

**UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN BUCUREȘTI  
DEPARTAMENTUL DE FIZICĂ**

**LABORATORUL DE OPTICĂ  
BN - 122 A**

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

# DETERMINAREA TEMPERATURII CORPURILOR PE BAZA LEGII 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  $\nu$  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 unde electromagnetice incidente cu frecvența cuprinsă între  $\nu$  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 arbitrare 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:

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

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:

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

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

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

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  $T$ .

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

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  $A_{\lambda,T}$ :

$$T = \frac{T_S}{1 + \frac{\lambda \ln A_{\lambda,T}}{C_2} T_S} \quad (12)$$

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.

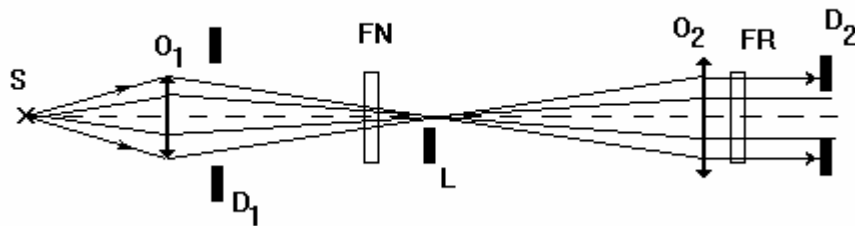


Fig. 1.

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.

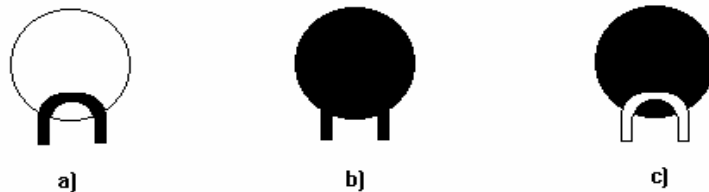


Fig. 2.

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

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:

- Cu ajutorul autotransformatorului Atr. se aplică becului o tensiune de 60 V.
- 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).
- 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.
- Se așează pirometrul astfel încât filamentul lămpii L să se suprapună peste imaginea filamentului becului (sursei) pusă la punct.
- Se rotește manșonul M până când strălucirea filamentelor este aceeași (situația din figura 2b). 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.

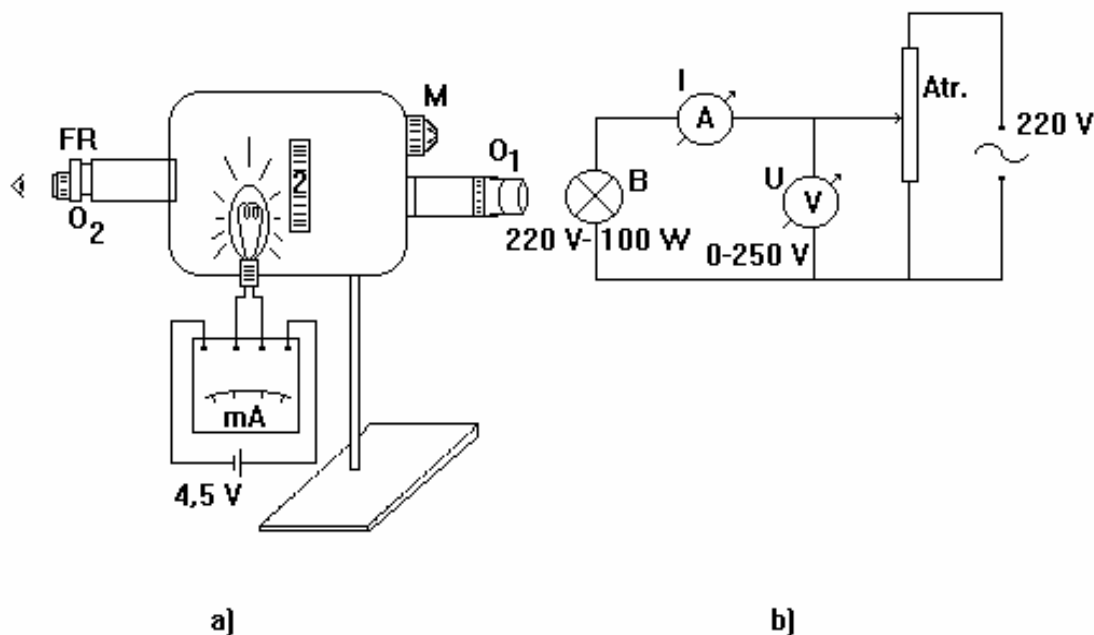


Fig. 3.

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.

### 5. 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 în tabelul 1.

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  $\alpha$  și  $\beta$  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:

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

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

Din sistem se determină coeficienții  $\alpha$  și  $\beta$ .



## ANEXA

Curentul prin filamentul pirometrului  $i$  (mA)

Temperatura de strălucire a filamentului pirometrului  $t_S$  (°C)

Tabelul de etalonare a pirometrului pentru filtrul neutru 1

$i$ (mA)	173	175	180	185,5	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	293
$t_S$ (°C)	800	820	861	900	933	1000	1052	1105	1150	1194	1238	1277	1314	1351	1400

Tabelul de etalonare a pirometrului pentru filtrul neutru 2

$i$ (mA)	190	200	205	210	220	230	240	250	260	270	280	290	298
$t_S$ (°C)	1200	1298	1338	1385	1467	1547	1622	1689	1761	1824	1889	1949	2000

Tabelul de etalonare a pirometrului pentru filtrul neutru 3

$i$ (mA)	202	210	220	230	240	250	260	270	280
$t_S$ (°C)	1600	1716	1836	1956	2067	2182	2292	2385	2490

$i$ (mA)	290	300	310	320	330	336
$t_S$ (°C)	2588	2675	2768	2857	2941	3000

Aceste tabele corespund diagramelor de etalonare furnizate de producătorul pirometrului, care se găsesc lângă ansamblul experimental.