

**UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" BUCURESTI
CATEDRA DE FIZICĂ**

**LABORATORUL DE OPTICĂ
BN - 121**

**DETERMINAREA TEMPERATURII CORPURILOR PE
BAZA LEGII LUI PLANCK**

2005

DETERMINAREA TEMPERATURII CORPURILOR PE BAZA LEGI LUI PLANCK

1. Scopul lucrării

1.1. Utilizarea formulei lui Planck la determinarea temperaturii unui corp cu ajutorul pirometrului optic cu dispariție de filament;

1.2. Calculul coeficienților liniar și pătratic de variație cu temperatura ai rezistenței electrice a filamentului unei lămpi cu incandescență.

2. Teoria lucrării

Corpurile încălzite emit unde electromagnetice prin transformarea energiei de agitație termică a particulelor în energie de radiație. Radiația electromagnetică a unui corp în echilibru termodinamic se numește *radiație termică*.

Numim *putere spectrală de emisie* a corpului mărimea $E_{\nu,T}$, numeric egală cu densitatea superficială a puterii radiate termic, pentru un interval de frecvență de lărgime unitate:

$$E_{\nu,T} = \frac{dW}{d\nu} \quad (1)$$

unde dW este energia radiației termice emisă de unitatea de suprafață a corpului în unitatea de timp în intervalul de frecvență cuprins între ν și $\nu + d\nu$. Puterea emisivă spectrală depinde de temperatură, frecvență, de materialul din care este făcut corpul, de forma sa și de starea suprafeței.

Numim *factor spectral de absorbție* al corpului mărimea $A_{\nu,T}$, care arată fracțiunea din energia dW_{inc} transmisă în unitatea de timp unității de suprafață a corpului de undele electromagnetice incidente cu frecvența cuprinsă între ν și $\nu + d\nu$, care este absorbită de către corp:

$$A_{\nu,T} = \frac{dW_{abs}}{dW_{inc}} \quad (2)$$

Un corp este numit *corp negru* dacă la orice temperatură absoarbe integral toată energia undelor electromagnetice incidente:

$$A_{\nu,T}^{negru} = 1 \quad (3)$$

Între puterile spectrale emisivă și absorbantă ale unui corp netransparent oarecare există relația:

$$\frac{E_{\nu,T}}{A_{\nu,T}} = \varepsilon_{\nu,T} \quad (4)$$

adică pentru o frecvență și o temperatură arbitrară raportul dintre puterea spectrală de emisie și factorul spectral de absorbție este același pentru toate corpurile și egal cu *puterea emisivă spectrală a corpului negru*, $\varepsilon_{\nu,T}$, aceasta fiind o funcție dependentă doar de frecvență și temperatură (legea lui Kirchhoff sub formă diferențială).

Teoria lui Planck asupra cuantelor de energie electromagnetică conduce la următoarea expresie pentru puterea emisivă spectrală a corpului negru:

$$\varepsilon_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (5)$$

Dacă dorim să exprimăm puterea spectrală de emisie a corpului negru raportându-ne la un interval infinitesimal $d\lambda$ pentru lungimea de undă, ținând cont de relația $c = \lambda\nu$, obținem o altă expresie pentru formula lui Planck:

$$\varepsilon_{\lambda,T} = \varepsilon_{\nu,T} \frac{d\nu}{d\lambda} = \frac{2\pi c^2}{\lambda^5} \frac{h}{e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1} \quad (6)$$

Întrucât domeniul de temperatură în care se va lucra nu va depăși 3000 K, putem folosi aproximația Wien, valabilă pentru frecvențe înalte ($h\nu \gg kT$):

$$\varepsilon_{\lambda,T} \cong \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} e^{-\frac{hc}{\lambda T}} \quad (7)$$

Pentru un corp oarecare, puterea spectrală de emisie se va scrie așadar:

$$E_{\lambda,T} = A_{\lambda,T} \varepsilon_{\lambda,T} \quad (8)$$

Definim *temperatura de strălucire* (pentru un interval îngust de lungimi de undă) a unui corp cu temperatura reală T , ca temperatura T_S a corpului negru care, pentru aceeași lungime de undă, are puterea de emisie spectrală egală cu cea a corpului la temperatura T .

$$\varepsilon_{\lambda,T_S} = \varepsilon_{\lambda,T} \quad (9)$$

Notând $C_1 = 2\pi hc^2$ și $C_2 = \frac{hc}{k}$, rezultă egalitatea:

$$C_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T_S}} = A_{\lambda,T} C_1 e^{-\frac{C_2}{\lambda T}} \quad (10)$$

de unde:

$$\ln A_{\lambda,T} = \frac{C_2}{\lambda} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_S} \right) \quad (11)$$

Obținem în final legătura între temperatura reală și temperatura de strălucire a unui corp cu factorul spectral de absorbție $A_{\lambda,T}$:

$$T = \frac{C_2 T_S}{\lambda T_S \ln A_{\lambda,T} + C_2} \quad (12)$$

Măsurându-se experimental, cu ajutorul pirometrului, temperatura de strălucire T_S și cunoscând $A_{\lambda,T} = 0,40$ pentru wolfram, $C_2 = 1,438 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{grad}$, și $\lambda = 0,655 \mu\text{m}$, se calculează temperatura reală cu ajutorul formulei de mai sus.

3. Descrierea instalației experimentale

În lucrarea de față, măsurarea temperaturii de strălucire se face cu ajutorul unui pirometru optic monocromatic cu dispariție de filament, al cărui principiu de funcționare se bazează pe compararea și egalarea strălucirilor a două izvoare de radiație.

În figura 1 este dată schema de principiu a pirometrului utilizat. Corpul incandescent S, a cărui temperatură se măsoară, își formează imaginea cu ajutorul obiectivului O_1 într-un plan în care este așezat filamentul unei lămpi electrice de comparație L. Observatorul privind prin ocularul O_2 vede imaginea filamentului proiectată pe fondul imaginii corpului incandescent. Filtrul roșu FR lasă să treacă numai o parte, aproape monocromatică, din radiația emisă de corp și filamentul L.

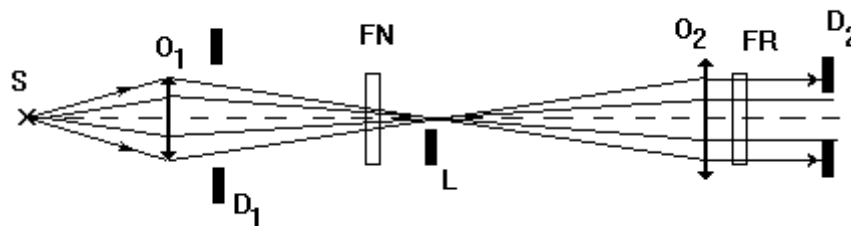


Fig. 1

Astfel, un observator poate compara strălucirea corpului (în cazul acestei lucrări, corpul incandescent de studiu este filamentul unui bec) cu aceea a filamentului pirometrului. El poate distinge trei cazuri schițate în figura 2, și anume: strălucirea filamentului să fie mai mare decât cea a imaginii corpului (fig.2a), mai mică (fig.2c) sau cele două străluciri să fie egale (fig.2b), caz în care imaginea filamentului "dispare" pe fondul imaginii corpului.

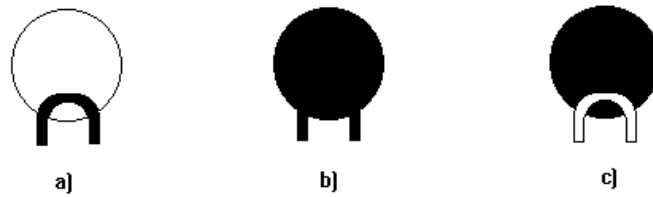


Fig. 2

La temperaturi înalte ale corpului ar trebui să se folosească un curent electric de intensitate mare prin filamentul pirometrului, ceea ce ar provoca o uzură rapidă, cât și o scădere a preciziei aparatului. Acest inconvenient a fost înlăturat prin folosirea filtrului neutru FN montat între obiectiv și lampa de comparație pentru a reduce strălucirea imaginii corpului.

4. Modul de lucru

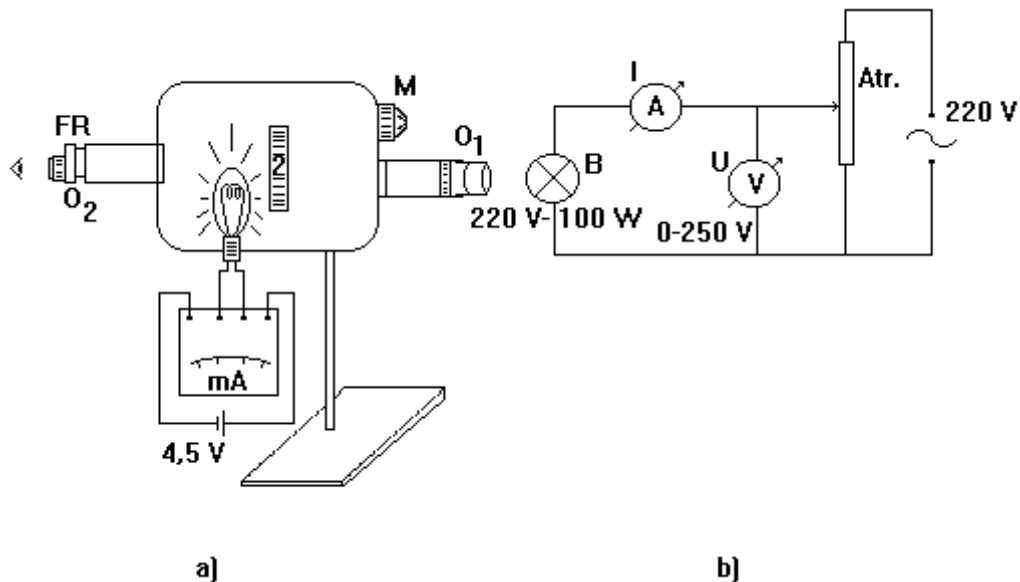


Fig. 3

Pentru a măsura temperatura reală a filamentului incandescent de wolfram al unui bec și a studia variația rezistenței sale cu temperatura se realizează montajul din figura 3. Pentru a măsura temperatura de strălucire a filamentului lui B se va proceda astfel:

- a) Cu ajutorul autotransformatorului Atr. se aplică becului o tensiune de 60 V.
- b) Se vizează cu pirometrul optic (fixat pe un stativ) filamentul becului și se reglează poziția obiectivului O_1 până vom observa, prin ocularul O_2 , imaginea clară a filamentului în planul lămpii L. În această observație filtrul neutru FN se va găsi pe treapta 1, iar filtrul roșu FR este așezat în fața ocularului (se va observa punctul roșu de pe el).
- c) Se conectează lampa L a pirometrului la aparatul de măsură (scala 0-400 mA) și la bateria de 4,5 V prin rotirea spre dreapta a manșonului M. Când lampa este conectată se va observa că miliampermetrul va indica o valoare, iar filamentul ei se înroșește.

d) Se așează pirometrul astfel încât filamentul lămpii L să se suprapună peste imaginea filamentului becului (sursei) pusă la punct.

e) Se rotește manșonul M până când strălucirea filamentelor este aceeași (situația din figura 2 b)

În această situație se citește curentul indicat de miliampermetrul pirometrului și pe tabelul anexat la el se citește temperatura de strălucire corespunzătoare curentului citit și treptei alese. Pentru a nu se face erori prea mari în aprecierea egalității strălucirilor se repetă operația de egalizare și citire de cel puțin 5 ori.

Se citesc tensiunea și curentul aplicate becului B.

f) Se schimbă tensiunea aplicată la becul B din 20 în 20 V până la 200 V și se procedează în mod analog, ca la punctul a).

Pentru tensiunile aflate în intervalul 60 - 140 V se lucrează cu filtrul FN pe treapta 1, iar pentru 160-200 V pe treapta 2.

4. Indicații pentru prelucrarea datelor experimentale

a) Cu ajutorul tabelului ce furnizează temperaturile de strălucire corespunzătoare unor anumite valori pentru curentul prin lampa pirometrului se trasează pe un grafic curba de etalonare a aparatului $T_S(I_L)$. Folosind această curbă se vor găsi temperaturile de strălucire ale filamentului becului pentru valorile de curent citite pe miliampermetrul lămpii L la egalizarea strălucirilor.

b) Temperaturile de strălucire luate din grafic, transformate în Kelvini, se introduc în relația (12) și se calculează temperaturile reale.

Întrucât în intervalul în care se măsoară temperatura de strălucire a filamentului de wolfram factorul spectral de absorbție $A_{\nu,T}$ variază foarte puțin, acesta se va considera constant și egal cu 0,40.

c) Datele experimentale se vor trece într-un tabel de forma:

Nr. crt.	U_{bec} (V)	I_{bec} (A)	$R = U/I$	i (mA)	t_S (°C)	T_S (K)	T (K)	t (°C)

d) Cunoscând că rezistența filamentului becului variază cu temperatura după o lege de tipul:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2) \quad (13)$$

se calculează coeficienții α și β în felul următor:

Se trasează graficul rezistenței R în funcție de temperatură. Se aleg două puncte (R_1, t_1) și (R_2, t_2) de pe partea concavă a curbei și se introduc în relația (13). Se obține sistemul:

$$\begin{aligned}
 R_1 &= R_0(1 + \alpha t_1 + \beta t_1^2) \\
 R_2 &= R_0(1 + \alpha t_2 + \beta t_2^2)
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

Rezistența la $t = 0^\circ C$ se consideră cunoscută, $R_0 = 25 \text{ W}$

Din sistem se determină coeficienții α și β

5. Întrebări

a) Justificați folosirea aproximației de frecvențe înalte în relația (7), ținând cont de ordinul de mărime al frecvențelor din spectrul optic.

b) Indicați sursele posibile de erori care pot afecta rezultatele măsurătorilor.

6. Anexa

Tabelul de etalonare a lămpii pirometrului

Curentul i (mA) prin filamentul pirometrului	150	200	240	290
Temperatura t_S ($^\circ C$) de strălucire a filamentului pirometrului	1166	1240	1541	1875