

ΘΕΜΑ Α

Στις ερωτήσεις **A1-A4** να γράψετε στο τετράδιό σας τον αριθμό της ερώτησης και, δίπλα, το γράμμα που αντιστοιχεί στη φράση η οποία συμπληρώνει σωστά την ημιτελή πρόταση.

A1. Σε μία πλαστική κρούση:

- α) Διατηρείται η μηχανική ενέργεια
- β) Διατηρείται η ορμή κάθε σώματος
- γ) Αν τα σώματα πριν την κρούση έχουν ίσες κινητικές ενέργειες το συσσωμάτωμα παραμένει ακίνητο
- δ) Η αρχική κινητική ενέργεια του συστήματος είναι μεγαλύτερη από την τελική

5 μονάδες

A2. Σε μία χορδή με στερεωμένα ακλόνητα τα δύο άκρα της δημιουργείται στάσιμο κύμα με συνολικά 3 δεσμούς. Πόσο τοις εκατό πρέπει να μεταβληθεί η συχνότητα ώστε να δημιουργηθεί στάσιμο κύμα με συνολικά 5 δεσμούς;

- α) -50%
- β) +100%
- γ) +200%
- δ) -100%

5 μονάδες

A3. Ένα σημειακό αντικείμενο εκτελεί φθίνουσα ταλάντωση με πολύ μικρή απόσβεση. Το πλάτος της ταλάντωσης μειώνεται εκθετικά με το χρόνο σύμφωνα με τη σχέση $A = A_0 e^{-\Lambda t}$ όπου Λ θετική σταθερά και A_0 το αρχικό πλάτος.

Τη χρονική στιγμή t_1 το πλάτος της ταλάντωσης έχει υποδιπλασιαστεί. Το πλάτος της φθίνουσας ταλάντωσης θα γίνει ίσο με $A = \frac{A_0}{8}$ τη χρονική στιγμή:

- α) $3t_1$
- β) $2t_1$

γ) $4t_1$

δ) $8t_1$

5 μονάδες

A4. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα δημιουργούνται από

α) ένα σταθερό ηλεκτρικό πεδίο ή σταθερό μαγνητικό πεδίο.

β) ακίνητα φορτία.

γ) φορτία που κινούνται με σταθερή ταχύτητα.

δ) φορτία που επιταχύνονται.

5 μονάδες

A5. Να χαρακτηρίσετε τις προτάσεις που ακολουθούν, γράφοντας στο τετράδιό σας, δίπλα στο γράμμα που αντιστοιχεί σε κάθε πρόταση, τη λέξη **Σωστό**, αν η πρόταση είναι σωστή, ή τη λέξη **Λάθος**, αν η πρόταση είναι λανθασμένη.

α) Αν διπλασιάσουμε το μέτρο καθεμιάς από τις δύο δυνάμεις ενός ζεύγους δυνάμεων, χωρίς να αλλάξουμε την απόσταση των φορέων των δυνάμεων, τότε το μέτρο της ροπής του ζεύγους των δυνάμεων τετραπλασιάζεται.

β) Ο κανόνας του Lenz είναι αποτέλεσμα της αρχής διατήρησης της ενέργειας.

γ) Μηχανικό σύστημα εκτελεί εξαναγκασμένη ταλάντωση μικρής απόσβεσης και βρίσκεται στην κατάσταση συντονισμού. Αυξάνοντας τη συχνότητα του διεγέρτη, μειώνεται το πλάτος της ταλάντωσης.

δ) Η ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπει ένα σώμα εξαρτάται από τη θερμοκρασία του.

ε) Το πλάτος της εναλλασσόμενης τάσης μεταβάλλεται ημιτονοειδώς με το χρόνο

5 μονάδες

B3. Σε σημείο Π στην επιφάνεια ενός υγρού δημιουργούνται αρμονικά κύματα μήκους κύματος λ . Σε απόσταση d από την πηγή, στο σημείο Δ , τα κύματα μπορούν να φτάσουν είτε απευθείας, είτε αφού ανακλαστούν στον ανακλαστήρα που βρίσκεται στην επιφάνεια του υγρού. Ο ανακλαστήρας μπορεί να κινείται πάνω στην μεσοκάθετο του $\Pi\Delta$, ο οποίος αρχικά βρίσκεται μετά το σημείο M .

Όταν ο ανακλαστήρας βρίσκεται στην θέση A , το οποίο είναι σε απόσταση α από το σημείο Π , στο σημείο Δ συμβαίνει ενισχυτική συμβολή για πρώτη φορά.

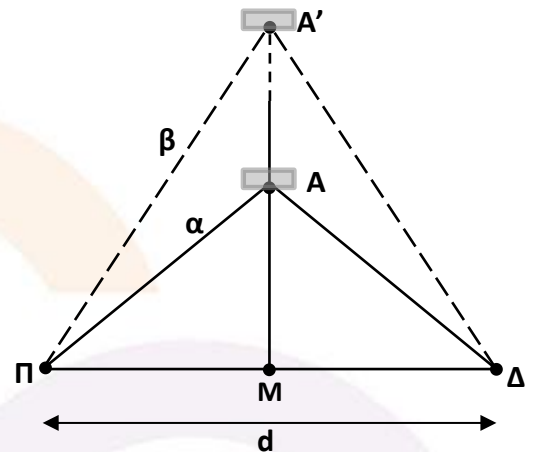
Όταν ο ανακλαστήρας βρίσκεται στην θέση A' , το οποίο είναι σε απόσταση β από το σημείο Π , στο σημείο Δ συμβαίνει ακυρωτική συμβολή για τρίτη φορά.

Η διαφορά των αποστάσεων $(\beta - \alpha)$ είναι:

- α) $\frac{\lambda}{4}$ β) $\frac{3\lambda}{4}$ γ) $\frac{5\lambda}{4}$

Να επιλέξετε την σωστή απάντηση.

Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.



2 μονάδες

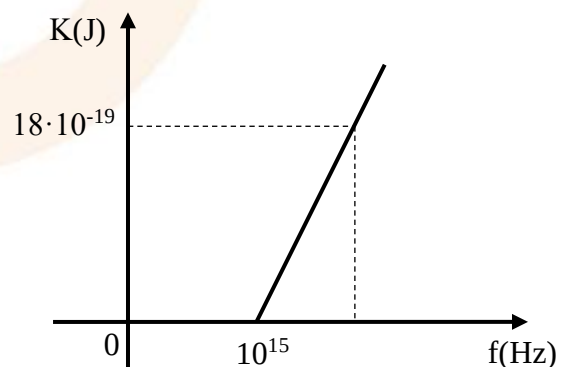
6 μονάδες

ΘΕΜΑ Γ

Φωτόνια συχνότητα f και ορμής P προσπίπτουν σε μια μεταλλική πλάκα. η κινητική ενέργεια των εξερχόμενων φωτοηλεκτρονίων, από τη κάθοδο, μεταβάλλεται σε συνάρτηση της συχνότητας της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σύμφωνα με το διπλανό διάγραμμα. Να υπολογίσετε:

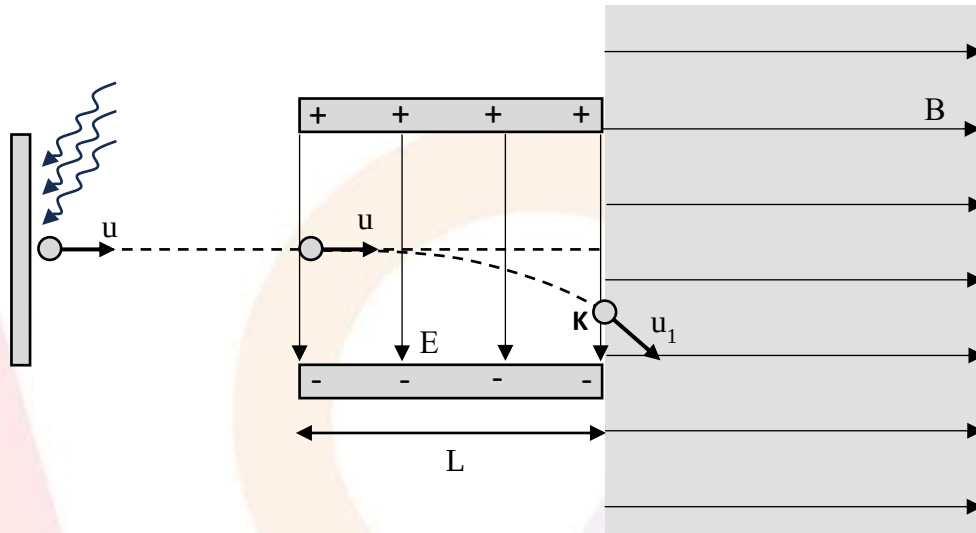
Γ1. Το έργο εξαγωγής ϕ του μετάλλου της καθόδου.

Μονάδες 5



Γ2. Την ορμή των φωτονίων που προσπίπτουν στην μεταλλική πλάκα, αν τα εξερχόμενα φωτοηλεκτρόνια έχουν κινητική ενέργεια $K = 18 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Μονάδες 5



Ένα φωτοηλεκτρόνιο μετά την έξοδο του από την κάθοδο, με $K_{\text{καθ}} = 18 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, εισέρχεται σε ομογενές ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται μεταξύ των οριζόντιων οπλισμών φορτισμένου πυκνωτή. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου έχει μέτρο $E = \frac{180}{1,6} \text{ N/m}$ και το μήκος των οπλισμών ισούται με $L = 20 \text{ cm}$. Το φωτοηλεκτρόνιο εξερχόμενο από το σημείο κ εισέρχεται σε ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης μέτρου $B = \frac{\pi}{8} \text{ mT}$. Να υπολογίσετε:

Γ3. Την ταχύτητα εξόδου u_1 φωτοηλεκτρονίου από το ομογενές ηλεκτρικό πεδίο στο σημείο και την κατακόρυφη απόκλιση του σωματιδίου τη στιγμή της εξόδου από το πεδίο.

Μονάδες 6

Γ4. Την περίοδο και το βήμα της έλικας του σωματιδίου κατά την κίνηση στο μαγνητικό πεδίο.

Μονάδες 6

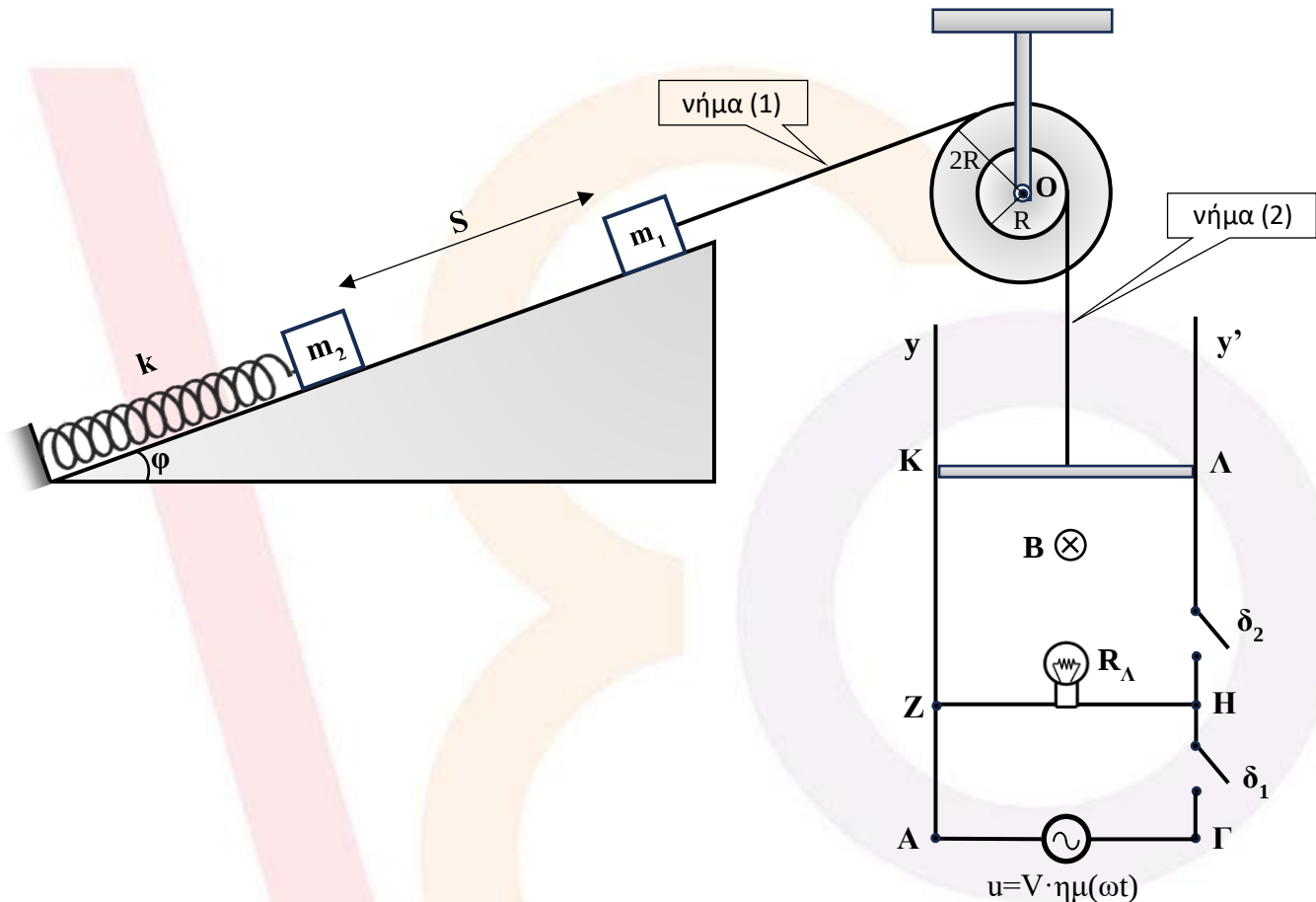
Γ5. Τον αριθμό των περιστροφών που θα διανύσει το σωματίδιο στο μαγνητικό πεδίο όταν η οριζόντια μετατόπιση κατά μήκος των δυναμικών γραμμών είναι ίση με $\Delta x = 1,8 \text{ m}$.

Μονάδες 3

Δίνονται: $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, $m_e = 9 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Η βαρυτική δύναμη του σωματιδίου να θεωρηθεί αμελητέα σε όλη τη διάρκεια της κίνησης.

ΘΕΜΑ Δ



Στη διάταξη του σχήματος φαίνεται μία κατακόρυφη διπλή τροχαλία μάζας $M = 2 \text{ Kg}$ με ακτίνες R και $2R$ στις οποίες έχουν τυλιχθεί πολλές φορές τα αβαρή και μη εκτατά νήματα 1 και 2. Η τροχαλία μπορεί να περιστρέφεται χωρίς τριβές γύρω από οριζόντιο άξονα που διέρχεται από το κέντρο της.

Στο νήμα 1 έχει δεθεί σώμα μάζας $m_1 = 3 \text{ Kg}$ που βρίσκεται πάνω σε λείο κεκλιμένο επίπεδο γωνίας κλίσης $\varphi = 30^\circ$ και ισορροπεί. Σε απόσταση $s = 1,6 \text{ m}$ από το m_1 , πάνω στο λείο κεκλιμένο επίπεδο, ισορροπεί σώμα μάζας $m_2 = 1 \text{ Kg}$, δεμένο στο άκρο ιδανικού ελατηρίου σταθεράς $k = 50 \text{ N/m}$, το άλλο άκρο του οποίου είναι στερεωμένο σε ακλόνητο σημείο, όπως στο σχήμα.

Το νήμα 2 έχει δεθεί στο μέσο μεταλλικής ράβδου KL μήκους $L = 3 \text{ m}$, μάζας m_3 και ωμικής αντίστασης $R_2 = 1 \Omega$, η οποία μπορεί να ολισθαίνει χωρίς τριβές, μένοντας διαρκώς σε επαφή με τα κατακόρυφα σύρματα $A\psi$ και $\Gamma\psi'$ αμελητέας αντίστασης. Το όλο σύστημα βρίσκεται μέσα σε Ο.Μ.Π. κάθετο στο επίπεδο που ορίζουν τα δύο σύρματα και έχει ένταση $B = 1 \text{ T}$.

Στα σημεία Z και H των συρμάτων έχει συνδεθεί λαμπτήρας. Στα σημεία A και Γ των συρμάτων έχει συνδεθεί πηγή εναλλασσόμενης τάσης $u = 10\sqrt{2} \eta \mu(100\pi t)$ και ότι ο διακόπτης δ_1 είναι κλειστός και ο διακόπτης δ_2

ανοικτός. Παρατηρούμε ότι ο λαμπτήρας φωτοβολεί κανονικά και καταναλώνει ενέργεια 1200J σε 1 min. Δίνεται επίσης ότι $\eta\mu(30) = 1/2$, $\sigma\upsilon\nu(30) = \sqrt{3}/2$, $g = 10 \text{ m/s}^2$, και ότι τα κατακόρυφα σύρματα έχουν μεγάλο μήκος.

Δ1. Να βρείτε τη μάζα m_3 της ράβδου καθώς και το μέτρο της δύναμης που δέχεται η τροχαλία από τον άξονα περιστροφής. Δίνονται $57,5^2 = 3.306,25$, $7,5^2 = 56,25$, $\sqrt{3475} \approx 59$.

Μονάδες 5

Δ2. Να βρείτε τα στοιχεία κανονικής λειτουργίας της λάμπας και να γράψετε τη χρονική εξίσωση της στιγμιαίας ισχύος του λαμπτήρα και να την παραστήσετε γραφικά για χρονικό διάστημα δυο περιόδων.

Μονάδες 5

Δ3. Κάποια χρονική στιγμή κόβονται τα νήματα 1 και 2 και ταυτόχρονα ανοίγει ο διακόπτης δ_1 . Η ράβδος ΚΛ αρχίζει να κατέρχεται και μετά από 1 sec κλείνει ο διακόπτης δ_2 . Να βρείτε την ταχύτητα v_1 της ράβδου αμέσως πριν το κλείσιμο του δ_2 , την οριακή ταχύτητα της ράβδου και να εξηγήσετε το είδος κίνησης της ράβδου. Πως θα φωτοβολεί ο λαμπτήρας, όταν η ράβδος έχει αποκτήσει οριακή ταχύτητα; Θεωρήστε ότι ο λαμπτήρας είναι ανθεκτικός σε μεγάλες τάσεις.

Μονάδες 5

Δ4. Το σώμα m_1 αφού ολισθήσει κατά $s = 1.6 \text{ m}$ πάνω στο λείο κεκλιμένο επίπεδο, συγκρούεται μετωπικά και πλαστικά με το m_2 . Να αποδείξετε ότι το συσσωμάτωμα θα εκτελέσει Α.Α.Τ. και να βρείτε το πλάτος A της ταλάντωσης.

Μονάδες 5

Δ5. Να βρείτε το ρυθμό μεταβολής της ορμής καθώς και το ρυθμό μεταβολής της κινητικής ενέργειας του συσσωματώματος, τη στιγμή που η κινητική ενέργεια της ταλάντωσης είναι οκταπλάσια της δυναμικής ενέργειας της ταλάντωσης για δεύτερη φορά μετά την πλαστική κρούση.

Μονάδες 5

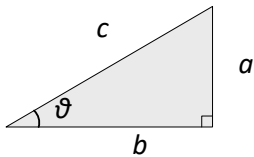
Ευχόμαστε επιτυχία!

ΦΥΣΙΚΗ Γ' ΛΥΚΕΙΟΥ ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΤΥΠΩΝ

ΦΥΣΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ	
Μάζα πρωτονίου, $m_p=1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$	Φορτίο ηλεκτρονίου (απόλυτη τιμή), $e=1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$
Μάζα νετρονίου, $m_n=1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$	Ηλεκτρονιοβόλτ, $1\text{eV}=1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$
Μάζα ηλεκτρονίου, $m_e=9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$	Ταχύτητα του φωτός, $c=3 \times 10^8 \text{ m/s}$
Επιτάχυνση λόγω της βαρύτητας κοντά στην επιφάνεια της Γης, $g=9.8 \text{ m/s}^2$	
Ηλεκτρική σταθερά, $k=1/4\pi\epsilon_0=9 \cdot 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$	
Σταθερά παγκόσμιας έλξης, $G=6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg}\cdot\text{s}^2$	
Μαγνητική διαπερατότητα του κενού, $\mu_0=4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A}\cdot\text{m} = 4\pi \times 10^{-7} (\text{T}\cdot\text{m/A})$	
Σταθερά του Planck, $h=6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} = 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$	
$hc = 12,42 \cdot 10^{-7} \text{ eV} \cdot \text{m} = 12,42 \cdot 10^{-7} \text{ eV} \cdot 10^9 \text{ nm} = 1242 \text{ eV} \cdot \text{nm} \approx 1200 \text{ eV} \cdot \text{nm}$	

ΠΡΟΘΕΜΑΤΑ ΜΟΝΑΔΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
$10^{12} \rightarrow \text{tera (T)}$
$10^9 \rightarrow \text{giga (G)}$
$10^6 \rightarrow \text{mega (M)}$
$10^3 \rightarrow \text{kilo (k)}$
$10^{-2} \rightarrow \text{centi (c)}$
$10^{-3} \rightarrow \text{milli (m)}$
$10^{-6} \rightarrow \text{micro (}\mu\text{)}$
$10^{-9} \rightarrow \text{nano (n)}$
$10^{-12} \rightarrow \text{pico (p)}$

ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ -ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΑ
Εμβαδόν παραλληλογράμμου: $A=b\upsilon$
Περίμετρος κύκλου: $C=2\pi r$
Εμβαδόν κύκλου: $A=\pi r^2$
Εμβαδόν σφαίρας: $A=4\pi r^2$
Όγκος σφαίρας: $V=\frac{4}{3}\pi r^3$
Μήκος τόξου κύκλου $s=R\vartheta$
$\eta\mu\alpha + \eta\mu\beta = 2\sigma\upsilon\nu\left(\frac{\alpha-\beta}{2}\right)\eta\mu\left(\frac{\alpha+\beta}{2}\right)$

ΟΡΘΟΓΩΝΙΟ ΤΡΙΓΩΝΟ
$\eta\mu\theta = \frac{a}{c}, \quad \sigma\upsilon\nu\theta = \frac{b}{c}$
$\epsilon\varphi\theta = \frac{a}{b}$
$c^2 = a^2 + b^2$


ΜΟΝΑΔΕΣ, ΣΥΜΒΟΛΑ	μέτρο, m	χέρτζ, Hz	τζούλ, J	ηλεκτρονιοβόλτ, eV
	χιλιόγραμμα, kg	τέσλα, T	νιούτον, N	κέλβιν, K
	δευτερόλεπτο, s	χένρι, H	βόλτ, V	βάτ, W
	αμπέρ, A	ομ, Ω	κουλόμπ, C	ακτίνιο, rad

ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ							
ϑ	0°	30°	37°	45°	53°	60°	90°
$\eta\mu\vartheta$	0	$1/2$	$3/5$	$\sqrt{2}/2$	$4/5$	$\sqrt{3}/2$	1
$\sigma\upsilon\nu\vartheta$	1	$\sqrt{3}/2$	$4/5$	$\sqrt{2}/2$	$3/5$	$1/2$	0
$\epsilon\varphi\vartheta$	0	$\sqrt{3}/3$	$3/4$	1	$4/3$	$\sqrt{3}$	–

ΚΡΟΥΣΕΙΣ- ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ	ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ- ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ			
$v=v_0+at$ $x=x_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2$ $v^2=v_0^2+2a(x-x_0)$ $v_1'=\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}v_1$	α: επιτάχυνση Ε: ενέργεια f: συχνότητα F: δύναμη Τολ: τριβή ολίσθησης Ν: κάθετη δύναμη Κ: κινητική ενέργεια	$E=\frac{F}{q}$ $I=\frac{dq}{dt}$ $I=\frac{V}{R}$ $I=\frac{E}{R_{ολ}}$	$\Phi_B=B A \sigma\upsilon\nu\vartheta$ $F=B q v$ $F=BI\eta\mu\varphi$ $F=\frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I_1I_2}{\alpha}$	Α: εμβαδόν Β: μαγνητικό πεδίο Ε: ηλεκτρικό πεδίο, ΗΕΔ Ε _{επ} : ΗΕΔ από επαγωγή Ε _{αυτ} : ΗΕΔ από αυτεπαγωγή L: συντελεστής αυτεπαγωγής

$v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1$ $\Sigma \vec{F} = m\vec{a} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ $T_{ολ} = \mu N$ $K = \frac{1}{2} m v^2$ $p = m v$ $v = \frac{ds}{dt}$ $a_k = \frac{v^2}{r}$ $\omega = \frac{d\theta}{dt} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ $T = \frac{1}{f}$ $v_{cm} = \omega R$ $\alpha_{γων} = \frac{d\omega}{dt}$ $a_{cm} = a_{γων} R$ $\tau = F l = F d$ $L = m v r$ $\Sigma \tau_{εξ} = \frac{dL}{dt}$	L: στροφορμή l, d: μήκος ή απόσταση m: μάζα p: ορμή R ή r: ακτίνα s: τόξο ή διάστημα T: περίοδος v: όγκος $υ$: ταχύτητα W: έργο x, y: θέση Δx: μετατόπιση $\alpha_{γων}$: γωνιακή επιτάχυνση μ: συντελεστής τριβής θ: γωνία ρ: πυκνότητα τ: ροπή ω: γωνιακή ταχύτητα	$V = \frac{W}{q}$ $R_{ολ} = R_1 + R_2 + R_3$ $\frac{1}{R_{ολ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$ $R = \rho \frac{l}{A}$ $\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \Delta l}{r^2} \eta \mu \theta$ $B = \frac{\mu_0 2I}{4\pi r}$ $B = \frac{\mu_0 2\pi I}{4\pi r}$ $\Sigma B \Delta l \sigma \nu \theta = \mu_0 I_{εγκ}$ $B = \mu_0 I n$ $n = \frac{N}{l}$	$E_{επ} = B v l$ $E_{επ} = -N \frac{d\Phi_B}{dt}$ $E_{αυτ} = -L \frac{di}{dt}$ $L = \mu \mu_0 \frac{N^2}{l} A$ $U = \frac{1}{2} L I^2$ $\frac{E}{B} = c$ $E = E_{\max} \eta \mu 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$ $B = B_{\max} \eta \mu 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$	I: ηλεκτρικό ρεύμα V: διαφορά δυναμικού l ή d ή a: μήκος ή απόσταση U: ενέργεια μαγν. Πεδίου q: ηλεκτρικό φορτίο R: αντίσταση W: έργο $R_{ολ}$: ολική αντίσταση ρ: ειδική αντίσταση F: δύναμη T: περίοδος r: ακτίνα ή απόσταση n: αριθμός σπειρών ανά μονάδα μήκους N: αριθμός σπειρών $υ$: ταχύτητα Φ_B: μαγνητική ροή θ, φ: γωνία μ: μαγνητική διαπερατότητα c: ταχύτητα του φωτός
---	---	---	--	---

ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ		ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ	
$x = A \eta \mu(\omega t + \varphi)$ $v = \omega A \sigma \nu \nu(\omega t + \varphi)$ $a = -\omega^2 A \eta \mu(\omega t + \varphi)$ $F = -D x$ $U = \frac{1}{2} D x^2$ $F = -b v$ $A = A_0 e^{-\lambda t}$ $v = \lambda f$ $y = A \eta \mu 2\pi \left(\frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda} \right)$ $y = 2 A \sigma \nu \nu \frac{2\pi x}{\lambda} \eta \mu \frac{2\pi t}{T}$	A: πλάτος x: απομάκρυνση v: ταχύτητα a: επιτάχυνση ω: γωνιακή συχνότητα φ: αρχική φάση f: συχνότητα K ή k: σταθερά ελατηρίου D: σταθερά επαναφοράς T: περίοδος b: σταθερά απόσβεσης λ: μήκος κύματος T: περίοδος U: δυναμική ενέργεια y: απομάκρυνση	$v = V \eta \mu \omega t$ $V = N B \omega A$ $i = I \eta \mu(\omega t)$ $i = \frac{v}{R}$ $I_{εν} = \frac{I}{\sqrt{2}}$ $V_{εν} = \frac{V}{\sqrt{2}}$ $p = v i$ $P = \frac{W}{T}$	v: στιγμιαία τάση V: πλάτος τάσης i: στιγμιαίο ρεύμα I: πλάτος ρεύματος $I_{εν}$: ενεργός ένταση $V_{εν}$: ενεργός τάση P: Μέση ισχύς p: Στιγμιαία ισχύς T: περίοδος R: αντίσταση W: ενέργεια ηλ. ρεύματος Q: θερμότητα

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ			
$\lambda_{\max} T = \text{σταθ}$ $c = \lambda f$ $E = h f = p c, \quad p = \frac{h}{\lambda}$ $K = h f - \Phi$	$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \sigma \nu \nu \varphi)$ $\Delta p_x \Delta x \geq \frac{h}{2\pi}, \quad \Delta E \Delta t \geq \frac{h}{2\pi}$ $\sum \Psi ^2 dV = 1$	T: θερμοκρασία E: ενέργεια p: ορμή c: ταχύτητα φωτός f: συχνότητα x: θέση	λ: μήκος κύματος φ: γωνία t: χρόνος Φ: Έργο εξαγωγής Δ: αβεβαιότητα Ψ: κυματοσυνάρτηση V: όγκος