

1. Εργαστηριακή άσκηση στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Σε μια εργαστηριακή άσκηση για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο έχουν καταγραφεί τα παρακάτω δεδομένα για το μήκος κύματος λ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και την αντίστοιχη τάση αποκοπής V_0

Μήκος κύματος λ (nm)	250	300	400	500
Τάση αποκοπής V_0 (Volt)	2,905	2,075	1,3475	0,415

α. Να γίνει σε βαθμολογημένους άξονες η γραφική παράσταση $V_0(f)$ της τάσης αποκοπής σε συνάρτηση με την αντίστοιχη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Από την ανωτέρω γραφική παράσταση να υπολογισθούν,

β. η σταθερά h του Planck,

γ. το έργο εξαγωγής ϕ .

δ το μέγιστο μήκος κύματος για το οποίο έχουμε φωτοηλεκτρικό φαινόμενο,

Δίνεται η ταχύτητα του φωτός $c=3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.



Απάντηση:

Θεωρητικό μέρος

Στην εργαστηριακή διάταξη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου αν η τάση αντιστραφεί, με το δυναμικό της ανόδου (Α) να είναι μικρότερο από αυτό της καθόδου (Κ), το ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ ανόδου- καθόδου εμποδίζει τα ηλεκτρόνια να φθάσουν στην άνοδο. Το ηλεκτρικό ρεύμα κόβεται, όταν τα ηλεκτρόνια οριακά φθάνουν στην άνοδο με μηδενική ταχύτητα. Η τάση V_0 εκείνη τη στιγμή είναι η **τάση αποκοπής**.

Έτσι για τα ηλεκτρόνια στην κίνησή τους από την κάθοδο στην άνοδο έχουμε $\Delta K = W_{\eta\lambda} \Rightarrow K_{av} - K_{καθ} = -|q_e|V \Rightarrow$

$0 - K = -|q_e|V_0 \Rightarrow K = |q_e|V_0$ (1) (...όπου Κ η κινητική ενέργεια εξόδου των ηλεκτρονίων από την κάθοδο και V_0 η τάση αποκοπής).

Από την φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein έχουμε $K = hf - \phi \xrightarrow{(1)} |q_e|V_0 = hf - \phi \Rightarrow$

$$V_0 = \frac{h}{|q_e|}f - \frac{\phi}{|q_e|} \quad (2).$$

Παρατηρούμε ότι η τάση αποκοπής V_0 είναι γραμμική συνάρτηση της συχνότητας f της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και αποδίδεται από το διάγραμμα του σχήματος.

Σχόλια:

1. Ο συντελεστής διεύθυνσης της ευθείας $V_0(f)$ όπως φαίνεται από την εξίσωση (2) είναι

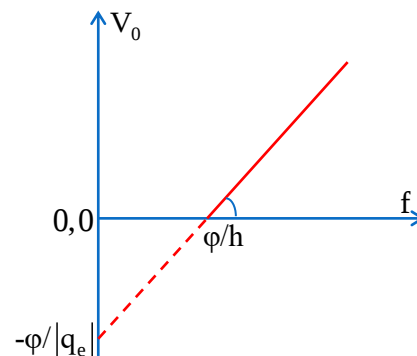
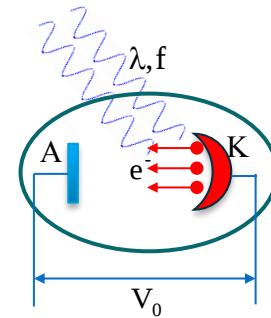
$$\kappa = \frac{\Delta V_0}{\Delta f} = \frac{h}{|q_e|} \quad (3)$$

2. Για $f=0$ (θεωρητικά) από την εξίσωση (2) προκύπτει $V_0 = -\frac{\phi}{|q_e|}$ (4)....που είναι το σημείο που η $V_0(f)$ τέμνει τον άξονα V_0 της τάσης αποκοπής.

3. Για $V_0=0$ από την εξίσωση (2) προκύπτει $0 = \frac{h}{|q_e|}f - \frac{\phi}{|q_e|} \Rightarrow f = \frac{\phi}{h}$ που είναι το σημείο που η $V_0(f)$ τέμνει τον άξονα f των συχνοτήτων.

4. Η τιμή $f = \frac{\phi}{h} = f_0$ (5), που η $V_0(f)$ τέμνει τον άξονα f των συχνοτήτων, είναι η συχνότητα κατωφλίου για την οποία σταματάει η έξοδος των ηλεκτρονίων. Πράγματι αν στην φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein $K = hf - \phi$ θέσουμε $K=0$ παίρνουμε $0 = hf_0 - \phi \Rightarrow$

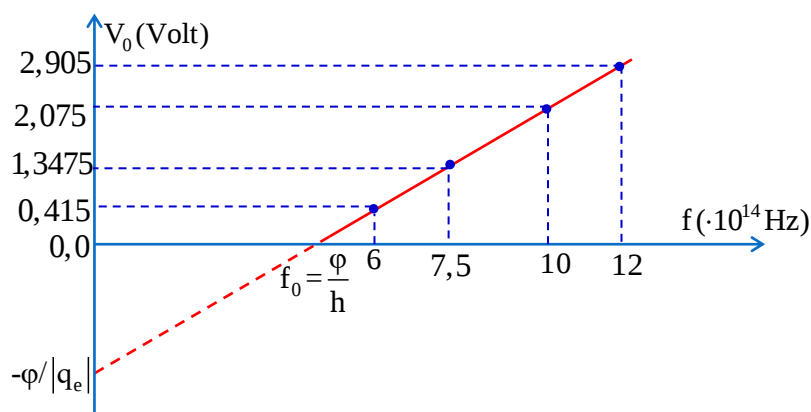
$$f_0 = \frac{\phi}{h}.$$



Η επεξεργασία των δεδομένων.

α) Με βάση τον δεδομένο πίνακα και τη σχέση $f=c/\lambda$ σχηματίζουμε τον πίνακα τιμών των συχνοτήτων της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και της τάσης αποκοπής.

Μήκος κύματος λ ($\cdot 10^{-7}\text{m}$)	2,50	3,00	4,00	5,00
Συχνότητα $f=c/\lambda$ ($\cdot 10^{14}\text{Hz}$)	12	10	7,5	6
Τάση αποκοπής $V_0(\text{Volt})$	2,905	2,075	1,3475	0,415



β) Ο συντελεστής διεύθυνσης της ευθείας $V_0(f)$, που έγινε με βάση τα πειραματικά δεδομένα,

$$\text{είναι } \kappa = \frac{\Delta V_0}{\Delta f} = \frac{2,905 - 0,415 \text{ Volt}}{(12 - 6) \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}} \Rightarrow \kappa = 0,415 \cdot 10^{-14} \text{ Vs}$$

$$\text{Με βάση τη σχέση (3) του θεωρητικού μέρους } \kappa = \frac{h}{|q_e|} \Rightarrow h = \kappa |q_e| \xrightarrow{\text{S.I.}}$$

$$h = 0,415 \cdot 10^{-14} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \Rightarrow h = 0,664 \cdot 10^{-33} \text{ Js ή } h = 6,64 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$\gamma) \text{ Η εξίσωση της ευθείας } V_0(f) \text{ είναι } V_0 = V_{01} + \kappa(f - f_1) \xrightarrow{\text{S.I.}}$$

$$V_0 = 0,415 + 0,415 \cdot 10^{-14} (f - 6 \cdot 10^{14}) \Rightarrow V_0 = -2,075 + 0,415 \cdot 10^{-14} f \quad (6)$$

Για $f=0 \xrightarrow{(6)} V_0 = -2,075 \text{ Volt}$ που είναι η τιμή που ευθεία $V_0(f)$ τέμνει το άξονα της τάσης

αποκοπής και που με βάση την σχέση (4) ισούται με $V_0 = -\frac{\phi}{|q_e|}$, άρα $-\frac{\phi}{|q_e|} = -2,075 \xrightarrow{\text{S.I.}}$

$$\phi = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2,075 \Rightarrow \phi = 3,32 \cdot 10^{-19} \text{ J ή } \phi = 2,075 \text{ eV}$$

δ) Από την εξίσωση $V_0 = -2,075 + 0,415 \cdot 10^{-14} f$ για $V_0=0$ έχουμε $0 = -2,075 + 0,415 \cdot 10^{-14} f \Rightarrow f = 5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ που σύμφωνα με το θεωρητικό μέρος **σχόλιο 4** είναι η συχνότητα κατωφλίου $f_0 = 5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

Το μέγιστο μήκος κύματος λ_0 της προσπίπτουσας ακτινοβολίας για την οποία έχουμε φωτοηλεκτρικό φαινόμενο είναι $\lambda_0 = \frac{c}{f_0} \xrightarrow{\text{S.I}} \lambda_0 = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{5 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}} \xrightarrow{\text{S.I}} \lambda_0 = 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ ή $\lambda_0 = 600 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ ή $\lambda_0 = \mathbf{600 \text{ nm}}$

Μια διαφορετική αντιμετώπιση για τα ερωτήματα (γ) και (δ)

✚ Από την εξίσωση $|q_e|V_0 = hf - \phi$ του θεωρητικού μέρους για ένα ζεύγος τιμών του πίνακα π.χ $(6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}, V_0 = 0,415 \text{ V})$ και τη ευρεθείσα σταθερά $h = 6,64 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ έχουμε $1,6 \cdot 10^{-16} \cdot 0,415 = 6,64 \cdot 10^{-34} \cdot 6 \cdot 10^{14} - \phi \Rightarrow \phi = 3,32 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ή $\phi = 2,075 \text{ eV}$.

✚ Τώρα από τη σχέση (5) του θεωρητικού μέρους η συχνότητα κατωφλίου είναι $f_0 = \frac{\phi}{h} \xrightarrow{\text{S.I}} f_0 = \frac{3,32 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{6,64 \cdot 10^{-34}} \Rightarrow f_0 = 5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$...και $\lambda_0 = \frac{c}{f_0} \xrightarrow{\text{S.I}} \lambda_0 = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{5 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}} \xrightarrow{\text{S.I}} \lambda_0 = 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ ή $\lambda_0 = 600 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ ή $\lambda_0 = \mathbf{600 \text{ nm}}$