

## ΘΕΜΑ Α

## Α1

Σωστή επιλογή: δ.

Η στροφορμή ενός συστήματος σωμάτων διατηρείται όταν η συνισταμένη ροπή των εξωτερικών δυνάμεων ως προς τον άξονα ή το σημείο αναφοράς είναι μηδέν:

$$\Sigma \tau_{\text{εξ}} = dL/dt = 0 \Rightarrow L = \text{σταθερή.}$$

Άρα σωστό είναι το δ: το αλγεβρικό άθροισμα των ροπών των εξωτερικών δυνάμεων είναι μηδέν.

## Α2

Σωστή επιλογή: β.

Σε εγκάρσιο αρμονικό κύμα που διαδίδεται σε ομογενές γραμμικό ελαστικό μέσο χωρίς απώλειες, όλα τα σημεία που ταλαντώνονται έχουν την ίδια περίοδο και το ίδιο πλάτος ταλάντωσης. Δεν έχουν όμως γενικά ίδια απομάκρυνση ή ίδια ταχύτητα, επειδή βρίσκονται σε διαφορετικές φάσεις.

## Α3

Σωστή επιλογή: α.

Τα όργανα μέτρησης στο εναλλασσόμενο ρεύμα δείχνουν ενεργές τιμές:  $I_{\text{εν}}$  και  $V_{\text{εν}}$ .

## Α4

Σωστή επιλογή: γ.

Σε κεντρική ελαστική κρούση δύο ίσων μαζών, οι σφαίρες ανταλλάσσουν ταχύτητες. Αρχικά έχουν αντίθετες ταχύτητες ίσου μέτρου  $u$ . Μετά την κρούση θα κινηθούν με αντίθετες ταχύτητες ίσου μέτρου, απομακρυνόμενες η μία από την άλλη.

## Α5

| Πρόταση | Χαρακτηρισμός | Αιτιολόγηση                                                                                                                                   |
|---------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| α       | Σωστό         | Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα παράγονται από μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία.                                                        |
| β       | Σωστό         | Στον συντονισμό το πλάτος της εξαναγκασμένης ταλάντωσης γίνεται μέγιστο.                                                                      |
| γ       | Λάθος         | Στην ελαστική κρούση διατηρείται η μηχανική ενέργεια του συστήματος.                                                                          |
| δ       | Λάθος         | Ο συντελεστής αυτεπαγωγής ιδανικού πηνίου εξαρτάται από τα γεωμετρικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του, όχι από την ένταση του ρεύματος. |
| ε       | Σωστό         | Για κινούμενο σωματίδιο ισχύει $\lambda = h/p$ , άρα το μήκος κύματος είναι αντιστρόφως ανάλογο της ορμής.                                    |

## ΘΕΜΑ Β

### B1

Σωστή επιλογή: iii)  $5/3$ .

Η χορδή έχει κοιλία στο ελεύθερο άκρο Ο και δεσμό στο στερεωμένο άκρο Γ. Για στάσιμο κύμα με κοιλία στο  $x = 0$ , οι δεσμοί βρίσκονται στις θέσεις:

$$x = \lambda/4, 3\lambda/4, 5\lambda/4, \dots$$

Αφού το άκρο Γ είναι δεσμός, για συνολικά Ν δεσμούς πάνω στη χορδή ισχύει:

$$L = (2N - 1)\lambda/4.$$

$$\text{Για δύο δεσμούς: } L = 3\lambda/4 \Rightarrow \lambda_1 = 4L/3.$$

$$\text{Για τρεις δεσμούς: } L = 5\lambda/4 \Rightarrow \lambda_2 = 4L/5.$$

Η ταχύτητα διάδοσης στο ίδιο μέσο μένει σταθερή, άρα  $T = \lambda/v$ . Επομένως:

$$T_1/T_2 = \lambda_1/\lambda_2 = (4L/3)/(4L/5) = 5/3.$$

### B2

Σωστή επιλογή: i)  $3/4$ .

Η δύναμη ανάμεσα σε δύο παράλληλους ευθύγραμμους αγωγούς για μήκος  $\ell$  είναι:

$$F = \mu_0 I_1 I_2 \ell / (2\pi r).$$

Αρχικά:  $I_1 = I$ ,  $I_2 = 2I$  και η απόσταση είναι  $r$ , άρα:

$$F_1 = \mu_0 \cdot I \cdot 2I \cdot \ell / (2\pi r).$$

Μετά την απομάκρυνση η νέα απόσταση είναι  $r' = r + r/2 = 3r/2$ . Επίσης το ρεύμα του αγωγού (2) διπλασιάζεται, άρα  $I_2' = 4I$ . Επομένως:

$$F_2 = \mu_0 \cdot I \cdot 4I \cdot \ell / [2\pi(3r/2)].$$

Άρα:

$$F_1/F_2 = [2I^2/r] / [4I^2/(3r/2)] = [2I^2/r] / [8I^2/(3r)] = 3/4.$$

### B3

Σωστή επιλογή: ii)  $1/2$ .

Στην ισορροπία το αλγεβρικό άθροισμα των ροπών ως προς τον άξονα στο Ο είναι μηδέν. Οι δύο ράβδοι σχηματίζουν ίσες γωνίες  $\varphi$  με την κατακόρυφο, άρα στους μοχλοβραχίονες εμφανίζεται ο ίδιος παράγοντας  $\eta\mu\varphi$ .

$$\text{Ροπή από τη δεξιά ράβδο ΟΓ: } \tau_2 = Mg(\ell/2)\eta\mu\varphi.$$

Ροπές από την αριστερή ράβδο ΟΑ και τη σφαίρα:

$$\tau_1 = Mg(\ell/2)\eta\mu\varphi + (M/2)g\ell\eta\mu\varphi.$$

Για ισορροπία:

$$Mg(\ell/2)\eta\mu\varphi = Mg(\ell/2)\eta\mu\varphi + (M/2)g\ell\eta\mu\varphi.$$

Διαιρούμε με  $Mg\eta\mu\varphi$ :

$$\ell/2 = \ell/2 + \ell/2 = \ell.$$

$$\text{Άρα: } \ell_1/\ell_2 = 1/2.$$

## ΘΕΜΑ Γ

### Γ1

Δίνεται  $\lambda = 8\lambda_c$  και  $\varphi = 180^\circ$ , με  $\sin 180^\circ = -1$ .

Η μεταβολή του μήκους κύματος στο φαινόμενο Compton είναι:

$$\lambda' - \lambda = \lambda_c(1 - \cos\varphi).$$

Για  $\varphi = 180^\circ$ :

$$\lambda' - \lambda = \lambda_c[1 - (-1)] = 2\lambda_c.$$

Άρα:

$$\lambda' = \lambda + 2\lambda_c = 8\lambda_c + 2\lambda_c = 10\lambda_c.$$

### Γ2

Η ενέργεια φωτονίου είναι  $E = hc/\lambda$ .

Για το προσπίπτον φωτόνιο:

$$E\varphi = hc/(8\lambda_c).$$

Επειδή  $\lambda_c = h/(m_e c)$ , έχουμε:

$$E\varphi = hc / [8h/(m_e c)] = m_e c^2/8.$$

Για το σκεδαζόμενο φωτόνιο:

$$E'\varphi = hc/(10\lambda_c) = m_e c^2/10.$$

Η κινητική ενέργεια του ανακρουόμενου ηλεκτρονίου προκύπτει από διατήρηση ενέργειας:

$$K = E\varphi - E'\varphi = m_e c^2(1/8 - 1/10) = m_e c^2/40.$$

$$\text{Με } m_e c^2 = 5 \cdot 10^5 \text{ eV:}$$

$$K = 5 \cdot 10^5 / 40 \text{ eV} = 1,25 \cdot 10^4 \text{ eV} = 12.500 \text{ eV}.$$

### Γ3

Η συχνότητα κατώφλιου είναι η ελάχιστη συχνότητα για την οποία μόλις εξάγονται ηλεκτρόνια από την κάθοδο. Τότε η μέγιστη κινητική ενέργεια είναι μηδέν.

Από την εξίσωση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου:

$$K_{\max} = hf - \Phi.$$

Στο κατώφλι:  $K_{\max} = 0$  και  $f = f_0$ . Άρα:

$$0 = hf_0 - \Phi \Rightarrow f_0 = \Phi/h.$$

$$\text{Με } \Phi = 1,4 \text{ eV} = 1,4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,24 \cdot 10^{-19} \text{ J και } h = 6,4 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s:}$$

$$f_0 = (2,24 \cdot 10^{-19}) / (6,4 \cdot 10^{-34}) \text{ Hz} = 3,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}.$$

### Γ4

Για ακτινοβολία μήκους κύματος  $\lambda_1 = 400 \text{ nm}$ , η ενέργεια κάθε φωτονίου είναι:

$$E = hc/\lambda_1 = 1200 \text{ eV}\cdot\text{nm} / 400 \text{ nm} = 3 \text{ eV}.$$

Άρα η μέγιστη κινητική ενέργεια των φωτοηλεκτρονίων είναι:

$$K_{\max} = E - \Phi = 3 \text{ eV} - 1,4 \text{ eV} = 1,6 \text{ eV}.$$

Το δυναμικό αποκοπής ικανοποιεί:

$$eV_0 = K_{\max}.$$

Επειδή  $K_{\max} = 1,6 \text{ eV}$ , προκύπτει:

$$V_0 = 1,6 \text{ V}.$$

## ΘΕΜΑ Δ

### Αρχική ισορροπία πριν κοπεί το νήμα

Πριν κοπεί το νήμα, ο αγωγός ΝΛ και το σώμα Σ ισορροπούν. Ο αγωγός είναι ακίνητος, άρα δεν υπάρχει επαγωγικό ρεύμα και δεν ασκείται μαγνητική δύναμη.

Για τον αγωγό ΝΛ:

$$F = T + m_2 g.$$

$$\text{Με } F = 3 \text{ N και } m_2 g = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ N:}$$

$$T = 2 \text{ N}.$$

Για το σώμα Σ πριν κοπεί το νήμα, προς τα πάνω ασκείται η τάση Τ, ενώ προς τα κάτω το βάρος και η δύναμη του ελατηρίου, αφού το ελατήριο είναι επιμηκυμένο κατά  $\Delta \ell$ :

$$T = m_1 g + k \Delta \ell.$$

Άρα:

$$2 = 1 + 10 \Delta \ell \Rightarrow \Delta \ell = 0,1 \text{ m}.$$

### Δ1

Μετά την κοπή του νήματος, το σώμα εκτελεί Α.Α.Τ. με σταθερά επαναφοράς  $D = k$ .

Η νέα θέση ισορροπίας του σώματος βρίσκεται κάτω από τη θέση φυσικού μήκους κατά:

$$m_1 g / k = 1 / 10 = 0,1 \text{ m}.$$

Αρχικά, το σώμα βρίσκεται 0,1 m πάνω από τη θέση φυσικού μήκους. Άρα η αρχική του απομάκρυνση από τη νέα θέση ισορροπίας είναι:

$$A = 0,1 + 0,1 = 0,2 \text{ m}.$$

Τη στιγμή  $t = 0$  το σώμα αφήνεται από ακραία θετική θέση με μηδενική ταχύτητα. Επομένως η απομάκρυνση από τη θέση ισορροπίας του είναι:

$$x = A \sin(\omega t).$$

Η γωνιακή συχνότητα είναι:

$$\omega = \sqrt{(k/m_1)} = \sqrt{(10/0,1)} = \sqrt{100} = 10 \text{ rad/s}.$$

Άρα:

$$x = 0,2 \sin(10t) \text{ (SI)}.$$

$$\text{Ισοδύναμα: } x = 0,2 \eta \mu(10t + \pi/2).$$

### Δ2

Στην Α.Α.Τ. ισχύει:

$$E = (1/2) D A^2 \text{ και } U = (1/2) D x^2.$$

$$\text{Αφού } K/E = 3/4, \text{ τότε } U/E = 1/4.$$

Άρα:

$$[(1/2) D x^2] / [(1/2) D A^2] = 1/4 \Rightarrow x^2 / A^2 = 1/4 \Rightarrow |x| = A/2.$$

Με  $A = 0,2 \text{ m}$ :

$$|x| = 0,1 \text{ m}.$$

Το μέτρο της επιτάχυνσης στην Α.Α.Τ. είναι:

$$|a| = \omega^2|x| = 10^2 \cdot 0,1 = 10 \text{ m/s}^2.$$

### Δ3

Μετά την κοπή του νήματος ο αγωγός κινείται προς τα πάνω λόγω της δύναμης  $F$ . Καθώς κινείται μέσα στο μαγνητικό πεδίο, εμφανίζεται επαγωγική ΗΕΔ:

$$Εεπ = Βυ\ell.$$

Η ολική αντίσταση του κυκλώματος είναι:

$$R_{ολ} = R + R_{ΝΛ} = 1 + 1 = 2 \Omega.$$

Άρα το επαγωγικό ρεύμα είναι:

$$I = Εεπ/R_{ολ} = Βυ\ell/R_{ολ}.$$

Σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz, η μαγνητική δύναμη αντιστέκεται στην ανοδική κίνηση του αγωγού, άρα έχει φορά προς τα κάτω. Το μέτρο της είναι:

$$F_B = BI\ell = B^2\ell^2 u/R_{ολ}.$$

Η εξίσωση κίνησης είναι:

$$m2a = F - m2g - F_B = F - m2g - B^2\ell^2 u/R_{ολ}.$$

Καθώς η ταχύτητα αυξάνεται, η μαγνητική δύναμη αυξάνεται και η επιτάχυνση μειώνεται. Άρα ο αγωγός εκτελεί ευθύγραμμη ανοδική κίνηση με αυξανόμενη ταχύτητα και μειούμενη επιτάχυνση, μέχρι να αποκτήσει οριακή ταχύτητα.

Στην οριακή ταχύτητα ισχύει  $a = 0$ :

$$F - m2g - B^2\ell^2 u_{ορ}/R_{ολ} = 0.$$

Άρα:

$$u_{ορ} = (F - m2g)R_{ολ}/(B^2\ell^2).$$

Με  $F - m2g = 3 - 1 = 2 \text{ N}$ ,  $R_{ολ} = 2 \Omega$ ,  $B = 1 \text{ T}$  και  $\ell = 1 \text{ m}$ :

$$u_{ορ} = 2 \cdot 2 / (1^2 \cdot 1^2) = 4 \text{ m/s}.$$

### Δ4

Ο αγωγός έχει ήδη αποκτήσει την οριακή του ταχύτητα, άρα κινείται με σταθερή ταχύτητα  $u_{ορ} = 4 \text{ m/s}$ .

Σε χρόνο  $\Delta t = 0,125 \text{ s}$  ανέρχεται κατά:

$$h = u_{ορ}\Delta t = 4 \cdot 0,125 = 0,5 \text{ m}.$$

Το έργο της δύναμης  $F$  είναι:

$$W_F = Fh = 3 \cdot 0,5 = 1,5 \text{ J}.$$

Το επαγωγικό ρεύμα στην οριακή κίνηση είναι:

$$I = Βu_{ορ}\ell/R_{ολ} = 1 \cdot 4 \cdot 1/2 = 2 \text{ A}.$$

Η θερμική ισχύς στους αντιστάτες είναι:

$$P_{θερμ} = I^2 R_{ολ} = 2^2 \cdot 2 = 8 \text{ W}.$$

Άρα η θερμότητα στο χρονικό διάστημα  $\Delta t$  είναι:

$$Q = P_{θερμ}\Delta t = 8 \cdot 0,125 = 1 \text{ J}.$$

Το ζητούμενο ποσοστό είναι:

$$\text{ποσοστό} = Q/WF \cdot 100\% = 1/1,5 \cdot 100\% = 66,7\%.$$

Mr.Spience