



Facultatea de Știința și Ingineria Mediului

UNIVERSITATEA BABEȘ-BOLYAI

CLUJ-NAPOCA

FIZICĂ I

FIZICĂ II

ÎNDRUMĂTOR PENTRU LABORATOR

INGINERIA MEDIULUI AN I

Lector Dr. Mircea Anton

Lector Dr. Alida Gabor (Timar)

PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE SI CALCUL DE ERORI

I. Introducere

Rezultatul oricarei masuratori este afectat intotdeauna de o eroare. Prin eroare se intelege diferenta dintre valoarea reala a unei marimi fizice si valoare masurata. Scrierea unui rezultat fara eroarea corespunzatoare este lipsita de semnificatie. Totodata, valoarea erorii totale care afecteaza o marime stabileste cifrele semnificative ale rezultatului final.

Sursele de eroare sunt multiple, incepand de la aparatura si procedurile de laborator folosite, si mergand pana la natura intrinseca a anumitor fenomene fizice.

Tipuri de erori:

- erori statistice;
- erori sistematice;
- erori grosolane.

→ Erorile statistice

Sunt erori a caror valoare si semn sunt intamplatoare (nu respecta o alta regula decat cea a legilor statisticii);

Se datoreaza unui complex de cauze greu de sesizat si inlaturat. Se supun legilor calcului probabilistic;

Daca numarul de masuratori este foarte mare:

- erorile de o anumita marime (pozitive) apar la fel de des ca si erorile de aceeasi marime (negative);
- erorile mari (pozitive si negative) au o probabilitate mica de aparitie fata de erorile mici.

Asta ne conduce la concluzia ca, efectuand un numar foarte mare de masuratori si calculand media aritmetica a acestor valori, vom obtine o valoare apropiata de valoarea reala a respectivei marimi fizice.

→ **Erorile sistematice**

Sunt erori care spre deosebire de cele accidentale, apar in aceeași direcție și au în fiecare caz o valoare bine determinată, constantă sau variabilă.

Cauzele erorilor sistematice sunt:

- defecte ale aparatelor de măsură;
- condițiile de mediu, în cazul în care acestea sunt incompatibile cu funcționarea aparatelor;
- experimentatorul, depinzând de particularitățile acestuia, sau de poziția lui față de scala aparatului în momentul citirii.

→ **Erorile grosolane**

De obicei efectuăm un număr mic de măsurători (3 sau 5) pentru determinarea (prin mediere) a valorii numerice a unei mărimi fizice. Dacă în șirul de valori obținute există una cu mult diferită de celelalte, o eliminăm și repetăm măsurătoarea. Spunem că acea măsurătoare este afectată de o eroare grosolană. Cauza unei astfel de erori este, în general, neatenția (momentană) la citirea unei valori de pe scala aparatului sau modificarea pe timp scurt a condițiilor în care se desfășoară experimentul.

În concluzie, mărimea erorilor sistematice este constantă și influențează rezultatul într-un singur sens în timp ce mărimea erorilor statistice se schimbă de la o măsurare la alta iar rezultatul este influențat în ambele sensuri. Erorile sistematice pot fi reduse prin prudență în măsurare, folosirea de etaloane etc., în timp ce erorile statistice pot fi mult diminuate prin efectuarea de măsurători repetate.

II. Exactitatea și precizia măsurătorilor

Măsurătoarea exactă: diferența dintre media aritmetică a determinărilor și valoarea reală este cât mai mică posibil.

Exactitatea (justetea) este dată prin urmare de apropierea dintre media aritmetică a determinărilor și valoarea reală.

Masuratoarea precisa: diferentele dintre valorile gasite este cat mai mica posibil.

Precizia (fidelitatea) este data de gruparea stransa a valorilor gasite.

Exactitatea depinde de erorile sistematice, iar precizia de erorile statistice (aleatoare).

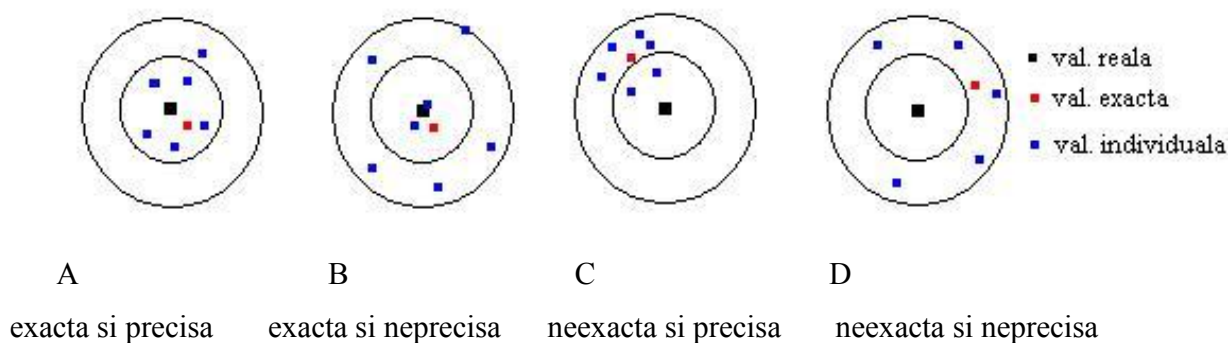
Exemplu: avem in tabel patru serii de cate sase determinari repetate.

Metoda A	Metoda B	Metoda C	Metoda D
18.00	18.55	17.65	19.10
18.05	17.60	17.70	18.40
17.95	18.00	17.90	18.10
18.15	18.30	17.65	18.70
17.95	18.25	17.85	18.80
18.20	17.90	17.75	18.50
$x_{med} = 18.05$	$x_{med} = 18.10$	$x_{med} = 17.75$	$x_{med} = 18.60$

Observatie:

Presupunem ca valoarea reala este 18.10.

Reprezentand valorile masurate si valoarea adevarata ca pe niste lovituri in tintele de tir, avem reprezentarea sugestiva in figura urmatoare:



În concluzie, rezultatul măsurării este caracterizat prin *precizia de măsurare* și de *exactitate sau acuratețe*. Precizia se referă la reproductibilitatea măsurătorilor, la modul în care valorile se grupează în jurul mediei, deci la erorile cu caracter statistic datorate procesului de măsurare sau caracterului statistic al mărimii măsurate. Exactitatea sau acuratețea se referă la corespondența dintre valoarea măsurată și cea reală sau așteptată. Prin urmare acuratețea este indicată atât de precizie cât și de eroarea sistematică globală a măsurătorilor.

III. Noțiuni de calculul erorilor

Orice operație de măsurare are un caracter statistic.

Dacă efectuăm un sir de N măsurători independente a unei mărimi fizice X , frecvența de apariție a unei valori x este:

$$f(x) = \frac{a(x)}{N}$$

$a(x)$ numărul de apariții ale valorii x

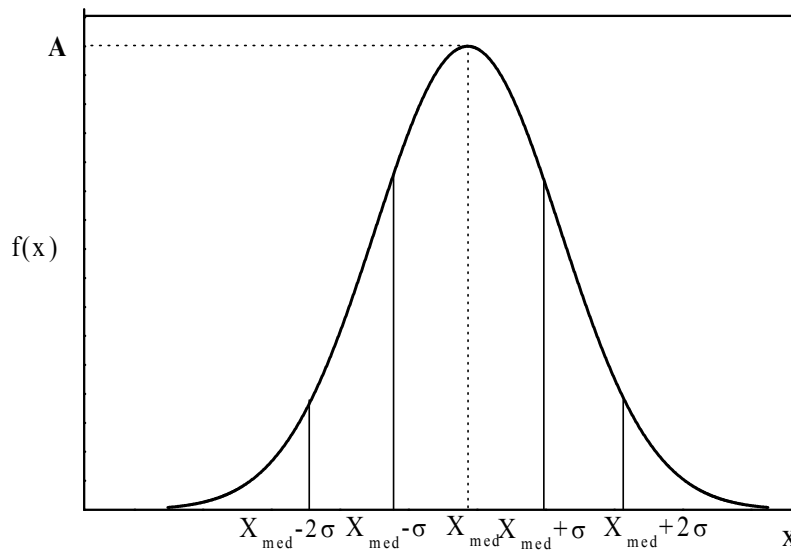
N numărul total de observații

Cea mai bună apreciere pe care o putem face în practică pentru valoarea mărimii fizice X este **media experimentală**. Valoarea mediei experimentale este:

$$\boxed{x_{med_exp} = \sum_{i=1}^N x_i / N} \quad \text{sau} \quad x_{med_exp} = \sum_{x=0}^{\infty} x \cdot f(x)$$

Iar eroarea individuală a fiecărei măsurători este $\Delta x = |x_i - x_{med}|$

Pentru o mărime ce poate furniza un sir continuu de rezultate distribuția valorilor obținute este una de tip Gauss (**Fig 1**). Curba este cu atât mai bine conturată cu cât numărul de măsurători este mai mare.



Distributia experimentală (de tip Gauss) a rezultatelor pentru un număr N mare de măsurători.

Funcția matematică care caracterizează această distribuție este dată de ecuația:

$$f(x) = A \exp \left[-\frac{(x - x_{\text{med}})^2}{2\sigma^2} \right] \quad \text{unde:}$$

- A reprezintă amplitudinea,
- x_{med} este valoarea medie a mărimii de interes,
- σ se numește ***deviația standard***.

Această funcție prezintă proprietatea importantă că în intervalul $x_{\text{med}} - \sigma$, $x_{\text{med}} + \sigma$ sunt cuprinse 68.3% din rezultate; în intervalul $x_{\text{med}} - 2\sigma$, $x_{\text{med}} + 2\sigma$ intra 95.5% din rezultate, iar în intervalul $x_{\text{med}} - 3\sigma$, $x_{\text{med}} + 3\sigma$ intra 99.7% din rezultate. Această proprietate duce la definirea așa numitelor nivele de încredere. Un nivel de încredere de 99.7% înseamnă practic certitudinea faptului că toate rezultatele sunt cuprinse în intervalul $x_{\text{med}} \pm 3\sigma$ și așa mai departe.

Deviația standard reprezintă practic deviația datelor experimentale față de valoarea medie adevărată sau așteptată x_{med} (-valoare ideală a mediei ce se mai numește și numește speranță matematică sau medie statistică și care s-ar obține dacă am efectua un număr infinit de măsurători) și poate fi calculată ca :

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum (x_i - x_{med})^2$$

Valoarea de care dispunem noi în practică este însă valoarea mediei experimentale. Se poate demonstra că deviația standard și media experimentală se află în relația (F. Knoll, Appendix B) :

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum (x_i - x_{med_exp})^2$$

Deviația standard mai este întâlnită și sub denumirea de **abatere patratică medie**. Așa cum am mai precizat această mărime caracterizează împrăștierea datelor experimentale, fiind un **indicator al preciziei setului de măsurători individuale**.

În general în practică pentru a caracteriza împrăștierea unui set de date se folosește DEVIATIA STANDARD RELATIVA (DSR):

$$DSR = \frac{\sigma}{x_{med_exp}}$$

O mărime de mai mare interes este masura în care media obținută în urma a N măsurători se depărtează de valoare reală, exactă a mediei care s-a obține în cazul în care s-ar efectua un număr infinit de măsurători. Aceasta este caracterizată de o abatere dată de ecuația:

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

Aceasta este **EROAREA STANDARD ABSOLUTĂ A MEDIEI** (vezi demonstrație în anexa)

Putem bineînțeles calcula și eroarea relativă.

$$\varepsilon_{srel} = \frac{\varepsilon_s}{x_{med_exp}}$$

Aceasta este EROAREA STANDARD RELATIVA A MEDIEI

Patratele deviatiei standard si a erorii standard a mediei se mai intalnesc uneori in literatura si sub denumirile de *variante*.

Rezultatul final al unui experiment in care am repetat N masuratori independente ale unei marimi fizice X se prezinta ca:

$$X = x_{med_exp} \pm \varepsilon_s$$

In cazul in care putem asocia o eroare individuala s_i fiecarei masuratori in parte x_i a marimii X se poate calcula si o eroare standard asteptata a mediei.

$$\varepsilon_{asteptat} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N s_i^2}}{N}$$

Aceasta este EROAREA STANDARD ASTEPTATA A MEDIEI.

In cazul in care $\varepsilon_s \gg \varepsilon_{asteptat}$ inseamna ca avem o imprastiere a valorilor masurate mai mare decat ne-am asteptat din considerente statistice, adica masuratorile ne sunt afectate de erori sistematice.

IV. Regulele de propagare ale erorilor.

In cazul in care determinam o marime u in functie de alte marimi $x, y, z, \dots$ ($U=f(x, y, z, \dots)$) care au fost determinate prin masurare, iar erorile absolute asociate acestora sunt $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ iar erorile relative sunt respectiv $\varepsilon_{rel\ x}, \varepsilon_{rel\ y}$ eroarea ce va caracteriza marimea u va fi:

$$\varepsilon_u^2 = \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 \varepsilon_x^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 \varepsilon_y^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 \varepsilon_z^2 + \dots$$

A) dacă $u = x + y$ sau $u = x - y$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 1 \text{ si } \frac{\partial u}{\partial y} = 1 \text{ sau } \frac{\partial u}{\partial x} = 1 \text{ si } \frac{\partial u}{\partial y} = -1 \text{ si rezulta :}$$

$$\boxed{\varepsilon_u = \sqrt{\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2}}$$

B) dacă $u = Ax$ sau $u = x/B$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = A \Rightarrow \varepsilon_u = A \varepsilon_x \text{ si } \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{1}{B} \Rightarrow \varepsilon_u = \frac{\varepsilon_x}{B}$$

C) dacă $u = xy$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = y \text{ si } \frac{\partial u}{\partial y} = x$$

$$\varepsilon_u^2 = y^2 \varepsilon_x^2 + x^2 \varepsilon_y^2 \text{ impartind cu } u^2 = x^2 y^2 \text{ rezulta}$$

$$\boxed{\left(\frac{\varepsilon_u}{u}\right)^2 = \left(\frac{\varepsilon_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_y}{y}\right)^2}$$

D) $u = x/y$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{1}{y} \text{ si } \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{x}{y^2}$$

$$\varepsilon_u^2 = \frac{1}{y^2} \varepsilon_x^2 + \frac{x^2}{y^4} \varepsilon_y^2$$

Impartind $u^2 = x^2/y^2$ rezulta :

$$\boxed{\left(\frac{\varepsilon_u}{u}\right)^2 = \left(\frac{\varepsilon_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_y}{y}\right)^2}$$

GRAFICE

Cercetarea științifică este un proces de găsire a unor informații, inițial ascunse. În urma efectuării unui experiment, în general se urmărește dacă și cum depinde o mărime fizică de alte mărimi fizice. Dacă dependența studiată este de forma $y = f(x_1, x_2, \dots)$, trebuie urmărite pe rând dependențele doar între două mărimi variabile, celelalte fiind menținute constante:

$$y = f(x_1), \quad x_2, x_3, \dots = \text{constante},$$

$$y = f(x_2), \quad x_1, x_3, \dots = \text{constante, etc....}$$

Dacă o variabilă (mărime fizică) depinde de o alta, fiecărei valori a uneia îi corespunde o valoare a celeilalte. Unei mici variații a unei mărimi îi corespunde o mică variație a celeilalte mărimi, iar o variație continuă a unei mărimi determină o variație continuă a celeilalte. Concluzia este că dependența celor două mărimi poate fi reprezentată sub forma unei linii (unei curbe).

Un grafic este o imagine ce arată dependența unei mărimi de o altă mărime. Dacă cele două mărimi sunt y și x , putem scrie $y = f(x)$. y se numește variabila dependentă (dependentă de x), și x variabila independentă. De exemplu, în studiul dilatării lungimii unei bare cu temperatura, variabila independentă este temperatura iar lungimea este variabila dependentă: $l = f(T)$. În legea de mișcare a mișcării rectilinii și uniforme, spațiul parcurs este mărimea dependentă (de timp), iar timpul este mărimea independentă: $s = f(t)$.

Reprezentarea grafică a lui $y = f(x)$ se face conform Figurii 1.

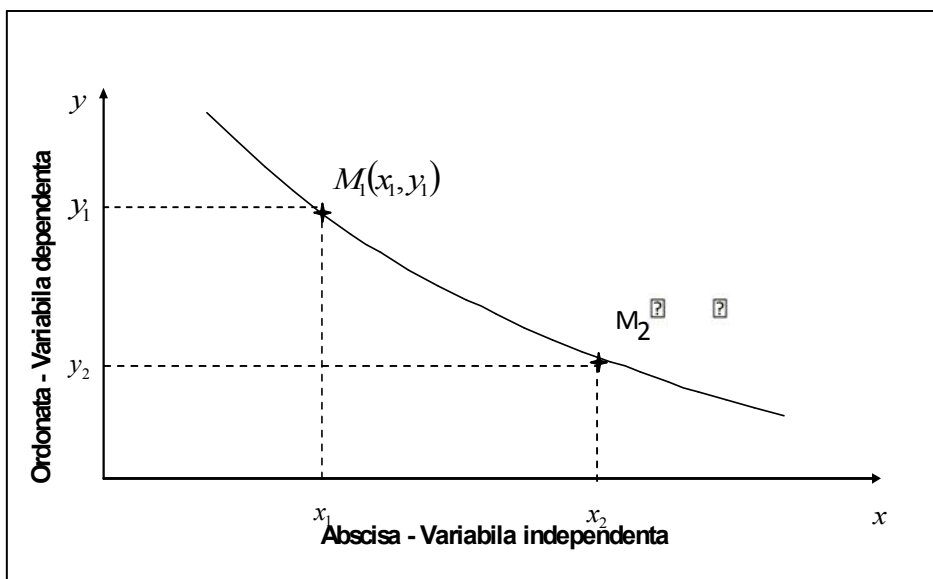


Figura 1 Reprezentarea grafică $y = f(x)$.

Un grafic poate fi privit în două sensuri: cunoscând graficul (curba) putem determina coordonatele punctelor de pe curbă, și respectiv cunoscând coordonatele punctelor, putem reprezenta punctele pe grafic.

Un prim scop al reprezentării grafice este acela de a verifica dacă există dependență între două mărimi analizate; dacă o astfel de dependență există, atunci mulțimea punctelor de coordonate (x_i, y_i) se vor așeza pe o linie. Pentru a determina o linie oarecare, este nevoie de un număr mare de puncte. Numai dacă dependența celor două mărimi este liniară, sunt suficiente teoretic două puncte care determină dreapta.

Dreapta este un element cheie într-o analiză grafică, întrucât numai ea poate fi precizată dintre toate tipurile de linii.

Problema se reduce deci la găsirea unei reprezentări a datelor experimentale astfel ca graficul să devină o dreaptă. Se încearcă mai multe metode de liniarizare a dependenței, așa cum vedem în continuare.

3.1. Dependența liniară

Ecuția generală a unei drepte este $y = ax + b$, unde b este ordonata la origine și a este panta dreptei. *Panta unei drepte se definește ca tangenta unghiului pe care-l face dreapta cu orizontala.* De observat că, spre deosebire de trigonometrie unde panta (tangenta) nu are unități de măsură, în cazul reprezentării grafice, panta are dimensiunea fizică a raportului y/x .

Cu datele experimentale din tabelul 1, reprezentând dependența vitezei în căderea liberă a unei bile, în funcție de timp, obținem graficul din Figura 3.3.

Tabel 3.1. Date experimentale ale dependenței vitezei de timp în căderea liberă

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t(s)$	0.033	0.067	0.100	0.133	0.167	0.200	0.233	0.267	0.300	0.333
$v(m \cdot s^{-1})$	1.08	1.50	1.64	1.96	2.34	2.66	3.11	3.48	3.66	3.84

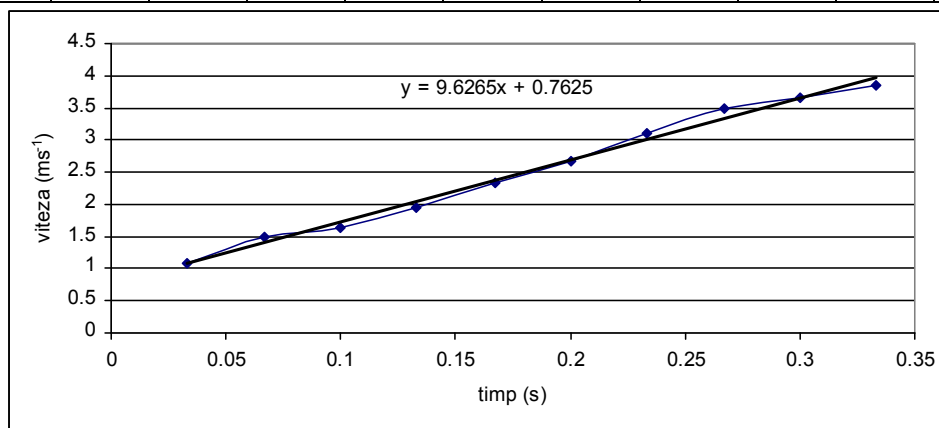


Figura 2. Graficul $v = f(t)$ în cădere liberă.

Dreapta trasată este dreapta cea mai potrivită (the best fit) cu punctele experimentale. Identificând elementele din legea vitezei în căderea liberă $v = v_0 + gt$ cu

ecuația dreptei obținută grafic $v = b + at$, rezultă că ordonata la origine este viteza inițială $v_0 = 0.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, iar panta dreptei reprezintă accelerația gravitațională $a = g = 9.65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

3.2. Dependența sub forma unei puteri

O dependență frecvent întâlnită între două mărimi fizice este cea de forma:

$$u = f(v) = kv^n,$$

unde $n \in R, k = \text{const.}$

Logaritmând, obținem:

$$\log u = \log k + \log v^n = \log k + n \log v$$

Notând $\log u = y, \log k = b, \log v = x$, obținem $y = b + nx$, adică ecuația unei drepte cu b și n determinate din grafic.

Spre exemplificare, considerăm datele din Tabelul 2 ce reprezintă perioada de revoluție a primelor patru planete în funcție de distanța medie față de Soare.

Tabel 2. Dependența perioadei de revoluție a planetelor față de distanța medie față de Soare

Planeta	Distanța $R(m) \cdot 10^{10}$	Perioada $T \text{ (ani)}$	$\log R$	$\log T$
<i>Mercur</i>	5.79	0.241	10.7627	-0.6180
<i>Venus</i>	10.81	0.617	11.0383	-0.2097
<i>Pământ</i>	14.59	1.000	11.1746	0.0000
<i>Marte</i>	22.78	1.881	11.3576	0.2744

În Figura 4. este reprezentată dependența $T = f(R)$, iar în Figura 5. dependența $\log T = f(\log R)$. Ecuația curbei din Figura 4. nu o cunoaștem, însă punctele din Figura 5. se așează pe o dreaptă ce trece prin origine, de ecuație:

$$\log T = 1.5 \log R, \text{ sau } T = kR^{1.5} \text{ sau } T^2 = kR^3 \text{ sau } \frac{T^2}{R^3} = k,$$

relație ce reprezintă legea a 3-a a lui Kepler.

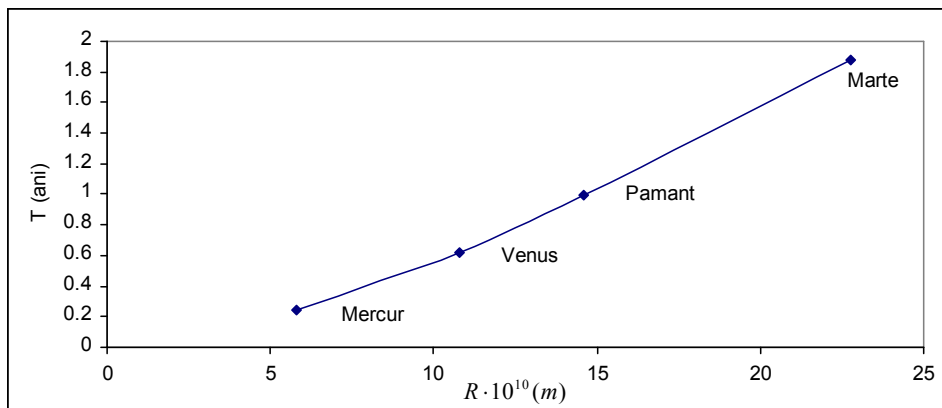


Figura 4. Dependența perioadei planetelor de distanța medie până la Soare.

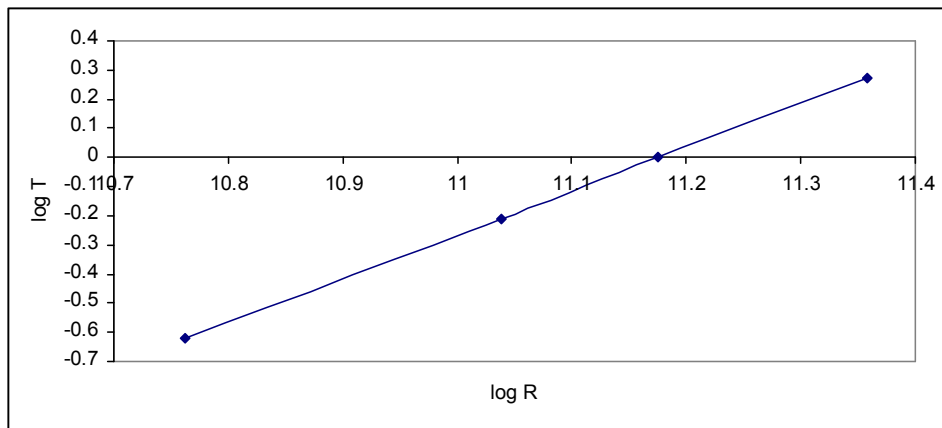


Figura 5. Reprezentare log-log.

În concluzie, reprezentarea grafică log-log este aplicabilă în cazul unei dependențe sub forma unei puteri: $u = kv^n$ și ea permite determinarea precisă a exponentului n .

3.3. Dependența exponențială sau logaritmică

O altă dependență frecvent întâlnită în fizică este de forma $u = e^{kv}$.

Logaritmăm expresia în baza e , $\ln u = \ln e^{kv} = kv$

Într-o reprezentare grafică simplu log, adică $\ln u = f(v)$, vom obține o dreaptă ce trece prin origine, cu panta k .

3. 4. Cerințele după care se realizează un grafic:

- Graficul trebuie să aibă un titlu
- La realizarea graficului se pornește de la un tabel de date experimentale ale mărimilor y și x (presupunem că $y = f(x)$)
- Se trasează un sistem de axe ortogonale xOy pe hârtie milimetrică, cu mărimea independentă (x) reprezentată pe abscisă și mărimea dependentă (y) reprezentată pe ordonată
- Dimensiunile axelor trebuie să fie aproximativ egale
- Se aleg scările pe cele două axe, astfel încât să se cuprindă întreg domeniul de variație a mărimilor x și y din tabelul de variație. Unitățile de pe cele două scale nu sunt legate între ele. Dacă mărimile reprezentate grafic variază cu mai multe ordine de mărime, ceea ce ar face imposibilă o reprezentare liniară, se recurge la reprezentarea logaritmică (logaritmul acestor mărimi) fie pe o axă, fie pe amândouă
- Se trasează pe axe, la intervale egale, valorile diviziunilor scalei și nu coordonatele punctelor experimentale
- Se reprezintă perechile de valori din tabelul de date prin puncte de coordonate (x,y) . În cazul în care se pot aprecia erorile absolute comise la fiecare măsurătoare, acestea se pot reprezenta grafic în fiecare punct experimental prin

bare verticale și orizontale de lungime proporțională cu eroarea absolută, Figura 3.6.

- Se trasează o curbă netedă “printre” punctele experimentale, obținându-se fitarea (potrivirea) grafică a dependenței $y = f(x)$.
- **Nu se unesc punctele printr-o linie frântă!!!!**

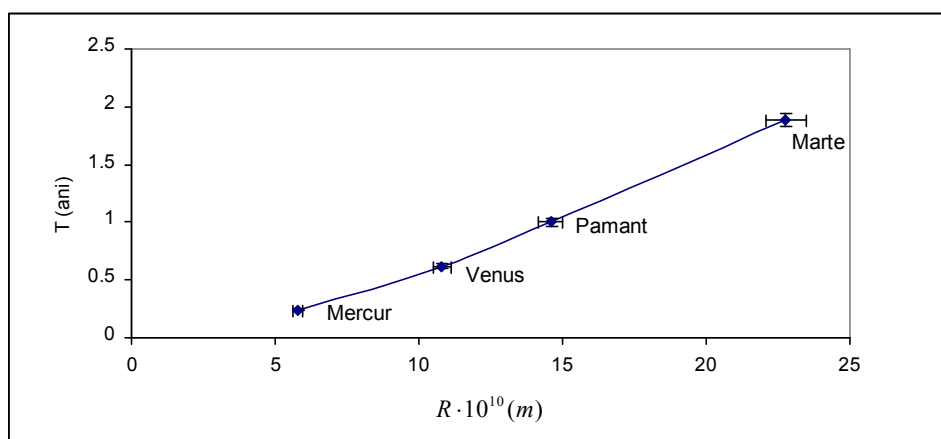


Figura 3.6. Erorile absolute pentru x și y .

3.5. Grafice în scară logaritmică

Dacă mărimea care este reprezentată variază cu mai multe ordine de mărime, se folosește o scară logaritmică. De exemplu, presupunem că mărimea x variază între valorile 10 și 10000. Vom reprezenta pe x pe o scară $lg x$.

$$lg 10 = 1$$

$$lg 100 = 2$$

$$lg 1000 = 3$$

$$lg 10000 = 4$$

$$lg 200 = lg 2 + lg 100 = 2 + lg 2 = 2 + 0.30$$

$$lg 300 = lg 3 + lg 100 = 2 + lg 3 = 2 + 0.47$$

$$\lg 400 = \lg 4 + \lg 100 = 2 + \lg 4 = 2 + 0.60$$

$$\lg 500 = \lg 5 + \lg 100 = 2 + \lg 5 = 2 + 0.70$$

$$\lg 600 = \lg 6 + \lg 100 = 2 + \lg 6 = 2 + 0.78$$

$$\lg 700 = \lg 7 + \lg 100 = 2 + \lg 7 = 2 + 0.84$$

$$\lg 800 = \lg 8 + \lg 100 = 2 + \lg 8 = 2 + 0.90$$

$$\lg 900 = \lg 9 + \lg 100 = 2 + \lg 9 = 2 + 0.95$$

$$\lg 2000 = 3 + 0.30$$

$$\lg 3000 = 3 + 0.47$$

$$\lg 4000 = 3 + 0.60$$

$$\lg 5000 = 3 + 0.70$$

$$\lg 6000 = 3 + 0.78$$

$$\lg 7000 = 3 + 0.84$$

$$\lg 8000 = 3 + 0.90$$

$$\lg 9000 = 3 + 0.95$$

Observăm că diviziunile pe scara logaritmică se repetă în intervalele $0.1 - 1$, $1 - 10$, $10 - 100$, $100 - 1000$, etc. Deși nu se notează pe axă, a doua diviziune după 100 va fi 200, a treia va fi 300, etc. De exemplu, în Figura 3.7, coordonatele punctelor M și N sunt: $M = M(20, 0.03)$ și $N = N(900, 0.5)$.

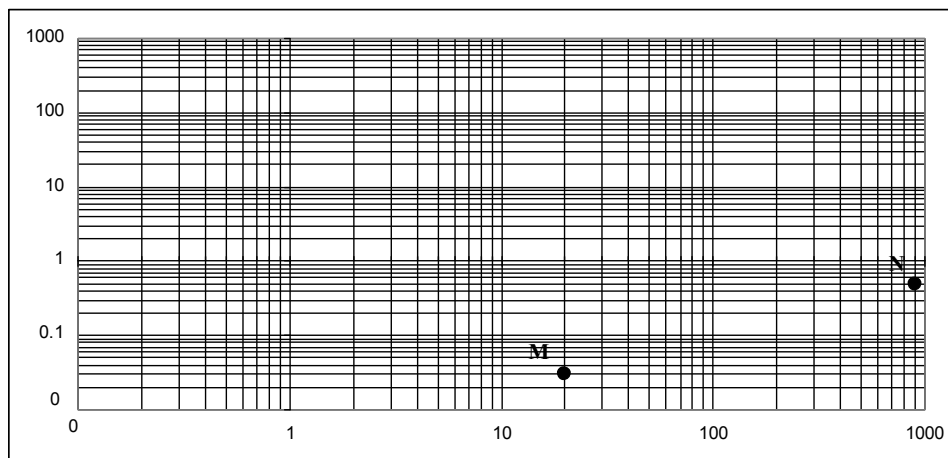


Figura 3.7. Coordonate logaritmice

3.6. Grafice în Excel

Microsoft Excel este o componentă a pachetului Microsoft Office cu ajutorul căruia putem trasa grafice. Documentele Excel se prezintă sub forma unui registru sau agende de lucru (workbook) ce include mai multe foi de lucru (worksheet). Foaia de lucru poate cuprinde tabele, grafice, texte, etc. Pentru a trasa grafice în Excel, trebuie parcurși pașii următori:

1. Se deschide un registru nou cu foi de lucru.
2. Se trece titlul tabelului ce cuprinde datele experimentului.
3. Se introduc datele experimentale, în coloane, coloana variabilei independente fiind la stânga coloanei variabilei dependente.
4. Se selectează numai datele numerice din tabel.
5. Clic stânga pe butonul *Chart Wizard*.
6. Din fereastra deschisă se selectează tipul de grafic dorit. Pentru graficul $y = f(x)$ se selectează tipul *XY (Scatter)*.
7. Clic pe butonul *Next*.
8. Din nou *Next* și apoi în fereastra afișată se trec titlul graficului și simbolurile mărimilor reprezentate pe axe, cu unitățile lor de măsură.

9. Clic pe *Next* și *Finish*, obținem graficul pe aceeași foaie de lucru ca și tabelul cu datele numerice.
 10. Clic dreapta pe un punct al graficului. Din fereastra deschisă se selectează *Add Trendline*.
 11. Se alege tipul curbei (de exemplu *Linear*).
 12. Se intră în *Options*, se selectează de exemplu *Display equation on chart*.
 13. Se apasă *OK*.
 14. Pe grafic va apare linia de interpolare precum și ecuația drepte.
- Pentru un grafic în scară logaritmică se procedează astfel:

1. Pe graficul în scară liniară, cursorul pe axa *x* sau *y*- clic dreapta-*Format Axis-Scale-Logarithmic Scale*.

Cursorul pe fondul graficului-clic dreapta (*Plot Area*)-*Chart Options-Gridlines-Major and Minor Gridlines-OK*.

DETERMINAREA PRESIUNII ATMOSFERICE

1. Obiective:

O₁. Determinarea presiunii atmosferice folosind apa și nu mercurul.

2. Aspecte teoretice:

Presiunea este mărimea fizică scalară egală cu raportul dintre forța normală pe suprafață și aria suprafeței:

$$p = \frac{F_n}{S}, \quad < p >_{SI} = \text{Pa (Pascal)} \text{ sau } \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$$

Aparatul care măsoară presiunea se numește manometru.

Presiunea hidrostatică este presiunea exercitată de un fluid aflat în echilibru, în câmp gravitațional, asupra corpurilor din acel fluid.

Principiul fundamental al hidrostaticii: Diferența dintre presiunile din două puncte ale unui lichid aflat în echilibru și în câmp gravitațional este direct proporțională cu diferența de nivel dintre cele două puncte:

$$\Delta p = \rho g \Delta h \quad (1)$$

În cazul particular când un punct al lichidului se află la suprafața sa, relația (1) devine:

$$p = \rho g h \quad (2)$$

Aerul atmosferic, ca orice fluid, exercită o presiune asupra obiectelor aflate în el, numită *presiune atmosferică*. Aceasta se notează cu p_0 sau H . Presiunea atmosferică scade cu creșterea altitudinii.

La nivelul mării presiunea atmosferică este de $p_0 = 101325 \text{ Pa}$.

Dispozitivul experimental este arătat în Figura 1. El constă dintr-un tub de sticlă în formă de U cu un braț deschis și cu unul închis, cu un robinet la partea inferioară.



Figura 1. Dispozitivul experimental

În situația inițială apa din tub umple brațul din stânga, Figura 2-a. Lăsând apa să curgă prin robinet, se ajunge la situația finală, ca în Figura 2-b.

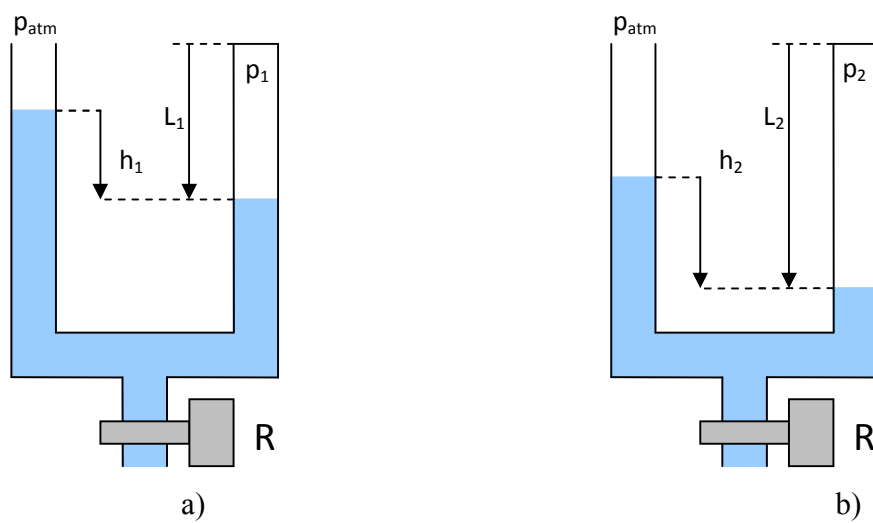


Figura 2. Situația inițială a) și finală b)

Condițiile de echilibru pentru apa din tub în situațiile inițială și finală se scriu:

$$p_{atm} + \rho g h_1 = p_1 \quad (2)$$

$$p_{atm} + \rho g h_2 = p_2 \quad (3)$$

unde p_1 și p_2 sunt presiunile aerului din compartimentul din dreapta, în cele două cazuri. Aerul închis în brațul din dreapta suferă o transformare izotermă între starea inițială și finală:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (4)$$

unde

$$V_1 = S L_1, \quad V_2 = S L_2, \quad (S = \text{secțiunea tubului}) \quad (5)$$

Ținând cont de relațiile (2) – (5), obținem presiunea atmosferică:

$$p_{atm} = \rho g \frac{h_1 L_1 - h_2 L_2}{L_2 - L_1} \quad (6)$$

3. Aparatura necesară:

- Tub de sticlă în formă de U
- Scală gradată pe brațele tubului
- Apă
- Suport vertical și cleme de laborator.

4. Modul de lucru:

Se toarnă apă în tub până se obține situația din Figura 2-a.

Se citesc valorile L_1 și h_1 . Se deschide robinetul și se lasă să curgă o cantitate de apă. Se închide robinetul obținându-se situația din Figura 2-b. Se citesc valorile L_2 și h_2 . Pentru creșterea exactității experimentului, se recomandă ca diferența de nivel dintre situația inițială și finală a apei din brațul deschis să fie cât mai mare.

Se repetă experimentul de mai multe ori iar datele experimentale se trec în următorul Tabel:

Tabel Date experimentale

Nr.crt.	h_1 (cm)	L_1 (cm)	h_2 (cm)	L_2 (cm)	p_{atm} (Pa)	$\overline{p}_{atm}$ (Pa)	Δp (Pa)	$\overline{\Delta p}_{atm}$ (Pa)
.								
.								
.								

Redactarea rezultatului: $p_{atm} = \overline{p}_{atm} \pm \overline{\Delta p}_{atm}$

$$g = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}.$$

$$\rho_{apa} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}.$$

Surse de erori:

- citiri incorecte ale înălțimilor coloanelor de apă
- variația temperaturii mediului – cea ce face ca transformarea să nu mai fie izotermă
- valorile densității apei și accelerației gravitaționale nu sunt exacte
- prezența vaporilor saturanți ai apei în aerul din brațul închis

STUDIUL PENDULULUI GRAVITAȚIONAL

VARIANTA 1

1. Obiective:

O_1 . Determinarea perioadei unui pendul gravitațional.

O_2 . Calcularea accelerației gravitaționale.

O_3 . Trasarea în EXCEL a dependenței $T^2 = f(l)$.

2. Aspecte teoretice:

Pendulul gravitațional este alcătuit dintr-un corp de mici dimensiuni ce poate fi asimilat unui punct material, suspendat de un fir inextensibil și de masă neglijabilă.

Dacă pendulul este scos din poziția de echilibru atunci el poate oscila cu o anumită perioadă într-un plan vertical.

Dacă studiem mișcarea dintr-un sistem de referință legat de Pământ, forțele ce acționează asupra corpului de masă m sunt greutatea și tensiunea din fir. Proiectând aceste forțe pe direcțiile normală și tangențială ale mișcării obținem, conform Figurii 1.:

$$T - mg \cos \varphi = ma_n$$

$$mg \sin \varphi = ma_t$$

Așadar forța sub acțiunea căreia pendulul tinde să revină în poziția de echilibru este: $F = G_t = mg \sin \varphi$, unde φ este elongația unghiulară. Deoarece forța de revenire depinde de $\sin \varphi$, rezultă că mișcarea nu este oscilatorie armonică.

Din triunghiul AOB, pentru unghiuri mici, avem: $\varphi \approx \frac{x}{l}$, unde x este elongația liniară.

Rezultă: $F = -kx$, unde $k = \frac{mg}{l}$. Deci în aproximația unghiurilor mici mișcarea fiind sub acțiunea unei forțe de tip elastic este oscilatorie armonică.

Dar $k = m\omega^2$ și $\omega = \frac{2\pi}{T}$, deci:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1)$$

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \quad (2)$$

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{g} l \quad (3)$$

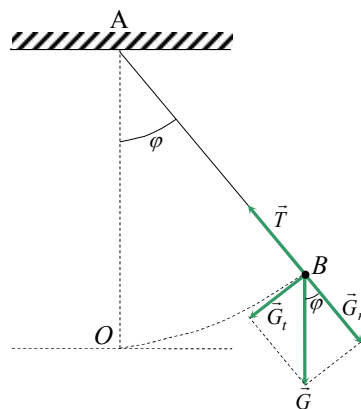


Figura 1. Forțele ce acționează asupra pendulului gravitațional.

În acord cu cele de mai sus, putem formula legile pendulului gravitațional, descoperite experimental de către Galileo Galilei:

- perioada este independentă de amplitudinea unghiulară, când aceasta nu depășește 5° (*legea izocronismului micilor oscilații*).
- perioada nu depinde de masa pendulului.
- perioada este direct proporțională cu $l^{1/2}$ și invers proporțională cu $g^{1/2}$.

3. Materiale necesare:

- Suport
- Bilă din oțel sau plumb de diametrul mic (cca. 1 cm) cu cârlig de prindere.
- Fir nylon.
- Raportor.
- Liniar.
- Cronometru.

- PC având instalat EXCEL-ul.

4. Modul de lucru:

Se prinde pe suport pendulul care are lungimea l_1 cm. Se scoate din poziția de echilibru, măsurând cu raportorul amplitudinea unghiulară de $5^\circ - 6^\circ$ și, după stabilizarea mișcării, se cronometrează timpul t în care se efectuează $n = 40$ de oscilații complete. Din relația $T = t/n$ se determină perioada. Cu ajutorul relației (2) se calculează accelerația gravitațională. Se repetă de trei ori procesul. Se repetă pentru încă două lungimi ale pendulului. Datele se trec în Tabelul 1. Această metodă de determinare a accelerației gravitaționale cu ajutorul pendulului a fost propusă pentru prima dată de către marele fizician olandez Christian Huygens (1629-1695).

Tabelul 1. Date experimentale

Nr.det.	l (cm)	n	t (s)	T (s)	$\overline{T}$ (s)	g (m·s ⁻²)	$\overline{g}$ (m·s ⁻²)	Δg (m·s ⁻²)	$\Delta \overline{g}$ (m·s ⁻²)
1	l_1	40							
2									
3									
1	l_2	40							
2									
3									
1	l_3	40							
2									
3									

Rezultatul: $g = \bar{g} \pm \Delta \bar{g}$ (m·s⁻²)

5. Trasarea în EXCEL a graficului dependenței $T^2 = f(l)$

Cu ajutorul datelor din Tabelul 1. se completează Tabelul 2.

Tabelul 2. Dependența $T^2 = f(l)$

Nr.det.	l (cm)	T (s)	T^2 (s ²)
1			
2			
3			

6. Interpretarea rezultatelor:

- Comparați valoarea lui g găsită cu valoarea standard.
- După ce curbă sunt așezate punctele din graficul de la pct.5 ? - vezi relația (3).

7. Surse de erori:

- Enumerați 3 surse de erori care afectează determinările.

VARIANTA 2

1. Obiective:

- Determinarea perioadei unui pendul gravitațional.
- Calcularea accelerației gravitaționale.
- Determinarea perioadei în funcție de amplitudinea unghiulară.

2. Materiale necesare:

- Numărător/cronometru cu barieră luminoasă
- Bilă de oțel
- Fir
- Suport
- Raportor

3. Modul de lucru:

Se realizează montajul din Figura 2. În cazul unui fir nou, bila se lasă suspendată de fir câteva minute până la stabilizarea lungimii firului. Lungimea pendulului trebuie măsurată înainte și după experiment și calculată o lungime medie. Lungimea pendulului se consideră de la punctul de suspensie până în centrul bilei.



Figura 2. Montajul experimental.

Cronometrul acționat de bariera luminoasă măsoară o perioadă, adică la oscilația într-un sens (1), firul pendulului întrerupe bariera luminoasă, când începe cronometrarea timpului până la a treia întrerupere (3), când cronometrul se oprește, vezi Figura 3. Datele se trec în Tabelul 3.

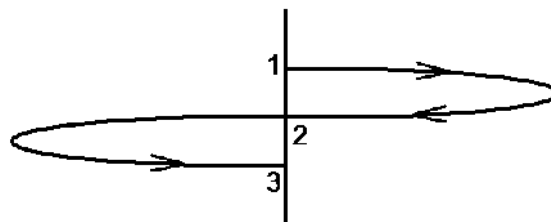


Figura 3. Bariera optică declanșează măsurarea unei perioade.

Tabelul 3. Perioada pendulului în funcție de lungime (cazul micilor oscilații).

Nr.Det.	T (s)	$\bar{T}$ (s)	l (cm)
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			

Liniazăm dependența $T = f(l)$ din relația (1) logaritmând-o:

$$\lg T = \lg \frac{2\pi}{\sqrt{g}} + \frac{1}{2} \lg l \quad (4)$$

Determinăm din graficul în coordonate logaritmice a lui $T = f(l)$ ecuația dreptei (în Excel, *Display Equation on Chart*). Din valoarea experimentală a ordonatei la origine $\lg \frac{2\pi}{\sqrt{g}}$ se determină g . În Figura 4 se dă un exemplu.

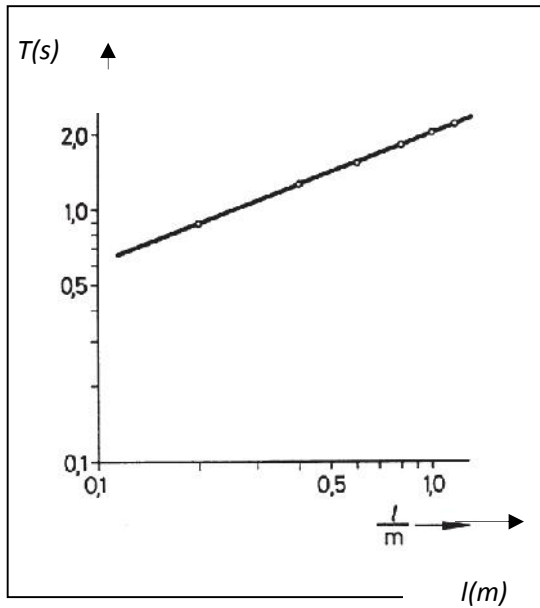


Figura 4. Perioada pendulului în funcție de lungime (cazul micilor oscilații).

În cazul când în relația (1) nu putem face aproximarea unghiurilor mici, expresia perioadei pendulului gravitațional este:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left(1 + \frac{1}{4} \sin^2 \frac{\varphi}{2} + \dots \right) \quad (5)$$

Verificăm această dependență experimental, cu datele din Tabelul 4.

Tabel 4. Dependența perioadei pendulului gravitațional de amplitudinea unghiulară.

φ (grd)	Nr. Det.	T (s)	$\bar{T}$ (s)	$\sin^2 \frac{\varphi}{2}$
	1.			
	2.			
	3.			
	1.			
	2.			
	3.			
	1.			
	2.			
	3.			
	1.			
	2.			
	3.			

Reprezentăm grafic $T = f\left(\sin^2 \frac{\varphi}{2}\right)$ conform Figurii 5.

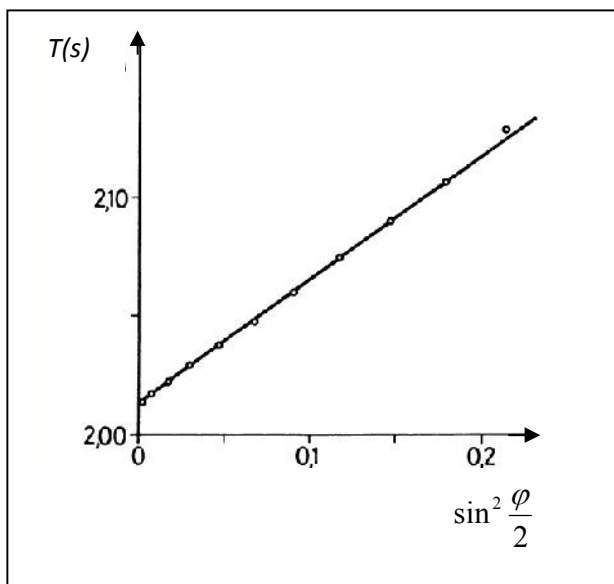


Figura 5. Perioada pendulului gravitațional în funcție de amplitudinea unghiulară (exemplu).

Discuție: Compară exactitatea determinării lui g prin cele două variante.

STUDIUL CELULEI SOLARE

1. Obiective:

O_1 . Ridicarea caracteristicii curent-tensiune și măsurarea tensiunii în gol și a curentului de scurtcircuit pentru o celulă solară, la diferite iluminări

O_2 . Determinarea puterii generate în funcție de rezistența de sarcină, pentru diferite iluminări

O_3 . Determinarea puterii maxime a celulei, a rezistenței de sarcină corespunzătoare puterii maxime și a factorului de umplere

2. Principiul teoretic:

Celula solară constă dintr-o joncțiune semiconductoare $p-n$ unde energia luminoasă este transformată direct în energie electrică. Celula solară este o fotodiodă cu suprafață mare astfel construită încât lumina să poată străbate stratul semiconductor p sau n de la suprafață și să ajungă la joncțiunea $p-n$, conform Figurii 1.

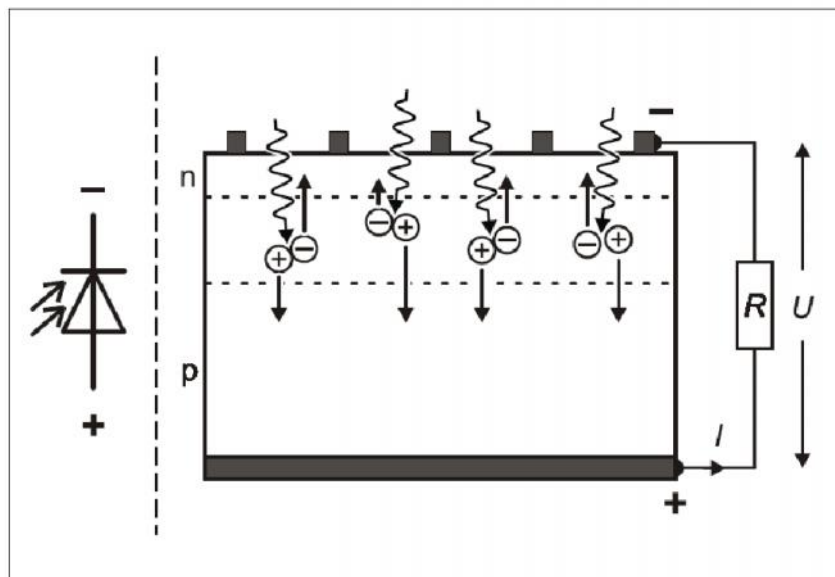


Figura 1. Principiul de funcționare al celulei solare

Fotonii ajunși în joncțiune generează perechi electron-gol. Sub acțiunea câmpului electric de contact, electronii generați migrează spre regiunea n și golurile spre regiunea p , apărând astfel o tensiune U la bornele celulei.

Să analizăm comportarea celulei solare pentru început în două situații extreme (în *scurtcircuit* și în *mers în gol*) și apoi într-o situație intermediară, cu o rezistență de sarcină dată.

Dacă se scurtcircuitează celula solară, apare un curent de scurtcircuit I_S în sens invers polarității diodei, care este proporțional cu numărul de perechi electron-gol generate în unitatea de timp, adică este proporțional cu iluminarea (număr de fotoni în unitatea de timp și pe unitate de suprafață). Dacă circuitul celulei este deschis, la bornele ei apare tensiunea în gol U_0 , ca efect al unui curent de difuzie I_D în joncțiune, în sensul polarizării directe a celulei.

Printr-o rezistență R la bornele celulei se stabilește un curent I care depinde de tensiunea la borne. Curentul I poate fi văzut, simplificat, ca diferența dintre I_S care depinde de iluminarea Φ și curentul I_D care depinde de tensiunea la borne U :

$$I = I_S(\Phi) - I_D(U) \quad (1)$$

Conform acestei relații se poate obține caracteristica curent-tensiune a celulei solare, Figura 2.

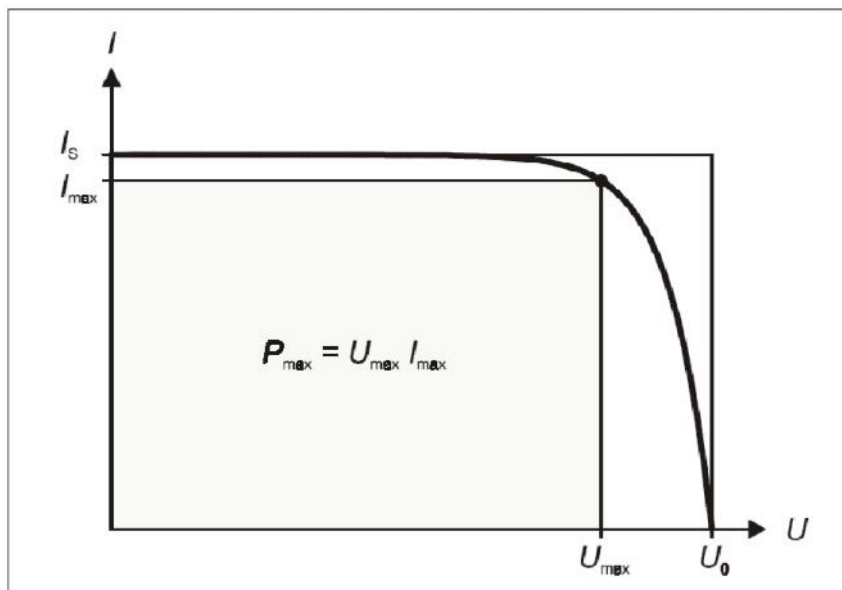


Figura 2. Caracteristica curent-tensiune a celulei solare pentru o iluminare dată (I_{max} și U_{max} sunt coordonatele pentru puterea maximă).

Pentru rezistențe de sarcină mici, celula solară se comportă ca un generator de curent, atâta timp cât I_D se poate neglija. Pentru rezistențe de sarcină mari, celula se

comportă ca un generator de tensiune deoarece I_D crește rapid la o creștere mică a tensiunii.

La o iluminare dată, puterea generată de celulă depinde de rezistența de sarcină. Puterea maximă P_{max} se obține când rezistența de sarcină R_{max} este egală cu rezistența internă a celulei.

$$R_I = \frac{U_0}{I_S} \quad (2)$$

Această putere maximă este mai mică decât produsul $U_0 \cdot I_S$, vezi Figura 2.

Raportul

$$F = \frac{P_{max}}{U_0 I_S} \quad (3)$$

se numește *factor de umplere*.

De cele mai multe ori celulele solare sunt legate între ele formând baterii de celule solare. Legarea lor în serie asigură o tensiune la borne mai mare, în timp ce legarea în paralel asigură o intensitate a curentului generat mai mare. Puterea celulei se calculează conform relației

$$P = UI \quad (4)$$

Rezistența de sarcină se calculează conform relației

$$R = \frac{U}{I} \quad (5)$$

3. Modul de lucru:

Realizează montajul experimental ca în Figura 3, a cărei schemă este dată în Figura 4.

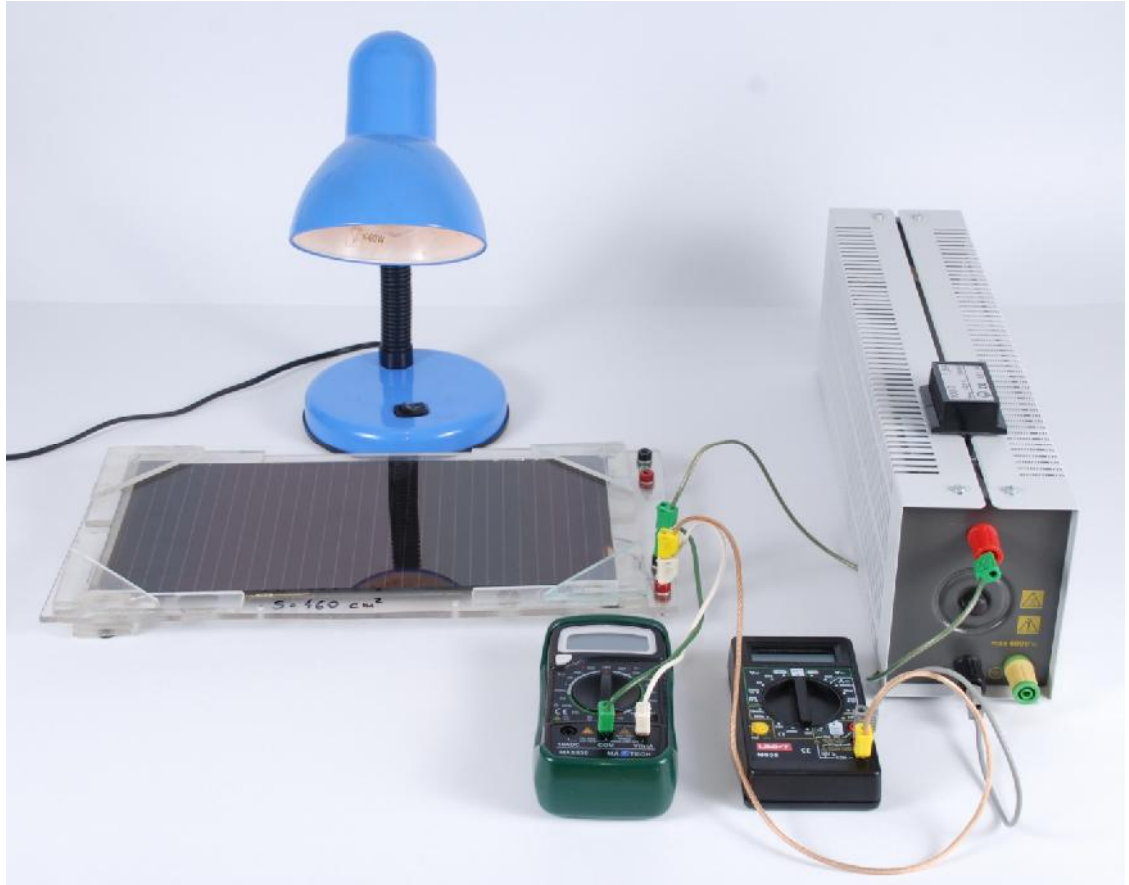


Figura 3. *Montajul experimental*

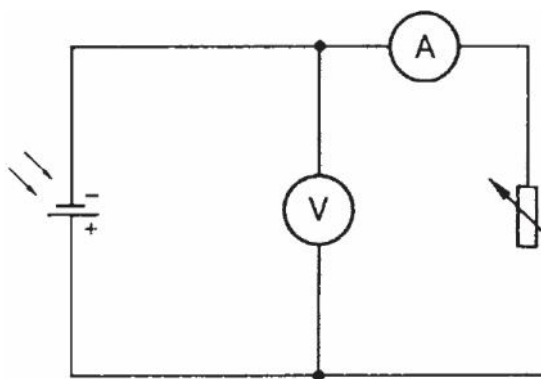


Figura 4. Schema montajului experimental

Iluminează uniform celula solară cu sursa luminoasă.

Închide circuitul electric cu reostatul scurtcircuitat și alege distanța dintre sursa luminoasă și celula solară astfel încât curentul de scurtcircuit să fie de aproximativ 100 mA.

Introdu reostatul în circuit, modifică pas cu pas rezistența sa (rezistența de sarcină) și notează tensiunea la bornele celulei și curentul prin circuit.

Înterupe circuitul exterior al celulei și măsoară tensiunea în gol.

Ajustează curentul de scurtcircuit la aproximativ 75 mA, apoi la 50 mA și 25 mA crescând distanța dintre sursa luminoasă și celula solară și repetă măsurătorile de mai sus. Datele experimentale se introduc în Tabelul 1.

Tabelul 1. Date experimentale

Minimă		Iluminarea				Maximă	
Măsurătoare 1		Măsurătoare 2		Măsurătoare 3		Măsurătoare 4	
U (V)	I (mA)	U (V)	I (mA)	U (V)	I (mA)	U (V)	I (mA)

Tabel 2. Calculul puterii P și a rezistenței de sarcină R cu datele din Tabelul 1

Minimă		Iluminarea				Maximă	
Măsurătoare 1		Măsurătoare 2		Măsurătoare 3		Măsurătoare 4	
R (Ω)	P (mW)	R (Ω)	P (mW)	R (Ω)	P (mW)	R (Ω)	P (mW)

Tabel 3. R_{max} corespunzătoare puterii maxime (din Tabel 2.) și R_i calculată conform relației (2).

	Iluminarea			
	Minimă			Maximă
	Măsurătoare 1	Măsurătoare 2	Măsurătoare 3	Măsurătoare 4
$R_{max}(\Omega)$				
$R_i(\Omega)$				
R_{max}/R_i				

Tabel 4. Puterea maximă P_{max} , produsul $P=U_0 \cdot I_S$ și factorul de umplere F

	Iluminarea			
	Minimă			Maximă
	Măsurătoare 1	Măsurătoare 2	Măsurătoare 3	Măsurătoare 4
P_{max} (mW)				
$U_0 \cdot I_S$ (mW)				
F				

Caracteristica curent-tensiune a celulei solare

Figura 5. reprezintă caracteristica curent-tensiune a celulei solare, obținută cu datele din Tabelul 1. Se observă că pentru rezistențe de sarcină R mici (tensiuni la borne U mici) celula generează un curent constant care este dependent de iluminare.

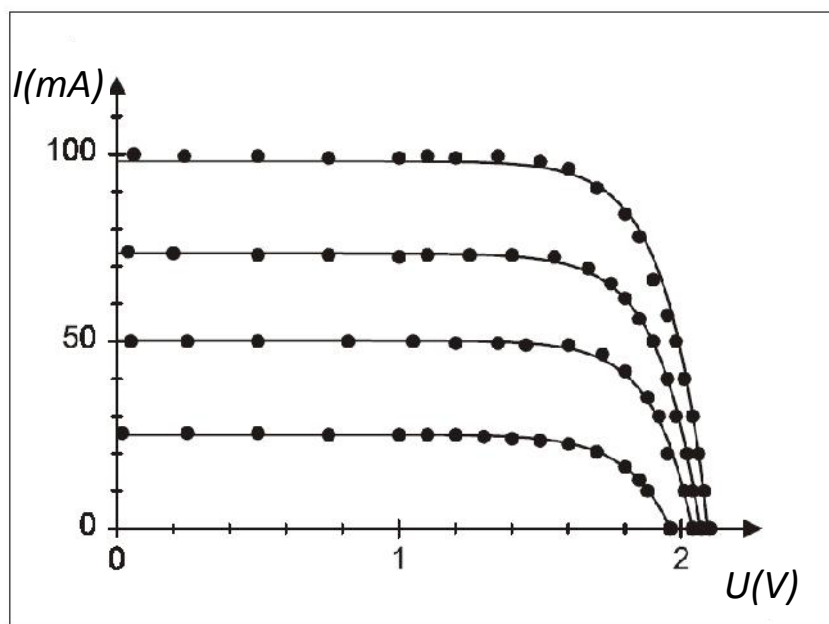


Figura 5. Caracteristica curent-tensiune a celulei solare, la diferite iluminări (exemplu)

Caracteristica putere-rezistență de sarcină a celulei solare

Figura 6. arată dependența puterii generate de celula solară de rezistența de sarcină R , cu datele din Tabelul 2.

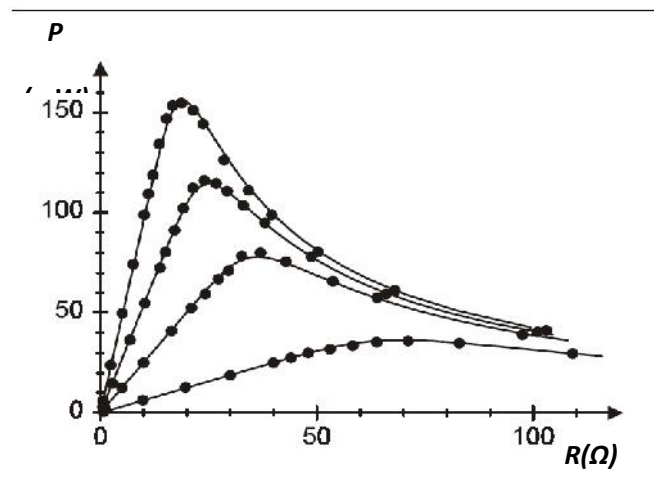


Figura 6. Caracteristica putere-rezistență de sarcină a celulei solare, la diferite iluminări (exemplu)

Pentru rezistențe de sarcină mici, P crește liniar cu R (la o iluminare dată) pentru că celula solară se comportă ca un generator de curent constant ($P = I^2 \cdot R$). Pentru valori

mari ale lui R , P este invers proporțională cu R pentru că în această situație celula solară se comportă ca un generator de tensiune constantă ($P = U^2/R$).

Se observă că R_{max} , la care puterea generată este maximă, scade când iluminarea crește.

Concluzii:

Curentul de scurtcircuit al celulei solare depinde de iluminare.

Pentru rezistențe de sarcină mici, celula se comportă ca un generator de curent, iar pentru rezistențe de sarcină mari, celula se comportă ca un generator de tensiune.

Puterea generată de celula solară, la o rezistență de sarcină dată, depinde de iluminare. Puterea maximă se atinge când rezistența de sarcină devine aproximativ egală cu rezistența internă a celulei, și scade cu creșterea iluminării.

DETERMINAREA VITEZEI SUNETULUI ÎN AER ȘI A LUNGIMII DE UNDĂ CU TUBUL LUI KUNDT

1. Obiective:

- O_1 Vizualizarea nodurilor și ventrelor la o undă sonoră staționară.
- O_2 Compararea modurilor de oscilație la un capăt deschis sau închis al tubului.
- O_3 Determinarea vitezei sunetului în aer și a lungimii de undă a sunetului.

2. Principiul teoretic:

Într-un tub, undele sonore se propagă ca unde plane de-a lungul axei tubului, dacă diametrul său este mai mic decât o jumătate de lungime de undă. Unda sonoră este reflectată de capătul deschis sau închis al tubului. Compunerea undelor incidentă și reflectată formează unde staționare în tub.

Pudra de plută răspândită inițial uniform în tub este împrăștiată mai puternic la ventre și mai puțin la nodurile undei staționare, astfel că se poate “vizualiza” unda. Distanța dintre două noduri sau ventre consecutive corespunde unei jumătăți de lungime de undă, Figura 1.

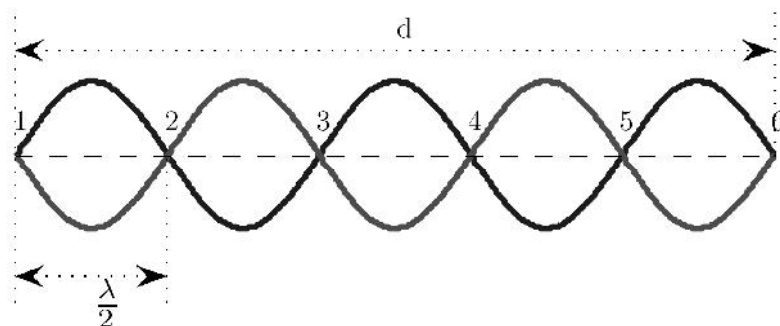


Figura 1. Unde staționare în tubul Kundt.

Măsurând distanța d dintre primul și al n -lea nod, putem scrie $d = (n-1)\frac{\lambda}{2}$, din care rezultă:

$$\lambda = \frac{2d}{n-1} \quad (1)$$

Ca sursă sonoră se folosește un fluier. Tubul are inițial ambele capete deschise. În cazul când se închide un capăt, se folosește un piston mobil, Figura 2.

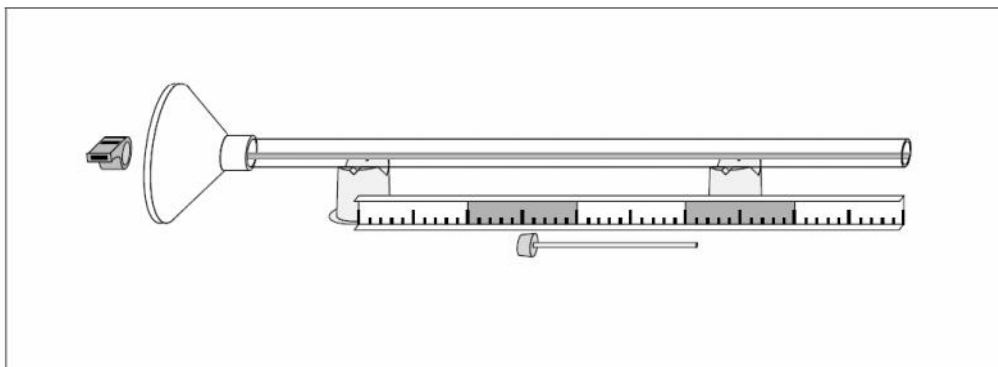


Figura 2. Elemente folosite în experimentul lui Kundt .

3. *Aparatura necesară:*

- Tub Kundt
- Scală
- Fluier
- Pudră de plută

4. *Modul de lucru:*

- În tubul de sticlă, perfect uscat, introdu o cantitate mică (două vârfuri de cuțit) de pudră de plută și răspândește-o uniform pe toată lungimea tubului,
- Atașează pâlnia la un capăt al tubului,
- Rotește ușor tubul astfel ca pudra de plută să adere la pereții tubului,

A. Reflexia undelor sonore la capătul deschis al tubului:

- Ține fluierul perpendicular pe tub și suflă în fața pâlniei,
- Observă cum se aranjează pudra de plută, Figura 3-a,
- La capătul deschis al tubului se formează un ventru.

B. Reflexia undelor sonore la capătul închis al tubului:

- Răspândește uniform pudra de plută și introdu pistonul,
- Ține fluierul perpendicular pe tub și suflă în fața pâlniei,

- Observă cum se aranjează pudra de plută, Figura 3-b,
- La capătul închis al tubului se formează un nod,
- Măsoară distanța dintre primul și al n -lea nod (ultimul nod). Cu relația (1) calculează lungimea de undă a sunetului emis de fluier. Cunoscând viteza sunetului în aer $c = 340 \text{ ms}^{-1}$, determină frecvența sunetului conform relației (2):

$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu} \quad (2)$$

- Cunoscând frecvența sunetului emis de sursa sonoră, cu relația (2) se poate determina viteza sunetului în aer.

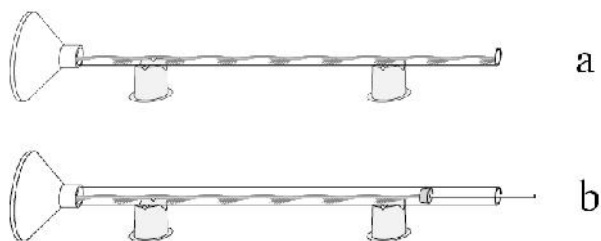


Figura 3. Distribuția pudrei de plută în cazul tubului deschis la un capăt (a) și închis la un capăt (b).

DETERMINAREA INDUCȚIEI CÂMPULUI MAGNETIC TERESTRU



Figura 1. Montajul experimental

1. Obiective:

O_1 Determinarea componentelor orizontală și verticală ale câmpului magnetic terestru

O_2 Determinarea câmpului magnetic terestru

2 Principiul de măsură:

Un câmp magnetic constant cu intensitatea și direcția cunoscute, este suprapus peste câmpul magnetic terestru necunoscut. Câmpul magnetic al Pământului poate fi calculat din intensitatea și direcția câmpului rezultat.

Când nu trece curent prin bobină, acul magnetic al busolei (magnetometrului) se aliniază cu componenta orizontală B_h (direcția nord-sud) a câmpului magnetic terestru. Când un câmp magnetic adițional B_C este suprapus peste acesta, generat fiind de bobinele Helmholtz, acul se va roti cu un unghi α și se va așeza pe direcția rezultantei B_R .

În Figura 2 sunt reprezentate componentele câmpului pentru cazul particular în care axa bobinelor este perpendiculară pe direcția acului busolei (nord-sud).

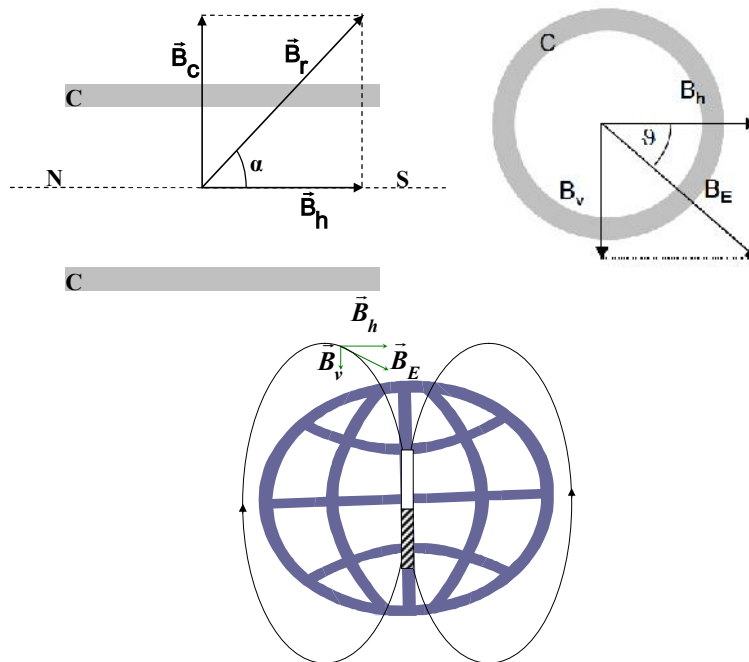


Figura 2. Diagrama vectorială a câmpurilor magnetice în plan orizontal și vertical. Câmpul magnetic terestru descompus în componentele sale

În cazul special când axa bobinelor este perpendiculară pe direcția nord-sud, rezultă:

$$B_C = B_h \tan \alpha \quad (1)$$

Câmpul B_C generat de bobine este proporțional cu curentul prin ele:

$$B_C = KI_C \quad (2)$$

K este factorul de calibrare care trebuie determinat experimental. Acesta se determină din reprezentarea grafică $B_C = f(I_C)$, fiind egal cu panta dreptei.

Panta unei drepte se definește ca tangenta unghiului pe care-l face dreapta cu orizontala.

Cu B_h cunoscut, se determină componenta verticală a câmpului magnetic terestru, conform Figurii 2 (a), cu relația:

$$B_V = B_h \tan \vartheta \quad (3)$$

3. Aparatura necesară:

(vezi Figura 1.)

- O pereche de bobine Helmholtz
- Sursă de curent
- Reostat
- Teslametru digital cu sondă Hall
- Multimetru digital
- Ac de busolă (inclinometru, magnetometru)
-

4. Modul de lucru:

Realizează montajul experimental conform Figurii 3.

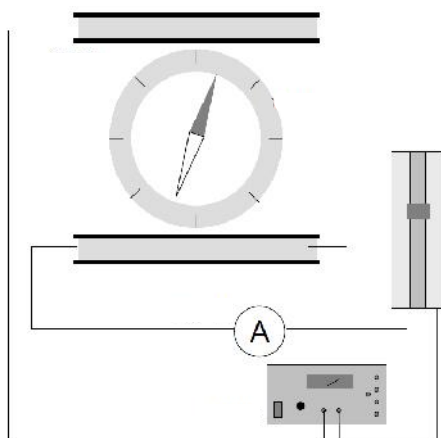


Figura 3. Schema montajului experimental.

Determinarea factorului de calibrare K

- Setează teslametrul pe zero. Pentru a măsura numai câmpul magnetic al bobinelor trebuie să scădem contribuția câmpului magnetic terestru din măsurătorile efectuate. Aceasta se face activând funcția “*Offset*” a teslametrului.

- Măsoară câmpul generat de bobinele Helmholtz cu sonda teslametrului aflată în centrul bobinelor, paralelă cu axa lor, în funcție de curentul prin bobine I_C , Figura 4. .



Figura 4. Măsurarea câmpului magnetic produs de bobine cu teslametrul

Din reprezentarea grafică $B_C = f(I_C)$, Figura 5, se determină factorul de calibrare K . El rezultă din graficul în Excel cu clic dreapta pe un punct al graficului, *Add trendline, Linear, Options, Display Equation on Chart*

Tabel 1. Date experimentale pentru determinarea lui K

I(A)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.55	0.763	0.912	1.141	1.365	1.704	1.997	2.346
B(mT)	0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9	1	1.2	1.5	1.7

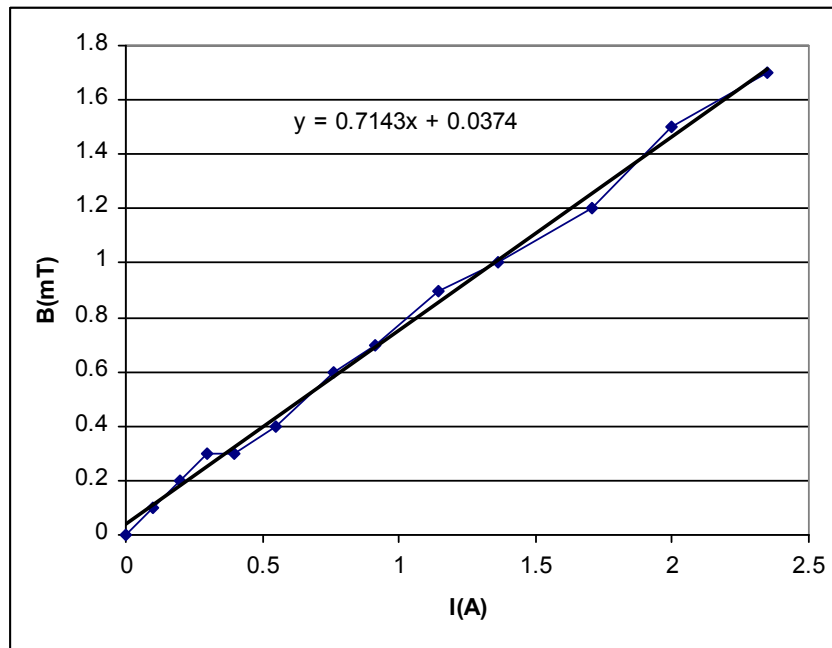


Figura 5. Determinarea factorului de calibrare K

OBS: Panta dreptei din grafic este $K = 0.7143 \text{ mT/A}$

Determinarea componentei orizontale a câmpului magnetic terestru

- Plasează busola în centrul bobinelor Helmholtz. Orientează suportul bobinelor astfel încât axa lor să fie perpendiculară pe direcția acului busolei (nord-sud).

- Măsoară unghiul α pe care-l face acul busolei cu direcția inițială nord-sud, în funcție de curentul prin bobine I_C .

- conform relațiilor (1) și (2), reprezintă grafic $KI_C = f(\tan \alpha)$, Figura 6, iar din panta dreptei determină pe B_h .

Exemplu: Tabel.2. Date experimentale pentru determinarea lui B_h

$I_C(\text{mA})$	1	5	10	20	30	40	50	60	81
$\alpha(\text{grd})$	21	28	36	48	58	64	68	70	74
$\tan \alpha$	0.384	0.531	0.726	1.11	1.6	2.05	2.47	2.74	3.48
$KI_C \cdot 10^{-3}(\text{mT})$	0.714	3.57	7.14	1.43	2.14	2.86	3.57	4.28	5.78

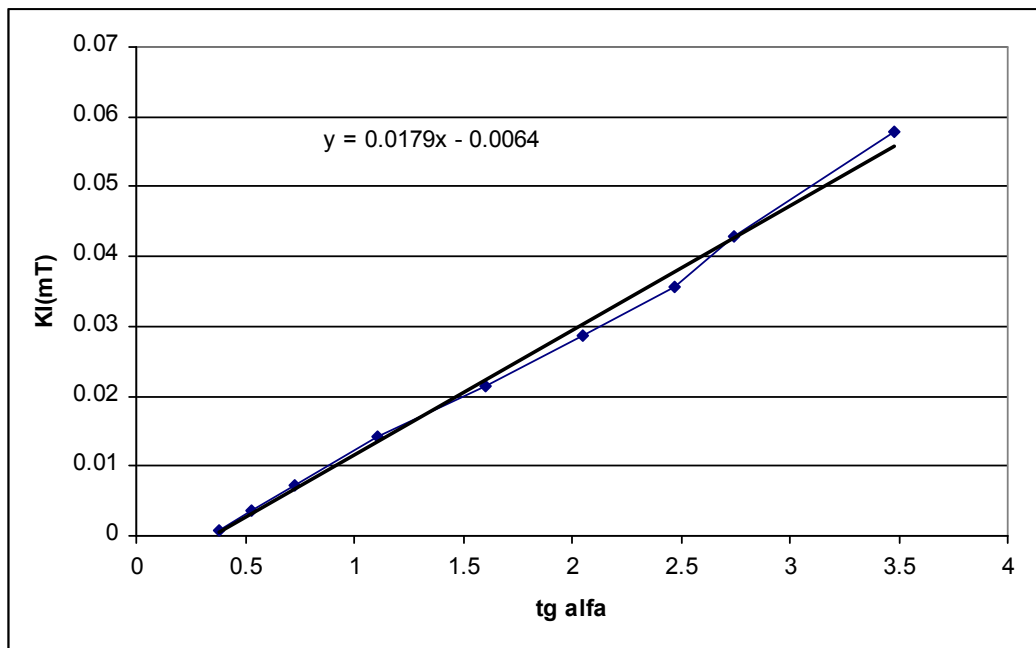


Figura 6. Determinarea B_h

OBS. 1.: $K = 0.7143 \text{ mT/A}$

OBS. 2.: Panta dreptei din grafic este $B_h = 0.0179 \text{ mT} = 17.9 \text{ } \mu\text{T}$

Determinarea componentei verticale a câmpului magnetic terestru

Cu bobinele nealimentate, rotește cadranul magnetometrului cu 90° în plan vertical și măsoară unghiul de înclinație ϑ_1 .

Rotește din poziția anterioară cadranul magnetometrului cu 180° și măsoară unghiul de înclinație ϑ_2 . Unghiul de înclinație mediu este $\vartheta = \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{2}$. B_V se determină

conform ec.(3).

Valoarea câmpului magnetic total se calculează conform relației (4):

$$B_E = \sqrt{B_h^2 + B_V^2} \quad (4)$$

Observație: valoarea câmpului magnetic terestru în România, astăzi, este de câteva zeci de microtesla.

VERIFICAREA LEGILOR REFLEXIEI ȘI REFRACTIEI

1. Obiective:

- O1. Observarea fenomenului de reflexie și refracție a luminii
- O2. Verificarea legilor reflexiei și refracției; Determinarea indicelui de refracție

2. Aspecte teoretice:

Reflexia luminii. Legile reflexiei

Reflexia luminii constă în întoarcerea parțială în mediul din care a venit a razei luminoase atunci când întâlnește suprafața de separare a două medii.

Fenomenul de reflexie poate fi pus în evidență pe o suprafață perfect plană și lucioasă.

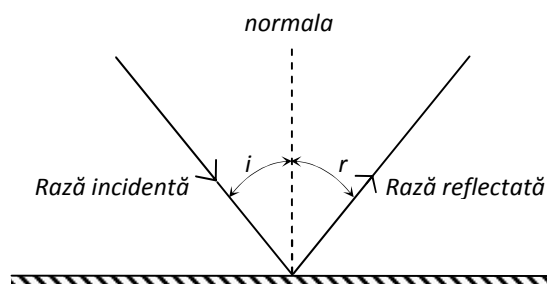


Figura 1. Mersul razelor de lumină la reflexie

Raza incidentă, normala la suprafață în punctul de incidență și raza reflectată se găsesc în același plan.

Unghiul de reflexie “ r ” este numeric egal cu unghiul de incidență “ i ”.

Refracția luminii

O rază luminoasă incidentă pe suprafața de separare a două medii transparente suferă atât fenomenul de reflexie cât și cel de refracție, o parte din lumină trecând în cel de-al doilea mediu schimbându-și direcția de propagare.

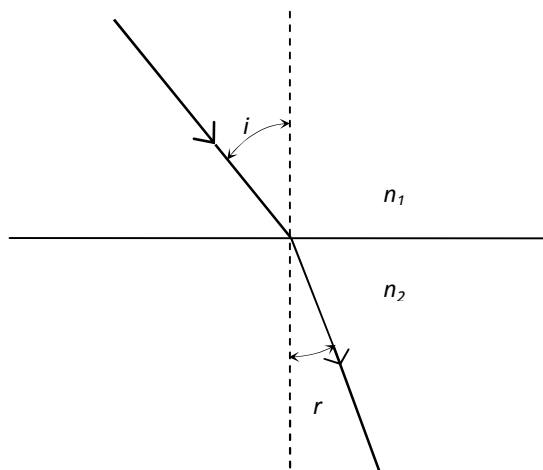


Figura 2. Mersul razei de lumină la refracție.

Raza incidentă, normala la suprafață în punctul de incidență și raza refractată se găsesc în același plan.

Raportul dintre sinusul unghiului de incidență și sinusul celui de refracție este constant și egal cu indicele de refracție relativ al mediului al doilea față de primul.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{21} \quad (1)$$

Mărimea n_{21} se numește indice de refracție relativ al mediului al doilea față de primul. Primul mediu este cel în care se află raza incidentă, iar cel de-al doilea mediu, cel în care se propagă raza refractată.

Indicele de refracție al oricărui mediu față de vid se numește *indice de refracție absolut* al mediului dat (numit simplu *indice de refracție*).

3. Materiale necesare:

- Sursă de lumină –laser
- Trusă optică cu secțiuni de lentile și prisme
- Raportor
- Hârtie, creion

4. Modul de lucru:

4.1. Reflexia luminii

Pentru determinarea unghiului de reflexie, din trusa de piese optice se alege oglinda plană. Trimițând un fascicul incident cu ajutorul unei surse de lumină (laser), se trasează, cu ajutorul riglei, urma fascicului incident, respectiv fascicului reflectat.

Ducând o perpendiculară pe suprafața oglinzii, în punctul de incidență, cu ajutorul raportorului se poate determina valoarea unghiului incident, respectiv reflectat (Figura 2).

Se fac mai multe determinări și rezultatele se trec în Tabelul 1. Se compară valorile obținute pentru unghiul de incidență și cel de reflexie.

Tabelul 1. Valori experimentale pentru i și r

Nr. crt.	i (°)	r (°)
1		
2		
3		
4		
5		

4.2. Determinarea indicelui de refracție relativ al unui mediu transparent

În vederea determinării experimentale a unghiului de refracție, din trusa de piese optice se alege lentila circulară. Trimițând un fascicul de lumină (laser), se poate observa atât raza incidentă cât și cea refractată.

Pe o hârtie se trasează conturul lentilei circulare, respectiv cele două raze (incidentă și refractată) – vezi Figura 3. Se poate proceda asemănător folosind și alte piese din trusa optică, de exemplu prisma optică.

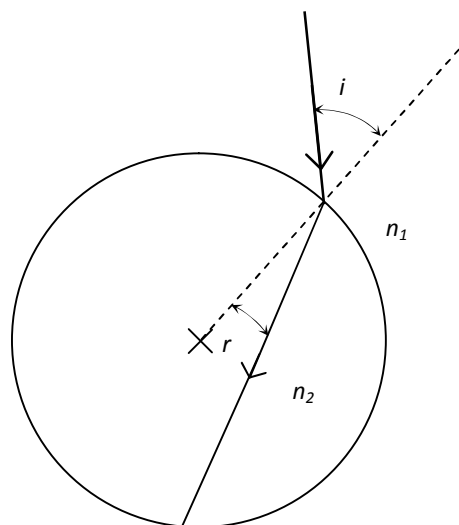


Figura 3. Determinarea indicelui de refracție relativ.

Cu ajutorul unui raportor se determină unghiul de incidență și cel de refracție.

Se fac mai multe determinări și rezultatele se trec în Tabelul 2. Pentru determinarea indicelui de refracție relativ (n_{21}) se folosește relația (1).

Tabelul 2. Date pentru determinarea indicelui de refracție

Nr. crt.	i (°)	r (°)	n_{21}	$\overline{n_{21}}$
1				
2				
3				
4				
5				

5. Surse de erori.

Apreciați 3 surse de erori care afectează rezultatul.

STUDIUL LENTILELOR

1. Obiective:

- O_1 . Observarea formării imaginii în lentila divergentă și convergentă
- O_2 . Determinarea distanței focale a lentilei convergente

2. Aspecte teoretice:

2.1. Definiție

Suprafața care separă două medii transparente cu indici de refracție diferiți se numește dioptru.

Lentila optică este un mediu transparent (de obicei sticlă) separat de mediul exterior (de obicei aer) prin doi dioptri (sferici sau combinații de dioptri sferici și plani).

2.2. Elementele lentilei

În cele ce urmează ne vom ocupa numai de cazul lentilelor subțiri. O lentilă este considerată subțire, atunci când grosimea ei d este mică în comparație cu razele de curbură R_1 și R_2 ale suprafețelor sferice care o delimitează. Prin urmare punctele V_1 (vârful dioptrului 1) și V_2 (vârful dioptrului 2) vor coincide cu punctul O care se numește *centrul optic al lentilei*.

Orice rază care trece prin centrul optic nu suferă nicio abatere din drumul său. Dreapta care trece prin centrele de curbură ale ambelor suprafețe (C_1 și C_2) se numește *ax optic principal*. Orice dreaptă ce trece prin centrul optic al lentilei, exceptând axul optic principal se numește *ax optic secundar* (Figura 1).

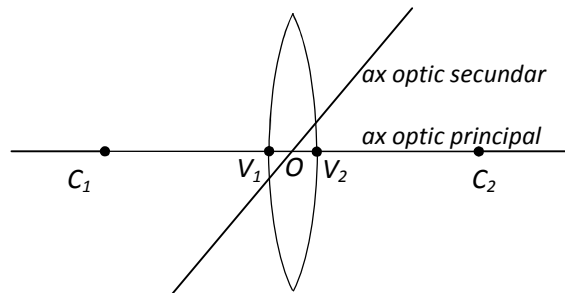


Figura 1. Elementele lentilei.

O lentilă se caracterizează prin două focare principale, *focar obiect* și *focar imagine*. Ele vor reprezenta locul unde este situat un izvor punctiform pentru ca razele emergente să fie paralele cu axul optic principal, respectiv locul unde se întâlnesc razele emergente provenite dintr-un fascicul incident paralel cu axul optic. Planul care trece prin focar și este perpendicular pe axul optic principal al lentilei se numește *plan focal* (Figura 2).

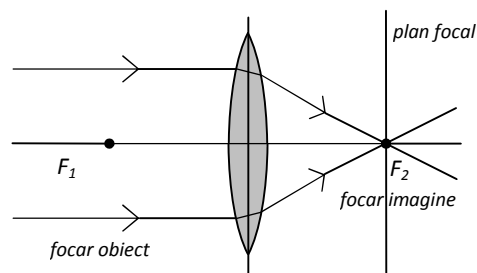


Figura 2. Focarele lentilei convergente

Între poziția obiectului, poziția imaginii și distanța focală a lentilei există relația (1), numită și relația punctelor conjugate: (vezi Figura 4.):

$$\frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

unde:

x_1 – distanța obiect-lentilă

x_2 – distanța lentilă-imagine

f – distanța focală

Exemplu:

$$x_1 = 10 \text{ cm}$$

$$x_2 = 30 \text{ cm}$$

$$f = \frac{x_1 x_2}{x_1 - x_2} = \frac{(-10) * 30}{-10 - 30} = 7.5 \text{ cm}$$

* x_1 are valoarea negativă datorită convenției de semne: toate distanțele luate de-a lungul axei principale vor avea originea în centrul optic al lentilei, considerând pozitive distanțele măsurate de la centru spre dreapta (sensul de deplasare a luminii) și negative pe cele măsurate spre stânga.

2.3. Clasificarea lentilelor

În funcție de tipul focarelor, lentilele se clasifică în *convergente* și *divergente*. Astfel, dacă focarele sunt reale, adică dacă razele paralele se strâng după refracția prin lentilă într-un punct real, lentila se numește *convergentă* sau *pozitivă*. În cazul focarelor virtuale, fasciculele paralele devin, după refracție, divergente, lentila se numește *divergentă* sau *negativă* (Figura 3).

Lentilele convergente sunt mai subțiri la margine și mai groase în centru, iar lentilele divergente sunt mai groase la margine și mai subțiri în centru.

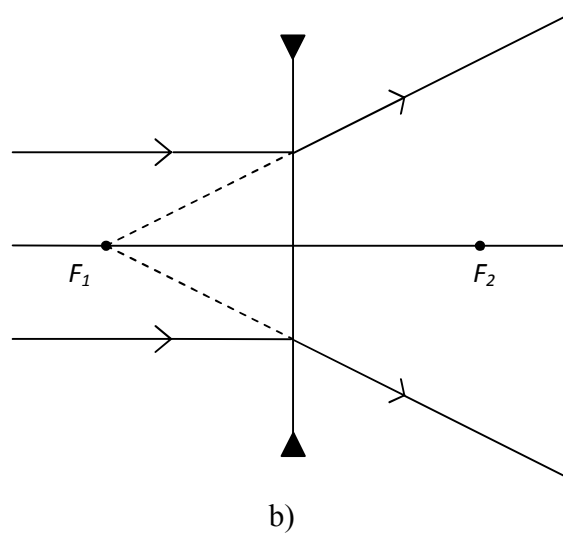
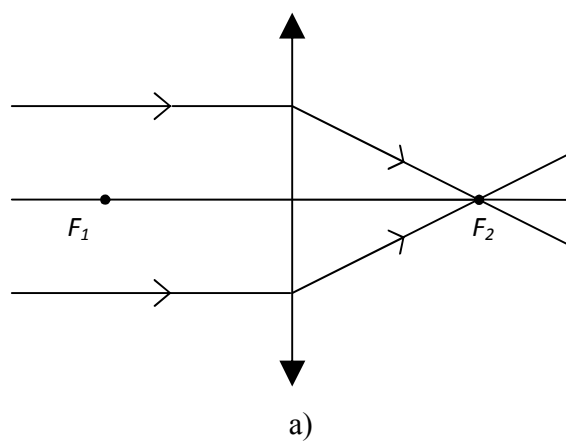


Figura 3. a) Lentila convergentă, b) Lentila divergentă

3. Aparatura necesară:

- Trusă cu piese optice (secțiuni prin lentile)
- Sursă laser
- Hârtie, creion
- Lentilă convergentă $f = 50 \text{ mm}$, $f = 100 \text{ mm}$
- Banc optic
- Ruletă
- Sursă de lumină
- Ecran translucid

4. Modul de lucru:

4.1. Determinarea calitativă a distanței focale a lentilei convergente și divergente

După ce trasezi pe hârtie conturul lentilei și axul optic principal, trimite cu ajutorul laserului un fascicul incident paralel cu axa optică principală, cu raza de lumină în planul hârtiei.

Marchează cu creionul raza incidentă, respectiv pe cea emergentă, și determină, în locul de intersecție al razelor emergente, poziția focarului lentilei (vezi Figura 3a).

4.2. Determinarea cantitativă a distanței focale a lentilei convergente

Putem determina distanța focală a unei lentile folosind o riglă. Pentru realizarea dispozitivului avem nevoie de o lumânare care va reprezenta sursa de lumină, o lentilă convergentă L a cărei distanță focală urmează să o determinăm și un ecran E pe care vom forma imaginea clară a flăcării lumânării.

Măsoară distanțele de la lentilă la obiect (lumânare) x_1 și de la lentilă la imagine (ecran) x_2 și calculează cu ajutorul relației (1) distanța focală (Figura 4.).

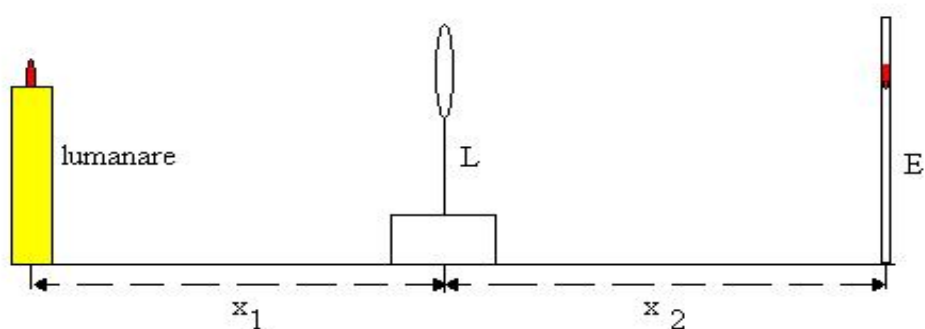


Figura 4. Dispozitiv experimental pentru măsurarea distanței focale.

Se fac mai multe determinări și rezultatele se trec în Tabelul de mai jos.

Tabel Determinarea distanței focale a unei lentile convergente

Nr.crt.	x_1 (cm)	x_2 (cm)	f (cm)	$\overline{f}$ (cm)	Δf (cm)	$\overline{\Delta f}$ (cm)
1						
2						
3						

$$f = \overline{f} \pm \overline{\Delta f}$$

4. Surse de erori:

Apreciază 3 surse de erori care afectează rezultatul.

INSTRUMENTE OPTICE

1. Obiective:

O_I Construirea următoarelor instrumente optice: microscop, lunetă astronomică, lunetă terestră.

2. Aspecte teoretice:

Un instrument optic este un ansamblu de lentile, oglinzi și diafragme cu ajutorul căruia obținem imagini ale diferitelor obiecte. Axele optice ale pieselor ce constituie instrumentul optic trebuie să coincidă cu axa geometrică a instrumentului, adică să avem un sistem centrat.

Instrumentele optice se clasifică după natura imaginii obținute în instrumente care dau imagini reale (aparatură de fotografiat, proiectorul) și instrumente care dau imagini virtuale (lupa, microscopul, luneta).

Caracteristici optice

Un instrument optic se caracterizează prin mărimi care permit să se compare între ele două instrumente de același tip. Aceste mărimi sunt:

1. *Mărirea*: Mărirea β a unui instrument este raportul dintre lungimea imaginii y_2 și lungimea obiectului y_1 .

$$\beta = \frac{y_2}{y_1} \quad (1)$$

Noțiunea de mărire prezintă interes în cazul instrumentelor care dau imagini reale, ale căror dimensiuni pot fi măsurate.

2. *Puterea*: Se numește putere raportul dintre tangenta unghiului sub care se vede imaginea prin instrument și dimensiunea liniară a obiectului pe o direcție perpendiculară pe axa optică.

$$P = \frac{\operatorname{tg} \alpha_2}{y_1} \quad (2)$$

3. *Grosismentul* sau *mărirea unghiulară* este raportul

$$G = \frac{\operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1} \quad (3)$$

unde α_2 este unghiul sub care se vede imaginea dată de instrument, și α_1 unghiul sub care se vede obiectul cu ochiul liber, aflat la distanța optimă de citire.

Lupa

Lupa este un sistem optic simplu, convergent (format din una sau mai multe lentile) cu distanța focală de câțiva centimetri. Obiectul se așează între focar și lentilă, deci imaginea este virtuală, dreaptă și mărită, vezi Figura 1. Puterea lupei este egală cu convergența ei.

$$P \approx \frac{1}{f} = C \quad (4)$$

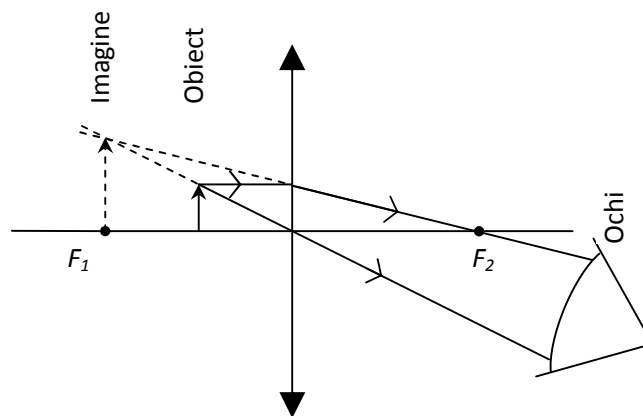


Figura 1. Mersul razelor de lumină prin lupă.

Microscopul optic

Microscopul optic este format din următoarele părți principale: obiectivul, sistemul optic îndreptat spre obiect, care dă o imagine reală, și ocularul, sistemul optic

îndreptat înspre ochi, care dă o imagine virtuală mărită a imaginii reale dată de obiectiv, Figura 2.

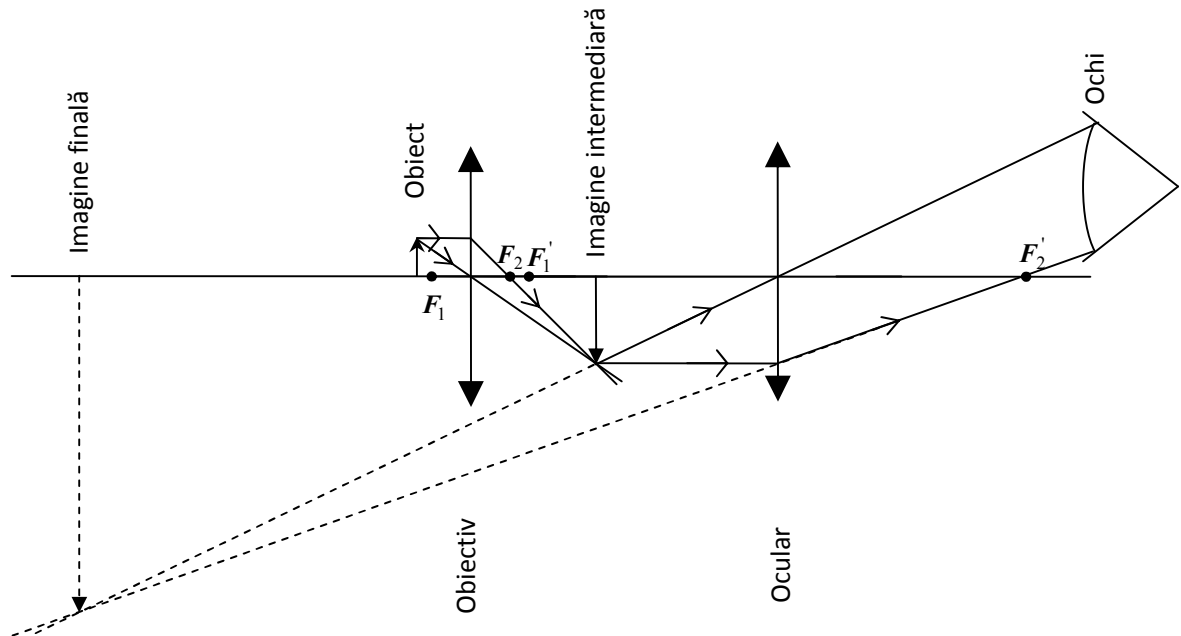


Figura 2. Mersul razelor de lumină prin microscop

Puterea optică a microscopului este

$$P \approx \frac{e}{f_1 f_2} \quad (5)$$

Unde f_1, f_2 sunt distanțele focale ale obiectivului și ocularului, iar e este intervalul optic, conform Figurii 2.

Grosimentul microscopului este

$$G \approx \frac{P}{4} \quad (6)$$

3. Materiale necesare:

- Banc optic
- Sursă de lumină
- Sursă de tensiune de 12 V
- Lentile +20 mm, +50 mm, +100 mm, +200 mm, -50 mm, - 20mm
- Ecran translucid
- Diafragmă iris
- Preparat microscopic
- Două lamele de sticlă port probă
- Ruletă
- Piesă portprobă
- Conectori de legătură

4. Modul de lucru:

1. Construirea unui microscop

Realizează montajul experimental conform Figurilor 5 și 6. Folosește ca obiect un preparat microscopic sau o frunză pusă între două lamele de sticlă. Privind prin ocular, mișcă ușor înainte-înapoi lentilele până obții o imagine clară.

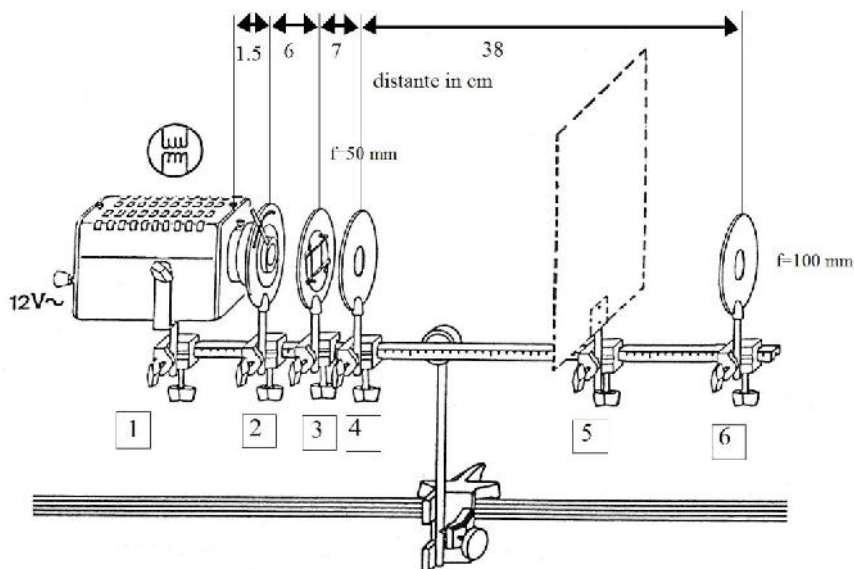


Figura 5. Microscopul- schema montajului experimental.

- 1- sursă de lumină
- 2- diafragmă iris
- 3- port probă
- 4- obiectivul-lentilă convergentă cu $f = 50$ mm
- 5- ecran ajutător translucid pentru a vedea imaginea dată de obiectiv
- 6- ocularul- lentilă convergentă cu $f = 100$ mm



Figura 6. Microscopul-Montajul experimental

REALIZAREA UNUI MONOCROMATOR CU PRISMĂ SAU CU REȚEA DE DIFRACTIE

1. Obiectivele experimentului:

O_1 Demonstrarea separării luminii albe în culorile componente prin trecerea printr-o prismă optică.

O_2 Demonstrarea separării luminii albe în culorile componente prin trecerea printr-o rețea de difracție.

O_3 Obținerea unei singure culori din spectrul luminii albe (realizarea unui monocromator).

2. Principiul teoretic:

Lumina albă care trece printr-o prismă optică suferă fenomenul de difracție și dispersie. *Dispersia* este fenomenul de variație a indicelui de refracție cu frecvența radiației. În general, indicele de refracție crește cu creșterea frecvenței $n = f(\nu)$. Astfel, $n_{\text{roșu}} < n_{\text{violet}}$ și din legea a doua a refracției rezultă $\sin r = \frac{\sin i}{n}$, deci $r_{\text{roșu}} > r_{\text{violet}}$. Are loc astfel descompunerea (despărțirea) culorilor componente ale luminii albe, cu culoarea *roșu* mai puțin deviată și *violet* cea mai deviată de la direcția inițială a fasciculului incident.

Prin trecerea luminii printr-o rețea de difracție apar pe un ecran maxime de difracție a căror poziție este legată de frecvența luminii. Astfel, rețeaua de difracție descompune lumina incidentă în culorile componente, cu culoarea *roșu* cea mai deviată și *violet* cea mai puțin deviată de la direcția fasciculului incident.

3. Aparatura necesară:

- Banc optic
- Sursă de lumină albă (bec cu incandescență)
- Lentile convergente cu distanța focală de 50 și 100 mm
- Fantă dreptunghiulară – 2 bucăți

- Prismă optică
- Rețea de difracție cu 600 linii/mm
- Ecran translucid

4. Modul de lucru:

Realizează montajul ca în Figura 1.

Poziționează filamentul becului vertical.

Poziționează condensorul (lentila cu $f = 50 \text{ mm}$) la aproximativ 2 cm de sursa luminoasă.

Poziționează fanta (cu o deschidere de aproximativ 1.5 mm) la circa 2 cm de condensor.

Poziționează lentila cu $f = 100 \text{ mm}$ astfel ca pe ecranul translucid aflat pe bancul optic să apară imaginea clară a fantei. Apoi mută ecranul la o distanță de aproximativ 30 cm și cam la 60° față de bancul optic.

Montează prisma pe bancul optic la aproximativ 10 cm de lentila de 100 mm .

Realizează întuneric în laborator.

Observă spectrul continuu al luminii albe pe ecran. Dacă este necesar, ajustează poziția lentilei de 100 mm pentru claritate.



Figura 1. Montajul experimental.

Intercalează fanta numărul 2 înaintea ecranului, lipită de ecran. Observă prin spatele ecranului o singură culoare care trece prin fanta 2.

Deplasează fanta 2 stânga-dreapta și obține numai câte o culoare din spectrul luminii albe.

Dispozitivul realizat în ansamblul său se numește *monocromator* și are rolul de a obține o singură culoare din compoziția luminii sursă. Monocromatorul este un subansamblu de bază din alcătuirea unor aparate analitice puternice, cum ar fi spectrofotometrele și spectrometrele de emisie și absorbție atomică.

Înlocuiește prisma cu o rețea de difracție și plasează ecranul pe bancul optic.

Observă spectrul luminii pe ecran, obținut prin difracție (spectrele sunt simetrice, de o parte și de alta a maximului central, de culoare albă).

Intercalează fanta numărul 2 înaintea ecranului, lipită de ecran. Observă prin spatele ecranului o singură culoare care trece prin fanta 2.

Ai realizat astfel un monocromator cu rețea de difracție !

FOTOMETRIE

1. Obiective:

O_1 Verificarea dependenței iluminării unei suprafețe de inversul pătratului distanței de la sursa luminoasă la suprafață

O_2 Verificarea legii lui Lambert-depenența iluminării unei suprafețe de cosinusul unghiului de incidență

2. Aspecte teoretice:

Intensitatea luminoasă I (Candela/cd) a unei surse punctiforme este fluxul luminos Φ (Lumen/lm) emis în unitatea de unghi solid ω :

$$I = \frac{\Delta\Phi}{\Delta\omega} \text{ (cd)} \quad (1)$$

Iluminarea este mărimea fizică ce caracterizează suprafețele iluminate. Iluminarea se notează cu E și se definește ca fluxul luminos ce cade perpendicular pe unitatea de suprafață, Figura 1.

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta A} \cos \alpha \quad (2)$$

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta A} \cos \alpha = \frac{I\Delta\omega}{\Delta A} \cos \alpha = \frac{I}{r^2} \cos \alpha \quad (3)$$

$$\text{Prin definiție } \Delta\omega = \frac{\Delta A}{r^2} \text{ (steradiani)} \quad (4)$$

Unitatea de iluminare se numește *lux* (lx).

3. Aparatura necesară:

- Luxmetru portabil
- Banc optic
- Bec cu incandescență
- Sursă de alimentare pentru bec
- Suport

4. Modul de lucru:

Cu montajul experimental din Figura 2. se măsoară iluminarea sondei luxmetrului în funcție de distanța acesteia față de o sursă de lumină punctiformă. Trebuie ca filamentul becului să fie paralel cu bancul optic și cu sonda luxmetrului și la aceeași înălțime cu sonda. Luxmetrul trebuie calibrat înaintea măsurătorilor. Iluminarea de fond existentă în încăpere, (deci cu becul stins) trebuie determinată și scăzută din măsurătorile cu becul aprins. Se realizează graficul $I = f\left(\frac{1}{r^2}\right)$ care trebuie să fie o dreaptă ce trece prin origine, ca în exemplul din Figura 3.

Pentru verificarea dependenței iluminării de cosinusul unghiului de înclinație a fascicului luminos față de normala la suprafața iluminată (legea lui Lambert - relația (3)), se realizează montajul din Figura 4., cu distanțele orientative date în Figura 5.



Figura 2. Montajul experimental Iluminarea în funcție de distanța.

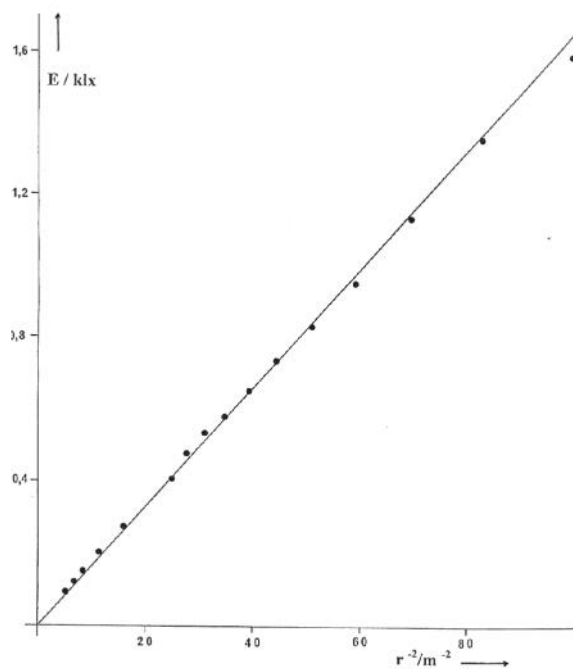


Figura 3. Reprezentarea grafică a iluminării în funcție de inversul pătratului distanței (exemplu).

5. Aparatura necesară:

- Luxmetru portabil
- Banc optic
- Sursă luminoasă cu bec halogen și condensor $f = 60 \text{ mm}$
- Sursă de alimentare pentru bec halogen 0-12 V CC, 6V; 12V CA
- Lentilă convergentă în suport, $f = 200 \text{ mm}$
- Ecran reflectător difuz
- Disc gradat
- Suporturi



Figura 4. Montajul experimental pentru verificarea legii lui Lambert

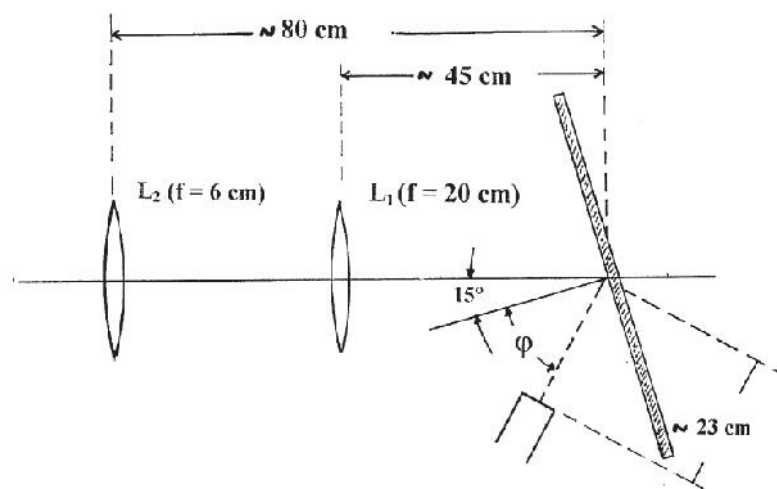


Figura 5. Montajul experimental-distanțe orientative

6. Modul de lucru:

Se realizează iluminarea uniformă a ecranului orientat perpendicular pe axa optică a montajului prin deplasarea sursei luminoase și reglarea condensorului. Apoi se orientează ecranul astfel încât normala la ecran să facă 15° cu axa optică a montajului. Se poziționează sonda luxmetrului perpendicular pe ecran. Luxmetrul trebuie calibrat înaintea măsurătorilor. Se determină iluminarea în pași de 10° , cu ecranul fix și rotind

sonda luxmetrului. Pentru fiecare unghi trebuie să se măsoare și iluminarea reziduală (de fond) cu sursa de lumină stinsă și să se scadă din iluminarea determinată cu sursa de lumină aprinsă. Se reprezintă grafic iluminarea E în funcție de $\cos \varphi$. Liniaritatea graficului este dovada că se verifică legea lui Lambert, Figura 6.

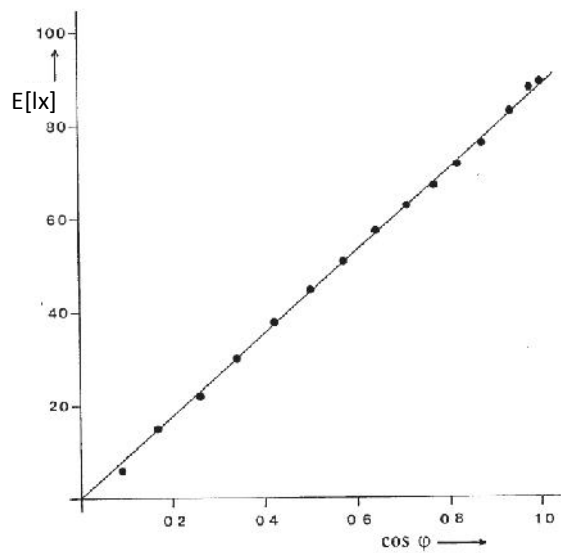


Figura 6. Verificarea legii lui Lambert, exemplu.

DETERMINAREA CONCENTRAȚIEI UNEI SOLUȚII PRIN METODE SPECTROFOTOMETRICE

1. Obiective:

O_1 Trasarea spectrului de absorbție pentru trei substanțe în soluție, colorate diferit și determinarea lungimii de undă corespunzătoare absorbției maxime

O_2 Realizarea curbei de etalonare pentru o soluție de cercetat și determinarea concentrației necunoscute a unei soluții de același fel

2. Principiul teoretic

Spectrofotometria de absorbție moleculară UV-VIS este o metodă optică de analiză chimică. Metodele optice de analiză folosesc interacțiunea radiației electromagnetice cu substanța de analizat. Spectrofotometria de absorbție moleculară UV-VIS se bazează pe absorbția radiațiilor electromagnetice din domeniul lungimilor de undă de 200-800 nm de către speciile absorbante (molecule) aflate de obicei în soluții.

Probabilitatea de absorbție a fotonilor din fasciculul incident de către moleculă este maximă atunci când aceștia au exact energia necesară unei anumite tranziții energetice în moleculă. Deoarece $E = h\nu = hc/\lambda$, deducem că absorbția va fi dependentă de ν , respectiv de λ .

Reprezentarea gradului de absorbție în funcție de λ sau ν constituie *spectrul de absorbție* al substanței respective.

Legea Lambert – Beer

Să considerăm o radiație incidentă monocromatică de intensitate I_0 care cade pe o celulă cu lungimea l conținând o soluție de concentrație C ce absoarbe lumina. Conform Figurii

I_0 , intensitatea fascicului emergent I , este mai mică decât cea inițială, I_0 , în urma absorbției luminii de către soluție.

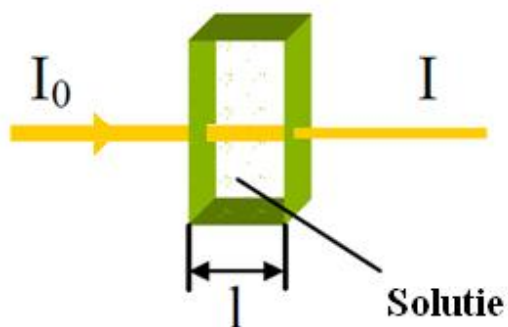


Figura1. Absorbția luminii la trecerea printr-o soluție

Legea Lambert-Beer: *Intensitatea fascicului luminos care străbate un mediu absorbant scade exponențial cu concentrația mediului respectiv precum și cu grosimea stratului străbătut.*

$$I = I_0 e^{-kl} \quad (1)$$

unde k este o constantă.

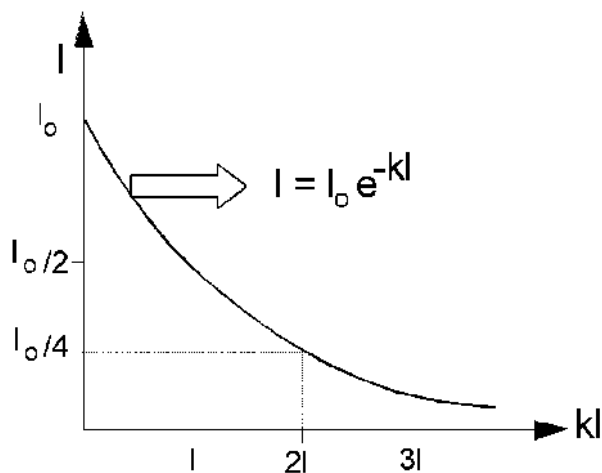


Fig.2. Forma exponențială a legii Lambert-Beer

Prin convenție, se numește *transmitanță* T raportul dintre intensitatea transmisă prin cuva cu soluție I și intensitatea incidentă I_0 :

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (2)$$

Legea Lambert - Beer mai poate fi scrisă și sub forma:

$$\ln \frac{I}{I_0} = -kl \quad (3)$$

sau

$$\ln \frac{I_0}{I} = kl \quad (4)$$

Convenim să numim *absorbanță* A , logaritmul natural, cu semn schimbat al transmitanței:

$$A = -\ln T \quad (5)$$

Introducând absorbanța A , în ecuația precedentă, legea Lambert-Beer mai poate fi scrisă:

$$A = kl \quad (6)$$

Coeficientul de absorbție k s-a găsit că este proporțional cu concentrația substanței care absoarbe lumina, $k = \text{const.} \cdot C$. În funcție de diversele moduri de exprimare ale concentrației, constanta k are valori diferite. În cazul exprimării concentrației în $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, această constantă se numește *absorbtivitate molară* sau *coeficient de extincție molară*, notată ϵ .

În consecință forma cea mai utilizată dar și cea mai simplă a legii Lambert - Beer este:

$$A = \lg \frac{I_0}{I} = -\lg T = \epsilon l C \quad (7)$$

Unde A = absorbanța

I_0 = intensitatea luminii incidente

I = intensitatea luminii transmise

T = transmitanța

l = grosimea stratului absorbant

C = concentrația soluției absorbante [mg/l]

ε = absorbivitatea molară sau coeficientul de extincție molară

Din ecuația precedentă se poate observa că dacă $l = 1\text{ cm}$ și $C = 1\text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$, atunci avem: $\varepsilon = A$. Așadar, coeficientul molar de extincție reprezintă absorbanta unei soluții de concentrație $1\text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ dacă lungimea celulei cu probă este 1 cm .

Transmitanța este o mărime adimensională, cu valori cuprinse între 0 și 100 și se exprimă de obicei în procente T (%).

Absorbanța variază de la 0 la ∞ .

Spectre de absorbție

Spectrele de absorbție reprezintă dependența semnalului de lungimea de undă λ . Există mai multe variante de prezentare dar cea mai utilizată este reprezentarea *absorbanței în funcție de lungimea de undă*: $A = f(\lambda)$. Celelalte variante, mai puțin utilizate - numite toate spectre de absorbție - sunt $T = f(\lambda)$, $\log A = f(\lambda)$, $\varepsilon = f(\lambda)$ sau $\log \varepsilon = f(\lambda)$. Ultimele două servesc în special pentru caracterizarea speciilor moleculare întrucât nu mai depind de condițiile experimentale în care se fac determinările acestor spectre.

Fiecare substanță are un spectru de absorbție caracteristic ca formă generală, ca domeniu spectral, ca număr de maxime de absorbție (denumite picuri-din engleză “peak”) precum și ca raporturi între intensitățile diverselor picuri. Caracteristicile unui pic sunt lățimea la bază și lățimea la jumătate din înălțime, vezi Figura 3. Poziția picului este caracterizată de lungimea de undă. Se numește *maxim de absorbție* atât vârful ca atare cât și lungimea

de undă care corespunde maximului. Pot exista unul sau mai multe maxime de absorbție. Numărul de maxime precum și forma generală a curbei, reprezintă *caracteristica calitativă* după care se pot identifica substanțele. De exemplu, în Figura 4 se află spectrul de absorbție în UV al benzenului aflat în soluție. Maximele acestuia sunt inconfundabile și acesta poate servi, la nevoie, pentru identificarea sau analiza benzenului din soluții.

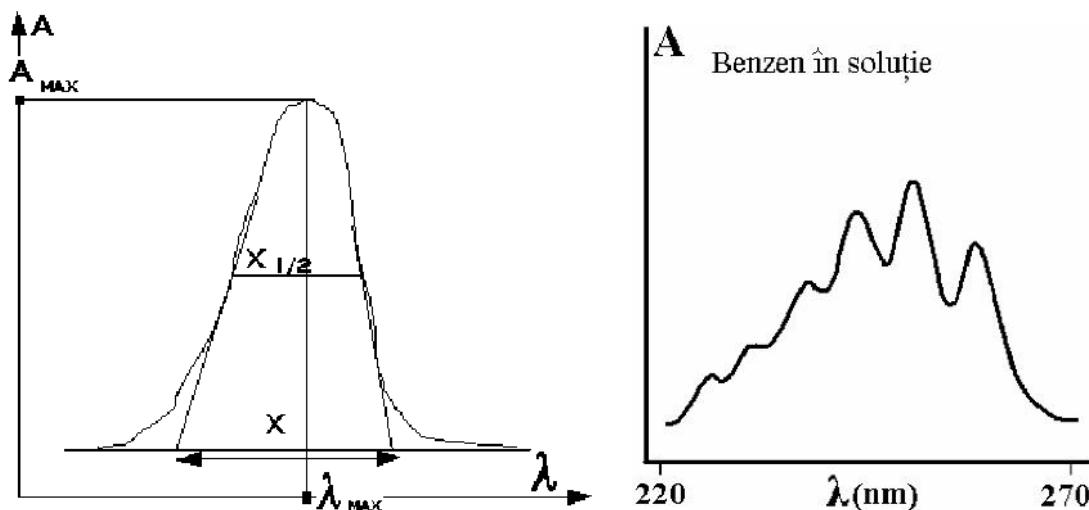


Fig.3. Caracteristicile picului

Fig.4. Spectrul de absorbție al benzenului în soluție

Înălțimea curbei și suprafața încadrată de curbă reprezintă *caracteristici cantitative* care servesc la determinarea concentrației substanțelor din probe.

În Figura 5 sunt reprezentate spectrele de absorbție pentru mai multe concentrații (C_1 , C_2 , ..., C_5) ale aceleiași soluții. Pentru lungimea de undă $\lambda_{max} = 610$ nm, valorile absorbanței s-au notat cu A_1 , A_2 , ..., A_5 . Acestea au fost reprezentate în coordonate A , C , Figura 6 și în conformitate cu legea Lambert-Beer, toate se înscriu pe o dreaptă. Aceasta este *curba de etalonare a spectrofotometrului* și servește la analiza cantitativă. Nu întotdeauna punctele se situează toate, în mod riguros, pe o dreaptă deoarece intervin erori experimentale și din

același motiv, în practică, dreapta nu trece exact prin origine.

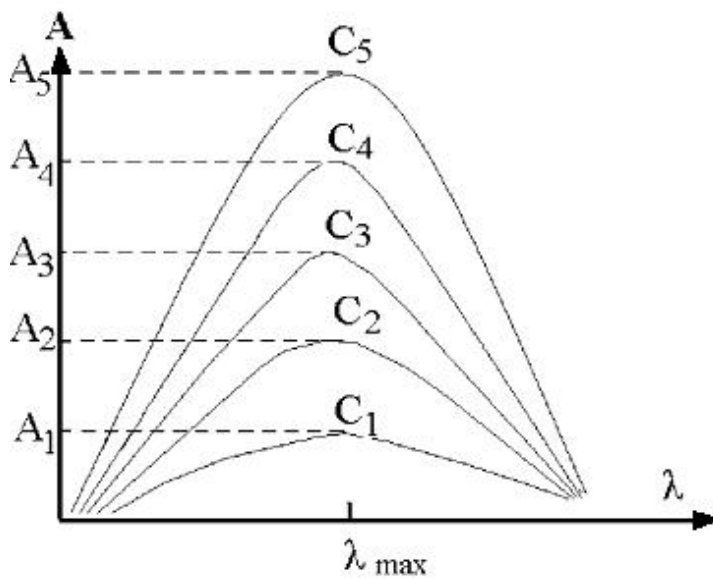


Figura 5. Exemple de curbe de absorbție la diferite concentrații ale soluției apoase de $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ având un maxim de absorbție la $\lambda_{\text{max}} = 610 \text{ nm}$.

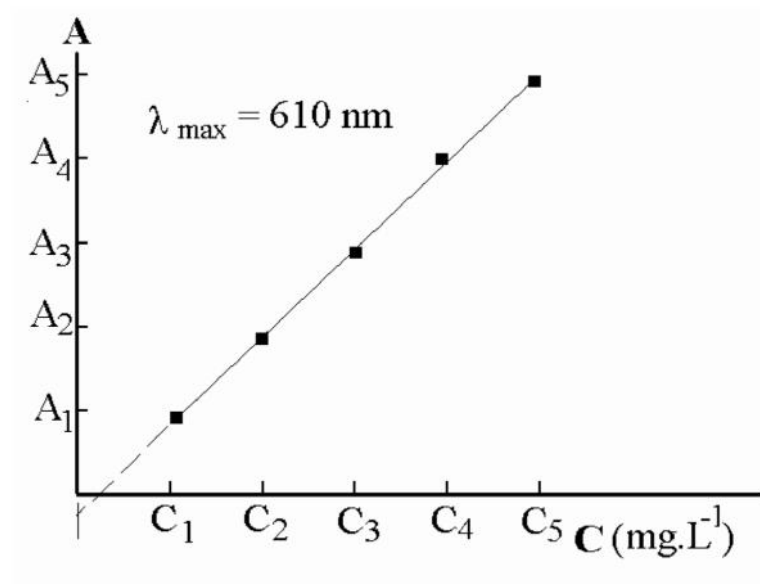


Figura 6. Curba de etalonare.

Schema de principiu a unui spectrofotometru de absorbție este redată în Figura 7:

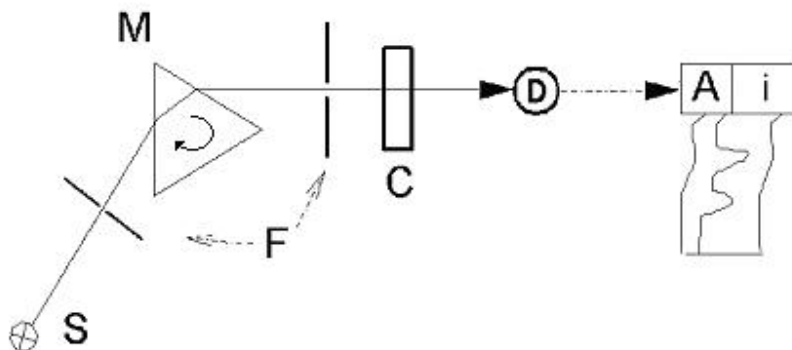


Figura.7. Schema de principiu a spectrofotometrului de absorbție: sursa de radiație (S), monocromatorul (M), cuva cu proba de analizat (C), detectorul (D), afișajul (A)

Radiația incidentă, monocromatică, realizată cu ajutorul *monocromatorului* M, trece prin *cuva cu probă*, C, unde intensitatea scade față de situația în care în locul probei de analizat se pune *proba martor* (sau *proba oarbă*) – o probă de referință de concentrație zero. Apoi fasciculul cade pe *fotodetectorul* D, unde semnalul optic este transformat în semnal electric. Semnalul rezultat, după amplificare, poate fi în final măsurat și afișat.

Modul de lucru

Spectrofotometrul UV-VIS SP-8001 produs de Metertech Inc permite efectuarea măsurărilor în 5 moduri: la lungime de undă fixă, înregistrare de spectru, măsurare în timp la o lungime de undă dată, măsurare cantitativă, cinetică simplă.



Figura 8. Spectrofotometrul UV-VIS SP-8001

- Se prepara trei solutii din subst dif (colorate diferit, in domeniul culorilor galben, verde si albastru si se traseaza spectrul lor-absorbanta in functie de lungimea de unda in domeniul Vis-400-800 nm. Se folosesc coloranti alimentari.
- Se prepară prin diluții succesive, un număr de 5 soluții de concentrații cunoscute (C_i , $i = 1...5$) din substanța.....
- Solventul utilizat: apa distilata + reactivul Saltzman
- Proba (substanța) de analizat: soluția de nitrit NaNO_2 dizolvat în solvent
- Înainte de a începe măsurătorile ne asigurăm că în incinta de lucru nu este nicio cuvă. Se setează valoarea fotometrică la 0 ABS (100% T).

(A) Trasarea spectrului

Spectrofotometrul are un singur drum optic, prin urmare un spectru măsurat se va compune din absorbanțele ansamblului cuvă + solvent + proba necunoscută. Din această cauză, pentru luarea în considerare a valorii de blanc, înainte de măsurarea propriu zisă, vom introduce în suport cuva cu solventul (3 ml apă distilată+ 3ml reactiv Saltzman) și vom apăsa tasta AUTO ZERO.

Se urmărește trasarea spectrului substanței din care sunt preparate soluțiile. Pentru aceasta se pune într-o cuvă solventul folosit (3 ml apă distilată+ 3ml reactiv Saltzman) iar în cealaltă cuvă, rând pe rând, fiecare soluție. Lungimile de undă ale radiației vor varia în intervalul **360/ 400 ÷ 1100nm (domeniul VIS).**

Se va determina lungimea de undă din spectrul de absorbție pentru **absorbția maximă** (vezi Fig.3).

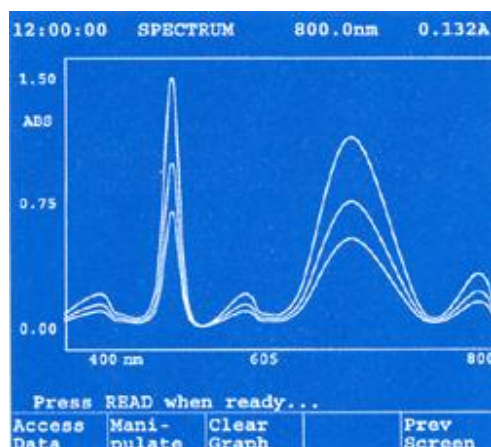


Figura 9. Exemplu de spectru de absorbție înregistrat cu ajutorul spectrofotometrului UV-VIS SP-8001

(B) Determinarea concentrației necunoscute a unei soluții

A doua parte a lucrării constă în determinarea concentrației necunoscute a unei soluții (de același tip cu cea pentru care am trasat spectrul), pe cale grafică.

Se alege lungimea de undă corespunzătoare unui maxim al absorbanței, citit din spectrul substanței, pentru care vom măsura absorbanțele celor 5 soluții .

În cuva pentru soluții se vor introduce pe rând cele 5 soluții de concentrații cunoscute (vezi Tabelul 2), măsurând pe rând absorbanta corespunzătoare.

Trasăm **curba de calibrare (etalonare): $A = f(C)$** , la o lungime de undă *cât mai riguros monocromatică*.

Domeniul pe care curba de etalonare este perfect liniară nu este foarte larg (de cel mult o decadă de concentrații). De aceea metoda nu poate funcționa decât *strict pe domeniul pentru care a fost trasată* și, cel mai corect, pe porțiunea de la mijlocul dreptei. Se fac mai multe citiri. Cu cât eroarea la determinarea absorbantei este mai mică cu atât eroarea de determinare a concentrației va fi mai coborâtă. Panta curbei este decisivă în mărimea erorii. Dacă aceasta este foarte mică, eroarea la determinarea concentrației va crește. De aceea, soluțiile foarte colorate duc la erori, datorită aplatizării curbei la concentrații

ridicate și ca urmare conținuturile nu pot fi determinate exact, recurgându-se la diluări. Dacă diluția este prea mare apare o creștere a erorii tocmai datorită diluării, mai precis datorită limitelor determinărilor exacte ale volumelor, lucru ce trebuie avut în vedere.

În concluzie, *concentrațiile soluțiilor măsurate trebuie să fie relativ joase.*

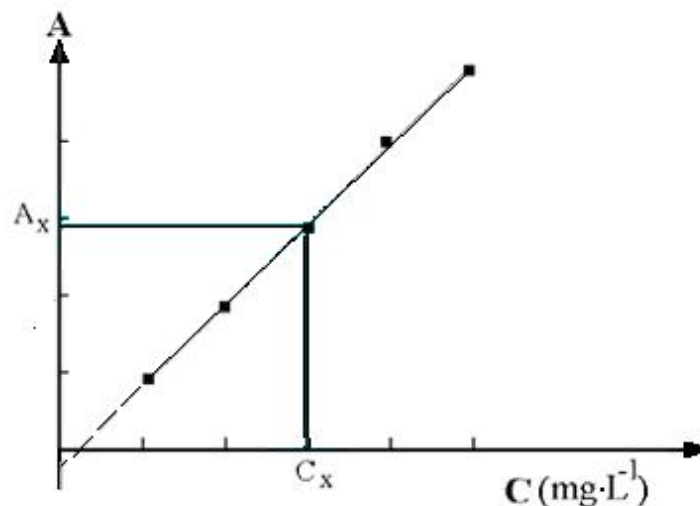


Figura 10. Curba de calibrare: pe baza valorii A_x , măsurate, se calculează valoarea C_x

În afară de condițiile de mai sus mai trebuie ținut cont de următoarele reguli practice, foarte importante pentru respectarea legii lui Lambert-Beer și totodată pentru obținerea de rezultate analitice corecte:

- ÷ *soluțiile trebuie să fie limpezi (fără suspensii) și să nu fie fluorescente;*
- ÷ *în soluțiile supuse măsurărilor nu trebuie să se petreacă transformări fotochimice sau reacții cu oxigenul din aer;*
- ÷ *substanța de analizat nu trebuie să dea asociații, cu compoziții variabile, cu solventul;*
- ÷ *punctele trebuie să se situeze cât mai riguros pe aceeași dreaptă și prelungirea dreptei să treacă cât mai aproape de punctul de coordonate (0,0);*

÷ absorbanta măsurată pentru proba necunoscută, A_x , trebuie, pe cât posibil, să se situeze pe porțiunea din mijloc a domeniului punctelor de etalonare.

Măsurând absorbanta unei soluții (de același tip), de concentrație necunoscută, la aceeași lungime de undă, cu ajutorul acestei curbe se va putea determina concentrația acesteia conform Figurii 9.

Soluția	C [mg·ml ⁻¹]	$\lambda_{\max}$ [nm]	T [%]	A	ϵ
1	0,0005				
2	0.001				
3	0,0015				
4	0,002				
5	0,0025				
?					

Concluzii

- Metodele spectrofotometrice se caracterizează prin sensibilitate, selectivitate și rapiditate și se aplică la dozări de microconcentrații.
- Precizia aparatului este de 0,005% la 1 Abs. Deși scala absorbantei acoperă domeniul de la zero la infinit, cea mai bună precizie se obține în domeniul de absorbantă de la 0,1 la 3,0.
- Condițiile experimentale trebuie să fie ajustate pentru a rezulta absorbante cuprinse în intervalul de mai sus. Dacă soluția are o absorbantă prea mare, trebuie diluată. Dacă absorbanta este prea mică, soluția trebuie concentrată.

VERIFICAREA LEGII LUI STEFAN-BOLTZMANN

1. Obiective:

O_1 Măsurarea rezistenței filamentului unui bec cu incandescență la temperatura camerei și evaluarea rezistenței la 0°C

O_2 Calcularea temperaturii filamentului din determinarea rezistenței sale

O_3 Măsurarea densității de energie radiantă a unui corp negru în intervalul de temperatură de 600-1750 K folosind o termopilă Moll

O_4 Realizarea graficului dependenței densității de energie radiantă a corpului negru de temperatura absolută-verificarea legii Stefan-Boltzmann

2. Principiul teoretic:

Toate corpurile radiază căldură prin radiații electromagnetice din domeniul infraroșu. Densitatea de energie a acestor radiații crește cu temperatura corpului și este dependentă de natura suprafeței corpului.

Un corp care absoarbe complet radiația electromagnetică de toate lungimile de undă se numește “corp negru”.

Legea lui Stefan-Boltzmann spune că *densitatea de energie radiantă L emisă de un corp negru este dependentă de temperatura absolută a corpului la puterea a patra*. Densitatea de energie radiantă L este energia emisă de corpul negru în unitatea de timp și pe unitatea de suprafață-se măsoară în $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.

$$L(T) = \varepsilon \sigma T^4 \quad (1)$$

$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ se numește constanta lui Stefan-Boltzmann,

iar ε este emisivitatea suprafeței.

Pentru verificarea legii lui Stefan-Boltzmann, în acest experiment măsurăm radiația emisă de filamentul incandescent al unui bec, considerat un corp negru, cu o termopila. Termopila este un dispozitiv alcătuit dintr-un număr de termocuple legate în serie. Pentru o distanță dată dintre filament și termopilă, fluxul energetic Φ care ajunge la termopilă este proporțional cu $L(T)$:

$$\Phi \sim L(T)$$

Deoarece tensiunea generată de termopilă U este proporțională cu Φ , rezultă că

$$U \sim \Phi \sim L \sim T^4 \quad (2)$$

Relația (2) este valabilă dacă temperatura termopilei este 0 K. La temperatura camerei T_C termopila radiază energie după legea lui Stefan-Boltzmann, astfel că putem scrie

$$U \sim (T^4 - T_C^4) \quad (3)$$

În condițiile acestui experiment se poate neglija T_C^4 față de T^4 astfel că într-o reprezentare dublu logaritmică a lui $U = f(T)$ vom obține o dreaptă cu panta 4.

Temperatura absolută a filamentului $T = t + 273$ (t = temperatura în grade Celsius) se calculează din determinările rezistenței electrice a filamentului, care depinde de temperatură după relația:

$$R(t) = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2) \quad (4)$$

R_0 = rezistența la 0° C

$$\alpha = 4.82 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$\beta = 6.76 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-2}$$

Din relația (4) scrisă pentru temperatura camerei

$$R(t_C) = R_0(1 + \alpha t_C + \beta t_C^2) \quad (5)$$

se determină R_0 știind $R(t_C)$ și aplicând legea lui Ohm,

$$R(t_C) = \frac{U}{I} \quad (6)$$

adică măsurând tensiunea la bornele filamentului și intensitatea curentului ce trece prin el, vezi Figura 1.

Rezolvând relația (4) cu necunoscuta T , obținem:

$$T = 273 + \frac{1}{2\beta} \left[\sqrt{\alpha^2 + 4\beta \left(\frac{R(t)}{R_0} - 1 \right)} - \alpha \right] \quad (7)$$

Unde $R(t)$ se determină aplicând legea lui Ohm pentru filamentul aflat la temperatura $t(^{\circ}\text{C})$.

3. Aparatura necesară:

- Termopilă de tip Moll ecranată în tub cilindric
- Amplificator universal
- Sursă de tensiune variabilă 15VAC/12VDC/5A

- Bec cu filament 6V/5A cu suport
- Banc optic
- Multimetru digital, 3 bucăți
- Rezistor de $100\ \Omega$
- Fire de legătură
- Termometru de cameră

4. Modul de lucru:

Se realizează circuitul conform Figurii 1 pentru determinarea rezistenței filamentului la temperatura camerei. Rezistorul de $100\ \Omega$ se leagă în serie cu filamentul pentru un reglaj mai fin al curentului. Pentru valori ale curentului prin circuit în domeniul 100-200 mA CC, se măsoară tensiunea la bornele filamentului și se calculează $R(t_C)$ cu relația (6).

Apoi se calculează R_0 cu relația (5).

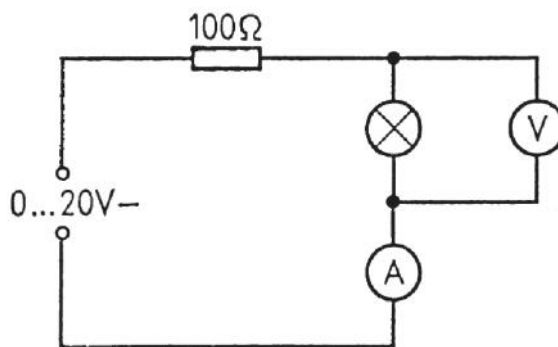


Figura 1. Circuitul pentru măsurarea rezistenței filamentului la temperatura camerei

Se realizează apoi montajul din Figura 2., fără rezistorul de $100\ \Omega$ în circuitul becului.

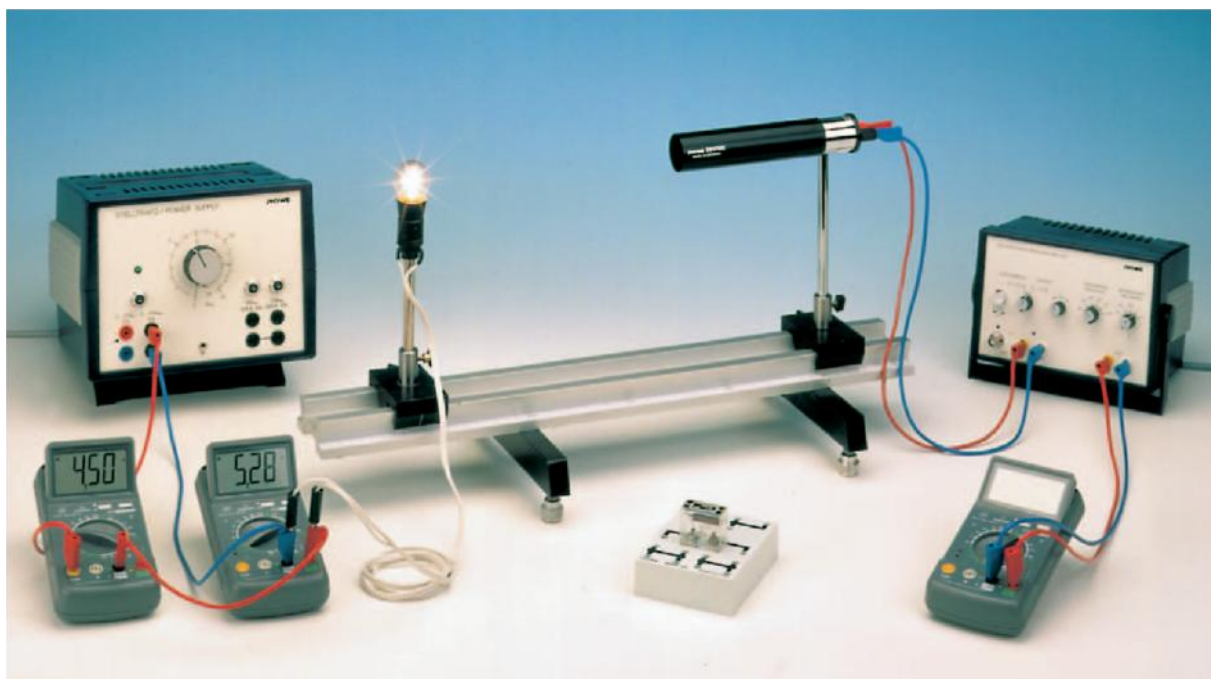


Figura 2. Montajul experimental

Pentru început, se alimentează becul la 1 V și se aliniază termopila cu filamentul becului aflat la 30 cm prin rotirea ei stânga-dreapta, până când se obține maximul tensiunii termopilei. Axa detectorului termopilei trebuie să fie perpendiculară pe direcția bancului optic. Deoarece tensiunea generată de termopilă este de câțiva milivolți, aceasta este amplificată de un amplificator. Factorul de amplificare va fi 10^2 - 10^3 când voltmetrul legat la amplificator măsoară pe scala de 10V. Înaintea efectuării măsurătorilor este necesară setarea zero-ului semnalului termopilei, prin îndepărtarea becului de pe banc și asigurarea că voltmetrul indică zero. La fiecare modificare a temperaturii becului, termopila are nevoie de 1 minut pentru a ajunge în echilibru. Trebuie luate măsuri de precauție ca să nu existe în apropierea becului alte surse de căldură.

Un exemplu de date experimentale este arătat în Tabelul 1.

Datele din Tabelul 1 se reprezintă apoi într-un grafic dublu logaritm în Excel $U_{\text{termopila}} = f(T)$ și se determină panta dreptei. Un exemplu este dat în Figura 3. Se observă că valoarea obținută pentru panta dreptei este 4.19, apropiată de 4. Se verifică astfel legea lui Stefan-Boltzmann.

Tabel 1. Date experimentale (exemplu)

U(V)	I(A)	R(Ω)	U _{termo} pila(mV)	T(K)
1	2.20	0.45	0.15	672
2	2.80	0.71	0.62	983
3	3.45	0.87	1.30	1160
4	4.00	1	2.20	1300
5	4.45	1.12	3.20	1430
6	4.90	1.22	4.45	1540
7	5.30	1.32	5.90	1630
8	5.70	1.40	7.70	1720

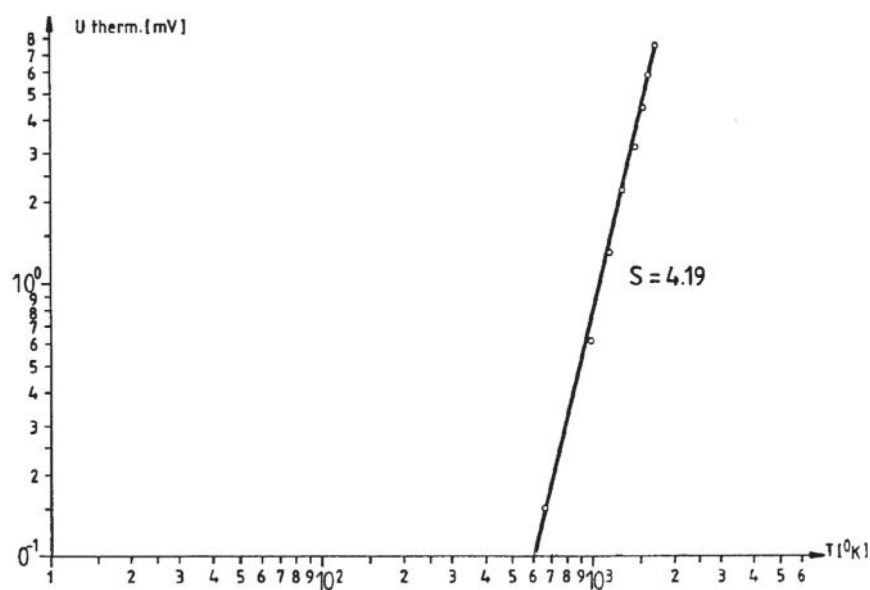


Figura 3. Determinarea pantei dreptei $U_{termopila} = f(T)$

DETERMINAREA EXPONENTULUI ADIABATIC PRIN METODA CLEMENT-DESORMES

Teoria lucrării

Introducere - Transformarea în care gazul nu schimbă căldură cu mediul exterior se numește transformare adiabatică. Legile care descriu procesul sunt:

$$p \cdot V^\gamma = \text{constant} \quad (1)$$

$$T \cdot V^{\gamma-1} = \text{constant} \quad (2)$$

$$T \cdot p^{(1-\gamma)/\gamma} = \text{constant} \quad (3)$$

Exponentul adiabatic este raportul dintre căldura molară la presiune constantă (C_p) și căldura molară la volum constant (C_v).

$$\gamma = C_p / C_v \quad (4)$$

Căldura molară reprezintă cantitatea de căldură necesară unui mol de substanță pentru a-și mări temperatura cu un grad. Exponentul adiabatic are o valoare unică pentru un anumit gaz. Relația lui Robert Mayer face legătura între C_p și C_v :

$$C_p = C_v + R \quad (5)$$

unde R este constanta universală a gazelor egală cu $8314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$.

Pentru gaze perfecte coeficientul de transformare adiabatică poate fi calculat ținând cont de numărul de grade de libertate (i) ale moleculei cu relația:

$$\gamma = \frac{i+2}{i} \quad (6)$$

Se observă că pentru un gaz monoatomic, care are trei grade de libertate:

$$\gamma = \frac{5}{3} \approx 1,67 \quad (7)$$

în timp ce pentru un gaz biatomic, care are cinci grade de libertate:

$$\gamma = \frac{7}{5} = 1,4 \quad (8)$$

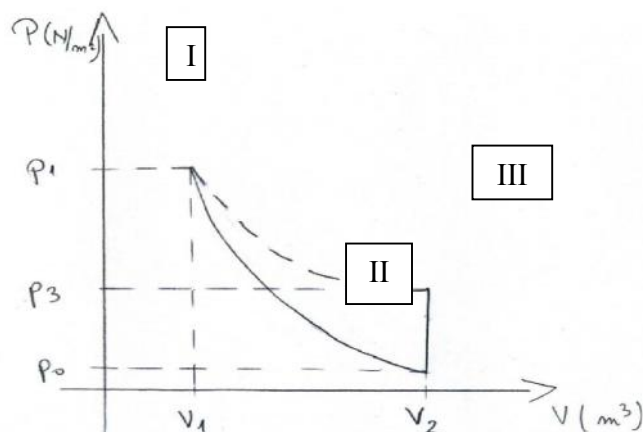
Aerul este un amestec format aproape numai din gaze biatomice, ~78 % (N_2) și ~21 % (O_2), și, în condiții normale se comportă aproape ca un gaz perfect. Ca urmare, valoarea teoretică a coeficientului de transformare adiabatică pentru aer este 1,4, valoare

care corespunde bine cu cea măsurată experimental, de circa 1,403 pentru aer **perfect uscat**.

În practică, o transformare adiabetică ideală nu poate fi realizată însă transformările în care schimbul de căldură a sistemului cu mediu poate fi neglijat pot fi considerate adiabatice iar acestea se realizează fie prin **efectuarea unor transformări rapide** fie în cazul existenței unui înveliș care nu permite schimbul de căldură cu mediu, numit *înveliș adiabetic*.

Principiul de determinare a exponentului adiabetic consta în realizarea unei succesiuni de transformări a unui gaz, stabilindu-se parametrii de stare în diferite stări de echilibru termodinamic.

Considerând un volum de aer (aproximat ca un gaz ideal), într-un recipient cu robinet, cu presiunea inițială p_0 și temperatura egală cu temperatura camerei T_0 , dacă se pompează rapid aer în recipient acesta se încălzește. Dacă se așteaptă să se ajungă la echilibru termic, adică temperatura T_1 să devină T_0 , temperatura mediului, ne aflăm în stare I din figura de mai jos, caracterizată de presiunea p_1 și volumul V_1 .



Dacă se deschide rapid recipientul, gazul suferă o destindere adiabetică (I-II) și ajunge în starea II, caracterizată prin presiunea p_2 și volumul V_2 . Dacă destinderea se face până la presiunea atmosferică, $p_2=p_0$. În acest proces gazul se răcește, temperatura sa

fiind mai mică ca temperatura mediului ambiant. Dacă închidem recipientul și lăsăm din nou gazul să intre în echilibru termic cu mediul, are loc o transformare izocoră (II-III). Având în vedere că stările I și III sunt caracterizate prin aceeași temperatură, ele se află pe aceeași izotermă și putem observa că avem un ciclu termodinamic și putem scrie următoarele ecuații între transformări:

$$p_1 V_1^\gamma = p_0 V_2^\gamma \text{ --pentru adiabată} \quad (9)$$

$$p_1 V_1 = p_3 V_2 \text{ --pentru izotermă} \quad (10)$$

Dacă presiunea din recipient poate fi măsurată cu un manometru, ea poate fi exprimată ca suma dintre presiunea atmosferică și diferența de înălțime, h , ce poate fi citită ca diferența de nivel a lichidului. Dacă presiunile sunt exprimate în cm coloana de lichid, putem scrie:

$$(p_0 + h_1) V_1^\gamma = p_0 V_2^\gamma \quad (11)$$

$$(p_0 + h_1) V_1 = (p_0 + h_2) V_2 \quad (12)$$

Ridicând relația (12) la puterea γ și împărțind-o la relația (11) obținem.

$$\left(1 + \frac{h_1}{p_0}\right)^{\gamma-1} = \left(1 + \frac{h_2}{p_0}\right)^\gamma \quad (13)$$

Intrucât h_1/p_0 și h_2/p_0 sunt mult mai mici ca zero, având în vedere aproximația $(1+x)^a = 1 + a \cdot x$, putem scrie:

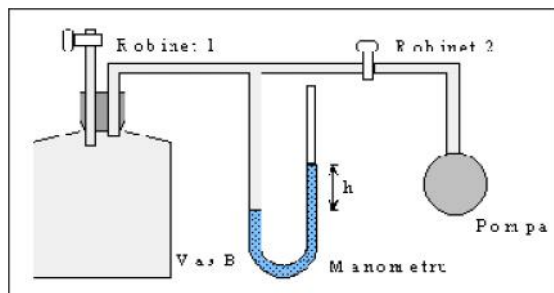
$$1 + \left\{ \right.$$

De unde rezultă relația de calcul a exponentului adiabatic:

$$(14)$$

Metoda experimentală

Montajul experimental este prezentat în figura de mai jos:



Se pompează rapid gaz în balon, observându-se creșterea presiunii prin apariția unei diferențe de nivel între cele două ramuri ale manometrului. Temperatura gazului și a mediului nu sunt identice și se observă răcirea gazului prin scăderea diferenței de nivel. În momentul în care gazul intră în echilibru termic cu mediul (nivelul din ramura dreaptă nu mai scade), ne aflăm în **starea I** din figura de mai sus și **se citește h_1** .

Se deschide robinetul, evacuând gaz din balon, pana cand presiunea ajunge la presiunea atmosferică, p_0 . Transformarea fiind rapidă, o putem considera o transformare adiabată. În momentul în care presiunea ajunge egală cu presiunea atmosferică (diferența de nivel dintre cele două ramuri este nulă) se închide rapid robinetul de evacuare. În acest moment ne aflăm în starea II. După închiderea robinetului se observă o creștere a nivelului lichidului în ramura dreaptă, ceea ce indică faptul ca se restabilește echilibrul termic cu mediul. Această transformare este o transformare izocoră (II-III). Pentru starea III, în care echilibrul termic a fost atins, **se citește h_2** .

Coeficientul adiabetic se determină pe baza relației (14).

Se efectuează minim 8 măsurători, iar datele experimentale se introduc în următorul tabel:

Tabel date experimentale

Nr. crt	h_1 (cm)	h_2 (cm)	γ	γ mediu	$\Delta \gamma$	Deviația Standard	Deviația Standard Relativă	Eroarea Standard a Mediei	Eroarea Relativă a Mediei
1.									
2.									
3.									

4.									
5.									
6.									
7.									
8.									
9.									
10.									

!! Se indică cel puțin trei surse de erori și se recomandă modalități în care acestea pot fi reduse.

DETERMINAREA CONSTANTEI LUI PLANCK

Scopul lucrării

Determinarea constantei lui Planck.

Introducere

Efectul fotoelectric extern este emiterea de electroni din materie în urma absorbției de radiație electromagnetică, de exemplu radiație ultravioletă sau raze X.

Importanța acestui fenomen în dezvoltarea domeniului fizicii constă în a sprijini dualitatea undă-corpusul a radiației electromagnetice. Explicația matematică a fenomenului a fost dată de Albert Einstein, pe baza unor ipoteze cuantice formulate de Max Planck. Efectul fotoelectric extern poate fi explicat simplu dacă se acceptă ipoteza că radiația electromagnetică este formată din particule (pe care le numim fotoni). Fiecare foton poartă o cantitate de energie proporțională cu frecvența de oscilație a câmpului electromagnetic. La incidența fotonului pe suprafața unui metal este posibil ca această energie să fie transferată unui electron din rețeaua cristalină a metalului. Dacă energia transferată este suficientă pentru ca electronul să depășească bariera de potențial pusă de interfața dintre metal și vid, atunci electronul poate părăsi cristalul și deveni liber. Fiecare metal, prin proprietățile sale cristaline, prezintă valori diferite ale pragului de energie impus electronilor la părăsirea suprafeței, ceea ce explică faptul că metale diferite încep să emită fotoelectroni de la frecvențe diferite. Dintre metale, cele alcaline au pragul de energie cel mai coborât, motiv pentru care se utilizează, adesea în amestec, în fotomultiplicatoare și alte aplicații unde este necesară o sensibilitate spectrală extinsă până în infraroșu.

Energia unui foton poate fi transferată unui singur electron. Astfel, dacă energia fotonului este sub pragul de extragere a electronului din cristal, mărirea numărului de fotoni (intensificarea fluxului de lumină) nu poate ajuta la declanșarea efectului fotoelectric.

Legile efectului fotoelectric extern

- Intensitatea curentului fotoelectric de saturație depinde direct proporțional de fluxul radiației electromagnetice de incidență când frecvența este constantă.
- Energia cinetică maximă a fotoelectronilor emiși este direct proporțională cu frecvența radiației electromagnetice incidente și nu depinde de flux.
- Efectul fotoelectric se produce dacă și numai dacă frecvența radiației electromagnetice incidente este mai mare sau egală decât o constantă de material numită "frecvența de prag" .
- Efectul fotoelectric extern este practic instantaneu.

Cantitativ, efectul fotoelectric se poate descrie folosind formula:

$$h \cdot \nu = h \cdot \nu_0 + (1/2) m \cdot v^2$$

unde

- h este constanta lui Planck, egală cu $6.62606957 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg} / \text{s}$
- ν este frecvența fotonului incident;
- ν_0 este frecvența minimă la care are loc efectul fotoelectric;
- m și v sunt masa, respectiv viteza electronului după ieșirea din cristal;

În lucrarea de față vom folosi un proces invers și anume emisia de fotoni a unei diode LED (light emitting diode) pentru determinare constantei lui Planck.

Fenomenul de emisie de lumină în urma excitării electrice a fost observat în 1907 de către H. J. Round, folosind SiC. O. V. Lossev a investigat acest fenomen în detaliu în perioada 1927-1942, emițând ipoteza care s-a dovedit corectă că acest fenomen este inversul efectului fotoelectric.

Diodele emițătoare de lumină (LED) constă dintr-o joncțiune p-n. Dacă nu se aplică o diferență de potențial, un potențial de difuzie V_D este generat la joncțiune în startul dintre zonele p și n. Această diferență de potențial împiedică recombinarea electron-gol din cele două regiuni. În momentul în care o tensiune (V) este aplicată asupra joncțiunii, bariera de potențial este redusă la $(V_D - V)$. Când $V \approx V_D$ bariera de potențial este aproape nulă și poate exista transport de electroni din zona n în zona p. În acest proces o parte din electroni se vor recombine radiativ cu goluri din regiunea p, iar pentru fotonii emiși se poate scrie:

$$h\nu \approx E_g$$

(1)

Unde E_g este lărgimea energetică a benzii interzise.

De asemenea, se poate scrie în acest caz că

$$eV_D \approx E_g$$

(2)

De unde rezultă că

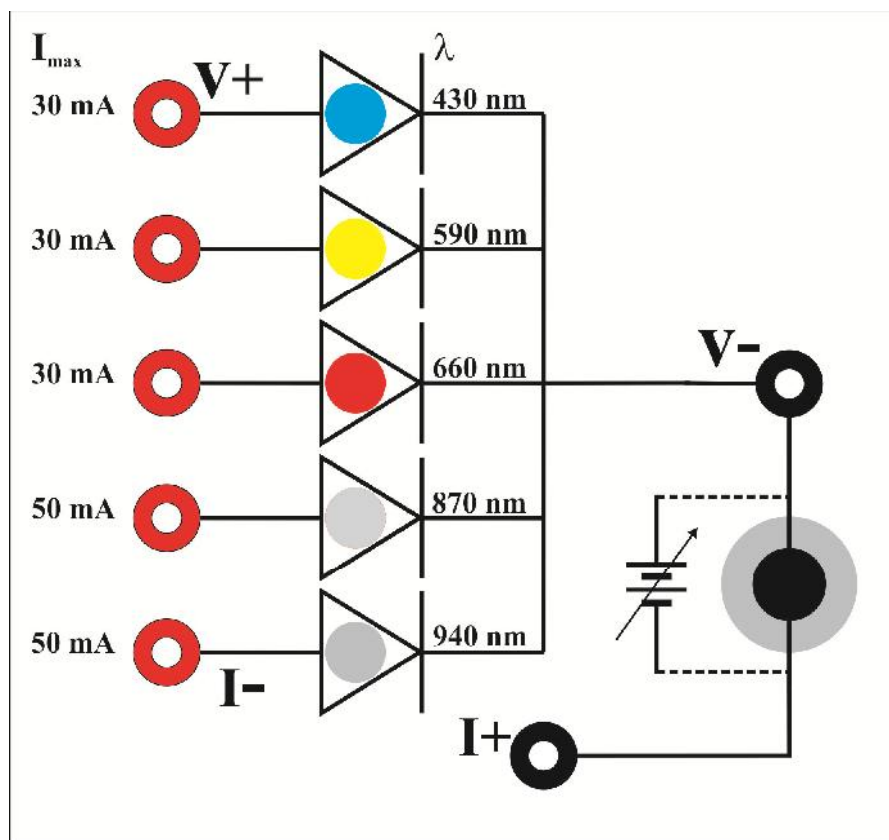
$$h\nu \approx eV_D \quad (3)$$

Din această ecuație se observă că se poate estima constanta lui Planck dacă se cunoaște V_D , sarcina electronului și frecvența radiației emise. Având în vedere relația dintre frecvență și lungime de undă putem scrie:

$$V_D = \left(\frac{hc}{e} \right) \frac{1}{\lambda} \quad (4)$$

Procedura experimentală

Din relația (4) se observă că pentru a determina constanta lui Planck, având în vedere că viteza luminii și sarcina electronului sunt constante, este necesară determinarea tensiunii la care practic diodele încep să emită lumină. Pentru a determina experimental această valoare a tensiunii se folosește circuitul reprezentat în figura de mai jos.



Schema circuitului folosit pentru determinarea V_D

Pentru fiecare diodă se va construi dependența intensității curentului electric în funcție de tensiune.

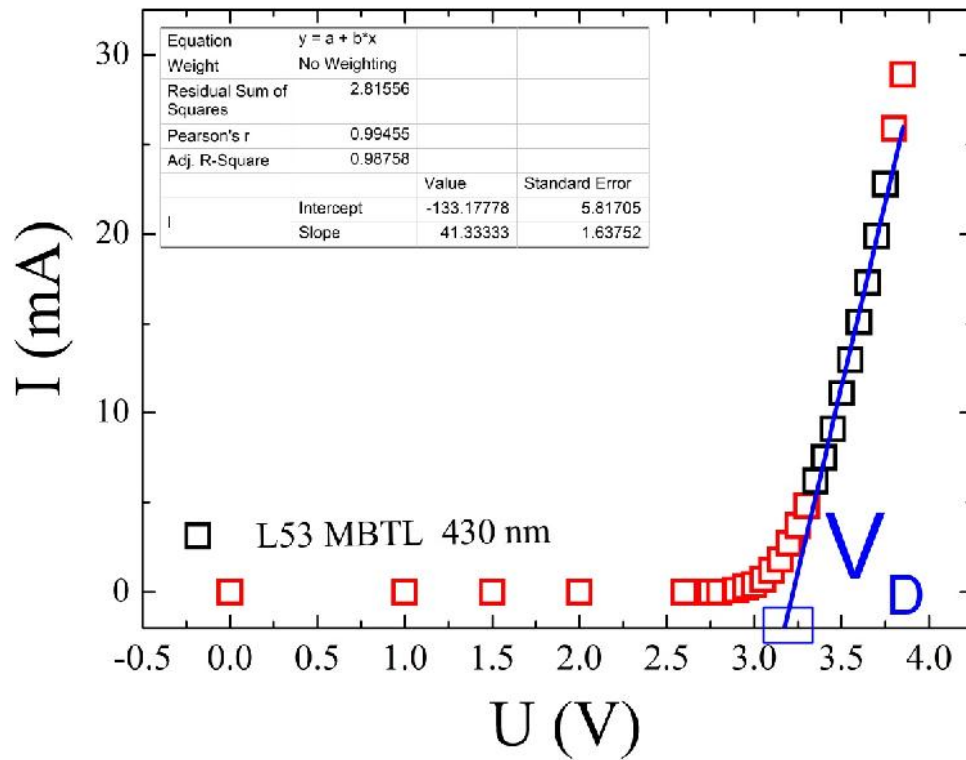
!! Ampermetrul se leagă în serie.

!! Voltmetrul se leagă în paralel, conform schemei.

!!Tensiunea se reglează cu ajutorul potențiometrului. A nu se depăși intensitatea curentului electric indicată pe diagramă (30 mA, respectiv 50 mA).

Pentru fiecare dependență intensitate în funcție de tensiune V_D poate fi determinat ca punctul de intersecție a dependenței liniare cu axa x, pe care este reprezentată tensiunea. A se vedea exemplul de mai jos. Eroarea cu care V_D poate fi estimat poate fi obținută

luând în considerare regulile de propagare a erorilor și erorile individuale obținute pentru „slope”, respectiv „intercept”.



Exemplu a dependenței intensității de tensiune pentru LED-ul albastru. V_D se determină prin intersecția dreptei ce interpolează regiunea liniară cu axa x.

Pentru determinarea constantei lui Planck se vor reprezenta grafic valorile obținute pentru V_D în cazul celor 5 diode investigate în funcție de $(1/\lambda)$. Valorile pentru lungimile de undă care vor fi folosite sunt date în tabelul de mai jos.

LED 1	LED 2	LED 3	LED 4	LED 5
940± 20 nm	870± 20 nm	660± 20 nm	590 ± 20 nm	430 ± 20 nm

În urma reprezentării grafice se observă că panta dreptei ce interpolează datele este

$\left(\frac{hc}{e}\right)$. Cunoscând $\left(\frac{hc}{e}\right)$, unde e este sarcina electronului, iar c este viteza luminii

se poate determina constanta lui Planck.

$$e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$

SPECTRUL ATOMIC AL HIDROGENULUI



Figura 1- Montajul experimental

1. Obiective

- O_1 Determinarea lungimilor de undă corespunzătoare liniilor spectrale din seria Balmer
- O_2 Determinarea energiilor fotonilor corespunzători tranzițiilor observate
- O_3 Determinarea constantei lui Rydberg

2. Principiul teoretic:

Liniile spectrale ale H pot fi observate cu ajutorul rețelei de difracție. Lungimile de undă corespunzătoare liniilor pot fi determinate din aranjarea geometrică și din

constanta rețelei de difracție. Se determină lungimile de undă și energiile fotonilor emiși în tranzițiile din seria Balmer a hidrogenului.

Dacă lumina cu lungimea de undă λ cade pe o rețea de difracție de constantă k , atunci ea se difractă. Intensitatea maximă apare atunci când unghiul de difracție satisface condiția:

$$n\lambda = k \sin \alpha ; \quad n = 0, 1, 2 \dots$$

$$\text{Din Figura 2 avem: } \sin \alpha = \frac{l}{\sqrt{d^2 + l^2}}$$

Iar lungimea de undă

$$\lambda = \frac{kl}{\sqrt{d^2 + l^2}} \quad (1)$$

Datorită descărcării electrice din tub, hidrogenul molecular se transformă în hidrogen atomic. Electronii atomilor de H sunt excitați, sărind de pe nivelul fundamental pe nivele energetice superioare. Când aceștia se reîntorc pe nivelul fundamental (fenomen numit dezexcitare), atomii emit fotoni cu energia dată de rel. (2), conform postulatelor lui Bohr:

$$\varepsilon = \Delta E_{mn} = E_m - E_n = h \nu_{mn} = \frac{hc}{\lambda} \quad (2)$$

unde

ε - energia fotonilor emiși

$\Delta E = E_m - E_n$ - diferența dintre energia electronului la tranziția de pe nivelul m pe nivelul n

h - constanta lui Planck

ν_{mn} - frecvența asociată fotonului la tranziția $m-n$

$$h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$1 \text{ eV} = 1.19 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Știind că energia electronului pe nivelul n este

$$E_n = -\frac{1}{8} \frac{e^4 m_e}{\varepsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

Atunci frecvența fotonului emis la tranziția $m-n$ este, conform relațiilor (2) și (3),

$$\nu_{mn} = \frac{1}{8} \frac{e^4 m_e}{\varepsilon_0^2 h^3} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (4)$$

Ținând cont de relația $\nu = \frac{c}{\lambda}$, relația (4) se mai poate scrie sub forma:

$$N = \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (5)$$

Unde N se numește numărul de undă (arată de câte ori se cuprinde lungimea de undă într-un centimetru).

$$R = \frac{1}{8} \frac{e^4 m_e}{\varepsilon_0^2 h^3 c} \text{ se numește constanta lui Rydberg} \quad (6)$$

$$R = 1.097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$$

Figura 2 arată nivelele de energie în atomul de hidrogen și seriile spectrale ale hidrogenului. O serie spectrală reprezintă grupul de tranziții electronice de pe diferite nivele energetice m , pe același nivel n . Astfel, avem pentru

$n = 1$ - seria Lyman, în domeniul UV

$n = 2$ - seria Balmer, în domeniul VIS

$n = 3$ - seria Paschen, în domeniul IR

$n = 4$ - seria Brackett, în domeniul IR

$n = 5$ - seria Pfund, în domeniul IR

Pentru un n dat, limita seriei se află pentru $m = \infty$.

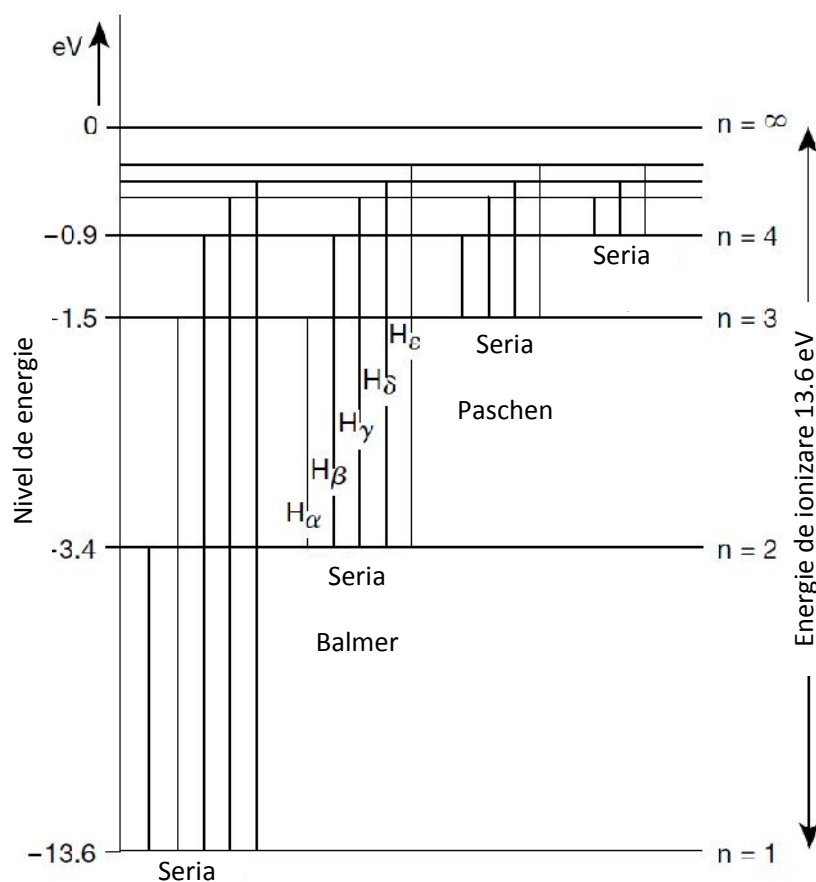


Figura 2. Nivele energetice și tranziții în atomul de hidrogen.

3. Materiale necesare:

- Lampă spectrală cu H
- Rețea de difracție (600 linii/mm)
- Sursă de alimentare de înaltă tensiune (0-10 kV)
- Scala gradată (cm)

4. Mod de lucru:

Aparatura se montează precum în Figura 1.

Tubul de H conectat la sursa de alimentare este folosit ca sursă de radiație. Sursa de alimentare este reglată la aproximativ 5 kV.

Scala gradată este atașată exact în spatele tubului, pentru a reduce eroarea de paralaxă. Rețeaua de difracție trebuie așezată la aprox. 50 cm de tub și la aceeași înălțime

cu el. Deasemenea, scala trebuie să fie paralelă cu rețeaua. Tubul care emite lumină trebuie privit prin rețeaua de difracție, Figura 3.

Camera trebuie să fie întunecată până la punctul la care se mai poate citi scala.

Distanța $2l$ dintre liniile spectrale ale aceleiași culori (l_{stanga} și l_{dreapta}) trebuie citită fără a mișca poziția capului. Măsurăm distanța d , dintre scală și rețeaua de difracție.

Liniile individuale ale tubului care emite lumină (citite în ordine) se pot observa privind prin rețea, iar distanța $2l$ dintre liniile de aceeași culoare sunt determinate cu ajutorul scalei gradate.

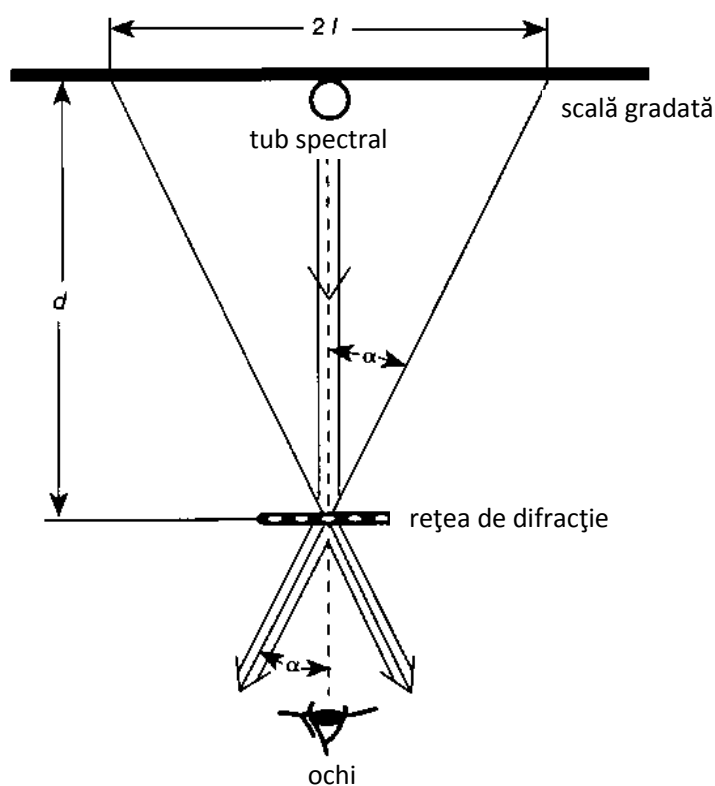


Figura 3-Determinarea lungimii de undă cu ajutorul rețelei de difracție

Conform Figurii 3, determină $l_{\text{stânga}}$ și l_{dreapta} , și apoi completează Tabelul de mai jos. λ se determină cu relația (1), ϵ cu relația (2), R cu relația (5).

Tabel cu date experimentale

Linia	l_{dr} (cm)	l_{st} (cm)	$l = (l_{dr} - l_{st})/2$ (cm)	λ (nm)	ϵ (eV)	R (m^{-1})
H α						
H β						
H γ						
H δ						

SPECTRUL ATOMIC AL SISTEMELOR CU DOI ELECTRONI: He și Hg



Figura 1-Montajul experimental

1. Obiective:

O_1 Determinarea lungimilor de undă a liniilor spectrale ale He

O_2 Determinarea lungimilor de undă a liniilor spectrale ale Hg

O_3 Calculul energiilor fotonilor emiși

2. Principiul teoretic:

Liniile spectrale ale Hg și He pot fi observate cu ajutorul rețelei de difracție. Lungimile de undă ale liniilor pot fi determinate din aranjarea geometrică și din constanta rețelei de difracție.

Dacă lumina cu lungimea de undă λ cade pe o rețea de difracție de constantă k , atunci ea se difractează. Intensitatea maximă apare atunci când unghiul de difracție satisface condiția:

$$n\lambda = k \sin \alpha ; \quad n = 0, 1, 2 \dots$$

Din Figura 2. avem: $\sin \alpha = \frac{l}{\sqrt{d^2 + l^2}}$

Iar lungimea de undă:

$$\lambda = \frac{kl}{\sqrt{d^2 + l^2}} \quad (1)$$

Energia fotonilor corespunzători liniilor spectrale se determină cu relația lui Einstein:

$$\varepsilon = h\nu = hc/\lambda \quad (2)$$

Se cunoaște:

$$h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$1 \text{ eV} = 1.19 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Observație: constanta rețelei de difracție k este egală cu numărul de linii pe mm,

astfel că în cazul nostru $k = \frac{10^{-3}}{600}$.

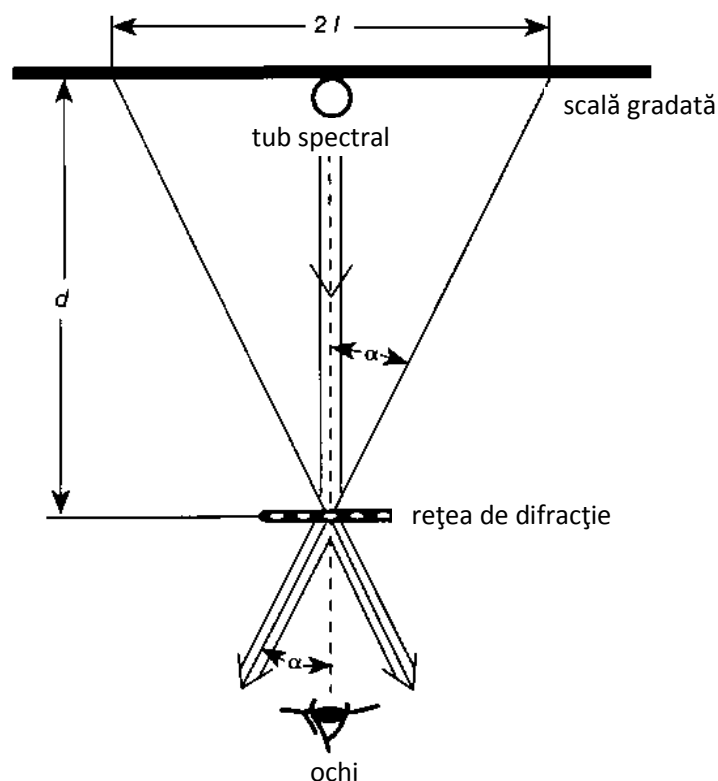


Figura 2-Determinarea lungimii de undă cu ajutorul rețelei de difracție

3. *Aparatura necesară:*

- Lampă spectrală de He și Hg
- Rețea de difracție (600 linii/mm)
- Sursă de alimentare de înaltă tensiune (0-10 kV)
- Scală gradată (cm)

4. *Modul de lucru:*

Aparatura se montează ca în Figura 1. Tubul de He/Hg care este conectat la sursa de alimentare este folosit ca sursă de radiație. Sursa de alimentare este reglată la aproximativ 5 kV. Scala gradată este atașată exact în spatele tubului, pentru a reduce eroarea de paralaxă.

Rețeaua de difracție trebuie așezată la aprox. 50 cm de tub și la aceeași înălțime cu el. Deasemenea, scala trebuie să fie paralelă cu rețeaua. Tubul care emite lumină

trebuie privit prin rețeaua de difracție. Camera trebuie să fie întunecată până la punctul la care se mai poate citi scala.

Distanța $2l$ dintre liniile spectrale ale aceleiași culori (l_{stanga} și $l_{dreapta}$) trebuie citită fără a mișca poziția capului. Măsoară distanța d , dintre scală și rețeaua de difracție. Observă liniile individuale ale tubului care emite lumina privind prin rețea și determină l_{stanga} și $l_{dreapta}$ pentru liniile de aceeași culoare cu ajutorul scalei gradate. Notează datele obținute în Tabelele următoare.

Tabel cu date experimentale-Tubul de He

	Nr.	l_{dr} (cm)	l_{st} (cm)	$l = (l_{dr} - l_{st})/2$ (cm)	λ_i (nm)	$\bar{\lambda}$ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	$\overline{\Delta\lambda}$ (nm)	ε (eV)
Violet	1								
	2								
	3								
Verde	1								
	2								
	3								
Oranj	1								
	2								
	3								

Rezultat: $\lambda_{violet} = \overline{\lambda_{violet}} \pm \overline{\Delta\lambda_{violet}}$

$$\lambda_{verde} = \overline{\lambda_{verde}} \pm \overline{\Delta\lambda_{verde}}$$

$$\lambda_{oranj} = \overline{\lambda_{oranj}} \pm \overline{\Delta\lambda_{oranj}}$$

Tabel cu date experimentale-Tubul de Hg

	Nr.	l_{dr} (cm)	l_{st} (cm)	$l = (l_{dr} - l_{st})/2$ (cm)	λ_i (nm)	$\bar{\lambda}$ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	$\overline{\Delta\lambda}$ (nm)	ε (eV)
Violet	1								

	2								
	3								
Verde	1								
	2								
	3								
Galben	1								
	2								
	3								

Reultat: $\lambda_{violet} = \overline{\lambda_{violet}} \pm \overline{\Delta\lambda_{violet}}$

$\lambda_{verde} = \overline{\lambda_{verde}} \pm \overline{\Delta\lambda_{verde}}$

$\lambda_{galben} = \overline{\lambda_{galben}} \pm \overline{\Delta\lambda_{galben}}$

MICROUNDE STAȚIONARE

1. Obiectivele experimentului:

O_1 Obținerea de unde staționare

O_2 Măsurarea distribuției câmpului la unde staționare

O_3 Determinarea lungimii de undă măsurând distanța dintre noduri

O_4 Determinarea indicelui de refracție al unui material dielectric

2. Principii teoretice:

Unda incidentă și unda reflectată de un panou metalic perpendicular pe direcția de propagare a unei incidente interferează, obținându-se unde staționare [7]. Unda incidentă (câmpul electric) are ecuația unei plane

$$E_1(x, t) = E_0 \cos 2\pi \left(\nu t - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (1)$$

Undele staționare formate au ecuația

$$E(x, t) = 2E_0 \sin \left(2\pi \frac{x}{\lambda} \right) \sin (2\pi \nu t) \quad (2)$$

Amplitudinea undelor staționare este

$$E_A(x) = 2E_0 \left| \sin \left(2\pi \frac{x}{\lambda} \right) \right| \quad (3)$$

Din relația (3) și din Figura 1. se observă că pentru anumite valori ale lui x amplitudinea undelor staționare este maximă (ventre) și pentru anumite valori ale lui x amplitudinea este minimă (noduri).

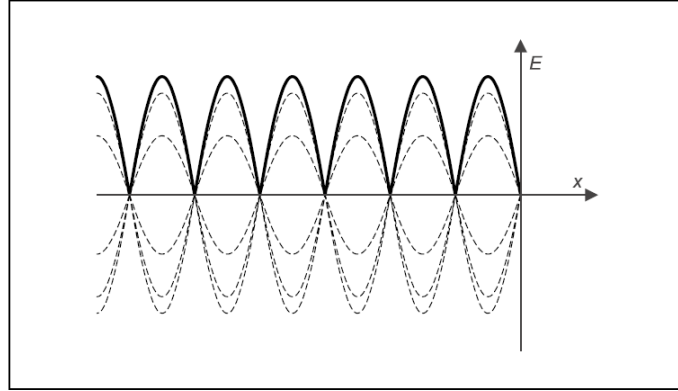


Figura 1. Amplitudinea undelor staționare [9].

Distanța dintre două noduri consecutive este egală cu $\lambda/2$.

Lungimea de undă depinde de mediul prin care se propagă undele. Într-un mediu dielectric de indice de refracție n lungimea de undă este

$$\lambda_n = \frac{\lambda_0}{n} \quad (4)$$

unde λ_0 este lungimea de undă în vid sau în aer. Se observă că lungimea de undă în mediul de indice de refracție n este mai mică decât în vid (aer).

Distanța dintre primul și al k -lea nod este în aer

$$x_{(0)} = (k-1) \frac{1}{2} \lambda_0 \quad (5)$$

și în dielectric este

$$x_{(n)} = (k-1) \frac{1}{2} \frac{\lambda_0}{n} \quad (6)$$

Dacă materialul dielectric nu ocupă în totalitate spațiul (are doar o grosime D), distanța dintre k noduri $x_{(D)}$ se determină astfel, vezi Figura 2.

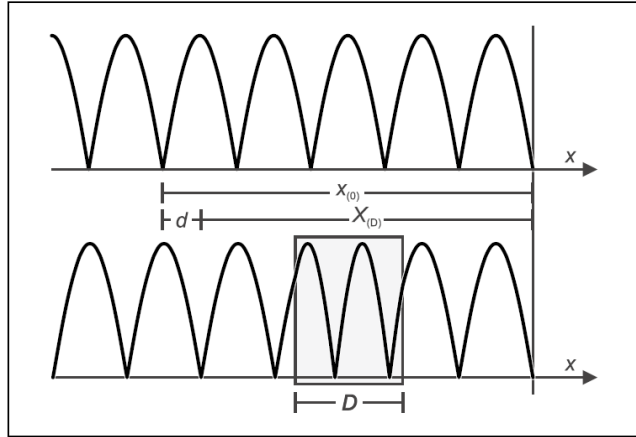


Figura 2. Aspectul undelor staționare în aer (sus) și în prezența unui material dielectric de grosime D (jos) [9].

Putem scrie

$$(x_{(D)} - D) + nD = (k - 1) \frac{\lambda_0}{2} \quad (7)$$

Rezultă

$$x_{(D)} = x_{(0)} - (n - 1)D \quad (8)$$

Pentru a fi poziționată pe același nod, sonda de câmp trebuie să fie deplasată spre materialul dielectric cu distanța

$$d = (n - 1)D \quad (9)$$

Din relația (9) se poate determina indicele de refracție

$$n = \frac{D + d}{D} \quad (10)$$

3. Aparatura necesară:

- Oscilator Gunn
- Antenă – pâlnie
- Circuit electronic de alimentare a elementului Gunn
- Sondă ce măsoară câmpul electric
- Voltmetru

- 2 Buc. cabluri BNC
- 2 Buc. cabluri de legătură
- Suport pentru generatorul Gunn
- Alimentator 220Vca - 12 Vcc pentru circuitul electronic
- Riglă gradată
- Placă PVC grosime 20 mm cu suport
- Panou metalic cu suport

4. Modul de lucru:

Montajul experimental este ilustrat în Figura 3.

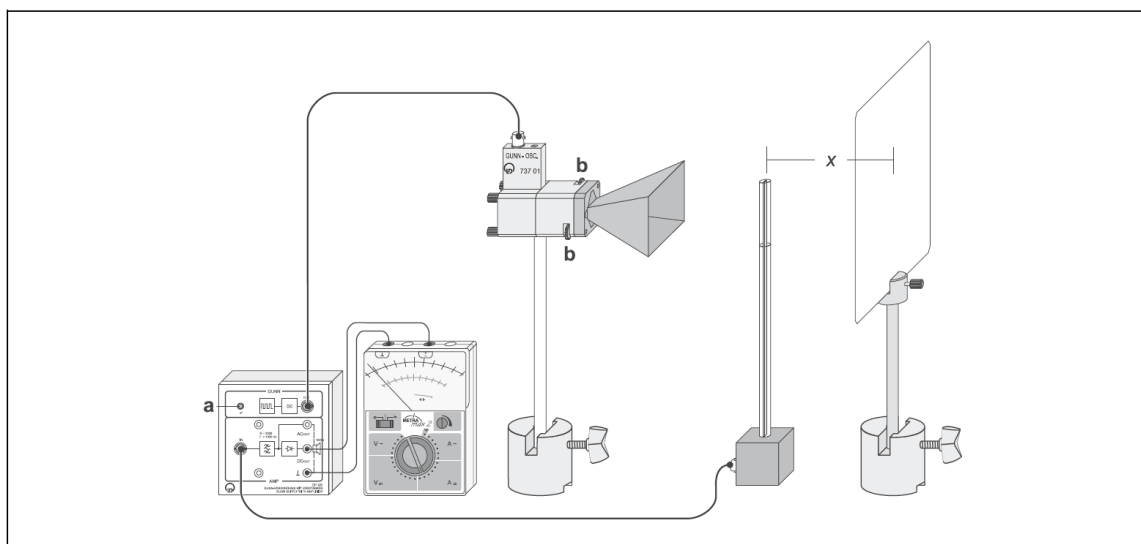


Figura 3. Montajul experimental.[9]

Montează oscilatorul Gunn la antena – pâlnie cu șuruburile (b). Aliniază antena orizontal, pe un suport. Conectează oscilatorul Gunn la bornele “output” ale circuitului electronic, cu ajutorul cablului BNC. Conectează sonda de câmp electric la bornele “input” ale circuitului electric, cu ajutorul unui cablu BNC. Conectează voltmetrul la bornele “out DC” ale circuitului electric. Alimentează circuitul electric cu alimentatorul. Aliniază sonda de câmp electric vertical în fața antenei - pâlnie, în dreptul centrului ei. Reglează frecvența cu butonul (a) astfel ca voltmetrul să indice o valoare cât mai mare.

Montează panoul metalic la aproximativ 200 mm distanță de antena – pâlnie. Aliniază panoul metalic, sonda de câmp și antena – pâlnie.

Precauții: Rezultatele experimentului pot fi afectate de reflexia microundelor pe suprafețele verticale apropiate. Este recomandat ca montajul experimental să se afle la cel puțin 4 m de suprafețele reflectante. Încercați să folosiți materiale absorbante pentru microunde așezate în jurul montajului experimental. Câmpul magnetic variabil poate induce tensiuni în cablurile cu bucle; aranjați cablurile astfel încât să nu facă bucle.

Atenție! Deși puterea microundelor generate de oscilatorul Gunn este de aproximativ 10 - 15 mW, care nu este periculoasă pentru experimentator, trebuie luate anumite precauții :

- Nu priviți direct în antena – pâlnie !
- Deconectați oscilatorul Gunn când lucrați la realizarea montajului experimental !

1. Distribuția câmpului în zona undelor staționare

Măsoară și notează semnalul dat de sonda de câmp (tensiunea U) de la $x = -50$ mm la $x = -150$ mm în pași de 5 mm (poziția ecranului metalic corespunde lui $x = 0$). În plus determină pozițiile a cel puțin cinci minime și respectiv maxime ale semnalului dat de sonda de câmp. În Tabelul 1 și 2 se dă un exemplu de date experimentale.

Tabel 1. Distribuția câmpului la undele staționare - exemplu de date
experimentale [9].

(mm)	$U(\text{mV})$
50	1000
55	2600
60	4900
65	2400
70	1400
75	5250
80	3850
85	560
90	4900
95	5250
100	1200
105	4200
110	6100

115	2800
120	3550
125	7000
130	5200
135	2450
140	6000
145	6300
150	2850

Tabel 2. Poziția minimelor și maximelor în câmpul de unde staționare - exemplu
de date experimentale [9]

	(mm)	$U(\text{mV})$
<i>Minim 1</i>	52	52
<i>Minim 2</i>	68	170
<i>Minim 3</i>	84	390
<i>Minim 4</i>	100	910
<i>Minim 5</i>	117	1550
<i>Minim 6</i>	134	2100
<i>Minim 7</i>	151	2600
<i>Maxim 1</i>	60	4900
<i>Maxim 2</i>	77	5400
<i>Maxim 3</i>	93	5800
<i>Maxim 4</i>	109	6150
<i>Maxim 5</i>	125	7000
<i>Maxim 6</i>	141	6650

Maxim 7		6700
	159	

Reprezentând grafic datele din Tabel 1 și 2 obținem graficul din Figura 4.

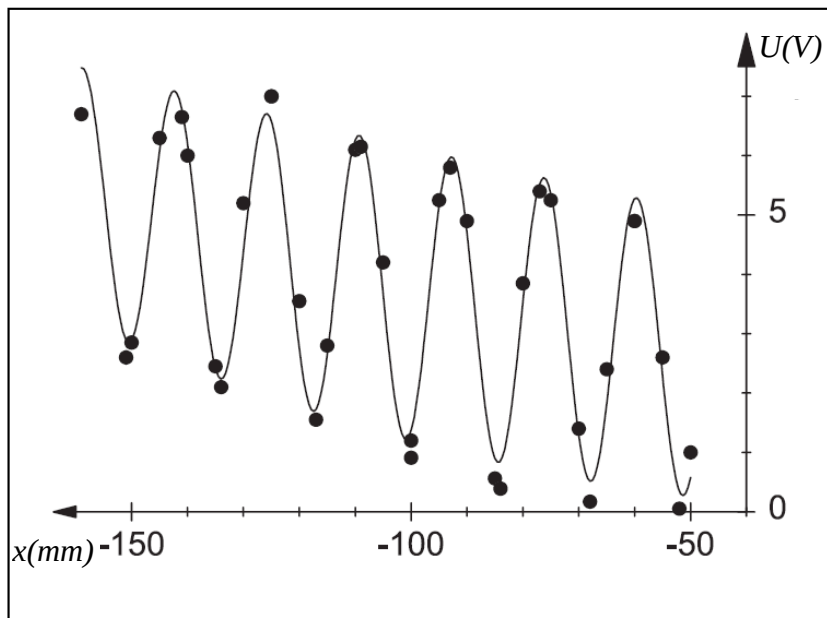


Figura 4. “Imaginea” câmpului de microunde [9].

Distanța dintre primul și cel de-al șaptelea minim este

$$x_{(D)} = 151\text{mm} - 52\text{mm} = 99\text{mm}$$

Rezultă că lungimea de undă a microundelor este

$$\lambda = 2 \frac{x_{(D)}}{6} = 33\text{mm}$$

Frecvența undelor este

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = 9.1\text{GHz}$$

unde $c = 300000 \text{ Km} \cdot \text{s}^{-1}$.

2. Determinarea indicelui de refracție al unui material dielectric

Mărește distanța dintre antena – pâlnie și ecranul metalic. Cu sonda de câmp determină poziția x a unui minim și notează-o. Introdu placa de PVC cu grosimea de 20 mm fixată pe un suport în calea microundelor. Deplasează sonda de câmp înspre placa de PVC și marchează noua poziție x' a minimului.

Exemplu de date experimentale: $D = 20$ mm, poziția nodului în absența plăcii de PVC: $x = -134$ mm, poziția aceluiași nod în prezența plăcii de PVC: $x' = -123$ mm. Deplasarea sondei de câmp înspre placa de PVC este $d = x' - x = 13$ mm și conform relației (10), $n = 1.65$.

ABSORBȚIA MICROUNDOR

1. Obiective:

O₁ Punerea în evidență a absorbției microundelor printr-un material poros uscat și umed.

2. Principiul teoretic:

Când microundele traversează un mediu are loc atenuarea lor datorită absorbției. Mărimea absorbției depinde de grosimea mediului străbătut și de structura sa moleculară. Încălzirea mediului în urma absorbției se datorează efectelor inductive și dielectrice care sunt, la rândul lor, dependente de temperatură și frecvență. Încălzirea datorită inducției apare în special în materiale semiconductoare și în metale. În acestea, electronii liberi sunt accelerați în câmpul electric alternativ care produce curenți turbionari. În substanțe cu molecule polare, ca apa sau care conțin apă, încălzirea se datorează efectelor dielectrice. Moleculele polare se aliniază în câmpul electric alternativ și sunt rotite de acesta. Rotirea moleculelor duce la frecări care generează căldură.

În acest experiment se compară absorbția microundelor de către un material poros uscat și apoi umezit. Aceste investigații au două aspecte interesante în ceea ce privește aplicațiile tehnice.

Pe deoparte absorbția microundelor de către medii ce conțin apă e folosită pentru uscare și gătit în cuptoare cu microunde. Pe de altă parte, absorbantele de microunde sunt făcute dintr-un material plastic poros sau din cauciuc, impregnate sau acoperite cu materiale polare.

3. Aparatura necesară:

- Oscilator Gunn
- Antenă – pâlnie
- Circuit electronic de alimentare a elementului Gunn
- Sondă ce măsoară câmpul electric
- Voltmetru
- 2 Buc. cabluri BNC
- 2 Buc. cabluri de legătură
- Suport pentru generatorul Gunn
- Alimentator 220Vca-12 Vcc pentru circuitul electronic
- Riglă gradată
- Set de materiale absorbante

4. Modul de lucru:

Montajul experimental este ilustrat în Figura 1.

Precauții: Rezultatele experimentului pot fi afectate de reflexia microundelor de către suprafețele verticale apropiate. Este recomandat ca montajul experimental să se afle la cel puțin 4 m de suprafețele reflectante. Încercați să folosiți materiale absorbante pentru microunde așezate în jurul montajului experimental. Câmpul magnetic variabil poate induce tensiuni în cablurile cu bucle; aranjați cablurile astfel încât să nu facă bucle.

Atenție! Deși puterea microundelor generate de oscilatorul Gunn este de aproximativ 10 - 15mW, care nu este periculoasă pentru experimentator, trebuie luate anumite precauții :

- Nu priviți direct în antena – pâlnie !
- Deconectați oscilatorul Gunn când lucrați la realizarea montajului experimental !

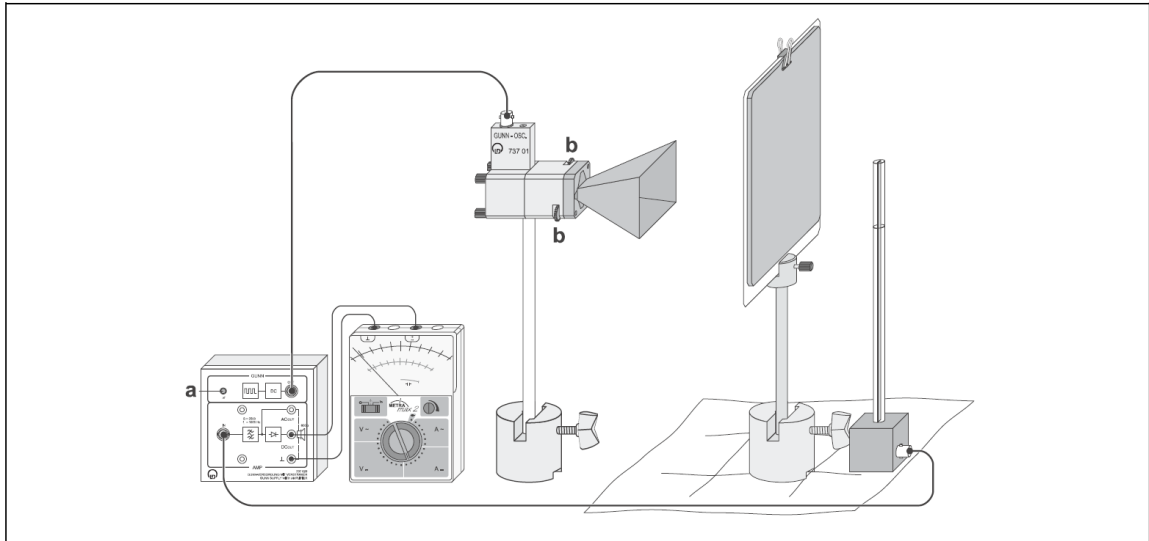


Figura 1. Montajul experimental[9].

Montează oscilatorul Gunn la antena – pâlnie cu șuruburile (b). Aliniază antena orizontal, pe un suport. Conectează oscilatorul Gunn la bornele “*output*” ale circuitului electronic, cu ajutorul cablului BNC. Conectează sonda de câmp electric la bornele “*input*” ale circuitului electric, cu ajutorul unui cablu BNC. Conectează voltmetrul la bornele “*out DC*” ale circuitului electric. Alimentează circuitul electric cu alimentatorul. Aliniază sonda de câmp electric vertical, în fața antenei - pâlnie, în dreptul centrului ei. Reglează frecvența cu butonul (a) astfel ca voltmetrul să indice o valoare cât mai mare. Pune o țesătură absorbantă sau hârtie sub sonda de câmp. Așează placa dielectrică absorbantă (3 mm) la circa 100 mm în fața antenei – pâlnie. Găsește poziția sondei de câmp în spatele dielectricului pentru care semnalul măsurat (tensiunea) este maximă.

Citește și notează tensiunea măsurată. Atașează în spatele plăcii dielectrice materialul poros (un burete) și citește tensiunea. Umezește uniform buretele cu apă și măsoară din nou tensiunea. Datele experimentale se trec în Tabelul 1.

Tabelul 1. Date experimentale

Materialul	(V)	(%)
Placă dielectrică (PVC)		
Burete uscat		
Burete ud		
Burete umed		

Absorbția microundelor în material se definește ca:

$$A = \frac{P_0 - P}{P_0} = \frac{U_0 - U}{U_0} \quad (\%) \quad (1)$$

unde P_0 este puterea câmpului de microunde măsurată fără materialul absorbant (burete), P este puterea măsurată după peretele din material absorbant. Tensiunea U dată de sonda de câmp este proporțională cu puterea microundelor P .

Concluzii: Materialul poros ud absoarbe microundele în mai mare măsură decât materialul uscat.

ETALONAREA UNUI TERMOMETRU

A.) Etalonarea unui termometru cu lichid



Figura 1. Montajul experimental

1. Obiectiv:

O_I Etalonarea unui termometru cu lichid

2 Aparatura necesară:

- Termometru etalon,
- Termometru neetalonat cu lichid,
- Vas cu apă,
- Încălzitor electric,
- Stative, cleme, agitator,

3. Aspecte teoretice :

Temperatura este mărimea fizică ce caracterizează starea de încălzire a unui corp. Unitatea de măsură a temperaturii în S.I. este Kelvinul dar se folosește pe scară largă și unitatea de temperatură “gradul Celsius”. Aparatul ce măsoară temperatura este termometrul. Cele mai obișnuite termometre sunt cele cu lichid (mercur, alcool) și cele electronice.

Operația de etalonare a unui aparat (de ex. termometru) constă în punerea în corespondență a indicațiilor aparatului cu valorile mărimii fizice măsurate. (ex. lungimea coloanei de lichid cu temperatura sau tensiunea electrică generată de termocuplu cu temperatura). Valorile mărimii fizice se determină cu un aparat etalonat.

4. Modul de lucru:

Montajul experimental este redat în Figura 1.

Deoarece dependența lungimii coloanei de lichid de temperatură este liniară (direct proporțională), este suficientă etalonarea termometrului cu lichid la două temperaturi. Imersează în vasul cu apă termometrul de etalonat și termometrul de referință, apa având temperatura camerei. Așteaptă ca temperatura indicată de termometrul etalon să fie stabilă. Omogenizează apa din vas cu agitatorul. Marchează cu creionul nivelul coloanei de lichid a termometrului neetalonat, obținându-se primul punct de etalonare corespunzător temperaturii t_1 . Încălzește apa din vas cu termoplonjorul până la cca 65 °C după care oprește încălzirea. Omogenizează, urmărește stabilizarea temperaturii pe termometrul etalon. Marchează cu creionul nivelul coloanei de lichid pe termometrul de etalonat, obținându-se punctul t_2 , Figura 2.

Atenție!

Termoplonjorul se imersează în apă și apoi se introduce în priză, iar la deconectare, se scoate din priză și apoi din apă!

Măsoară lungimea L a segmentului dintre t_1 și t_2 cu liniarul sau cu hârtia milimetrică .

Împarte lungimea segmentului dintre t_1 și t_2 în t_2-t_1 părți egale, obținând o diviziune corespunzătoare unui grad Celsius. Realizează scala termometrului de etalonat între 0°-60° pe hârtie milimetrică.

Exemplu :

$$L = 102 \text{ mm}$$

$$L_{1^{\circ}\text{C}} = L/t_2-t_1 = 102/(62-19) = 102/43 = 2.4 \text{ mm}/^{\circ}\text{C}$$

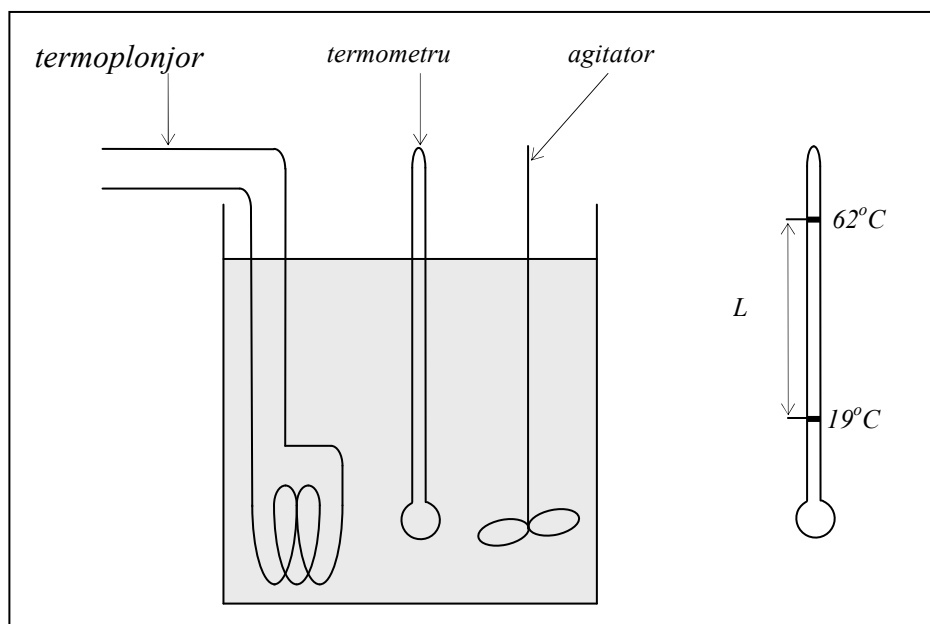


Figura 2 Exemplu de etalonare termometru cu lichid

Observație: Pe hârtia milimetrică nu putem reprezenta 2,4 mm pentru un grad, așa că se recomandă o scală cu diviziuni din două în două grade, cu distanța dintre două grade de 5 mm. Am făcut astfel o eroare de $0,1^\circ$ pentru fiecare grad. Care este corecția care trebuie făcută la citirea temperaturii de 63°C ?

Verificare: Măsoară o temperatură oarecare din intervalul 0° - 60° cu termometrul etalonat de mai sus, și compară valoarea găsită cu cea indicată de termometrul etalon.

5. Surse de erori

Estimează trei surse de erori care influențează măsurătorile.

B.) Etalonarea unui termocuplu



Figura 5. Montajul experimental

1. Obiectiv:

O_1 Etalonarea unui termocuplu

2. Aspecte teoretice:

Funcționarea termocuplului se bazează pe efectul Seebeck. Efectul Seebeck constă în apariția unui curent într-un circuit format din două fire metalice din materiale diferite sudate la capete aflate la temperaturi diferite, vezi Figura 3.

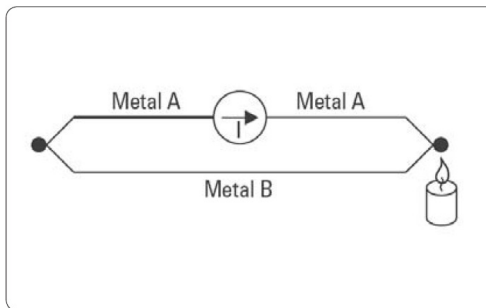


Figura 3. Efectul Seebeck

Dacă circuitul din Figura 3. este deschis, la borne va apare o tensiune electromotoare (t.e.m.), vezi Figura 4.

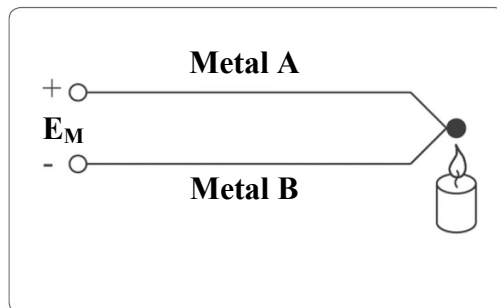


Figura 4. T.e.m. Seebeck

Conform efectului Seebeck, t.e.m. este proporțională cu diferența de temperatură dintre cele două joncțiuni și depinde de natura metalelor. T.e.m. este de ordinul câtorva mV.

Joncțiunea care se află la temperatura de măsurat se numește “sudura caldă”, iar cea aflată la temperatura camerei sau la temperatura de referință 0°C se numește “sudura rece”.

3. Aparatura necesară:

- Termocuplu Cromel-Alumel (tip K)
- Baie termostată
- Termometru etalon
- Multimetric electronic

4. Modul de lucru:

Realizează montajul experimental din Figura 5.

1. Verifică nivelul apei în baia termostată, alimentează baia la sursa de tensiune.
2. Conectează termocuplul la bornele multimetrului, setat să măsoare mV CC.
3. Introdu sudura termocuplului în apa din baie, cu atenție să nu atingă elicea pompei de recirculare.
4. Porneste baia de termostatare - setează temperatura de termostatare a apei din baie. Așteaptă până când temperatura ajunge la o valoare constantă (apa este în echilibru termic).
5. Citește temperatura apei cu termometrul etalon și tensiunea generată de termocuplu t.e.m. cu multimetrul.
6. Repetă punctele 4-5 pentru 7 temperaturi diferite ale apei, în intervalul 25-60°C.
7. Notează conform exemplului din Tabelul următor t.e.m. E_M în funcție de temperatura apei din baie t_B .

8. Așa cum am menționat la partea teoretică, t.e.m. depinde de diferența de temperatură dintre cele două jonctiuni, adică de diferența dintre temperaturile apei din baie și camerei. Pentru calibrarea termocuplului trebuie să facem corecția de temperatură pentru joncțiunea rece, de la temperatura camerei la 0°C. Din tabele se găsește valoarea t.e.m. corespunzătoare temperaturii camerei raportată la 0°C. Această valoare se adaugă t.e.m. generate de termocuplu cu joncțiunea rece la temperatura camerei.
9. Observație: - Termocuplul folosit este de tip K (Cromel-Alumel). În exemplul dat, temperatura camerei este 20,5°C, iar t.e.m. de corecție este $E_C = 0.818 \text{ V}$.
10. Trasează în Excel curba de etalonare a termocuplului $E = f(t_B)$.
11. Realizează în baie o temperatură "necunoscută" t_X în domeniul 20-60°C și determin-o cu ajutorul curbei de calibrare a termocuplului (măsoară t.e.m. și cu ajutorul curbei de calibrare găsește t_X).

Tabel cu date experimentale(exemplu)

$t_B [^{\circ}\text{C}]$	$E_M [\text{mV}]$	$E = E_M + E_C [\text{mV}]$
30	0.361	1.179
35	0.579	1.397
40	0.788	1.606
45	0.995	1.813
50	1.202	2.020
55	1.407	2.225
60	1.613	2.431