

36. Starptautiskā fizikas olimpiāde

2005.gads. Salamanka, Spānija.

Planka konstantes noteikšana, izmantojot kvēlspuldzi

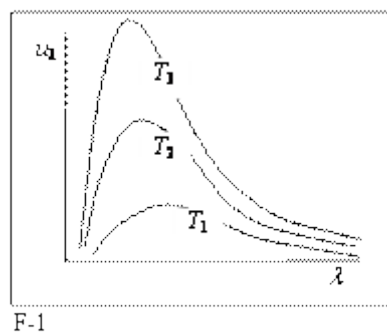
1900.gadā Makss Planks izteica hipotēzi, ka viela izstaro gaismu kvantu formā. Kventa enerģija, saskaņā ar šo hipotēzi, ir $h\nu$. 1905. gadā Alberts Einšteins šo hipotēzi paplašināja, izsakot apgalvojumu, ka gaisma ne tikai tiek izstarota kvantu formā, bet tā saglabā kvantu īpašības arī izplatoties telpā. Gaismas kvants vēlāk tika nosaukts par fotonu. Parasti gaismas viļņu fronte satur ļoti lielu fotonu skaitu. Gaismas kvantu īpašības šai situācijā tiek paslēptas gaismas viļņu īpašībās. Šīs gaismas kvantu īpašības neparādās intensīvā gaismas vilnī, tieši tāpat kā atsevišķu atomu īpašības neparādās makroskopisku ķermeņu īpašībās. Tomēr arī intensīvā gaismas vilnī var tikt konstatēta Planka konstantes izpausme. Šī eksperimenta mērķis ir noteikt Planka konstanti.

Ķermenis ne tikai izstaro (emitē), bet arī absorbē starojumu, kas uz to krīt. Par *melnu ķermeni* fizikā ir pieņemts saukt ķermeni, kas absorbē visu uz to krītošo starojumu neatkarīgi no tā viļņa garuma. Runājot par elektromagnētisko starojumu, melns ķermenis absorbē visu uz to krītošo starojumu, neko no krītošā starojuma neatstaro, un visu absorbēto starojumu izstaro atpakaļ. Protams, reālu ķermeņu īpašības tikai zināmā tuvinājumā atbilst melna ķermeņa īpašībām. Reāliem ķermeņiem attiecību starp izstarotās gaismas enerģiju, un to enerģiju, ko pie šīs temperatūras izstarotu ideāls melns ķermenis, saucim par reāla ķermeņa starotājspēju ε .

Planks parādīja, ka melna ķermeņa ar temperatūru T elektromagnētiskā starojuma veidā izstarotās jaudas blīvums vilnī ar viļņa garumu λ ir uzrakstāms kā

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

Formulā (1) lielumi c_1 un c_2 ir konstantes. Šajā uzdevumā mēs gribam, lai Jūs eksperimentāli noteiktu konstanti c_2 . Tā ir proporcionāla Planka konstantei h .

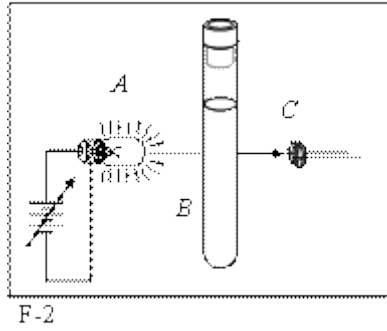


1.attēls

Starojumam ar īsu viļņa garumu, kreisajā pusē tālu no līknes maksimuma (skat. 1.attēlu F-1) ir iespējams izteiksmes (1) saucējā atņemt skaitli -1 (būtiski nesamazinot formulas precizitāti). Tad izteiksmi var pārrakstīt kā

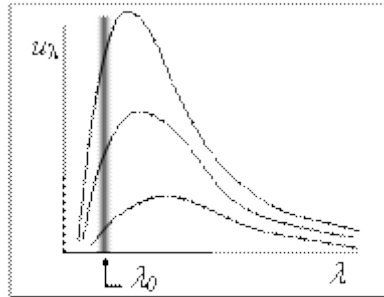
$$u_{\lambda} = \varepsilon \frac{c_1}{\lambda^5 e^{c_2/\lambda T}} \quad (2)$$

2. attēlā F-2 ir shematiski parādīti šī uzdevuma galvenie elementi.



2.attēls

- Par starojošo ķermeni kalpo kvēlspuldzes A volframa kvēldiegs, kas izstaro elektromagnētisko viļņu garumu diapazonā. Kvēlspuldzes spožums var tikt mainīts plašās robežās.
- Mēģene B satur šķidrumu, kas kalpo par gaismas filtru. Tas laiž cauri tikai nelielu gaismas spektra daļu spektra redzamajā daļā viļņu garuma λ_0 apkārtnē (skat. 3.attēlu F-3). Papildus informācija par šā gaismas filtra īpašībām atrodama uzdevuma aprakstā.



3.attēls

- Caurizgājušais starojums tiek reģistrēts ar foto rezistoru LDR (Light Dependent Resistor). Shēmā foto rezistors apzīmēts ar C. Šā LDR īpašības aprakstītas sīkāk tālāk uzdevumā.

LDR pretestība ir atkarīga no uz tā krītošā apgaismojuma E , kas ir proporcionāls kvēldiega izstarotās jaudas blīvumam.

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

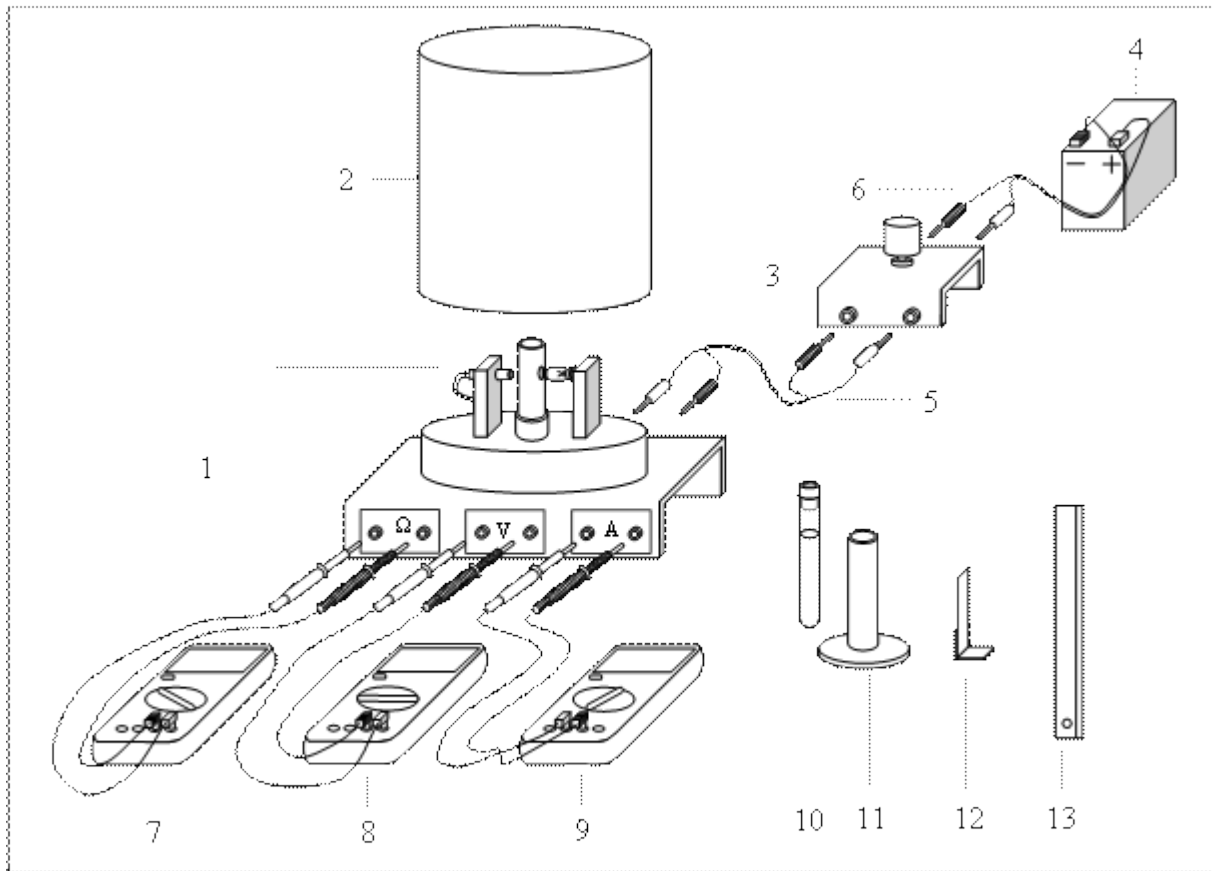
Šajā izteiksmē parametrs γ ir bezdimensionāls lielums, kas raksturo LDR. Šī parametra skaitliskā vērtība būs jānosaka eksperimentāli. Visbeidzot, izmantotajā eksperimentālajā iekārtā būs jānosaka saistība starp foto rezistora LDR pretestību R un kvēldiega temperatūru T .

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

Šī sakarība tiks izmantota tālāk uzdevumā, skat. 8. lappusi. Šajā sakarībā c_3 ir nezināms proporcionalitātes koeficients. Mērot kvēldiega pretestības R atkarību no temperatūras T , var tikt noteikta konstantes c_2 skaitliskā vērtība. Šīs konstantes eksperimentāla noteikšana ir darba galvenais uzdevums.

Iekārtas apraksts

Eksperimentālās iekārtas komponentes ir parādītas 4.attēlā F-4. Šis attēls satur arī daļu informācijas par iekārtas slēgumu. Pārbaudi, vai Tavā rīcībā ir visas nepieciešamās komponentes. Taču, pirms sāk veidot eksperimentālās iekārtas slēgumu, uzmanīgi izlasi instrukcijas uzdevuma nākošajās lappusēs.



F-4

4.attēls

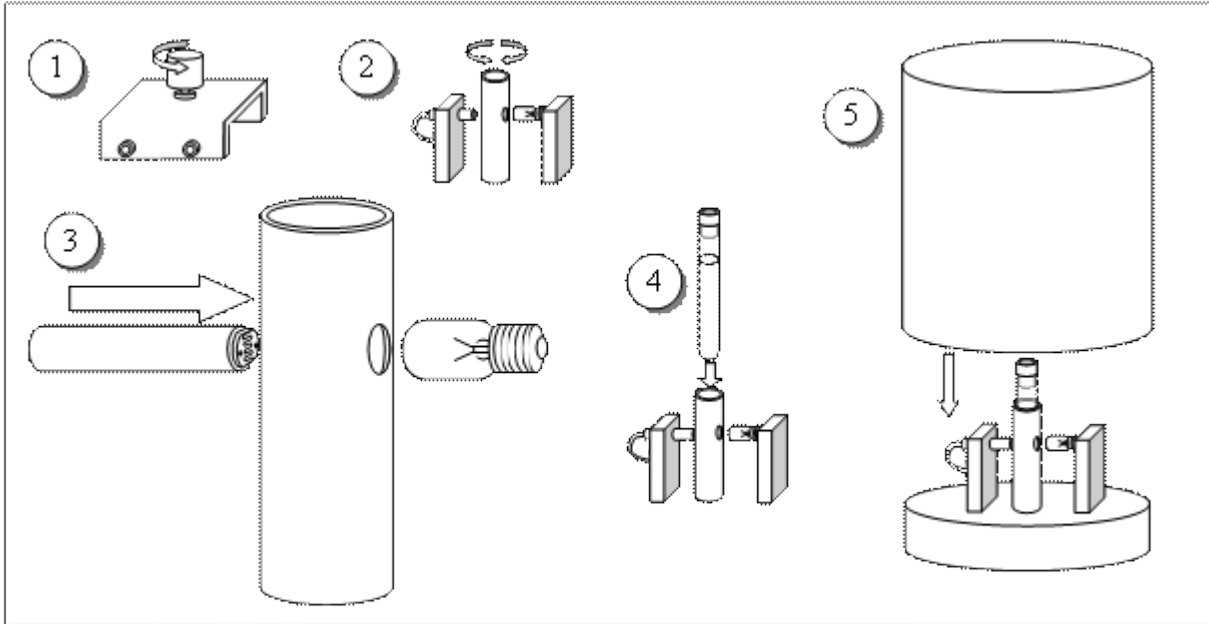
Iekārta

1. Platforma. Uz platformas atrodas disks. Uz diska ir izveidoti balsti foto rezistoram LDR, mēģenei un kvēlspuldzei (12 V, 0.1 A).
2. Aizsargājošs pārsegs – aizsargapvalks.
3. Potenciometrs ar maksimālo pretestību 1 k Ω , kura regulators var tikt pagriezts par 10 apgriezieniem.
4. 12 V akumulators;
5. Sarkani un melni savienotājkvādi ar spraudņiem abos galos. Ar tiem var saslēgt platformu un potenciometru.
6. Sarkani un melni savienotājkvādi ar spraudni vienā galā un ligzdu akumulatoram otrā galā.
7. Multimetrs, kas jāizmanto pretestības mērīšanai – kā ommetrs
8. Multimetrs, kas jāizmanto līdzsprieguma mērīšanai – kā voltmetrs
9. Multimetrs, kas jāizmanto līdzstrāvas mērīšanai – kā ampērmetrs
10. Mēģene ar šķidrumu, kas kalpo par gaismas filtru.
11. Mēģenes turētājs
12. Neitrālais (pelēks) filtrs
13. Lineāls

Eksperimentālās iekārtas izveidošana

Seko šai instrukcijai:

- Uzmanīgi izveido 4.attēlā F-4 parādīto elektrisko slēgumu. Taču nekādā gadījumā nepievieno akumulatora savienotājus 6 potenciometram.
- Skatoties 5.attēlā F-5, veic zemāk aprakstītos soļus



F-5

5.attēls

1. Griez potenciometra regulatoru pretēji pulksteņa rādītāja kustības virzienam, līdz tas sasniedz galējo pozīciju.
2. Pagriez mēģenes turētāju tā, lai viens no caurumiem turētāja sānos būtu vērsts pret kvēlspuldzi un pretējais caurums – vērsts pret foto rezistoru LDR.
3. Pietuvini foto rezistoru LDR mēģenei, kamēr LDR viegli pieskaras caurumam mēģenes turētāja sānos. Orientē foto rezistoru LDR tā, kā tas ir parādīts 5.attēlā F-5, 3.shēma.
4. Ievieto mēģeni mēģenes turētājā eksperimentālajā iekārtā.
5. Uzliec aizsargapvalku, lai pasargātu eksperimentu no telpā izkliedētās gaismas. Pārliecinies, ka foto rezistors LDR tiek turēts pilnīgā tumsā pirms eksperimenta sākuma vismaz desmit minūtes. Tikai pēc tam sāc rezistora pretestības mērījumus. Šī 10 minūšu pauze ir nepieciešama tādēļ, ka foto rezistora pretestība pēc tā ievietošanas tumsā savu sākotnējo (tumsas) vērtību sasniedz tikai pēc 10 minūtēm.

1. Uzdevums

Pirmajā atbilžu lapā uzzīmē elektriskās shēmas slēgumu iezīmētajos taisnstūros, kā arī savienojumus starp taisnstūriem.

Kvēldiega temperatūras mērījumi

Kvēldiega elektriskā pretestība R_B var tik uzdots ar formulu

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

kur ρ kvēldiega materiāla īpatnējā pretestība, l ir kvēldiega garums un S ir tā šķērsgriezuma laukums.

Kvēldiega pretestība vairāku iemeslu dēļ ir atkarīga no tā temperatūras. Proti,

- Metāla pretestība pieaug, palielinoties tā temperatūrai. Temperatūras intervālā no 300 K līdz 3655 K volframam pretestības izmaiņa no temperatūras var tikt aprakstīta ar empīrisku formulu, kas ir lietojama, ja lielumi ir izteikti SI sistēmā.

$$T = 3.05 \cdot 10^8 \rho^{0.83} \quad (5)$$

- Termiskā izplešanās izmaina kvēldiega garumu un šķērsriezuma laukumu. Tomēr šīs izmaiņas Tavā eksperimentā atstāj neievērojami mazu ietekmi uz kvēldiega pretestību. No formulām (4) un (5), neievērojot kvēldiega izplešanos atkarībā no temperatūras, var iegūt

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

- Lai iegūtu kvēldiega temperatūru, ir nepieciešams noteikt konstantes a skaitlisko vērtību. To var izdarīt, nosakot kvēldiega pretestību $R_{B,0}$ istabas temperatūrā.

2. Uzdevums

- Ar multimetru nosaki istabas temperatūru T_0 .
- Nav labi ar ommetru tieši mērīt kvēldiega pretestību $R_{B,0}$ istabas temperatūrā T_0 . Multimetrs, ieslēgts pretestības mērīšanas režīmā, liek plūst caur kvēldiegu nelielai strāvai. Šī strāva var uzsildīt kvēldiegu. Tādēļ, lai noteiktu $R_{B,0}$, pieslēdz akumulatoru pie potenciometra un izdari pietiekošu skaitu strāvas nolasiņumus spriegumu krituma uz potenciometra diapazonā no mazākās iegūstamās sprieguma krituma vērtības līdz apmēram 1 V. Būtu nepieciešams veikt vismaz 15 mērījumus, kas atbilstu sprieguma kritumam līdz 100 mV un mazāku skaitu – pie lielākiem sprieguma kritumiem. Pēc mērījuma atstāj potenciometru tā galēji kreisajā stāvoklī un atvieno vienu no savienotājiem, kas pieslēdz akumulatoru pie potenciometra.

Aprēķini R_B kas atbilst katram no V un I mērījumu pāriem. Ieraksti iegūto rezultātu 2. tabulā Atbilžu lapā, kas ir paredzēta uzdevumam 2b. Uzrādi šai atbilžu lapā zemāko sprieguma kritumu, kuru Tu spēji iegūt savā eksperimentā. Attēlo grafiski uz vertikālās ass pretestību R_B , uz horizontālās ass atliekot strāvu I .

- Izpētot punktā b) iegūto grafisko sakarību, izvēlies strāvas izmaiņas apgabalu, kurā ir iespējams eksperimentāli iegūto atkarību aproksimēt ar taisni. Izmantojot taisni, sakarību var ekstrapolēt uz nulli un iegūt pretestību $R_{B,0}$. Ieraksti izvēlētajās vērtības atbilžu lapas sadaļā 2c. Visbeidzot, iegūsti $R_{B,0}$ un $\Delta R_{B,0}$ skaitliskās vērtības.
- Izmatojot izteiksmi (6), izskaitļo lielumu a un Δa vērtības, ja $R_{B,0}$ ir izteikts Ω un T_0 izteikts K.

Gaismas filtra optiskās īpašības

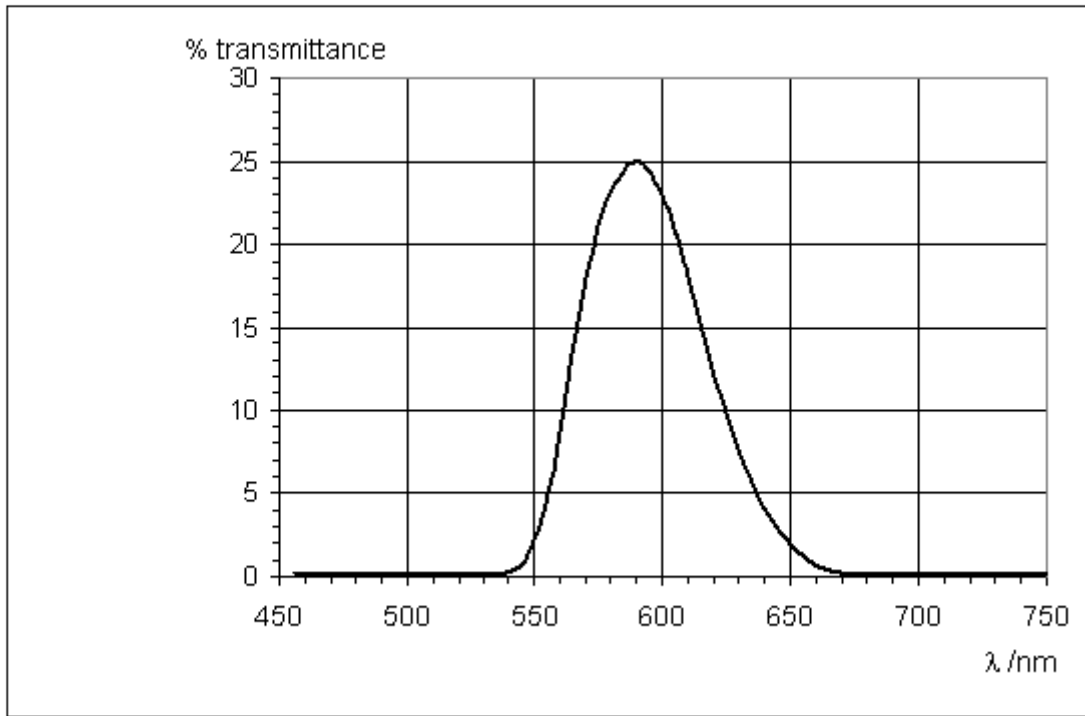
Šķidrums mēģenē, kas kalpo par gaismas filtru, ir vara sulfāta un oranžā anilīna krāsvielas ūdens šķidrums. Vara sulfāts absorbē infrasarkano starojuma spektra daļu, ko izstaro kvēldiegs.

Šī šķidrā filtra starojuma optiskās caurlaidības (cauri izgājušā starojuma intensitāte / uz filtru krītošā starojuma intensitāte, grafikā apzīmēta kā *transmittance*) atkarība no gaismas viļņa garuma ir parādīta 6.attēlā F-6.

3. Uzdevums

Izmantojot 6.attēlu F-6, nosaki λ_0 un $\Delta\lambda$.

Piezīme: $2 \cdot \Delta\lambda$ ir filtra gaismas caurlaidības loga pilnais platums, kas ir mērīts tādā augstumā, kad caurlaidības koeficienta vērtība ir puse no maksimālās. λ_0 ir viļņa garums, pie kura caurlaidības koeficients sasniedz maksimālo vērtību.



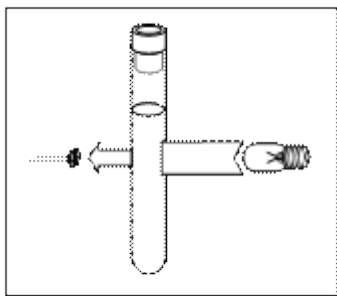
F-6 - 6.attēls

Foto rezistora LDR īpašības

Materiāls, no kura ir izgatavots foto rezistors LDR, tumšā ir strāvu vāji vadošs. LDR apgaismojot, materiālā tiek atbrīvoti lādiņa nesēji, kas noved pie strāvas caur LDR parādīšanās. Tas nozīmē, ka foto rezistora LDR pretestību atkarībā no uz tā krītošā apgaismojuma var uzrakstīt kā

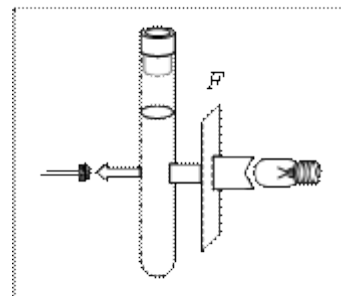
$$R = bE^{-\gamma}, \tag{7}$$

kur b ir proporcionalitātes koeficients, atkarīgs no foto rezistora materiāla un tā formas. Bezdimensionāls parametrs γ raksturo foto rezistora pretestības izmaiņas atkarībā no uz tā krītošā apgaismojuma E . Ideālam foto rezistoram šis parametrs būtu vienāds ar $\gamma = 1$. Taču reālam foto rezistoram šis parametrs ir mazāks par 1, $\gamma < 1$.



F-7

7.attēls



F-8

8.attēls

Parametra γ skaitliskā vērtība ir jānosaka eksperimentāli. To var izdarīt, izmērot pretestību R un apgaismojumu E (7.attēls F-7), un pēc tam ievietojot starp kvēlspuldzi un mēģeni neitrālo (pelēko) filtra (8.attēls F-8). Neitrālā filtra caurlaidības koeficients ir zināms. Tas ir 51.2%. Uzskatīsim, ka tas ir zināms precīzi (tā vērtība nesatur kļūdu). Filtra ievietošana rada foto rezistora izmainītu apgaismojumu $E' = 0.512 E$. Pēc foto rezistora jaunās pretestības R' izmērīšanas, kas atbilst izmainītajam apgaismojumam E' , mēs iegūstam

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

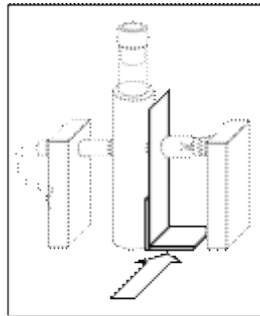
No šīs sakarības var uzrakstīt

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

Veic aprakstīto procedūru tikai tad, kad nonāksi pie uzdevuma 4b.

4. Uzdevums

- a) Pirms sākt zemāk aprakstītos mērījumus, pārliecinies, ka foto rezistors LDR ir atradies tumsā vismaz 10 minūtes. Pievieno akumulatoru potenciometram un loti lēnām griežot potenciometra regulatoru, palielini spriegumu uz kvēlspuldzes. Nolasi lielumu pāri: V un tam atbilstošo I . Veic mērījumus, kas atbilst spriegumam robežās starp 9.5V un 11.5V. Nosaki atbilstošo foto rezistora LDR pretestību R . Būtu nepieciešamas veikt vismaz 12 mērījumus. Ieraksti visas izmērītās un iegūtās fizikālo lielumu vērtības Atbilžu lapā. Lai ievērotu foto rezistora LDR inerci, mēs iesakām sekojošu procedūru. Kad spriegums sākotnēji ir palielināts līdz $V = 9.5V$, pagaidi vismaz 10 minūtes, pirms Tu veic pirmo mērījumu. Tad pagaidi 5 minūtes līdz otrā mērījuma veikšanai, un tā joprojām. Pirms veikt nākošos aprēķinus, pārej pie šā uzdevuma nākošā soļa – 4b.
- b) Pēc tam, kad ir iegūta pretestības R zemākā vērtība, noņem aizsargapvalku un ievieto neitrālo (pelēko) filtru, kā parādīts 9.attēlā F-9. Cik ātri vien iespējams, uzliec aizsargapvalku atpakaļ. Pieraksti iegūto foto rezistora LDR pretestību R' . Izmantojot iegūtos datus un izteiksmi (8), izrēķini γ un $\Delta\gamma$.



F-9

9.attēls

- c) Pārveido izteiksmi (3) tā, lai būtu redzama $\ln R$ lineāra atkarība no $R_B^{-0.83}$. Pieraksti šo lineāro atkarību Atbilžu lapā un piešķir tai izteiksmes numuru (9).
- d) Izmantojot datus, kas tika iegūti punktā a), sagatavo tabulu ar skaitļiem, kas ļauj attēlot grafiski iegūto sakarību (9).
- e) Attēlo grafiski (9) un, zinot, ka $c_2 = hc/k$, izrēķini h un Δh , izmantojot jebkādu metodi (Tu drīksti izmantot arī statistiskās funkcijas, kas ir atrodamas organizatoru izsniegtajā kalkulatorā).

(Gaismas ātrums $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$; Bolcmaņa konstante $k = 1.381 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$)