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 $V_1 = 0{,}75\ V$.

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

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

ΘΕΜΑ 2

2.1. Πρωτόνιο είναι περιορισμένο σε ατομικό πυρήνα διαμέτρου d. Δεν γνωρίζουμε την ακριβή θέση του πρωτονίου μέσα στον πυρήνα. Η κινητική ενέργεια του πρωτονίου δεν μπορεί να θεωρηθεί μικρότερη από

(α) $\frac{\hbar^2}{4}$, **(β)** $\frac{32\hbar^2}{d^2m}$, **(γ)** $\frac{\hbar^2}{2d^2m}$

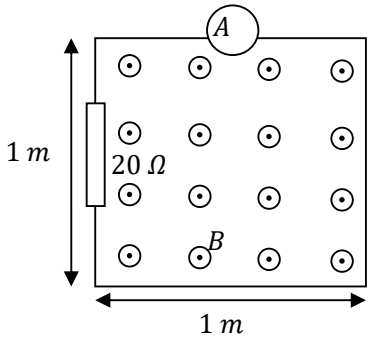
2.1.Α. Να επιλέξετε την ορθή απάντηση.

Μονάδες 4

2.1.Β. Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

Μονάδες 8

2.2. Το κύκλωμα του σχήματος βρίσκεται με το επίπεδό του να τέμνεται κάθετα από τις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου, η ένταση του οποίου μειώνεται με σταθερό ρυθμό σε απόλυτη τιμή $10\ T/s$.



Η ένδειξη του αμπερομέτρου θα

(α) είναι $0{,}5\ A$, **(β)** είναι $2\ A$, **(γ)**. μειώνεται με σταθερό ρυθμό

2.2.Α. Να επιλέξετε την ορθή απάντηση.

Μονάδες 4

2.2.Β. Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

Μονάδες 9

ΘΕΜΑ 2

2.1.

2.1.Α. Σωστή απάντηση η **(γ)**

Μονάδες 4

2.1.Β.

Τρόπος 1

Το να μη γνωρίζουμε πού ακριβώς μέσα στον πυρήνα βρίσκεται το πρωτόνιο αντιστοιχεί σε αβεβαιότητα στη θέση περίπου $\Delta x \approx d$ (θα μπορούσε κανείς να θεωρήσει αβεβαιότητα θέσης το $d/2$, αλλά αυτό δεν αλλάζει την τάξη μεγέθους της απάντησης). (3 μονάδες)

Χρησιμοποιώντας την αρχή της αβεβαιότητας (3 μονάδες)

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar$$

$$d\Delta p \geq \hbar$$

$$\Delta p \geq \frac{\hbar}{\mathrm{d}}$$

Η κινητική ενέργεια του πρωτονίου (ακόμα και αν θεωρήσουμε πως η ορμή του είναι μηδέν κατά μέσο όρο) είναι (2 μονάδες) $K = \frac{p^2}{2m} \geq \frac{(0 \pm \Delta p)^2}{2m} = \frac{\left(\frac{\hbar}{\mathrm{d}}\right)^2}{2m} = \frac{\hbar^2}{2\mathrm{d}^2 m}$

Μονάδες 8

2.2.

2.2.Α. Σωστή απάντηση η **(α)**

Μονάδες 4

2.2.Β.

Για όση ώρα το μαγνητικό πεδίο μειώνεται, στο κύκλωμα θα υπάρχει ΗΕΔ από επαγωγή (3 μονάδες).

Η ΗΕΔ από επαγωγή θα είναι σταθερή και ίση με (τα πρόσημα παραλείπονται, αφού η ακριβής πολικότητα δεν επηρεάζει την απάντηση):

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta(BA)}{\Delta t} = A\frac{\Delta B}{\Delta t} = (1\ m)(1\ m)(10\ T/s) = 10\ V$$

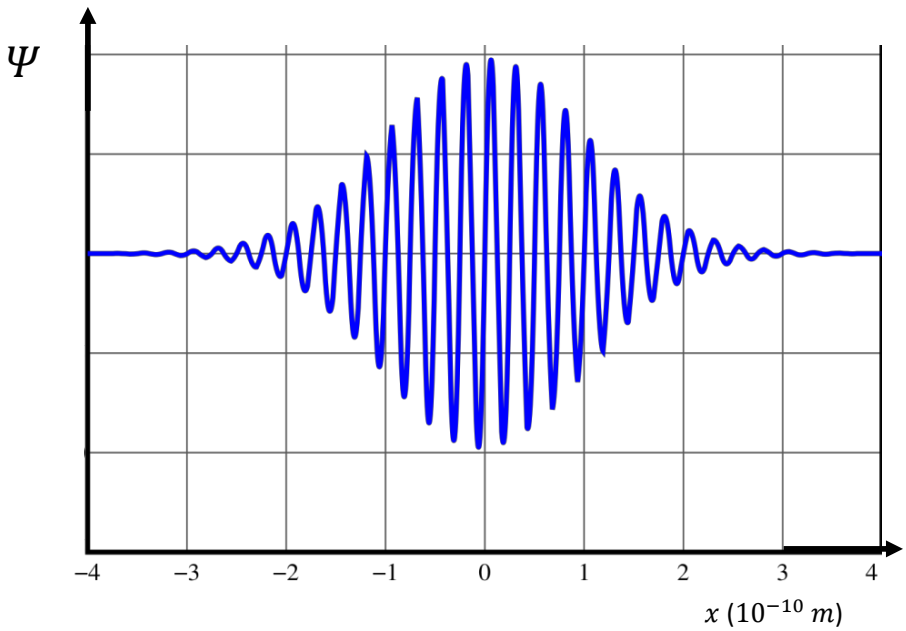
Η ένταση του (επαγωγικού) ρεύματος θα είναι:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{10\ V}{20\ \Omega} = 0{,}5\ A$$

Μονάδες 9

ΘΕΜΑ 2

2.1. Το διάγραμμα δείχνει τη γραφική παράσταση κυματοσυνάρτησης η οποία αντιστοιχεί σε υποατομικό σωματίδιο, σε συνάρτηση με τη θέση του. Η ελάχιστη αβεβαιότητα στην ορμή του σωματιδίου προσεγγίζεται καλύτερα από την τιμή



(α) $1{,}5 \times 10^{-25}\ kg \cdot m/s$, **(β)** $7{,}0 \times 10^{-10}\ kg \cdot m/s$, **(γ)** $1{,}0 \times 10^{-34}\ \mathrm{kg \cdot m/s}$

2.1.Α. Να επιλέξετε την ορθή πρόταση.

Μονάδες 4

2.1.Β. Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

Μονάδες 8

2.2. Ένα κομμάτι ξύλο σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου έχει ύψος L, επιπλέει σε νερό και ισορροπεί. Το σπρώχνουμε λίγο κατακόρυφα προς τα κάτω και το αφήνουμε ελεύθερο, οπότε αρχίζει να εκτελεί ΑΑΤ, κατά την οποία η επιτάχυνση του ξύλου συναρτήσει της απομάκρυνσης του κέντρου μάζας του από τη θέση ισορροπίας του δίνεται από την εξίσωση $a = -\frac{40}{L}x$ *(SI)*. Η περίοδος της ταλάντωσης είναι $0{,}5\ s$. Το ύψος L του ξύλου είναι περίπου ίσο με:

(α) $0{,}5\ m$, **(β)** $0{,}25\ m$, **(γ)** $2\ m$

2.2.Α. Να επιλέξετε την ορθή απάντηση.

Μονάδες 4

2.2.Β. Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

Μονάδες 9

ΘΕΜΑ 2

2.1.

2.1.Α. Σωστή απάντηση η (α)

Μονάδες 4

2.1.Β.

Από το διάγραμμα φαίνεται πως η κυματοσυνάρτηση έχει μη μηδενικές τιμές μεταξύ, περίπου, των θέσεων $-3{,}5 \times 10^{-10}\ m$ και $3{,}5 \times 10^{-10}\ m$. Αυτό αντιστοιχεί σε αβεβαιότητα στη θέση περίπου $\Delta x \approx 7{,}0 \times 10^{-10}\ m$ (θα μπορούσε κανείς να θεωρήσει αβεβαιότητα θέσης το $3{,}5 \times 10^{-10}\ m$, αλλά αυτό δεν αλλάζει την απάντηση). (4 μονάδες)

Χρησιμοποιώντας την αρχή της αβεβαιότητας (4 μονάδες)

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar$$

$$(7{,}0 \times 10^{-10}\ m\ )\Delta p \geq \frac{6{,}63 \times 10^{-34}}{2\pi}\ Js$$

$$\Delta p \geq 1{,}5 \times 10^{-25}\ kg \cdot m/s$$

Μονάδες 8

2.2.

2.2.Α. Σωστή απάντηση η (β)

Μονάδες 4

2.2.Β.

Η εξίσωση που συνδέει γενικά την επιτάχυνση a με την απομάκρυνση x από τη θέση ισορροπίας είναι

$$a = -\omega^2 x$$

Συγκρίνοντας με τη δοθείσα, είναι φανερό πως

$$\omega^2 = \frac{40}{L}$$

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = \frac{40}{L}$$

$$\left(\frac{2\pi}{0{,}5\ s}\right)^2 = \frac{40}{L}$$

$$L \cong 0{,}25\ m$$

Μονάδες 9