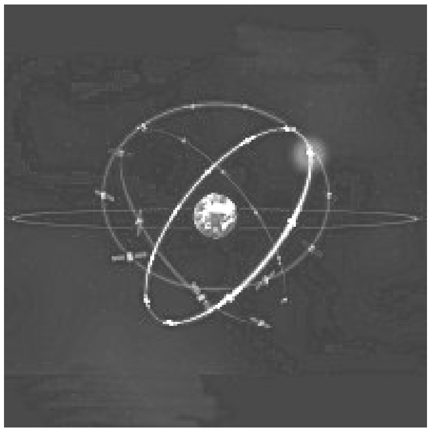
Θ Ε Μ Α Τ Α   Ε Ξ Ε Τ Α Σ Ε Ω Ν

ΘΕΜΑ 1: «ΜΟΙΡΑΙΟΣ» ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ

Οι πιο συχνές τροχιακές μανούβρες που γίνονται από τα διαστημικά σκάφη προκαλούνται από μεταβολές της ταχύτητας κατά μήκος της διεύθυνσης της εφαπτομένης της τροχιάς τους, δηλαδή επιταχύνσεις με στόχο τα σκάφη να φτάσουν σε τροχιές μεγαλύτερης ακτίνας ή επιβραδύνσεις που γίνονται με στόχο την επάνοδό τους στην ατμόσφαιρα.
Σε αυτό το πρόβλημα θα μελετήσουμε τις μεταβολές της τροχιάς ενός δορυφόρου, όταν εφαρμόζεται σε αυτόν μια ώθηση που προκαλείται από τη μηχανή του.



Εικόνα:

Χρησιμοποιείστε, για τους υπολογισμούς σας, τις εξής σταθερές:
Ακτίνα της Γης $R_T = 6.37 \cdot 10^6$ m, επιτάχυνση της βαρύτητας κοντά στην επιφάνεια της Γης $g = 9.81\,\mathrm{m/s^2}$, περίοδος περιστροφής της Γης $T_0 = 24.0\,\mathrm{h}$.

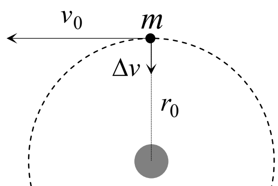
Θεωρείστε ένα τηλεπικοινωνιακό γεωστατικό[1] δορυφόρο μάζας m σε κυκλική τροχιά ακτίνας r_0. Το επίπεδο της τροχιάς του δορυφόρου συμπίπτει με το επίπεδο του ισημερινού. Οι δορυφόροι αυτοί διαθέτουν μια κατάλληλη «απογειακή» μηχανή, η οποία παρέχει την αναγκαία ώθηση στη διεύθυνση της ταχύτητάς του, έτσι ώστε ο δορυφόρος να φτάσει στην τελική του τροχιά.

Οι μονάδες βαθμολογίας σημειώνονται, σε παρένθεση, στην αρχή κάθε υποερώτησης.

Ερώτημα 1.

1.1 (0.3) Υπολογίστε την αριθμητική τιμή του r_0.
1.2 (0.3 + 0.1) Βρείτε την αναλυτική σχέση για την ταχύτητα v_0 του δορυφόρου ως συνάρτηση των μεγεθών g , R_T , και r_0. Υπολογίστε, επίσης, την αριθμητική τιμή της v_0.
1.3 (0.4 + 0.4) Βρείτε τη σχέση για τη στροφορμή του δορυφόρου L_0 και τη σχέση για τη μηχανική ενέργεια E_0, ως συναρτήσεις των μεγεθών: v_0, m, g and R_T .

Από τη στιγμή που ο δορυφόρος μεταφέρεται στη γεωστατική κυκλική του τροχιά (βλέπε Σχ. 1), αυτός σταθεροποιείται σε αυτή την τροχιά για να χρησιμοποιηθεί ως τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος. Από λάθος στα συστήματα ελέγχου στο έδαφος, προκαλείται ενεργοποίηση της μηχανής του, η οποία δίνει ξανά ώθηση στο δορυφόρο. Η ώθηση αυτή έχει τη διεύθυνση της ακτίνας της Γης, με φορά προς το κέντρο της. Παρά τη γρήγορη αντίδραση των υπευθύνων στο έδαφος για να θέσουν εκτός λειτουργίας τη μηχανή, προκαλείται στο δορυφόρο μια ανεπιθύμητη μεταβολή της ταχύτητας κατά Δv. Χαρακτηρίζουμε αυτή τη μεταβολή με την παράμετρο προώθησης $\beta = \Delta v / v_0$. Η χρονική διάρκεια που η μηχανή προκαλεί αυτή τη μεταβολή είναι πολύ μικρή, έτσι ώστε μπορείτε να τη θεωρήσετε στιγμιαία.



Σχ. 1

Ερώτηση 2

Υποθέστε ότι $\beta < 1$.

2.1 (0.4 + 0.5) Βρείτε, για τη νέα τροχιά[2], την κάθετη απόσταση l από το δορυφόρο στο μεγάλο άξονα της ελλειπτικής τροχιάς του, που περνά από το κέντρο της Γης, και την εκκεντρότητα ε, σε συνάρτηση με τα μεγέθη r_0 και β.

2.2 (1.0) Υπολογίστε τη γωνία α μεταξύ του μεγάλου άξονα της νέας ελλειπτικής τροχιάς και του διανύσματος θέσης του δορυφόρου στο σημείο που έγινε η ανεπιθύμητη ώθηση.

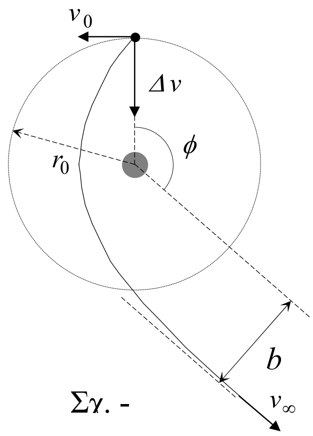
---

[1] με περίοδο περιστροφής T_0 .

[2] Βλέπε Υποδείξεις.

2.3 (1.0 + 0.2) Βρείτε τη σχέση για το περίγειο r_{min} και τη σχέση για το απόγειο r_{max}, (αποστάσεις του δορυφόρου από το κέντρο της Γης), ως συναρτήσεις των μεγεθών r_0 και β . Υπολογίστε, επίσης, τις αριθμητικές τους τιμές όταν , $\beta = 1/4$.

2.4 (0.5 + 0.2) Προσδιορίστε την περίοδο της νέας τροχιάς, T, ως συνάρτηση των μεγεθών T_0 και β. Υπολογίστε, επίσης, την αριθμητική τιμή της περιόδου T, όταν $\beta = 1/4$.



Σχ. -

Ερώτηση 3

3.1 (0.5) Υπολογίστε την ελάχιστη τιμή της παραμέτρου προώθησης, β_{esc}, που απαιτείται ώστε ο δορυφόρος να διαφύγει τελείως από τη βαρυτική έλξη της Γης.

3.2 (1.0) Προσδιορίστε, σε αυτή την περίπτωση, την ελάχιστη απόσταση του δορυφόρου από το κέντρο της Γης, στη νέα τροχιά του, r'_{min}, ως συνάρτηση του r_0 .

Ερώτηση 4

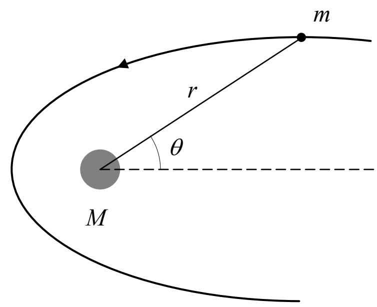
Υποθέστε ότι $\beta > \beta_{esc}$.

4.1 (1.0) Προσδιορίστε την ταχύτητα του δορυφόρου στο άπειρο, v_∞, ως συνάρτηση των μεγεθών v_0 και β.

4.2 (1.0) Προσδιορίστε την «παράμετρο επίδρασης» b, σύμφωνα με το Σχ. 2 (δηλαδή την απόσταση μεταξύ της ευθείας που περνά από τη Γη και είναι παράλληλη με τη διεύθυνση της v_∞). Η απάντηση να δοθεί ως συνάρτηση των μεγεθών r_0 και β.

4.3 (1.0 + 0.2) Προσδιορίστε τη γωνία ϕ, όπως φαίνεται στο Σχ. 2, ως συνάρτηση του β. Υπολογίστε την αριθμητική τιμή της ϕ όταν $\beta = \frac{3}{2}\beta_{esc}$.

ΥΠΟΔΕΙΞΕΙΣ



Σχ. 3

Υπό την επίδραση κεντρικών δυνάμεων που ικανοποιούν το νόμο του «αντιστρόφου τετραγώνου», τα σώματα ακολουθούν τροχιές με σχήμα έλλειψης, παραβολής ή υπερβολής. Με την προσέγγιση $m << M$, η μάζα M βρίσκεται στη θέση της μιας από τις δύο εστίες, (βλέπε Σχ. 3). Λαμβάνοντας ως αρχή των αξόνων το σημείο αυτής της εστίας, η γενική εξίσωση της τροχιάς που περιγράφει αυτές τις καμπύλες, δίνεται από τη σχέση:

$$r(\theta) = \frac{l}{1-\varepsilon\ cos\,\theta}$$

όπου l είναι μια θετική σταθερά, που είναι ίση με την κάθετη απόσταση από το δορυφόρο στο μεγάλο άξονα της ελλειπτικής τροχιάς του, που περνά από το κέντρο της Γης και ε είναι η εκκεντρότητα της καμπύλης. Σε συνάρτηση των σταθερών της κίνησης, έχουμε:

$$l = \frac{L^2}{GMm^2} \qquad \text{και} \qquad \varepsilon = \left(1+\frac{2EL^2}{G^2M^2m^3}\right)^{1/2}$$

όπου G είναι η σταθερά παγκόσμιας έλξης του Newton, L είναι το μέτρο της στροφορμής της μάζας m , ως προς την αρχή των αξόνων, και E είναι η μηχανική ενέργεια, όπου η δυναμική ενέργεια στο άπειρο παίρνει την τιμή μηδέν.

Μπορούμε να διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:

i) Αν $0 \le \varepsilon < 1$, η καμπύλη έχει σχήμα έλλειψης (κύκλος όταν $\varepsilon = 0$).

ii) Αν $\varepsilon = 1$, η καμπύλη έχει σχήμα παραβολής.

iii) Αν $\varepsilon > 1$, η καμπύλη έχει σχήμα υπερβολής.

COUNTRY CODE	STUDENT CODE	PAGE NUMBER	TOTAL No OF PAGES

ΘΕΜΑ 1 ΦΥΛΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ

Ερώτηση	Βασικές Σχέσεις και Ιδέες που χρησιμοποιήθηκαν	Αναλυτικά Αποτελέσματα	Αριθμητικά Αποτελέσματα	Μονάδες βαθμολόγησης
1.1			$r_0 =$	0.3
1.2		$v_0 =$	$v_0 =$	0.4
1.3		$L_0 =$ $E_0 =$		0.4 0.4
2.1		$l =$ $\varepsilon =$		0.4 0.5
2.2			$\alpha =$	1.0
2.3		$r_{max} =$ $r_{min} =$	$r_{max} =$ $r_{min} =$	1.2
2.4		$T =$	$T =$	0.7
3.1			$\beta_{esc} =$	0.5
3.2		$r'_{min} =$		1.0
4.1		$v_\infty =$		1.0
4.2		$b =$		1.0
4.3		$\phi =$	$\phi =$	1.2

ΘΕΜΑ 2 ΑΠΟΛΥΤΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΠΟΣΟΤΗΤΩΝ

Τα τεχνολογικά και επιστημονικά επιτεύγματα κατά τη διάρκεια του δέκατου ένατου αιώνα προκάλεσαν την ανάγκη για παγκόσμια αποδεκτά πρότυπα των φυσικών μεγεθών του ηλεκτρισμού. Σκέφτηκαν ότι οι νέες απόλυτες μονάδες θα έπρεπε να σχετίζονται μόνο με μεγέθη όπως το μήκος, η μάζα και ο χρόνος τα οποία ορίστηκαν μετά την Γαλλική Επανάσταση. Μια εντατική πειραματική εργασία με σκοπό την εδραίωση των τιμών αυτών των μονάδων αναπτύχθηκε από το 1861 μέχρι το 1912. Εδώ εισηγούμαστε τρεις περιπτώσεις μελέτης.

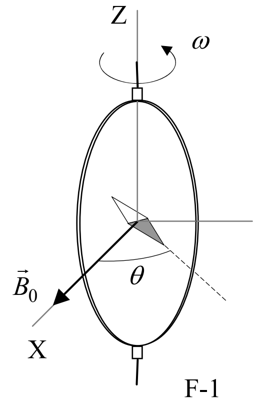
.

Οι βαθμοί κάθε υποερωτήματος σημειώνονται, μέσα σε παρένθεση, στην αρχή του.

Καθορισμός του ohm (από τον Κέλβιν)

Ένα κλειστό κυκλικό πλαίσιο με N σπείρες, ακτίνας a και συνολικής αντίστασης R περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω γύρω από μια κατακόρυφη διάμετρο μέσα σε οριζόντιο ομογενές μαγνητικό πεδίο $\vec{B}_0 = B_0\,\vec{i}$.

1.(0.5+1.0) Υπολογίστε την ηλεκτρεγερτική δύναμη ε που επάγεται στο πλαίσιο και επίσης υπολογίστε τη μέση ισχύ[1] $\langle P\rangle$ που απαιτείται για να παραμείνει το πλαίσιο σε κίνηση. Αγνοήστε την αυτεπαγωγή στο πλαίσιο.



F-1

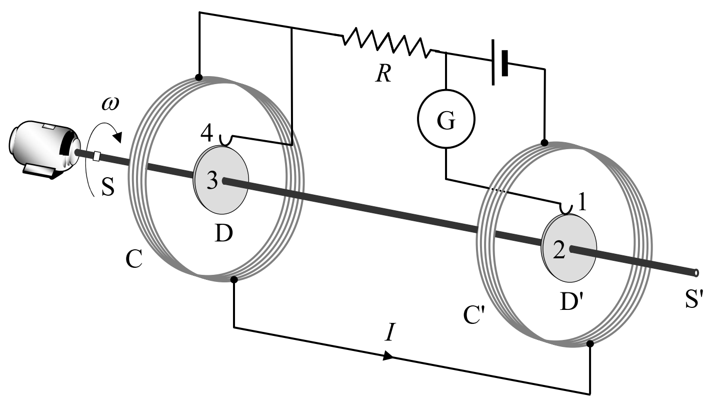
Μια μικρή μαγνητική βελόνα τοποθετείται στο κέντρο του πλαισίου, όπως φαίνεται στην εικόνα F-1. Είναι ελεύθερη να περιστρέφεται αργά γύρω από τον άξονα Z σε οριζόντιο επίπεδο, αλλά δεν μπορεί να ακολουθεί τη γρήγορη στροφική κίνηση του πλαισίου.

2. (2.0) Όταν αποκατασταθεί η στάσιμη κατάσταση, η βελόνα θα βρίσκεται σε κατεύθυνση που σχηματίζει μια μικρή γωνία θ με την $\vec{B}_0$. Υπολογίστε την αντίσταση R του πλαισίου σε σχέση με τη γωνία και τις άλλες παραμέτρους του συστήματος.

Ο Λόρδος Κέλβιν χρησιμοποίησε αυτή τη μέθοδο το 1860 για να θέσει το απόλυτο πρότυπο για το ohm. Για να αποφύγει το περιστρεφόμενο πλαίσιο, ο Lorenz επινόησε μια εναλλακτική μέθοδο η οποία χρησιμοποιήθηκε από τους Lord Rayleigh και Ms. Sidgwick, την οποία και αναλύουμε στις επόμενες παραγράφους.

Determination of the ohm (από τους Rayleigh και Sidgwick).

Η πειραματική διάταξη φαίνεται στην εικόνα F-2. Αυτή αποτελείται από δύο όμοιους μεταλλικούς δίσκους D και D' με ακτίνα b προσαρμοσμένους στον αγώγιμο άξονα SS'. Ένας κινητήρας περιστρέφει το στέλεχος μαζί με τους δίσκους με γωνιακή ταχύτητα ω, η οποία μπορεί να ρυθμίζεται προκειμένου να μετρηθεί η R. Δύο όμοια πλαίσια C και C' (με ακτίνα a και $\boldsymbol{N}$ σπείρες το καθένα)



F-2

[1] Η μέση τιμή $\langle X\rangle$ μιας ποσότητας $X(t)$ σε ένα περιοδικό σύστημα με περίοδο T είναι: $\langle X\rangle = \frac{1}{T}\int_0^T X(t)\,dt$

Ίσως χρειαστείτε ένα ή περισσότερα από τα παρακάτω ολοκληρώματα:

$$\int_0^{2\pi} \sin x\, dx = \int_0^{2\pi} \cos x\, dx = \int_0^{2\pi} \sin x \cos x\, dx = 0\,, \quad \int_0^{2\pi} \sin^2 x\, dx = \int_0^{2\pi} \cos^2 x\, dx = \pi\,, \quad \text{και τέλος}$$

$$\int x^n\, dx = \frac{1}{n+1} x^{n+1}$$

περιβάλλουν τους δίσκους. Είναι συνδεδεμένα με τέτοιο τρόπο ώστε το ρεύμα I να κυκλοφορεί μέσα από αυτά με αντίθετη φορά. Η όλη διάταξη εξυπηρετεί στη μέτρηση της αντίστασης R.

3. (2.0) Υποθέστε ότι το ρεύμα I που κυκλοφορεί στα πλαίσια C και C' δημιουργεί ένα ομογενές μαγνητικό πεδίο B στην περιοχή των D and D', ίσο με εκείνο στο κέντρο του πλαισίου. Υπολογίστε[1] την ηλεκτρεργετική δύναμη από επαγωγή $\mathcal{E}$ μεταξύ των επαφών 1 και 4, υποθέτοντας ότι η απόσταση μεταξύ των πλαισίων είναι πολύ μεγαλύτερη από την ακτίνα των πλαισίων και ότι $a >> b$.

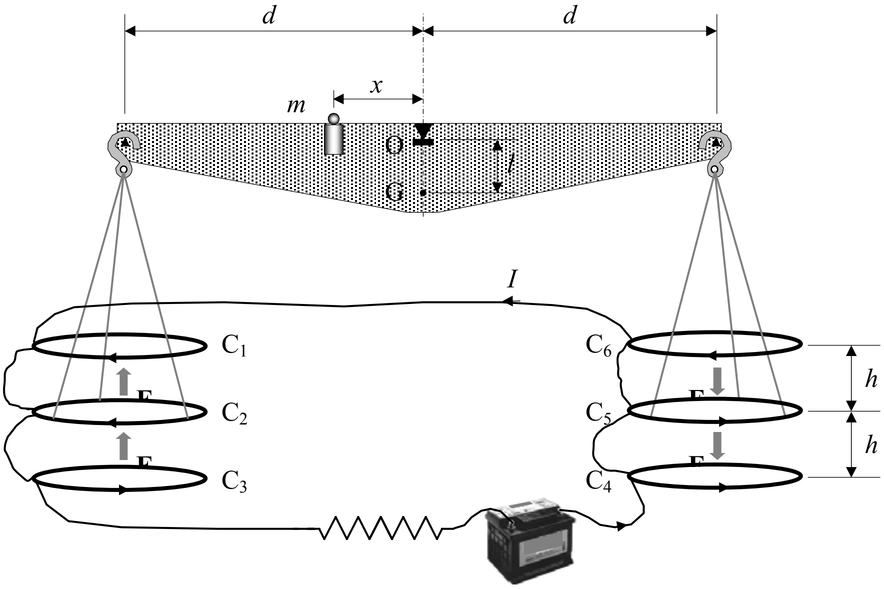
Οι δίσκοι είναι συνδεδεμένοι στο κύκλωμα που σχηματίζεται με τη βοήθεια των επαφών στα σημεία 1 και 4. Το γαλβανόμετρο G ανιχνεύει τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα 1-2-3-4.

4. (0.5) Η αντίσταση R μετριέται όταν το G δείχνει μηδέν. Δώστε το R σαν συνάρτηση των παραμέτρων του συστήματος.

Καθορισμός του ampere

Με το πέρασμα ηλεκτρικού ρεύματος σε δύο αγωγούς και με τη μέτρηση της δύναμης με την οποία αλληλεπιδρούν γίνεται ο απόλυτος καθορισμός του ρεύματος. Ο "ζυγός ρεύματος" που σχεδιάστηκε από το Λόρδο Kelvin το 1882 στηρίζεται στη μέθοδο αυτή. Αποτελείται από έξι όμοια πλαίσια με μία σπείρα το καθένα $C_1 \ldots C_6$ που έχουν ακτίνα a, και είναι συνδεδεμένα σε σειρά. Όπως φαίνεται στην εικόνα F-3, τα στερεωμένα πλαίσια C_1, C_3, C_4, και C_6 πατάνε πάνω σε δύο οριζόντια επίπεδα τα οποία απέχουν μια μικρή απόσταση $2h$. Τα πλαίσια C_2 και C_5 κρέμονται από τα άκρα των βραχιόνων οι οποίοι έχουν μήκος d, και είναι σε ισορροπία, ισαπέχοντας από τα επίπεδα στήριξης των άλλων πλαισίων.

Το ρεύμα I ρέει μέσα από τα πλαίσια με τέτοια διεύθυνση ώστε η μαγνητική δύναμη C_2 να έχει κατεύθυνση προς τα πάνω ενώ αυτή στο C_5 προς τα κάτω. Μια μάζα m σε απόσταση x από το υπομόχλιο O απαιτείται για να αποκατασταθεί η ισορροπία του ζυγού στη θέση που περιγράφηκε παραπάνω όταν το ρεύμα κυκλοφορεί στο κύκλωμα .



F-3

5. (1.0) Υπολογίστε τη δύναμη F στο C_2 λόγω της μαγνητικής αλληλεπίδρασης με το C_1. Για απλότητα υποθέστε ότι η δύναμη ανά μονάδα μήκους είναι ίση με με τη δύναμη με την οποία αλληλεπιδρούν δύο ευθύγραμμοι παράλληλοι ρευματοφόροι αγωγοί.

6. (1.0) Το ρεύμα I μετριέται όταν ο ζυγός βρίσκεται σε ισορροπία. Δώστε την τιμή του I ως συνάρτηση των φυσικών παραμέτρων του συστήματος. Οι διαστάσεις της διάταξης είναι τέτοιες ώστε να μπορούμε να αγνοήσουμε την αλληλεπίδραση των πλαισίων που βρίσκονται στα αριστερά με εκείνα στα δεξιά.

Έστω M η μάζα του ζυγού (εκτός της m και των γάντζων), G το κέντρο μάζας και l η απόσταση $\overline{OG}$.

7. (2.0) Η ισορροπία του ζυγού είναι ευσταθής σε αποκλίσεις που προκαλούν μικρές μεταβολές δz στο ύψος του C_2 και $-\delta z$ του C_5. Υπολογίστε[2] τη μέγιστη τιμή $\delta z_{\max}$ ώστε ο ζυγός να επιστρέφει στη θέση ισορροπίας.

COUNTRY CODE	STUDENT CODE	PAGE NUMBER	TOTAL No OF PAGES

ΘΕΜΑ 2 ΦΥΛΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ

Ερώτηση	Βασικοί τύποι που χρησιμοποιήσατε	Αναλυτικά αποτελέσματα	Μονάδες Βαθμολόγησης
1		$\varepsilon =$ $\langle P \rangle =$	1.5
2		$R =$	2.0
3		$\varepsilon =$	2.0
4		$R =$	0,5
5		$F =$	1.0
6		$I =$	1.0

[2] Θεωρήστε ότι τα κέντρα των πλαισίων παραμένουν κατά προσέγγιση ευθυγραμμισμένα.

Χρησιμοποιείστε τις προσεγγίσεις $\frac{1}{1 \pm \beta} \approx 1 \mp \beta + \beta^2$ ή $\frac{1}{1 \pm \beta^2} \approx 1 \mp \beta^2$ για $\beta << 1$, και $\sin\theta \approx \tan\theta$ για μικρά θ.

7		$\delta z_{\max} =$	2.0

ΘΕΜΑ 3: ΝΕΤΡΟΝΙΑ ΣΕ ΒΑΡΥΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Στον κόσμο της κλασσικής Φυσικής, μια ελαστική μπάλα που αναπηδά στην επιφάνεια της Γης είναι ένα ιδανικό παράδειγμα διαρκούς κίνησης. Η μπάλα παγιδεύεται: Δεν μπορεί να βρεθεί κάτω από την επιφάνεια της Γης ή πάνω από το σημείο επαναφοράς, δηλαδή το σημείο που η ταχύτητα αλλάζει φορά. Η μπάλα θα παραμείνει δεσμευμένη σε αυτή την κατάσταση, επιστρέφοντας πίσω στο έδαφος και αναπηδώντας στον αέρα ξανά και ξανά, για πάντα. Μόνο η αντίσταση του αέρα ή μη ελαστικές κρούσεις με το έδαφος μπορούν να σταματήσουν τη συνεχή κίνηση της μπάλας, παράγοντες οι οποίοι θα αγνοηθούν στη συνέχεια.

Μια ομάδα φυσικών από το Ινστιτούτο Laue - Langevin στη Grenoble παρουσίασε[1] το 2002 πειραματικά δεδομένα για τη συμπεριφορά των νετρονίων στο βαρυτικό πεδίο της Γης. Στο πείραμα, νετρόνια κινούμενα προς τα δεξιά μπορούσαν να κινηθούν προς μια οριζόντια ανακλαστική επιφάνεια στην οποία αυτά, μετά από ελαστικές κρούσεις, αναπηδούσαν στο ίδιο σημείο ξανά και ξανά.

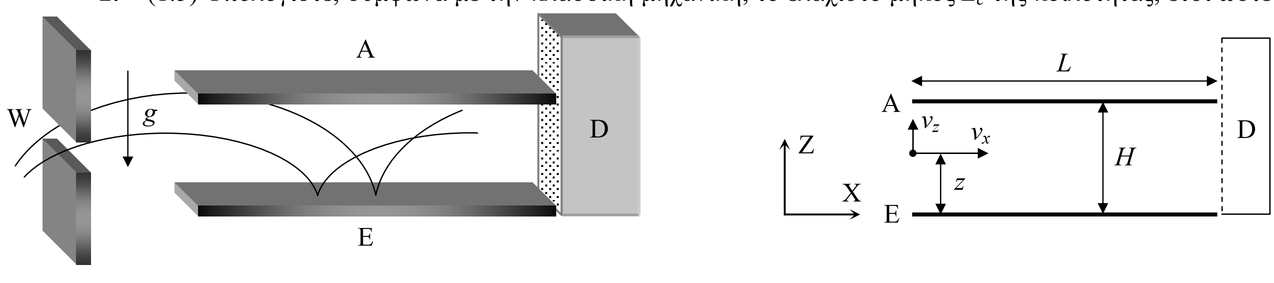
Στο Σχ. 1 φαίνεται διαγραμματικά η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε. Αποτελείται από το άνοιγμα W, την ανακλαστική επιφάνεια E (σε ύψος Z = 0), ο απορροφητής νετρονίων A (σε ύψος $z = H$ και μήκους L) και ο ανιχνευτής νετρονίων D. Τα νετρόνια, τα οποία σχηματίζουν δέσμη, κινούνται με σταθερή οριζόντια ταχύτητα, v_x από το W στο D μέσα από την κοιλότητα μεταξύ του A και E. Όλα τα νετρόνια που φτάνουν στο A απορροφούνται και εξαφανίζονται από το πείραμα. Τα νετρόνια που φτάνουν την επιφάνεια E ανακλώνται ελαστικά. Ο ανιχνευτής D καταμετρά το ρυθμό μεταφοράς $N(H)$, δηλαδή, το συνολικό αριθμό νετρονίων που φτάνουν σε αυτόν ανά μονάδα χρόνου.

Οι μονάδες βαθμολογίας σημειώνονται, σε παρένθεση, στην αρχή κάθε υποερώτησης.

Τα νετρόνια εισέρχονται στην κοιλότητα με ένα εύρος ταχυτήτων με θετικές και αρνητικές κατακόρυφες ταχύτητες, v_z. Καθώς βρίσκονται μέσα στην κοιλότητα, κινούνται μεταξύ της ανακλαστικής επιφάνειας κάτω και του απορροφητή πάνω.

1. (1.5) Υπολογίστε, σύμφωνα με την κλασσική μηχανική, τις τιμές των κατακόρυφων ταχυτήτων $v_z(z)$ των νετρονίων τα οποία εισέρχονται σε ύψος z, μπορούν να φτάσουν στον ανιχνευτή D. Υποθέστε ότι το μήκος L είναι πολύ μεγαλύτερο από κάθε άλλο μήκος που υπεισέρχεται στο πρόβλημα.

2. (1.5) Υπολογίστε, σύμφωνα με την κλασσική μηχανική, το ελάχιστο μήκος L_c της κοιλότητας, έτσι ώστε



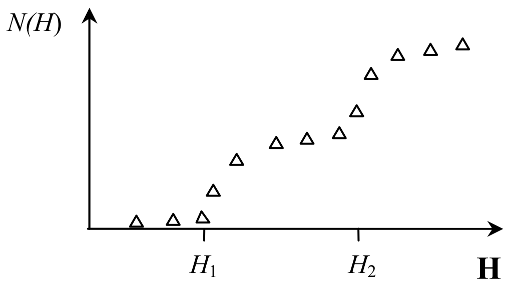
Σχ. 1

όλα τα νετρόνια με ταχύτητες διαφορετικές από αυτές που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο ερώτημα, ανεξάρτητα από τις τιμές του z, απορροφούνται από το A. Χρησιμοποιείστε: $v_x = 10 \text{ m s}^{-1}$ και $H = 50$ μm.

Ο ρυθμός μεταφοράς νετρονίων $N(H)$ μετρείται στο D. Αναμένεται ότι αυτός αυξάνεται μονότονα με το H.

3. (2.5) Υπολογίστε το ρυθμό μεταφοράς, κατά την κλασσική μηχανική, $N_c(H)$ υποθέτοντας ότι τα νετρόνια φτάνουν στην κοιλότητα με κατακόρυφες ταχύτητες v_z στο ύψος z, με τις τιμές v_z και z με ίσες πιθανότητες. Δώστε την απάντηση σε σχέση με το ρ, το σταθερό αριθμό νετρονίων ανά μονάδα χρόνου, ανά μονάδα κατακόρυφης ταχύτητας, ανά μονάδα ύψους, που εισέρχονται στην κοιλότητα με κατακόρυφες ταχύτητες v_z στο ύψος z.

Τα πειραματικά αποτελέσματα που αποκτήθηκαν από την ομάδα της Grenoble είναι σε διαφωνία με τις παραπάνω κλασσικές προβλέψεις, αντιθέτως φαίνεται ότι η τιμή του $N(H)$ παρουσιάζει απότομη αύξηση όταν το H περνά από κάποιες κρίσιμες τιμές ύψους H_1, H_2 ... (Στην εικόνα F-2 φαίνεται ένα σχέδιο). Με άλλα λόγια, το πείραμα έδειξε ότι η κατακόρυφη κίνηση των νετρονίων που αναπηδούν στον καθρέπτη είναι κβαντισμένη. Με τη γλώσσα την οποία οι Bohr και Sommerfeld χρησιμοποίησαν για να καταλήξουν στις ενεργειακές στάθμες του ατόμου του υδρογόνου, αυτό μπορεί να γραφεί ως εξής: "Η δράση S αυτών των νετρονίων κατά μήκος της κατακόρυφης διεύθυνσης ισούται με ένας ακέραιο πολλαπλασιασμένο επί τη σταθερά δράσης h του Planck ". Η S δίνεται από τη σχέση



F-2

$$S = \int p_z(z)\,dz = n\,h, \quad n = 1, 2, 3 \ldots \qquad \text{(κανόνας κβάντωσης των Bohr-Sommerfeld)}$$

όπου p_z είναι η κατακόρυφη συνιστώσα της κλασσικής ορμής, και το ολοκλήρωμα καλύπτει έναν ολόκληρο κύκλο αναπήδησης. Μόνο νετρόνια με αυτές τις τιμές του S επιτρέπονται στην κοιλότητα.

4. (2.5) Υπολογίστε τα ύψη στριψίματος H_n και τα ενεργειακά επίπεδα E_n (που συσχετίζονται με την κατακόρυφη κίνηση) χρησιμοποιώντας τη συνθήκη κβάντωσης των Bohr-Sommerfeld. Δώστε το αριθμητικό αποτέλεσμα για το H_1 σε μm και για το E_1 σε eV.

Η ομαλή αρχική κατανομή ρ των νετρονίων κατά την είσοδο μεταβάλλεται, κατά τη διάρκεια της πτήσης μέσω της μακρόστενης κοιλότητας, σε μια κατά βήματα κατανομή που ανιχνεύεται στο D (δες Εικόνα F-2). Από δω και κάτω, για απλότητα θεωρούμε την περίπτωση μιας μακρόστενης κοιλότητας με $H < H_2$. Κλασσικά, για όλα τα νετρόνια με ενέργειες του εύρους που θεωρήθηκε στην ερώτηση 1 επιτρεπόταν η διέλευση μέσω αυτής, ενώ κβαντομηχανικά μόνο στα νετρόνια στο ενεργειακό επίπεδο E_1 επιτρέπεται. Σύμφωνα με την αρχή της απροσδιοριστίας του Heisenberg για το χρόνο και την ενέργεια, αυτός ο μετασχηματισμός απαιτεί έναν ελάχιστο χρόνο πτήσεως. Η αβεβαιότητα στην ενέργεια της κατακόρυφης κίνησης; Θα είναι σημαντική εάν το μήκος της κοιλότητας είναι μικρό. Αυτό το φαινόμενο θα προκαλέσει αύξηση στο εύρος των ενεργειακών σταθμών.

5. (2.0) Εκτιμήστε τον ελάχιστο χρόνο πτήσεως t_q και το ελάχιστο μήκος L_q της κοιλότητας το οποίο είναι αναγκαίο για να παρατηρείται η πρώτη απότομη αύξηση στον αριθμό των νετρονίων στο D. Χρησιμοποιείστε $v_x = 10\ \mathrm{m\,s^{-1}}$.

Data:

Σταθερά δράσης του Planck $h = 6.63 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{J\,s}$

Ταχύτητα του φωτός στο κενό $c = 3.00 \cdot 10^{8}\ \mathrm{m\,s^{-1}}$

Στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο $e = 1.60 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{C}$

Μάζα νετρονίου $M = 1.67 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg}$

Επιτάχυνση της βαρ. $g = 9.81\ \mathrm{m\,s^{-2}}$

Αν είναι αναγκαίο, χρησιμοποιείστε την έκφραση: $\int (1-x)^{1/2}\,dx = -\dfrac{2(1-x)^{3/2}}{3}$

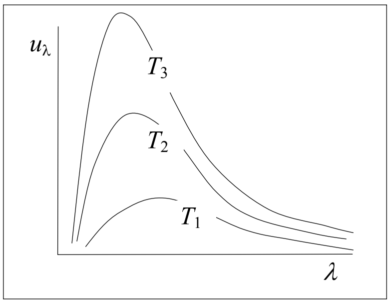
COUNTRY CODE	STUDENT CODE	PAGE NUMBER	TOTAL No OF PAGES

ΘΕΜΑ 3 ΦΥΛΛΟ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ

Ερώτηση	Βασικοί τύποι που χρησιμοποιήσατε	Αναλυτικά αποτελέσματα	Αριθμητικά αποτελέσματα	Μονάδες βαθμολόγησης
1		$\le v_z(z) \le$		1.5
2		$L_c =$	$L_c =$	1.5
3		$N_c(H)=$		2.5
4		$H_n =$ $E_n =$	$H_1=$ μm $E_1 =$ eV	2.5
5		$t_q =$ $L_q =$	$t_q =$ $L_q =$	2.0

ΤΟ ΦΩΣ ΛΑΜΠΤΗΡΑ ΠΥΡΑΚΤΩΣΕΩΣ ΚΑΙ Η ΣΤΑΘΕΡΑ ΤΟΥ PLANK

Το 1900 ο Plank εισήγαγε την υπόθεση ότι το φως εκπέμπεται από την ύλη με τη μορφή κβάντων ενέργειας $h\nu$. Το 1905 ο Einstein επέκτεινε αυτή την ιδέα προτείνοντας ότι το φως όχι μόνο εκπέμπεται αλλά και διαδίδεται στο χώρο επίσης με την ίδια μορφή. (τα κβάντα ενέργειας αργότερα ονομάστηκαν φωτόνια). Ο σκοπός αυτού του πειράματος είναι η μέτρηση της σταθεράς του Plank, h.



F-1

Ένα σώμα όχι μόνο εκπέμπει, αλλά μπορεί επίσης και να απορροφά ακτινοβολία από το περιβάλλον. Μέλαν σώμα είναι το όνομα που έχει δοθεί σε ένα σώμα που απορροφά όλη την ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω του, για κάθε μήκος κύματος. Το μέλαν σώμα, σε σχέση με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, απορροφά όλες τις ακτινοβολίες, δεν αντανακλά οτιδήποτε, και εκπέμπει όλες τις ακτινοβολίες. Τα πραγματικά σώματα δε συμπεριφέρονται απολύτως όπως το μέλαν σώμα. Ο λόγος της ενέργειας που εκπέμπεται από ένα σώμα και της ενέργειας που θα εκπεμπόταν από ένα μέλαν σώμα της ίδιας θερμοκρασίας, ονομάζεται αφετική ικανότητα ε, που συνήθως εξαρτάται από το μήκος κύματος.

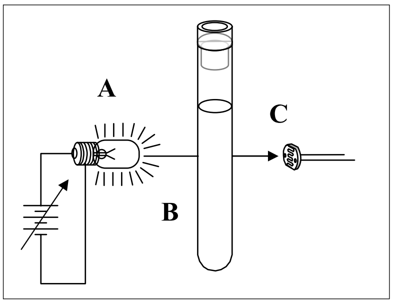
Ο Plank βρήκε ότι η πυκνότητα ισχύος, που εκπέμπεται από ένα μέλαν σώμα απόλυτης θερμοκρασίας T, με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μήκους κύματος λ, μπορεί να γραφεί ως

$$u_\lambda = \varepsilon \frac{c_1}{\lambda^5\left(e^{c_2/\lambda T}-1\right)} \qquad (1)$$

όπου c_1 και c_2 είναι σταθερές. Στο πρόβλημα αυτό σας ζητάμε να υπολογίσετε πειραματικά τη σταθερά c_2, η οποία είναι ανάλογη της σταθεράς h.

Για την εκπομπή με μικρό μήκος κύματος λ, αρκετά αριστερά από το μέγιστο στο σχήμα F-1, είναι επιτρεπτό να απαλείψουμε από τον παρονομαστή της εξίσωσης (1), το -1, οπότε αυτή γίνεται

$$u_\lambda = \varepsilon \frac{c_1}{\lambda^5\, e^{c_2/\lambda T}} \qquad (2)$$

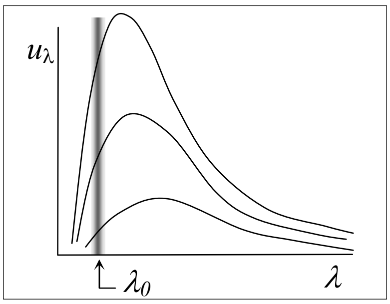


F-2

Τα βασικά στοιχεία αυτού του πειραματικού θέματος φαίνονται στο σχήμα F-2.

- Το σώμα που εκπέμπει την ακτινοβολία είναι το νήμα από βολφράμιο ενός λαμπτήρα πυράκτωσης A. Αυτό εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος λ, της οποίας η φωτεινότητα μπορεί να μεταβάλλεται.

- Ο δοκιμαστικός σωλήνας B περιέχει ένα υγρό φίλτρο το οποίο μεταδίδει μόνο μια λεπτή περιοχή του ορατού φάσματος γύρω από την τιμή λ_0 (βλέπε Σχήμα F-3). Περισσότερες πληροφορίες για τις ιδιότητες του φίλτρου αυτού θα βρείτε στη σελίδα 5.



F-3

- Τελικά, η ακτινοβολία που μεταφέρεται προσπίπτει σε μια φωτοαντίσταση C (επίσης γνωστή ως LDR, που είναι τα αρχικά των λέξεων Light Dependent Resistor, δηλαδή αντίσταση της οποίας η τιμή εξαρτάται από το φως που προσπίπτει σε αυτή). Μερικές ιδιότητες της LDR θα βρείτε στη σελίδα 6.

Η αντίσταση *R* της LDR εξαρτάται από την ένταση του φωτός, E, η οποία είναι ανάλογη με την ισχύ ανά μονάδα επιφανείας

$$\left.\begin{array}{l} E \propto u_{\lambda_0} \\ R \propto E^{-\gamma} \end{array}\right\} \Rightarrow \quad R \propto u_{\lambda_0}^{-\gamma}$$

όπου η αδιάστατη παράμετρος γ είναι μια ιδιότητα της LDR, η οποία μπορεί να προσδιοριστεί πειραματικά.

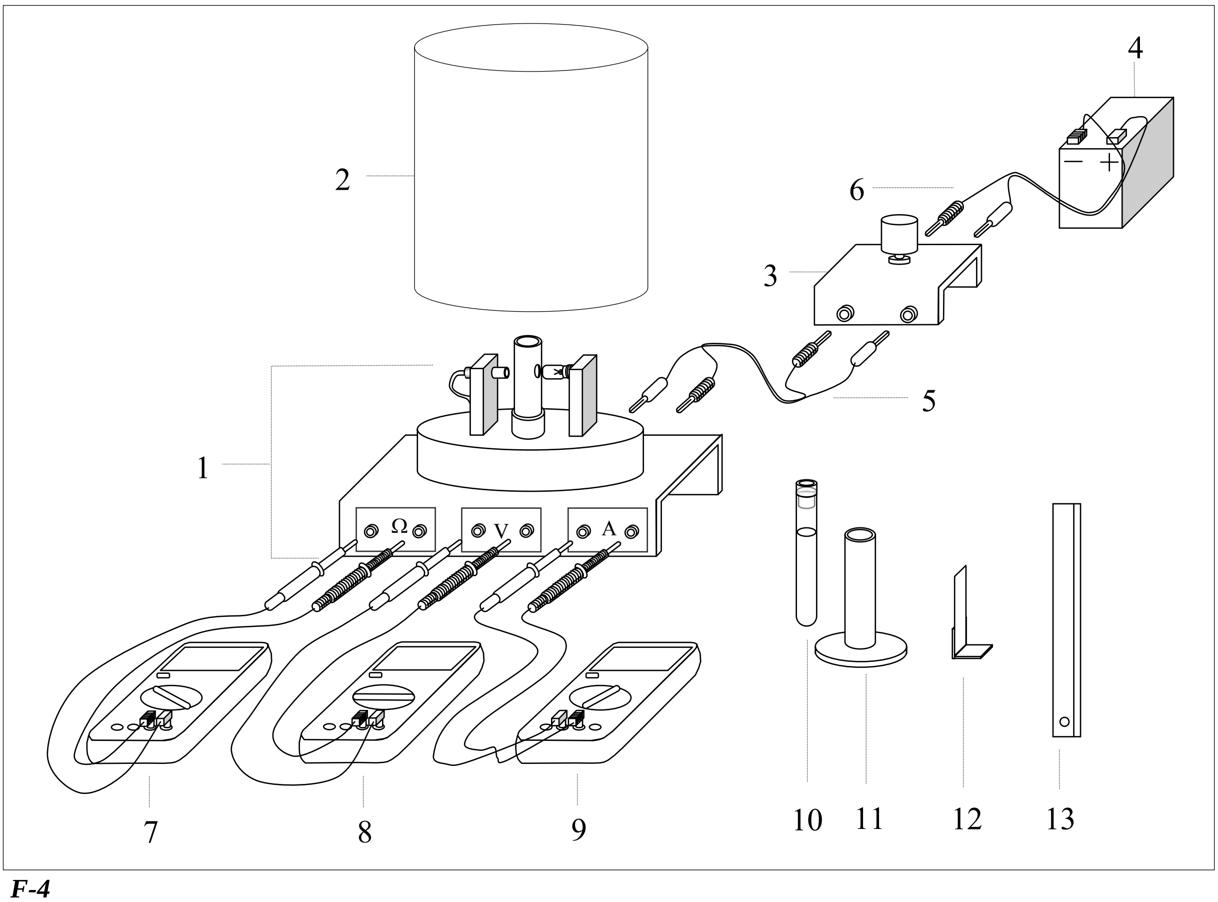
Για αυτή την πειραματική διάταξη βρίσκουμε, τελικά, μια σχέση μεταξύ της αντίστασης *R* της LDR και της απόλυτης θερμοκρασίας *T* του νήματος του λαμπτήρα

$$R = c_3 e^{c_2 \gamma / \lambda_0 T} \tag{3}$$

την οποία θα χρησιμοποιήσουμε στη σελίδα 6. Το c_3 στη σχέση αυτή είναι ένας άγνωστος σταθερός συντελεστής αναλογίας. Μετρώντας την *R* ως συνάρτηση της *T,* μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή της σταθεράς c_2, που αποτελεί και τον αντικειμενικό στόχο αυτού του πειραματικού θέματος.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Τα μέρη της πειραματικής διάταξης φαίνονται στο σχήμα F-4, όπου επίσης περιλαμβάνονται μερικές ενδείξεις για τη συναρμολόγησή της. Ελέγξτε τώρα ότι όλα τα μέρη της διάταξης είναι διαθέσιμα, αλλά αποφύγετε να κάνετε οποιοδήποτε χειρισμό με αυτά μέχρι να διαβάσετε τις οδηγίες στην επόμενη σελίδα.



F-4

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ:

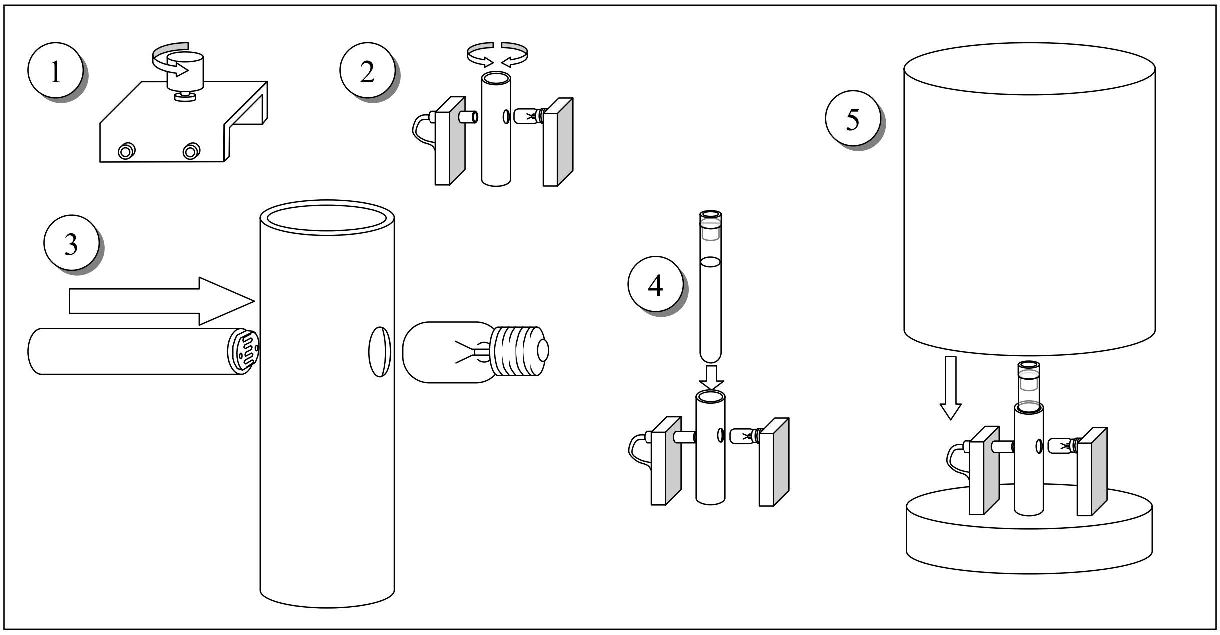
1. Πλατφόρμα. Αυτή έχει ένα δίσκο στο πάνω μέρος της ο οποίος κρατά τη βάση στήριξης για τη φωτοαντίσταση (LDR), τη βάση στήριξης για το σωλήνα και τη βάση στήριξης για το λαμπτήρα των 12 V, 0.1 A.
2. Προστατευτικό κάλυμμα.
3. Ποτενσιόμετρο 10 σπειρών και αντίστασης 1 ΚΩ
4. Μπαταρία 12 V
5. Κόκκινα και μαύρα καλώδια με βύσματα και στα δύο τους άκρα για τη σύνδεση της πλατφόρμας με το ποτενσιόμετρο
6. Κόκκινα και μαύρα καλώδια για τη σύνδεση με βύσμα στο ένα άκρο και υποδοχές στο άλλο άκρο για τη σύνδεση της μπαταρίας
7. Πολύμετρο το οποίο λειτουργεί ως όργανο μέτρησης ηλεκτρικής αντίστασης
8. Πολύμετρο το οποίο λειτουργεί ως βολτόμετρο
9. Πολύμετρο το οποίο λειτουργεί ως αμπερόμετρο
10. Δοκιμαστικός σωλήνας με υγρό ως φίλτρο
11. Βάση στήριξης για το δοκιμαστικό σωλήνα
12. Γκρίζο φίλτρο
13. Κανόνας (χάρακας)

Κατάλογος σύντομων οδηγιών για τη χρήση των πολυμέτρων, μαζί με πληροφορίες για τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, δίνονται σε ξεχωριστή σελίδα.

ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Ακολουθήστε τις εξής οδηγίες:

- Κάντε τις ηλεκτρικές συνδέσεις προσεκτικά όπως δείχνει το σχήμα F-4. <u>Μη συνδέσετε τα καλώδια με τον αριθμό 6 στο ποτενσιόμετρο.</u>
- Με βάση το σχήμα F-5, ακολουθήστε τα εξής στάδια:



F-5

1. Γυρίστε το κουμπί του ποτενσιόμετρου αριστερόστροφα μέχρι να φτάσει στο τέρμα.
2. Γυρίστε αργά το κυλινδρικό στήριγμα για το δοκιμαστικό σωλήνα ώσπου η μια οπή να βρεθεί μπροστά από τη λάμπα πυράκτωσης και η άλλη οπή να βρεθεί μπροστά από την LDR.
3. Φέρτε την LDR πιο κοντά στο στήριγμα του δοκιμαστικού σωλήνα έτσι ώστε το φως να περιβάλλει την οπή. Σας συνιστάται να προσανατολίσετε την επιφάνεια της LDR ακριβώς όπως δείχνει το σχήμα F-5.
4. Εισάγετε το δοκιμαστικό σωλήνα μέσα στο κυλινδρικό στήριγμα.
5. Τοποθετήστε το κάλυμμα πάνω από την πλατφόρμα για να ανακόπτεται το φως από το περιβάλλον. Βεβαιωθείτε ότι η LDR βρίσκεται στο σκοτάδι για τουλάχιστον δέκα (10) λεπτά πριν αρχίσετε οποιεσδήποτε μετρήσεις για τον υπολογισμό της αντίστασής της. Αυτό το στάδιο είναι σημαντικό καθώς η τιμή της αντίστασης της LDR δε σταθεροποιείται γρήγορα στο σκοτάδι.

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 1

Σχεδιάστε στο Φύλλο Απαντήσεων 1 τα ηλεκτρικά κυκλώματα τόσο μέσα στο ορθογώνια που σας δίνονται στο φύλλο αυτό όσο και στο χώρο μεταξύ τους. Λάβετε υπόψη τις επισημάνσεις που περιέχονται στο σχήμα F-4 για το σχεδιασμό των κυκλωμάτων.

Μέτρηση της θερμοκρασίας του νήματος του λαμπτήρα πυράκτωσης

Η ηλεκτρική αντίσταση R_B του νήματος του λαμπτήρα πυράκτωσης, δίνεται από τη σχέση

$$R_B = \rho \frac{l}{S} \qquad (4)$$

όπου ρ είναι η ειδική αντίσταση, l είναι το μήκος και S είναι το εμβαδόν της διατομής του νήματος.

Η αντίσταση εξαρτάται από τη θερμοκρασία εξαιτίας διαφόρων παραγόντων, όπως:

- Η αντίσταση ενός μεταλλικού αγωγού αυξάνεται με τη θερμοκρασία. Για το βολφράμιο και για θερμοκρασίες μεταξύ 300 K και 3655 K, δίνεται από την εμπειρική σχέση

  $$T = 3.05 \cdot 10^8 \rho^{0.83}\text{, μονάδες στο S.I.} \qquad (5)$$

- Λόγω θερμικής διαστολής μεταβάλλεται το μήκος και το εμβαδόν της διατομής του νήματος. Εντούτοις, οι μεταβολές αυτές είναι αμελητέες για το συγκεκριμένο πείραμα.

Από τις σχέσεις (4) και (5) και αγνοώντας τις πιο πάνω μεταβολές στις διαστάσεις του νήματος, παίρνουμε

$$T = a R_B^{0.83} \qquad (6)$$

- Άρα, για να βρούμε τη θερμοκρασία T είναι αναγκαίο να προσδιορίσουμε την τιμή του a. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μετρώντας την ηλεκτρική αντίσταση του νήματος πυράκτωσης, $R_{B,0}$, στη θερμοκρασία περιβάλ-λοντος T_0.

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 2

(a) Μετρήστε, χρησιμοποιώντας ένα πολύμετρο, τη θερμοκρασία περιβάλλοντος T_0.

(b) Δεν είναι καλή ιδέα η χρήση πολύμετρου για τη μέτρηση της αντίστασης του νήματος πυράκτωσης, R_{B0}, στη θερμοκρασία T_0, επειδή το ηλεκτρικό ρεύμα αυξάνει τη θερμοκρασία του νήματος και άρα και την ηλεκτρική αντίσταση. Έτσι, για τη μέτρηση της R_{B0}, συνδέστε την μπαταρία με το ποτενσιόμετρο και πάρτε ένα αρκετά μεγάλο αριθμό μετρήσεων της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος, I, και της αντίστοιχης τιμής της τάσης (διαφορά δυναμικού), αρχίζοντας από τη μικρότερη δυνατή τιμή της τάσης μέχρι την τιμή 1 V. (Θα αποδειχθεί χρήσιμο να πάρετε τουλάχιστο 15 μετρήσεις κάτω από την τιμή 100 mV). Στο τέλος, αφήστε το ποτενσιόμετρο στην αρχική του θέση και αποσυνδέστε ένα από τα καλώδια που συνδέουν το ποτενσιόμετρο με την μπαταρία.
Βρείτε την τιμή R_B για κάθε ζεύγος τιμών V και I, μεταφέρετε τις τιμές αυτές στον πίνακα για τη δραστηριότητα 2 γ, στο φύλλο απαντήσεων. Σημειώστε στο φύλλο απαντήσεων τη μικρότερη τιμή της τάσης που μπορείτε να πάρετε στο πείραμα. Τοποθετείστε τις τιμές για την R_B στον κατακόρυφο άξονα και τις τιμές για το I στον οριζόντιο άξονα.

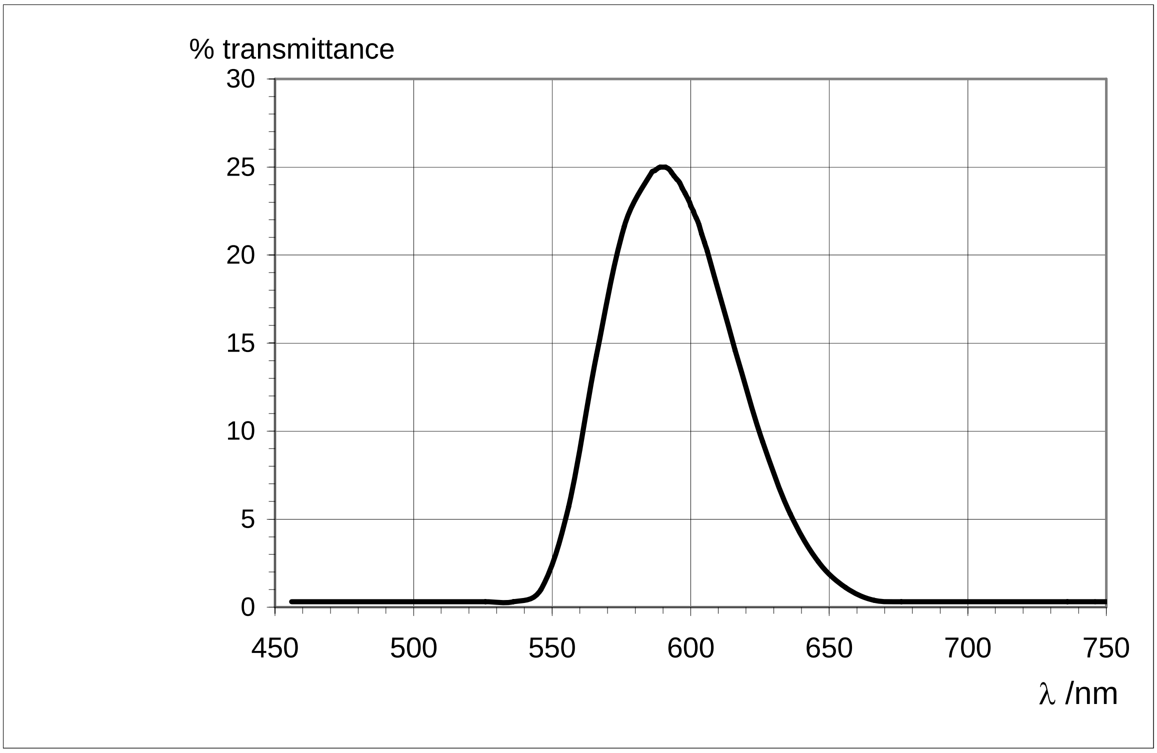
(c) Τοποθετήστε τα ζεύγη τιμών R_B και I που πήρατε στο μέρος (β). Επιλέξετε εκείνα τα ζεύγη τιμών που δίνουν μια γραμμική σχέση μεταξύ τους και γράψετε τις αντίστοιχες τιμές στον πίνακα 2 γ του φύλλου απαντήσεων. Τέλος, προσδιορίστε την τιμή R_{B0} και την τιμή ΔR_{B0}.

(d) Υπολογίστε τις αντίστοιχες τιμές του α και Δα σε μονάδες S.I., χρησιμοποιώντας τη σχέση (6).

ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ

Το υγρό φίλτρο στο δοκιμαστικό σωλήνα είναι ένα υδατικό διάλυμα θειικού χαλκού και πορτοκαλί βαφής ανιλίνης. Ο σκοπός της παρουσίας του άλατος είναι για να απορροφά την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από το νήμα.

Η διαπερατότητα (transmittance) του φίλτρου (λόγος της μεταδιδόμενης από αυτό έντασης προς την προσπίπτουσα σε αυτό ένταση) φαίνεται στο σχήμα F-6 σε σχέση με το μήκος κύματος.



F-6

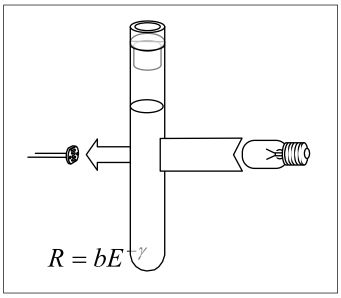
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 3

Προσδιορίστε λ_0 και $\Delta\lambda$ από το σχήμα F-6.

Σημείωση: $2\Delta\lambda$ είναι το συνολικό πλάτος στο μισό ύψος και λ_0 το μήκος κύματος στο μέγιστο.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ LDR

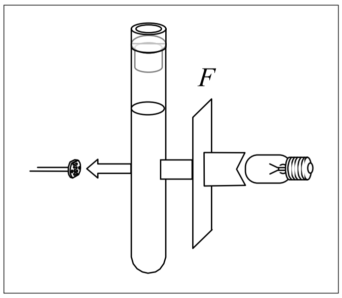
Το υλικό με το οποίο είναι φτιαγμένη η φωτοαντίσταση LDR δεν είναι αγώγιμο στο σκοτάδι. Φωτίζοντάς τη μερικά φορτία μεταφέρονται και ενεργοποιού-νται επιτρέποντας κάποια ροή ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από αυτή. Σε σχέση με την αντίσταση της LDR μπορεί κανείς να γράψει την παρακάτω σχέση



F-7

όπου b είναι μια σταθερά που εξαρτάται από τη σύσταση και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της LDR και γ είναι μια αδιάστατη παράμετρος που μετρά τη μεταβολή της αντίστασης με την ένταση της ακτινοβολίας E που προέρχεται από την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Θεωρητικά, μια ιδανική LDR θα έπρεπε να έχει $\gamma = 1$, όμως διάφοροι παράγοντες μεσολαβούν, και έτσι στην πραγματικότητα $\gamma < 1$.

Είναι αναγκαίος ο καθορισμός του γ. Αυτός επιτυγχάνεται με τη μέτρηση ζευγών R και E (Σχήμα. F-7) και με την εισαγωγή του γκρι φίλτρου F (Σχήμα. F-8) του οποίου η διαπερατότητα είναι γνωστό ότι είναι 51.2 %, και θεωρούμε ότι είναι απαλλαγμένη από σφάλμα.
Αυτό δημιουργεί μια ένταση ακτινοβολίας $E' = 0.512E$.
Μετά τη μέτρηση της αντίστασης R' σε σχέση με αυτή την ένταση, έχουμε



F-8

$$R = bE^{-\gamma} \quad ; \qquad R' = b\left(0.512\,E\right)^{-\gamma}$$

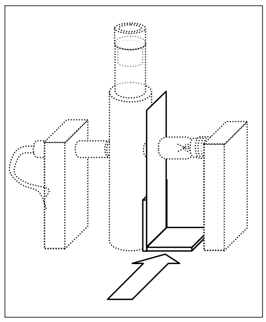
Από αυτή

$$\ln\frac{R}{R'} = \gamma \ln 0.512 \qquad (8)$$

Μην πραγματοποιήσετε αυτή τη διαδικασία μέχρις να φτάσετε στο μέρος (b) της δραστηριότητας 4 παρακάτω.

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 4

(a) Βεβαιωθείτε ότι η LDR παραμένει σε πλήρες σκοτάδι για τουλάχιστον δέκα (10) λεπτά πριν αρχίσετε αυτή τη δραστηριότητα. Συνδέστε την μπαταρία με το ποτενσιόμετρο και, περιστρέφοντας το κουμπί πολύ αργά, αυξήστε την τάση στα άκρα της λάμπας. Διαβάστε τα ζεύγη τιμών V και I, για τιμές της τάσης V μεταξύ 9.50 V και 11.50 V, και βρέστε την αντίστοιχη τιμή της αντίστασης R της LDR. (Είναι χρήσιμο να πάρετε τουλάχιστο 12 μετρήσεις). Μεταφέρετε όλες τις μετρήσεις σε πίνακα στο φύλλο απαντήσεων. Για να ανταπεξέλθετε με τη χρονική καθυστέρηση στην αντίδραση της LDR, μπορείτε να ακολουθήσετε την εξής διαδικασία: Για τιμές της τάσης V > 9.5, V περιμένετε για περίπου 10 λεπτά πριν πάρετε την πρώτη μέτρηση. Ακολούθως περιμένετε για 5 λεπτά πριν πάρετε τη δεύτερη μέτρηση, και συνεχίστε με τον ίδιο τρόπο. Πριν προχωρήσετε σε περαιτέρω υπολογισμούς, ακολουθήστε το επόμενο βήμα.


F-9

(b) Αφού καταγράψετε τη μικρότερη τιμή της αντίστασης R, ανοίξετε το προστατευτικό κάλυμμα, τοποθετήστε το γκρίζο φίλτρο όπως δείχνει το σχήμα F-9, τοποθετήστε ξανά -όσο πιο γρήγορα μπορείτε-το κάλυμμα στην πλατφόρμα και καταγράψετε τη νέα τιμή της αντίστασης της LDR, R΄. Χρησιμοποιώντας αυτές τις μετρήσεις στην εξίσωση (8) υπολογίστε το γ και το $\Delta\gamma$.

(c) Μετασχηματίστε την εξίσωση (3) για να πάρετε μια γραμμική σχέση του ln R σε σχέση με το $R_B^{-0.83}$. Γράψετε την εξίσωση που βρήκατε στο φύλλο απαντήσεων, ως Eq. (9).

(d)Χρησιμοποιώντας τώρα τα δεδομένα από το (α), κατασκευάστε πίνακα τιμών για τα κατάλληλα μεγέθη, ώστε να χαράξετε τη γραφική παράσταση της εξίσωσης Eq. (9).

(e) Χαράξετε τις κατάλληλες γραφικές παραστάσεις και γνωρίζοντας ότι $c_2 = hc/k$, υπολογίστε το h και Δh με οποιαδήποτε μέθοδο (επιτρέπεται να χρησιμοποιήσετε στατιστικές σχέσεις από την υπολογιστική μηχανή / calculator που σας έχει δοθεί).

(Ταχύτητα του φωτός, $c = 2.998 \cdot 10^8$ m s^{-1} ; σταθερά Boltzmann , $k = 1.381 \cdot 10^{-23}$ J K^{-1})