broglie λ_1, που αντιστοιχεί στον πυρήνα He για τη συγκεκριμένη ταχύτητα είναι:

$$\lambda_1 = \frac{h}{p_1} = \frac{h}{mv_1} \Rightarrow \lambda_1 = 343{,}75 \cdot 10^{-15} \, m$$

Μονάδες 7

4.3. Από τη σχέση (1) βρίσκουμε την ταχύτητα v_2 του πυρήνα He αφού διαπεράσει το φύλλο μολύβδου:

$$v_2 = \frac{BR_2|q|}{m} = 10^5 \, m/s$$

Το μήκος κύματος de Broglie λ_2, που αντιστοιχεί στον πυρήνα He για τη συγκεκριμένη ταχύτητα είναι:

$$\lambda_2 = \frac{h}{p_2} = \frac{h}{mv_2} \Rightarrow \lambda_2 = 1031{,}25 \cdot 10^{-15} \, m$$

Το ποσοστό επί τοις εκατό της μεταβολής του μήκους κύματος de Broglie που αντιστοιχεί στον πυρήνα He αφού διαπεράσει το φύλλο μολύβδου είναι:

$$\pi\% = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1} \cdot 100\% = 200\%$$

Μονάδες 6

4.4. Η απώλεια ενέργειας $E_{\alpha\pi}$, του πυρήνα He κατά το πέρασμά του μέσα από το φύλλο του μολύβδου είναι:

$$E_{\alpha\pi} = |K_2 - K_1| = \left|\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2\right| = 25{,}6 \cdot 10^{-17} \, J$$

Μονάδες 6

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
νέο φροντιστήριο

ΘΕΜΑ 4

Μια μεταλλική επιφάνεια φωτίζεται με φως μήκους κύματος $\lambda_1 = 331{,}5\ nm$ και εκπέμπει φωτοηλεκτρόνια για τα οποία η τάση αποκοπής είναι $V_1 = 0{,}75\ eV$.

Δίνονται: η σταθερά του Planck $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\ Js$, η ταχύτητα του φωτός $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$, η μάζα του ηλεκτρονίου $m_e = 9 \cdot 10^{-31} Kg$ και $1eV = 1{,}6 \cdot 10^{-19} J$.

4.1. Να υπολογίσετε την κινητική ενέργεια με την οποία εγκαταλείπουν το μέταλλο τα φωτοηλεκτρόνια και το έργο εξαγωγής του μετάλλου.

Μονάδες 6

4.2. Να υπολογίσετε τη συχνότητα κατωφλίου f_0. Αν πέσει στη μεταλλική επιφάνεια φως μήκους κύματος $\lambda_2 = 600\ nm$ θα εξέλθουν φωτοηλεκτρόνια από το μέταλλο;

Μονάδες 6

Ακτίνες Χ με μήκος κύματος $\lambda = \frac{\lambda_2}{3 \cdot 10^3}$ σκεδάζονται από τα ηλεκτρόνια ενός στόχου από άνθρακα.

4.3. Να υπολογίσετε το μήκος κύματος των φωτονίων που σκεδάζονται κατά γωνία $\varphi = 60^o$ σε σχέση με την αρχική τους διεύθυνση.

Μονάδες 6

4.4. Να υπολογίσετε την κινητική ενέργεια, το μέτρο της ορμής και το μήκος κύματος de Broglie του ηλεκτρονίου μετά τη σκέδαση. Να μην λάβετε υπόψη σχετικιστικά φαινόμενα.

Μονάδες 7

νέο φροντιστήριο

ΘΕΜΑ 4

4.1. Για να εμποδίσουμε τα φωτοηλεκτρόνια που εξέρχονται από το μέταλλο με κινητική ενέργεια K_1 να φτάσουν στο απέναντι ηλεκτρόδιο πρέπει να εφαρμόσουμε τάση αποκοπής V_1 τέτοια ώστε

$$K_1 = e \cdot V_1 \Rightarrow K_1 = 0{,}75\ eV$$

Σύμφωνα με τη φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein

$$K_1 = h \cdot f_1 - \varphi \Rightarrow \varphi = h \cdot f_1 - K_1 \Rightarrow \varphi = h \cdot \frac{c}{\lambda_1} - K_1$$

όπου φ το έργο εξαγωγής του μετάλλου, επομένως

$$\varphi = \left(\frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{331{,}5 \cdot 10^{-9} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}} - 0{,}75\right) eV \Rightarrow \varphi = (3{,}75 - 0{,}75)\ eV \Rightarrow \varphi = 3\ eV$$

Μονάδες 6

4.2. Η συχνότητα κατωφλίου f_0 είναι ίση με

$$f_0 = \frac{\varphi}{h} \Rightarrow f_0 = \frac{3 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{6{,}63 \cdot 10^{-34}} Hz \Rightarrow f_0 = 72{,}4 \cdot 10^{13} Hz$$

Η συχνότητα f_2 του φωτός μήκους κύματος λ_2 θα είναι

$$c = \lambda_2 f_2 \Rightarrow f_2 = \frac{c}{\lambda_2} \Rightarrow f_2 = \frac{3 \cdot 10^{8}}{6 \cdot 10^{-7}} Hz \Rightarrow f_2 = 50 \cdot 10^{13} Hz$$

Παρατηρούμε ότι $f_2 < f_0$ άρα δεν θα εξέλθουν φωτοηλεκτρόνια από το μέταλλο.

Μονάδες 6

4.3. Οι ακτίνες Χ έχουν μήκος κύματος $\lambda = \frac{\lambda_2}{3 \cdot 10^3} \Rightarrow \lambda = \frac{6 \cdot 10^{-7}}{3 \cdot 10^3}\ m \Rightarrow \lambda = 20 \cdot 10^{-11}\ m$

Αν λ' είναι το μήκος κύματος των σκεδαζόμενων φωτονίων, τότε

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e \cdot c}(1 - \sigma\upsilon\nu\varphi) \Rightarrow \lambda' = \lambda + \frac{h}{m_e \cdot c}(1 - \sigma\upsilon\nu\varphi)$$

Επειδή η γωνία σκέδασης $\varphi = 60^o$, έχουμε $\sigma\upsilon\nu\varphi = 1/2$, επομένως

$$\lambda' = \left(20 \cdot 10^{-11} + \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{9 \cdot 10^{-31} \cdot 3 \cdot 10^{8}}\left(1 - \frac{1}{2}\right)\right) m \Rightarrow \lambda' = 20{,}12 \cdot 10^{-11}\ m$$

Μονάδες 6

4.4. Κατά τη σκέδαση ισχύει η αρχή διατήρησης της ενέργειας. Αν E_φ είναι η ενέργεια του προσπίπτοντος φωτονίου, E'_φ είναι η ενέργεια του σκεδαζόμενου φωτονίου και K_e είναι η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου μετά τη σκέδαση, τότε

$$E_\varphi = E'_\varphi + K_e \Rightarrow \frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda'} + K_e \Rightarrow K_e = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda'} \Rightarrow K_e = hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'}\right)$$

Επομένως

$$K_e = 6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8} \left(\frac{1}{20 \cdot 10^{-11}} - \frac{1}{20{,}12 \cdot 10^{-11}} \right) J \Rightarrow K_e = 59{,}3 \cdot 10^{-19} J$$

Αν p_e είναι το μέτρο της ορμής του ηλεκτρονίου μετά τη σκέδαση, τότε

$$K_e = \frac{p_e^2}{2m_e} \Rightarrow p_e = \sqrt{2K_e m_e} \Rightarrow p_e = \sqrt{2 \cdot 59{,}3 \cdot 10^{-19} \cdot 9 \cdot 10^{-31}} \, \frac{Kgm}{s}$$

$$\Rightarrow p_e = 32{,}7 \cdot 10^{-25} \, \frac{Kgm}{s}$$

Όμως

$$\lambda_e = \frac{h}{p_e} \Rightarrow \lambda_e = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{32{,}7 \cdot 10^{-25}} m \Rightarrow \lambda_e = 2 \cdot 10^{-10} \, m$$

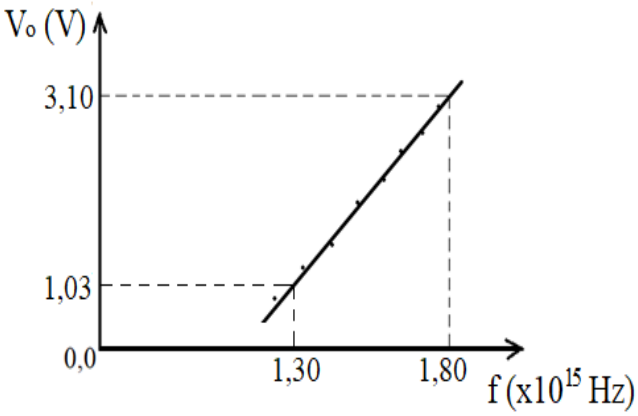
Μονάδες 7

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

νέο φροντιστήριο

ΘΕΜΑ 4

Κατά τη διάρκεια ενός πειράματος μελέτης του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, πήραμε τη γραφική παράσταση της τάσης αποκοπής V_o σε συνάρτηση με τη συχνότητα της ακτινοβολίας f που προσπίπτει στην κάθοδο, όπως φαίνεται στο διάγραμμα.



4.1. Από τη μελέτη του διαγράμματος να γράψετε την εξίσωση της τάσης αποκοπής V_o σε συνάρτηση με τη συχνότητα της ακτινοβολίας f. Ακολούθως, να αποδείξετε ότι η τιμή της σταθεράς του Planck είναι $h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}\ J \cdot s$.

Μονάδες 7

4.2. Να υπολογίσετε το έργο εξαγωγής του μετάλλου της επίστρωσης της επιφάνειας της καθόδου και τη συχνότητα κατωφλίου.

Μονάδες 6

Δέσμη φωτονίων μονοχρωματικής ακτινοβολίας μήκους κύματος λ, προσπίπτει σε στόχο από γραφίτη και σκεδάζεται. Ανιχνεύοντας τα φωτόνια που σκεδάζονται υπό γωνία $\varphi = 120^o$ σε σχέση με την αρχική κατεύθυνση κίνησης της δέσμης, διαπιστώνουμε ότι το μήκος κύματός τους έχει μεταβληθεί κατά 20%.

Να υπολογίσετε:

4.3. το μήκος κύματος λ της προσπίπτουσας δέσμης φωτονίων.

Μονάδες 6

4.4. την κινητική ενέργεια του ανακρουόμενου ηλεκτρονίου.

Μονάδες 6

Δίνονται: η ταχύτητα διάδοσης του φωτός $c = 3 \cdot 10^8\ m/s$, η μάζα του ηλεκτρονίου $m_e = 9 \cdot 10^{-31}\ Kg$, το ηλεκτρικό φορτίο του ηλεκτρονίου $q_e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C$. $συν120^o = -\frac{1}{2}$.

Τα αριθμητικά αποτελέσματα της άσκησης να υπολογιστούν με προσέγγιση δύο δεκαδικών ψηφίων.

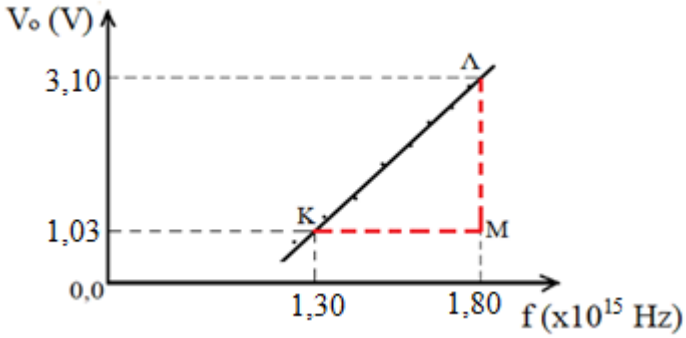
νέο φροντιστήριο

ΘΕΜΑ 4

4.1. Η γενική μορφή της εξίσωσης της τάσης αποκοπής V_o σε συνάρτηση με τη συχνότητα της ακτινοβολίας f είναι:

$$V_o = a \cdot f + \beta \quad (1)$$

Από τις τιμές που φαίνονται στο διάγραμμα υπολογίζουμε την κλίση της ευθείας:



$$\alpha = \frac{\Delta V_o}{\Delta f} = \frac{(M\Lambda)}{(KM)} = \frac{3{,}10 - 1{,}03}{(1{,}80 - 1{,}30) \cdot 10^{15}} \cdot \frac{V}{Hz} = 4{,}14 \cdot 10^{-15}\, V/Hz$$

Για $f = 1{,}30 \cdot 10^{15}\, Hz$ είναι $V_o = 1{,}03\, V$, άρα από τη σχέση (1) έχουμε:

$$1{,}03 = 4{,}14 \cdot 10^{-15} \cdot 1{,}30 \cdot 10^{15} + \beta \Rightarrow \beta = -4{,}35\, V$$

Συνεπώς προκύπτει:

$$V_o = 4{,}14 \cdot 10^{-15} \cdot f - 4{,}35 \quad (S.I.) \quad (2)$$

Από τη φωτοηλεκτρική εξίσωση έχουμε: $K = hf - \varphi \quad (3)$

Εφαρμόζοντας ΘΜΚΕ για την κίνηση ενός φωτοηλεκτρονίου από την κάθοδο στην άνοδο και θέτοντας όπου $K_{\alpha\nu} = 0$ και $K_{\kappa\alpha\theta} = K = eV_o$, έχουμε:

$$|q_e|V_o = hf - \varphi \Rightarrow V_o = \frac{h}{|q_e|} \cdot f - \frac{\varphi}{|q_e|} \quad (4)$$

Συγκρίνοντας τις εξισώσεις (2) και (4) υπολογίζουμε την τιμή της σταθεράς του Planck:

$$\frac{h}{|q_e|} = 4{,}14 \cdot 10^{-15} \cdot \frac{J \cdot s}{C} \Rightarrow h = 4{,}14 \cdot 10^{-15} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\, J \cdot s \Rightarrow h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}\, J \cdot s$$

Μονάδες 7

4.2. Συγκρίνοντας τις εξισώσεις (2) και (4) υπολογίζουμε το έργο εξαγωγής του μετάλλου της επίστρωσης της επιφάνειας της καθόδου:

$$\frac{\varphi}{|q_e|} = 4{,}35 \frac{J}{C} \Rightarrow \varphi = 4{,}35 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} J \Rightarrow \varphi = 6{,}96 \cdot 10^{-19}\, J$$

Η συχνότητα κατωφλίου f_o δίνεται από τη σχέση:

$$f_o = \frac{\varphi}{h} = \frac{6{,}96 \cdot 10^{-19}}{6{,}62 \cdot 10^{-34}}\, Hz = 1{,}05 \cdot 10^{15}\, Hz$$

Μονάδες 6

4.3. Αν λ' είναι το μήκος κύματος των σκεδαζόμενων φωτονίων, τότε σύμφωνα με την εξίσωση Compton έχουμε:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e \cdot c}(1 - \sigma\upsilon\nu\varphi) \Rightarrow \lambda' = \lambda + \frac{h}{m_e \cdot c}(1 - \sigma\upsilon\nu 120^o) \Rightarrow \lambda' = \lambda + \frac{3}{2} \cdot \frac{h}{m_e \cdot c} \quad (5)$$

Σύμφωνα με την εκφώνηση για την κατά 20% μεταβολή του μήκους κύματος έχουμε:

$$\frac{\lambda' - \lambda}{\lambda} \cdot 100\% = 20\% \Rightarrow \frac{\lambda' - \lambda}{\lambda} = 0{,}2 \Rightarrow \lambda' = 1{,}2\lambda \quad (6)$$

ΑΠΑΝΤΗΣΗ
νέο φροντιστήριο

Από τις σχέσεις (5) και (6) βρίσκουμε:

$$1{,}2\lambda = \lambda + \frac{3}{2}\cdot\frac{h}{m_e\cdot c} \Rightarrow \frac{\lambda}{5} = \frac{3}{2}\cdot\frac{h}{m_e\cdot c} \Rightarrow \lambda = \frac{15}{2}\cdot\frac{h}{m_e\cdot c} \Rightarrow \lambda = 1{,}84\cdot 10^{-11}\,m$$

Μονάδες 6

4.4. Κατά τη σκέδαση ισχύει η αρχή διατήρησης της ενέργειας. Αν E_φ είναι η ενέργεια του προσπίπτοντος φωτονίου, E'_φ είναι η ενέργεια του σκεδαζόμενου φωτονίου και K_e είναι η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου μετά τη σκέδαση, τότε

$$E_\varphi = E'_\varphi + K_e \Rightarrow \frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda'} + K_e \Rightarrow K_e = hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'}\right) \quad (7)$$

Λαμβάνοντας υπόψη τη σχέση (6), η εξίσωση (7) γίνεται:

$$K_e = \frac{hc}{6\lambda} \Rightarrow K_e = 1{,}80\cdot 10^{-15}\,J$$

Μονάδες 6

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

νέο φροντιστήριο

ΘΕΜΑ 4

Κατά τη διάρκεια διεξαγωγής πειράματος το δέρμα των επιστημόνων εκτίθεται σε ανεπιθύμητη υπεριώδη ακτινοβολία συνολικής ενέργειας 200 J. Για να μην υποστεί το δέρμα τους έγκαυμα πρέπει η απορροφούμενη από αυτό ενέργεια να μην υπερβαίνει το 21% της συνολικής ενέργειας της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Το μήκος κύματος της ανεπιθύμητης προσπίπτουσας υπεριώδους ακτινοβολίας είναι $6{,}63\ nm$. Τότε:

4.1. Να υπολογίσετε **τ**ον μέγιστο αριθμό των φωτονίων n που μπορεί να απορροφήσει η επιφάνεια για να αποφύγουμε το έγκαυμα.

Μονάδες 5

Στη συνέχεια αν ο ρυθμός απορρόφησης της ενέργειας από την επιφάνεια του δέρματος θεωρηθεί σταθερός και απορροφηθούν $N = 10^3$ φωτόνια σε χρονικό διάστημα $\Delta t_1 = 10^{-12}\ s$,

4.2. να υπολογίσετε την ισχύ της απορροφούμενης ακτινοβολίας και την ολική απορροφούμενη ενέργεια σε χρονικό διάστημα $\Delta t_2 = 2\ min$.

Μονάδες 6

4.3. Για ποιο χρονικό διάστημα πρέπει να είμαστε εκτεθειμένοι στην ακτινοβολία αυτή για να μην προκληθεί ο παραπάνω τραυματισμός (έγκαυμα);

Μονάδες 7

4.4. Εάν η απορρόφηση της ακτινοβολίας, μπορεί να προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας του δέρματος κατά 2 °C ανά 4 J να βρεθεί η αύξηση της θερμοκρασίας του όταν προσληφθεί ο μέγιστος αριθμός φωτονίων.

Μονάδες 7

Δίνεται: Δίνεται η σταθερά του Planck : $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\,\mathrm{J} \cdot s$

και η ταχύτητα του φωτός στον αέρα: $c = 3 \cdot 10^8\,\frac{m}{s}$

νέο φροντιστήριο

ΘΕΜΑ 4

4.1. Ισχύει ότι:

$$E_{απορ} \leq \frac{21}{100} E_{προσπ} \text{ ή } E_{απορ} \leq \frac{21}{100} \cdot 200\,(\mathrm{J}) \text{ ή } E_{απορ} \leq 42\,(\mathrm{J})$$

Επομένως η μέγιστη απορροφούμενη ενέργεια για να μην πάθουμε έγκαυμα είναι ή $E_{απορ}(\max) = 42\,(\mathrm{J})$.

Η ακτινοβολία (φως) αποτελείται από μικρά πακέτα ενέργειας που ονομάζονται κβάντα φωτός ή φωτόνια. Η ενέργεια του κάθε φωτονίου της ακτινοβολίας είναι:

$$E = h \cdot f$$

Όπου f η συχνότητα της ακτινοβολίας και h η σταθερά του Planck.

Επίσης:

$$c = \lambda \cdot f$$

Προκύπτει για την ενέργεια του κάθε φωτονίου:

$$E = h \cdot \frac{c}{\lambda} \text{ ή } E = 6{,}63 \cdot 10^{-34}(\mathrm{J} \cdot s) \cdot \frac{3 \cdot 10^{8}(\frac{m}{s})}{6{,}63 \cdot 10^{-9}(m)} \text{ ή } E = 3 \cdot 10^{-17}(\mathrm{J})$$

Για να υπολογίσουμε τον αριθμό των φωτονίων γράφουμε:

$$E_{απορ}(\max) = n \cdot E \text{ ή } n = \frac{42(\mathrm{J})}{3 \cdot 10^{-17}(\mathrm{J})} = 14 \cdot 10^{17}\ \varphi\omega\tau\acute{o}\nu\iota\alpha$$

Μονάδες 5

4.2.

$$\mathrm{P} = \frac{E_{απορ}}{\Delta t_1} = \frac{n \cdot E}{\Delta t_1} = \frac{10^3 \cdot 3 \cdot 10^{-17}(\mathrm{J})}{10^{-12}(s)} = 3 \cdot 10^{-2}\left(\frac{\mathrm{J}}{s}\right)$$

Δεδομένου ότι η ισχύς παραμένει η ίδια, για το δεύτερο χρονικό διάστημα έχουμε:

$$\mathrm{P} = \frac{E'_{απορ}}{\Delta t_2} \text{ ή } E'_{απορ} = 3 \cdot 10^{-2}\left(\frac{\mathrm{J}}{s}\right) \cdot 2 \cdot 60 \cdot (s) \text{ ή } E'_{απορ} = 3{,}6\,(\mathrm{J})$$

Μονάδες 6

4.3.

$$P = \frac{E}{t} \text{ ή } 3 \cdot 10^{-2}\left(\frac{\mathrm{J}}{s}\right) = \frac{42(\mathrm{J})}{t} \text{ ή } t = 1400(s)$$

Μονάδες 7

4.4.

Τα 4 J προκαλούν αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2 °C

Τα 42 J θα προκαλέσουν αύξηση της θερμοκρασίας κατά: $2\,(°\mathrm{C}) \cdot \frac{42(\mathrm{J})}{4(\mathrm{J})} = 21°\mathrm{C}$

Μονάδες 7

νέο φροντιστήριο