

ΦΥΣΙΚΗ ΟΜΑΔΑΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΘΕΤΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

1^ο ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΑ (ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8) - ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ

ΘΕΜΑ Α

A1α. α A1Β. δ

A2α. γ A2Β. δ

A3α. γ A3Β. α

A4α. δ A4Β. α

A5. Λ, Λ, Σ, Λ, Σ

ΘΕΜΑ Β

B1. Σωστή απάντηση είναι η (α).

Η μεταβλητή αντίσταση του φωτοκύτταρου λειτουργεί ως ρυθμιστής της τάσης και λέγεται ποτενσιόμετρο.

Όταν ο δρομέας Δ βρίσκεται ακριβώς επάνω στην επαφή Μ έχουμε βραχυκυκλώσει το κύκλωμα που αποτελούν το μικροαμπερόμετρο με τα ηλεκτρόδια ανόδου - καθόδου, δηλαδή δεν υπάρχει διαφορά δυναμικού μεταξύ ανόδου-καθόδου, άρα στην περίπτωση αυτή τα φωτοηλεκτρόνια απορροφούν ενέργεια μόνο από τη φωτεινή δέσμη.

Όταν ο δρομέας Δ βρίσκεται αριστερά από την επαφή Μ, η άνοδος έχει μικρότερο δυναμικό από την κάθοδο με αποτέλεσμα το ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ ανόδου - καθόδου να παρεμποδίζει τα ηλεκτρόνια που εξέρχονται από την κάθοδο να φτάσουν στην άνοδο. Στην περίπτωση αυτή τα φωτοηλεκτρόνια απορροφούν ενέργεια από τη φωτεινή δέσμη, μέρος της οποίας αποδίδουν στην ηλεκτρική πηγή. Αυτό συμβαίνει διότι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου $\vec{E}$ έχει φορά από την κάθοδο προς την άνοδο και η δύναμη $\vec{F}_{ηλ}$ που ασκεί το πεδίο στα ηλεκτρόνια έχει φορά από την άνοδο προς την κάθοδο, άρα τα επιβραδύνει.

Όταν ο δρομέας Δ βρίσκεται δεξιά από την επαφή Μ, η άνοδος έχει μεγαλύτερο δυναμικό από την κάθοδο με αποτέλεσμα τα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται από την κάθοδο να επιταχύνονται από το ηλεκτρικό πεδίο. Στην περίπτωση αυτή τα φωτοηλεκτρόνια απορροφούν ενέργεια και από τη φωτεινή δέσμη και από την ηλεκτρική πηγή.

B2. Σωστή απάντηση είναι η (β).

Για τις ορμές του ηλεκτρονίου και του πρωτονίου ισχύει $p_e = p_p$, οπότε για τις αβεβαιότητες στις θέσεις του ηλεκτρονίου και του πρωτονίου θα έχουμε

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_e = 2\lambda_e = \frac{2h}{p_e} \\ \Delta x_p = 2\lambda_p = \frac{2h}{p_p} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Delta x_e = \Delta x_p$$

Από τη σχέση αβεβαιότητας θέσης - ορμής προκύπτει

$$\Delta p \Delta x \geq \frac{h}{2\pi} \quad \text{ή} \quad m \Delta v \Delta x \geq \frac{h}{2\pi} \quad \text{ή} \quad \Delta v \geq \frac{h}{2\pi} \frac{1}{m \Delta x}$$

Για τις ελάχιστες αβεβαιότητες των ταχυτήτων του ηλεκτρονίου και του πρωτονίου έχουμε

$$\text{Ηλεκτρόνιο: } \Delta v_e = \frac{h}{2\pi} \frac{1}{m_e \Delta x_e}$$

$$\text{Πρωτόνιο: } \Delta v_p = \frac{h}{2\pi} \frac{1}{m_p \Delta x_p}$$

Παίρνοντας υπόψη ότι $m_e = \frac{1}{1830} m_p$ και $\Delta x_e = \Delta x_p$ έχουμε

$$\Delta v_e = \frac{h}{2\pi} \frac{1}{m_e \Delta x_e} \quad \text{ή} \quad \Delta v_e = \frac{h}{2\pi} \frac{1}{m_p \Delta x_p} \cdot 1830 \quad \text{ή} \quad \Delta v_e = 1830 \Delta v_p$$

B3. Το μήκος κύματος του ορατού φωτός, κυμαίνεται από τα 400nm έως τα 700nm. Το αριστερό άκρο, δηλαδή το μικρότερο μήκος κύματος προκαλεί στον άνθρωπο την αίσθηση του ιώδους χρώματος, ενώ το δεξιό άκρο, δηλαδή το μεγαλύτερο μήκος κύματος, την αίσθηση του ερυθρού. Το κίτρινο είναι περίπου στο μέσο του ορατού φάσματος.

Σύμφωνα με το νόμο μετατόπισης του Wien, ένας αστέρας με επιφανειακή θερμοκρασία μικρότερη από αυτή του Ήλιου εκπέμπει το μέγιστο της έντασης ακτινοβολίας σε μήκος κύματος μεγαλύτερο από το αντίστοιχο του Ήλιου. Σύμφωνα με τα παραπάνω οι ζητούμενες αντιστοιχίες είναι:

Επιφανειακή θερμοκρασία
 α. 3500 K
 β. 5700 K
 γ. 11200 K

Όνομα αστέρα
 iii. Βετελγέζης
 i. Ήλιος
 ii. Σείριος

B4. Σωστή απάντηση η (γ).

Στο φαινόμενο Compton το σκεδαζόμενο φωτόνιο κινείται σχηματίζοντας γωνία φ με την αρχική διεύθυνση κίνησης του προσπίπτοντος φωτονίου, έχοντας χάσει τμήμα της αρχικής του ενέργειας αφού ένα μέρος της αρχικής του ενέργειας μεταφέρεται στο αρχικά ακίνητο ηλεκτρόνιο. Από την αρχή διατήρησης της ενέργειας συμπεραίνουμε ότι το σκεδαζόμενο φωτόνιο έχει μικρότερη ενέργεια από την ενέργεια που είχε το προσπίπτον φωτόνιο. Η ενέργεια του φωτονίου είναι ανάλογη

της συχνότητάς του, άρα το σκεδαζόμενο φωτόνιο έχει μικρότερη συχνότητα από τη συχνότητα που είχε το προσπίπτον.

Η διαφορά των μηκών κύματος σκεδαζόμενου και προσπίπτοντος φωτονίου δίνεται από τη σχέση:

$$\lambda' - \lambda = \lambda_c (1 - \cos \varphi) \Rightarrow (1 - \cos \varphi) = \frac{\lambda' - \lambda}{\lambda_c} \Rightarrow$$

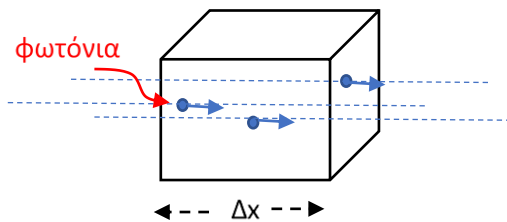
$$\cos \varphi = 1 - \frac{\lambda' - \lambda}{\lambda_c} \Rightarrow \cos \varphi = \frac{\lambda_c - (\lambda' - \lambda)}{\lambda_c} \quad (1)$$

Όμως γνωρίζουμε από τα δεδομένα ότι $\lambda' - \lambda > \lambda_c \Rightarrow \lambda_c - (\lambda' - \lambda) < 0 \Rightarrow \cos \varphi < 0$

Άρα για τη γωνία σκέδασης θα ισχύει $\frac{\pi}{2} < \varphi \leq \pi$.

ΘΕΜΑ Γ

Γ1. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα φωτόνια τα οποία διασχίζουν ένα «κυβάκι» όγκου 1cm^3 . Καθώς εισέρχονται κάθετα από την μια πλευρά και εξέρχονται κάθετα από την απέναντι της διανύουν απόσταση $\Delta x = 1\text{cm}$, όπου $\Delta x = c\Delta t$ (c η ταχύτητα του φωτός).



Ο χρόνος κίνησης ενός φωτονίου μέσα στο «κυ-

$$\text{βάκι}» \text{ είναι } \Delta t = \frac{\Delta x}{c} = \frac{10^{-2}\text{m}}{3 \cdot 10^8\text{m/s}} = \frac{1}{3} \cdot 10^{-10}\text{s}$$

Σε 1s διέρχεται από την επιφάνεια 1cm^2 ενέργεια $9 \cdot 10^{-5}\text{J/s}$, οπότε σε χρονικό διάστημα

$\Delta t = \frac{1}{3} \cdot 10^{-10}\text{s}$ διέρχεται από την επιφάνεια 1cm^2 ενέργεια E που είναι ίση με

$$E = \left(9 \cdot 10^{-5} \frac{\text{J}}{\text{s}} \right) \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot 10^{-10}\text{s} \right) \Rightarrow E = 3 \cdot 10^{-15}\text{J}$$

Ο αριθμός των φωτονίων που αντιστοιχούν στην παραπάνω ενέργεια είναι

$$E = N_\varphi hf = N_\varphi \frac{hc}{\lambda} \quad \text{ή} \quad N_\varphi = \frac{\lambda E}{hc} = \frac{(3,3 \cdot 10^{-7}\text{m}) \cdot (3 \cdot 10^{-15}\text{J})}{(6,6 \cdot 10^{-34}\text{J} \cdot \text{s}) \cdot (3 \cdot 10^8\text{m/s})} \Rightarrow N_\varphi = 5 \cdot 10^3 \text{ φωτόνια}$$

Γ2. Η ισχύς της ακτινοβολίας είναι $P = \frac{E_{\text{ολ.}}}{t} = 9 \cdot 10^{-5}\text{J/s}$, οπότε για τον αριθμό των φωτονίων που προσπίπτουν στην κάθοδο ανά 1s έχουμε

$$P = \frac{E_{ολ.}}{t} \quad \text{ή} \quad E_{ολ.} = Pt \quad \text{ή} \quad N_{\varphi} E_{\varphi} = Pt \quad \text{ή} \quad \frac{N_{\varphi}}{t} = \frac{P}{E_{\varphi}} \quad \text{ή}$$

$$\frac{N_{\varphi}}{t} = \frac{P}{\frac{hc}{\lambda}} \quad \text{ή} \quad \frac{N_{\varphi}}{t} = \frac{P\lambda}{hc} \quad \text{ή} \quad \frac{N_{\varphi}}{t} = \frac{(9 \cdot 10^{-5} \text{ J/s}) \cdot (3,3 \cdot 10^{-7} \text{ m})}{(6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}) \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})} \quad \text{ή} \quad \frac{N_{\varphi}}{t} = 1,5 \cdot 10^{14} \text{ φωτ} / \text{s}$$

Γ3. Με αντικατάσταση στη φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein υπολογίζουμε το έργο εξαγωγής

$$hf = K_{\max} + \phi \quad \text{ή} \quad \phi = hf - K_{\max} = \frac{hc}{\lambda} - K_{\max} \quad \text{ή}$$

$$\phi = \frac{(6,6 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{1}{1,6} 10^{19} \text{ eV} \cdot \text{s}) \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})}{3,3 \cdot 10^{-7} \text{ m}} - 1,75 \text{ eV} = 3,75 \text{ eV} - 1,75 \text{ eV} \Rightarrow \phi = 2 \text{ eV}$$

Γ4. Από την ένταση του ρεύματος θα υπολογίσουμε τον αριθμό των ηλεκτρονίων ανά sec (ρυθμός ηλεκτρονίων (N_e/t) και εάν είναι ίσος με τον αριθμό των φωτονίων ανά sec (N_{φ}/t) τότε το ρεύμα έχει τη μέγιστη (σταθερή) τιμή.

$$i = \frac{q}{t} = \frac{N_e e}{t} \quad \text{ή} \quad \frac{N_e}{t} = \frac{i}{e} = \frac{2,4 \cdot 10^{-5} \text{ A}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} \Rightarrow \frac{N_e}{t} = 1,5 \cdot 10^{14} \text{ ηλεκτρόνια/s}$$

$$\text{Βλέπουμε ότι ισχύει } \frac{N_e}{t} = \frac{N_{\varphi}}{t} = 1,5 \cdot 10^{14} \text{ ηλεκτρόνια/s}$$

Άρα, η τιμή αυτή του φωτορεύματος αντιστοιχεί στην σταθερή μέγιστη τιμή.

ΘΕΜΑ Δ

Δ1. Οι εξισώσεις που περιγράφουν το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος το οποίο διαδίδεται στο κενό είναι

$$E = E_{\max} \eta \mu 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (S.I.)$$

$$B = B_{\max} \eta \mu 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (S.I.)$$

$$\text{με } \frac{E_{\max}}{B_{\max}} = c$$

Οι εξισώσεις για το ηλεκτρομαγνητικό κύμα που μας δίνεται είναι

$$E = 60\eta\mu\left(10^{15}\pi t - \frac{\pi x}{3 \cdot 10^{-7}}\right) \quad (S.I.)$$

$$B = B_{\max}\eta\mu\left(10^{15}\pi t - \frac{\pi x}{3 \cdot 10^{-7}}\right) \quad (S.I.)$$

Οπότε έχουμε

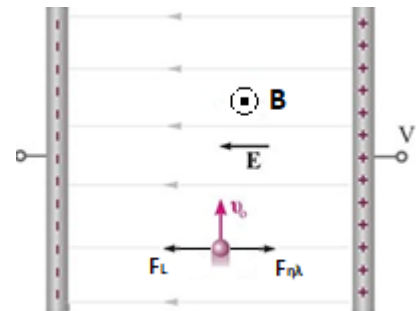
$$E_{\max} = 60V / m$$

$$\frac{2\pi}{T} = 2\pi f = (10^{15}\pi)Hz \quad \text{ή} \quad f = 5 \cdot 10^{14}Hz$$

$$\frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\pi}{3 \cdot 10^{-7}m} \quad \text{ή} \quad \lambda = 6 \cdot 10^{-7}m$$

$$\text{Η μέγιστη ένταση του μαγνητικού πεδίου } B_{\max} = \frac{E_{\max}}{c} = \frac{60V / m}{3 \cdot 10^8 m / s} \Rightarrow B_{\max} = 2 \cdot 10^{-7}T$$

Δ2. Ο επιλογέας ταχυτήτων αποτελείται από ένα ομογενές ηλεκτρικό και ένα ομογενές μαγνητικό πεδίο τα οποία είναι κάθετα μεταξύ τους. Η τιμή και η κατεύθυνση των πεδίων αυτών είναι τέτοια ώστε η ηλεκτρική και η μαγνητική δύναμη που θα ασκηθούν σ' ένα φορτίο το οποίο θα εισέλθει μέσα στον επιλογέα να εξισορροπούνται όπως δείχνεται στο σχήμα. Επομένως η δύναμη Lorentz θα πρέπει να έχει φορά προς τα αριστερά. Με τον κανόνα του δεξιού χεριού προκύπτει ότι η ένταση του μαγνητικού πεδίου έχει φορά από τη σελίδα προς τον αναγνώστη.



$$\text{Από την ισορροπία των δυνάμεων έχουμε } F_{\eta\lambda} = F_L \quad \text{ή} \quad Eq = Bv_0q \quad \text{ή} \quad v_0 = \frac{E}{B}$$

$$\text{οπότε } v_0 = \frac{E_1}{B_1} = \frac{120V / m}{2 \cdot 10^{-4}T} \Rightarrow v_0 = 6 \cdot 10^5 m / s$$

Δ3. Η μέγιστη κινητική ενέργεια των φωτοηλεκτρονίων είναι

$$K_{\max} = \frac{1}{2}m_e v_1^2 = \frac{1}{2}(9 \cdot 10^{-31}kg) \cdot (6 \cdot 10^5 m / s)^2 = 1,62 \cdot 10^{-19} J \quad \text{ή}$$

$$K_{\max} = 1,62 \cdot 10^{-19} \cdot \frac{1}{1,6} 10^{19} eV \Rightarrow K_{\max} = 1,01 eV$$

Για το έργο εξαγωγής χρησιμοποιώντας τη φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein, έχουμε

$$K_{\max} = hf - \phi \quad \text{ή}$$

$$\phi = \frac{hc}{\lambda} - K_{\max} = \frac{(6,6 \cdot 10^{-34} \frac{1}{1,6} 10^{19} \text{ eV} \cdot \text{s})(3 \cdot 10^8 \text{ m/s})}{6 \cdot 10^{-7} \text{ m}} - 1,01 \text{ eV} = 2,06 \text{ eV} - 1,01 \text{ eV} \Rightarrow \phi = 1,05 \text{ eV}$$

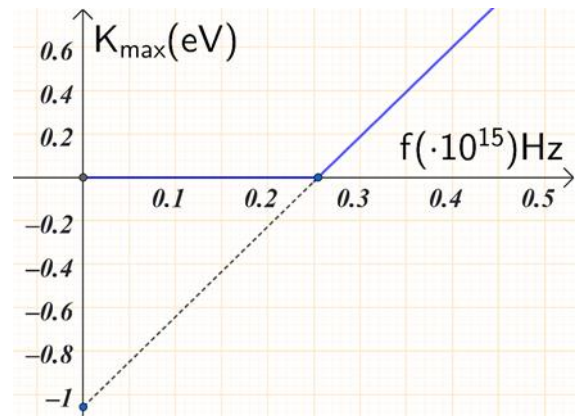
Η συχνότητα κατωφλίου είναι $f_o = \frac{\phi}{h} = \frac{1,05 \text{ eV}}{6,6 \cdot 10^{-34} \frac{1}{1,6} 10^{19} \text{ eV} \cdot \text{s}} \Rightarrow f_o = 2,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

Δ4. Η φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein $K_{\max} = hf - \phi$ είναι εξίσωση ευθείας της μορφής $y = ax - \beta$ που στην περίπτωση μας γράφεται

$$K_{\max} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot f - 1,05 \quad (f \text{ σε Hz}, K_{\max} \text{ σε eV}) \quad \text{ή}$$

$$K_{\max} = 4,125 \cdot 10^{-15} f - 1,05 \quad (f \text{ σε Hz}, K_{\max} \text{ σε eV})$$

και $f \geq 2,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$



Η εκπόνηση του διαγωνίσματος έγινε με τη βοήθεια Εθελοντών Εκπαιδευτικών:

Τα θέματα επιμελήθηκαν οι Μπαγανάς Ιωάννης, Παρασκευόπουλος Γεώργιος και Πετρίδης Παναγιώτης, Φυσικοί.

Ο επιστημονικός έλεγχος πραγματοποιήθηκε από τον Παλόγο Αντώνιο, Φυσικό.