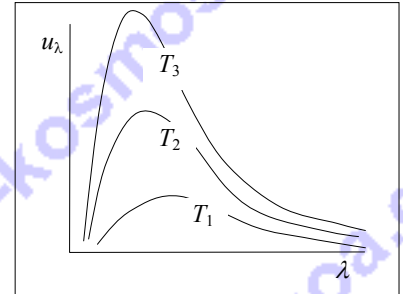


ΤΟ ΦΩΣ ΛΑΜΠΙΤΗΡΑ ΠΥΡΑΚΤΩΣΕΩΣ ΚΑΙ Η ΣΤΑΘΕΡΑ ΤΟΥ PLANK

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 .

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 δεν συμπεριφέρονται απολύτως όπως το μέλαν σώμα. Ο λόγος της ενέργειας που εκπέμπεται από ένα σώμα και της ενέργειας που θα εκπέμποταν από ένα μέλαν σώμα της ίδιας θερμοκρασίας, ονομάζεται αφετική ικανότητα ε , που συνήθως εξαρτάται από το μήκος κύματος.



F-1

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

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

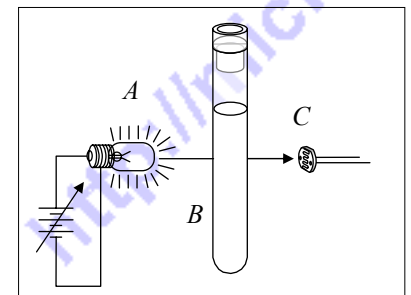
όπου c_1 και c_2 είναι σταθερές. Στο πρόβλημα αυτό σας ζητάμε να υπολογίσετε πειραματικά τη σταθερά c_2 , η οποία είναι ανάλογη της σταθεράς h .

Για την εκτοπή 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

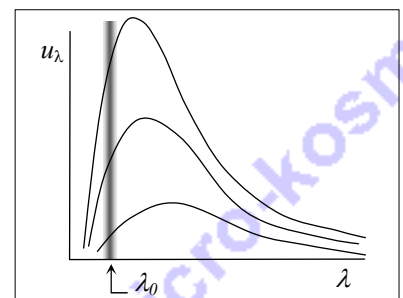
$$u_{\lambda} = \varepsilon \frac{c_1}{\lambda^5 e^{c_2/\lambda T}} \quad (2)$$

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.
- 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.



F-2



F-3

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

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

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

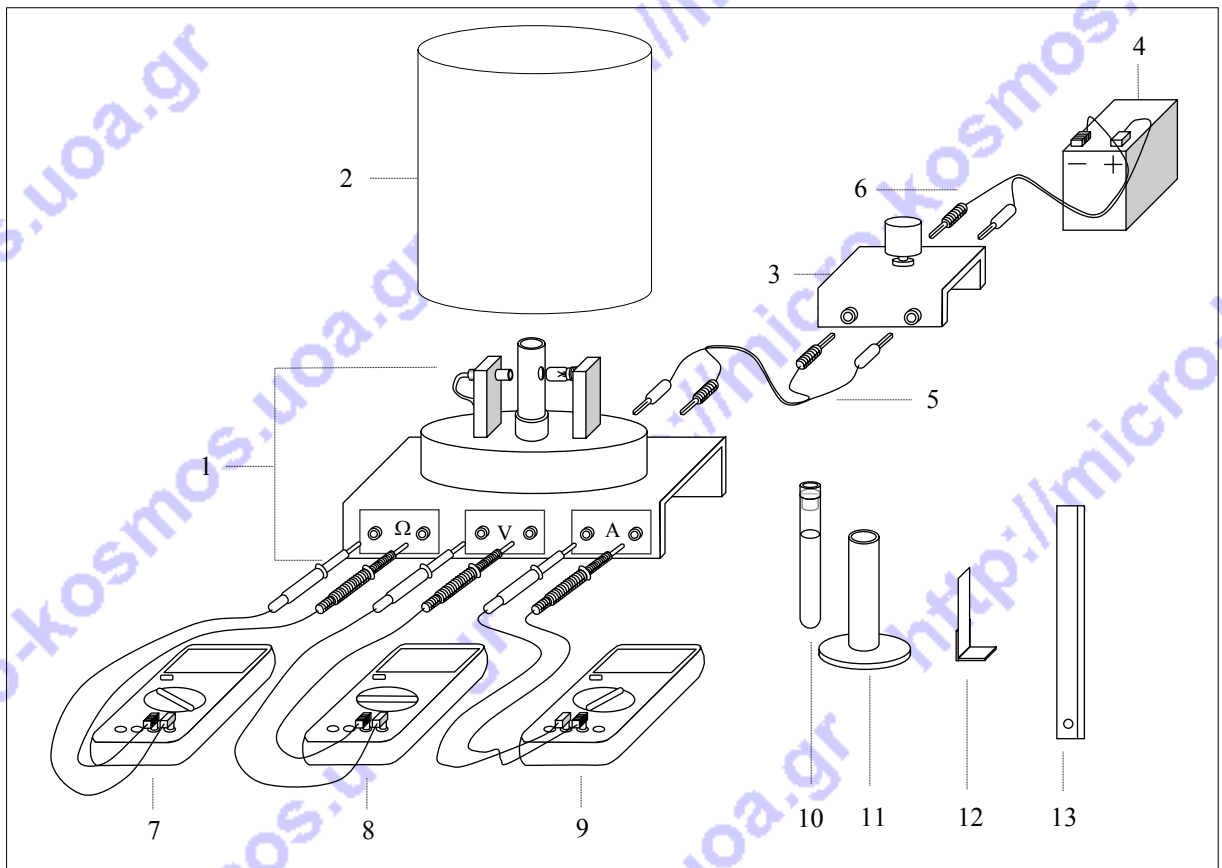
Για αυτή την πειραματική διάταξη βρίσκουμε, τελικά, μια σχέση μεταξύ της αντίστασης R της LDR και της απόλυτης θερμοκρασίας T του νήματος του λαμπτήρα

$$R = c_3 e^{c_2 \gamma / \lambda_0 T} \quad (3)$$

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 την 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 τον λαμπτήρα των 12 V, 0.1 A.
2. Προστατευτικό κάλυμμα.
3. Ποτενσιόμετρο 10 σπειρών και αντίστασης 1 KΩ
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

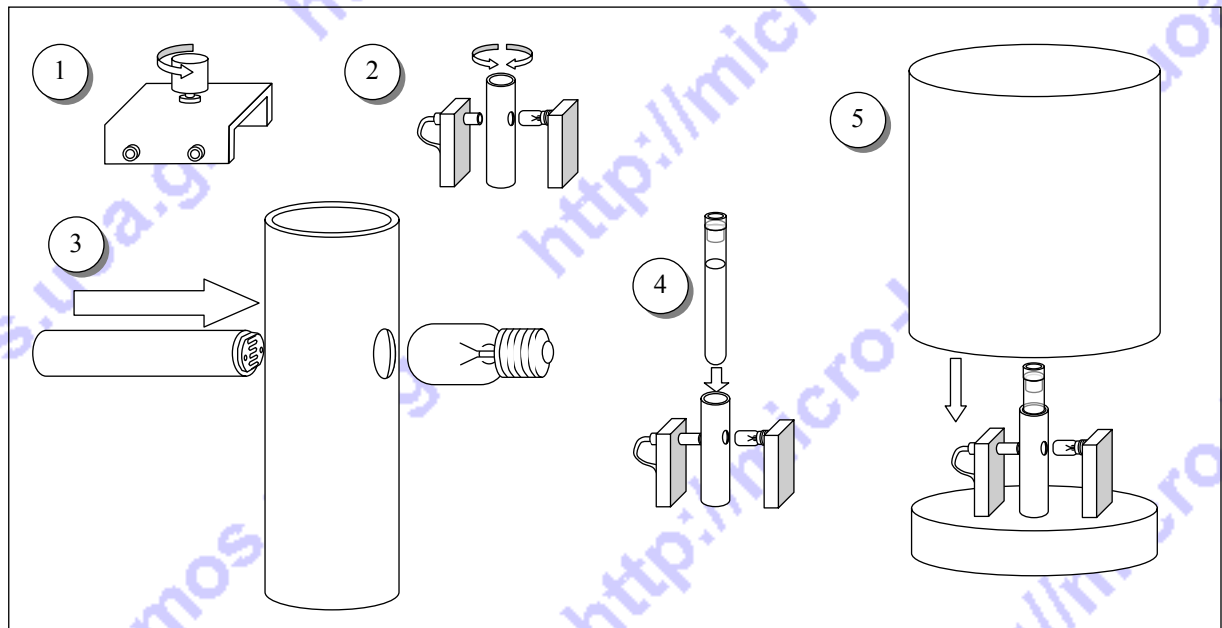
9. Πολύμετρο το οποίο λειτουργεί ως αμπερόμετρο
10. Δοκιμαστικός σωλήνας με υγρό ως φίλτρο
11. Βάση στήριξης για το δοκιμαστικό σωλήνα
12. Γκρίζο φίλτρο
13. Κανόνας (χάρακας)

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. Μην συνδέσετε τα καλώδια με τον αριθμό 6 στο ποτενσιόμετρο.
- 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 τουλάχιστο 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 δεν 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

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

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

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

- 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

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

- 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 περιβάλλοντος 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 την 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.

Βρέστε 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 την μικρότερη τιμή της τάσης που μπορείτε να πάρετε στο πείραμα. Τοποθετήστε τις τιμές για την R_B στον κατακόρυφο άξονα και τις τιμές για το I στον οριζόντιο άξονα.

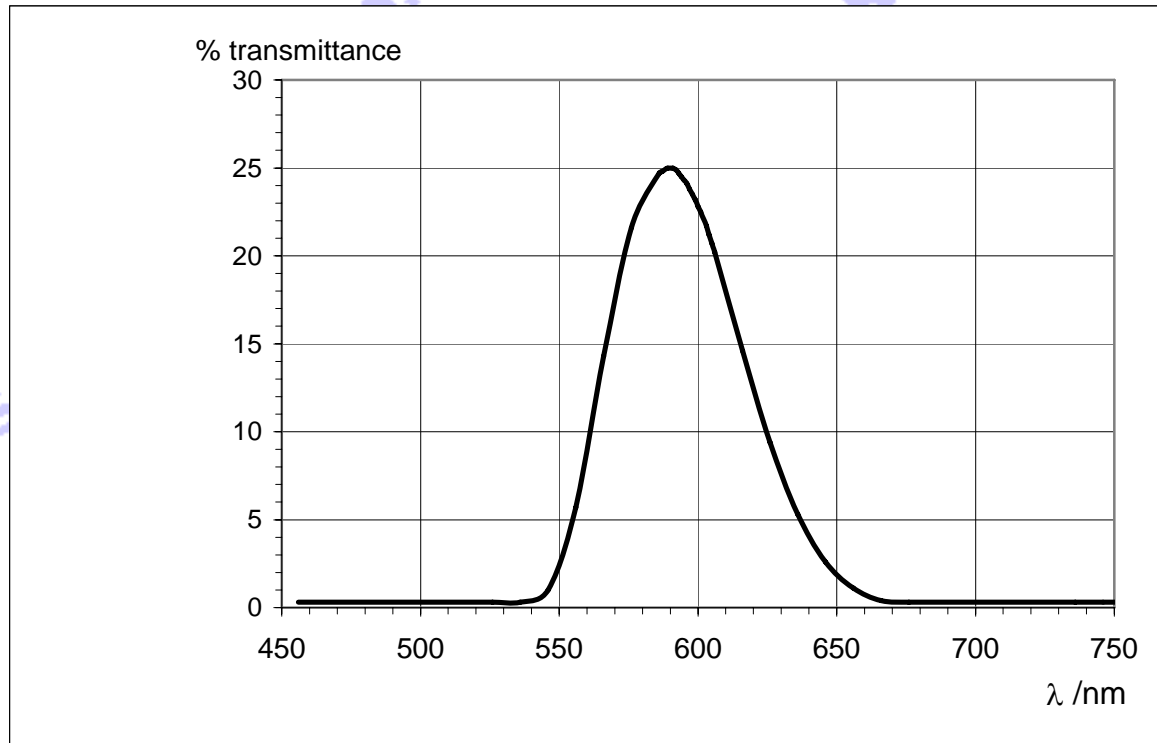
(c) Τοποθετήστε τα ζεύγη τιμών R_B και I που πήρατε στο μέρος (β). Επιλέξτε εκείνα τα ζεύγη τιμών που δίνουν μια γραμμική σχέση μεταξύ τους και γράψτε τις αντίστοιχες τιμές στον πίνακα 2 γ του φύλλου απαντήσεων. Τέλος, προσδιορίστε την τιμή R_{B0} και την τιμή ΔR_{B0} .

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

ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ

Το υγρό φίλτρο στο δοκιμαστικό σωλήνα είναι ένα υδατικό διάλυμα θειϊκού χαλκού και πορτοκαλί βαφής ανιλίνης. Ο σκοπός της παρουσίας του άλατος είναι για να απορροφά την υπέρυθη 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 αγωγίμο στο σκοτάδι. Φωτίζοντάς τη μερικά φορτία μεταφέρονται και ενεργοποιούνται επιτρέποντας κάποια ροή ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από αυτή. Σε σχέση με την αντίσταση της LDR μπορεί κανείς να γράψει την παρακάτω σχέση

$$R = bE^{-\gamma} \quad (7)$$

όπου b είναι μια σταθερά που εξαρτάται από την 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

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

Από αυτή

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

Μη πραγματοποιήσετε αυτή τη διαδικασία μέχρι να φτάσετε στο μέρος b) της δραστηριότητας 4 παρακάτω.

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 4

(a) Βεβαιωθείτε ότι η LDR παραμένει σε πλήρες σκοτάδι για τουλάχιστο 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 βρείτε 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. Ακολουθώς περιμένετε για 5 λεπτά πριν πάρετε τη δεύτερη μέτρηση, και συνεχίστε με τον ίδιο τρόπο. Πριν προχωρήσετε σε περαιτέρω υπολογισμούς, ακολουθήστε το επόμενο βήμα.

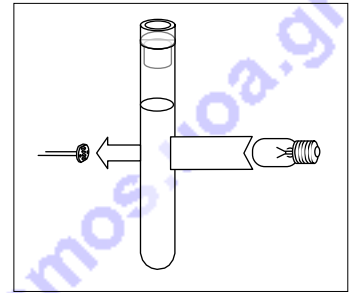
(b) Αφού καταγράψετε τη μικρότερη τιμή της αντίστασης R , ανοίξτε το προστατευτικό κάλυμμα, τοποθετήστε το γκριζό φίλτρο όπως δείχνει το σχήμα F-9, τοποθετήστε ξανά -όσο πιο γρήγορα μπορείτε- το κάλυμμα στην πλατφόρμα και καταγράψτε τη νέα τιμή της αντίστασης της LDR, R' . Χρησιμοποιώντας αυτές τις μετρήσεις 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 $R_b^{-0.83}$. Γράψτε την εξίσωση που βρήκατε στο φύλλο απαντήσεων, ως Eq. (9).

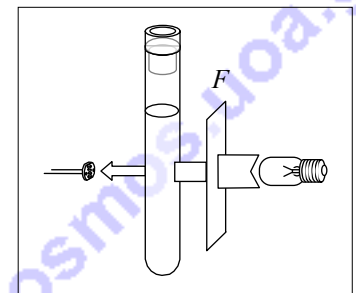
(d) Χρησιμοποιώντας τώρα τα δεδομένα από το (a), κατασκευάστε πίνακα τιμών για τα κατάλληλα μεγέθη, ώστε να χαράξετε τη γραφική παράσταση της εξίσωσης Eq. (9).

(e) Χαράξτε 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).

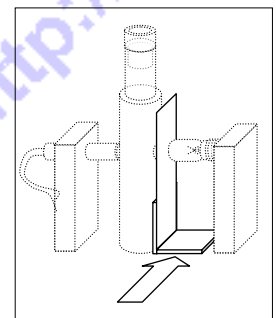
(Ταχύτητα του φωτός, $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$; σταθερά Boltzmann , $k = 1.381 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$)



F-7



F-8



F-9