

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

**LABORATORUL DE OPTICĂ
BN - 122 A**

**PIROMETRIE OPTICĂ.
DETERMINAREA TEMPERATURII CORPURILOR
INCANDESCENTE UTILIZÂND PIROMETRUL SPECTRAL
CU DISPARIȚIE DE FILAMENT.**

2018 - 2019

PIROMETRIE OPTICĂ.

DETERMINAREA TEMPERATURII CORPURILOR UTILIZÂND PIROMETRUL SPECTRAL CU DISPARIȚIE DE FILAMENT

1. Scopul lucrării

1.1. Utilizarea formulei lui Planck (aproximația Wien) pentru determinarea temperaturii unui corp cu ajutorul pirometrului optic cu dispariție de filament;

1.2. Calculul coeficienților liniar și pătratic de variație cu temperatura a rezistenței electrice a filamentului unui bec 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, într-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, de frecvență, de materialul din care este făcut corpul, de forma sa și de starea suprafeței.

Numim *factor (coeficient) spectral de absorbție* al corpului mărimea $A_{\nu,T}$ care arată fracțiunea absorbită (dW_{abs}) din energia incidentă (dW_{inc}) în unitatea de timp pe unitatea de suprafață având frecvența cuprinsă între ν și $\nu + d\nu$:

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

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 puterea spectrală de emisie și coeficientul spectral de absorbție 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 infinitezimal $d\lambda$ 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 fiind temperatura T_S a corpului negru care, pentru aceeași lungime de undă, are puterea de emisie spectrală egală cu cea a corpului aflat 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:

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

de unde, după simplificare și logaritmare, rezultă relația:

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

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. Cu ajutorul obiectivului O_1 se formează imaginea corpului incandescent S (a cărui temperatură se măsoară) într-un plan în care este așezat filamentul unei lămpi electrice de comparație L . Privind prin ocularul O_2 observatorul 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 de filamentul lămpii L . Diafragmele D_1 și D_2 au rolul de limitare a fascicolului de radiație.

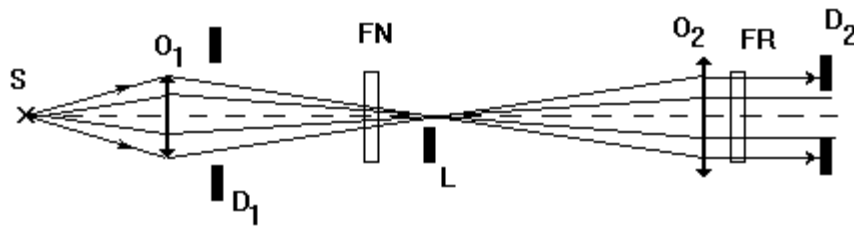


Fig. 1. Schema de principiu a pirometrului optic.

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 incandescent.

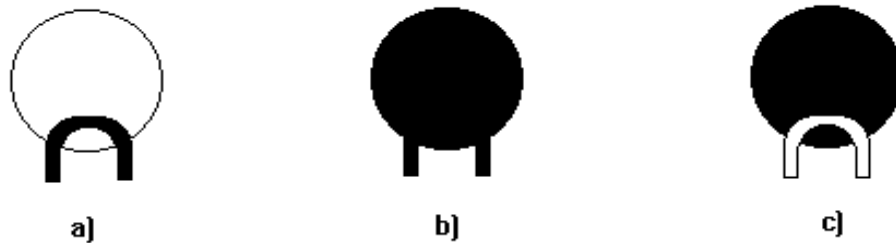


Fig. 2. Străluciri posibile ale corpului incandescent și ale filamentului pirometrului.

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 obiectivul O_1 și lampa de comparație L, filtru care reduce strălucirea imaginii corpului în tot domeniul spectral de emisie.

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 becului B se va proceda astfel:

a) Cu ajutorul autotransformatorului Atr. se aplică becului B o tensiune de 60 V (măsurată cu multimetrul digital 2 pus pe scala 500 V c.a.).

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 formată 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 sursa reglabilă de tensiune continuă I4103. Se va observa că filamentul ei se înroșește, curentul prin lampă având o anumită valoare (măsurată cu multimetrul digital 3 pus pe scala de 10 A c.c.).

d) Se așează pirometrul astfel încât filamentul lămpii L să se suprapună peste imaginea filamentului becului B.

e) Se rotește potențiometrul U al sursei reglabile de tensiune continuă I4103 până când strălucirea filamentelor este aceeași (situația din figura 2b). În această situație se citește curentul indicat de miliampermetrul pirometrului (multimetrul digital 3 pus pe scala de 10 A

c.c.) și din tabelul anexat referatului lucrării 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 (multimetrul digital 2, scala 500 V c.a.) și curentul (multimetrul digital 3, scala 10 A c.a., buton galben apăsat) aplicate becului B.

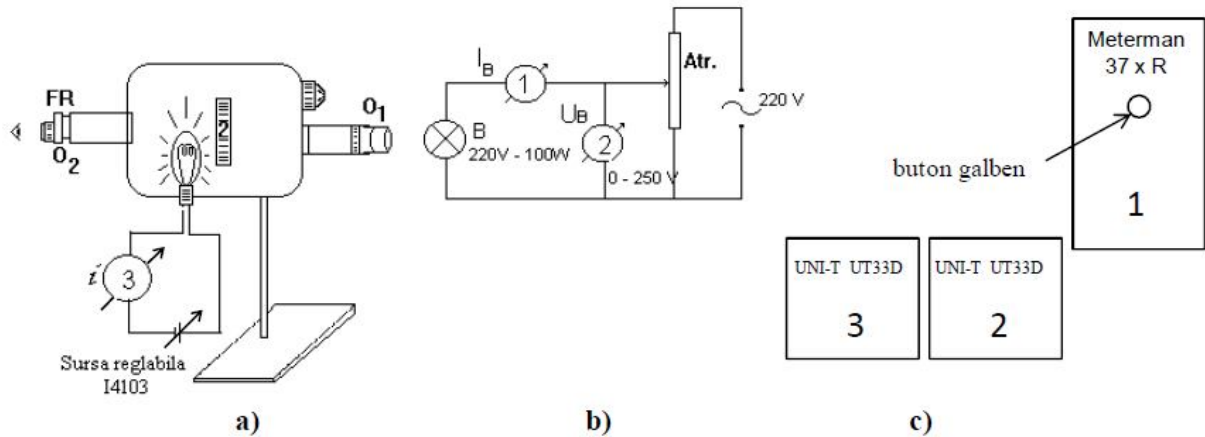


Fig. 3. Dispozitivul experimental. a) pirometrul optic; b) circuitul de alimentare al becului incandescent; c) aranjamentul la masa de lucru a multimetrelor digitale de măsură.

f) Se schimbă tensiunea aplicată becului B din 20 în 20 V până la 200 V și se reiau măsurătorile. Pentru tensiunile aflate în intervalul 60 - 140 V se lucrează cu filtrul FN pe treapta 1, iar pentru 160-200 V pe treapta 2.

g) **Important:** La terminarea măsurătorilor cursorul autotransformatorului Atr și butonul de reglaj tensiune al sursei reglabile I4103 se aduc la 0. Se închid multimetrele digitale.

5. Indicații pentru prelucrarea datelor experimentale

1) 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 $t_s = t_s(i)$. Folosind această curbă se vor găsi *temperaturile de strălucire* ale filamentului becului pentru valorile de curent citite pe miliampermetrul lămpii L (multimetrul digital 3).

2) Temperaturile de strălucire t_s luate din grafic, transformate în Kelvini T_s , 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.

3) Datele experimentale se vor trece în tabelul 1.

4) 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 (t_1, R_1) și (t_2, R_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, $R_0 = 25 \Omega$.

5. Întrebări

1. Definiți termenii din expresia „pirometru optic monocromatic cu dispariție de filament”.
2. Ce este curba de etalonare a pirometrului și la ce folosește ea?
3. Cum se definește temperatura de strălucire a unui corp? Cum este aceasta față de temperatura reală a corpului?
4. Justificați folosirea aproximației de frecvențe înalte în relația (7), ținând cont de ordinul de mărime al frecvențelor din spectrul optic.
5. Care este semnificația mărimilor din ecuația $R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t + \beta \cdot t^2)$?
6. Descrieți figura văzută prin ocularul pirometrului înainte de reglarea curentului prin filamentul său și după reglare? Cum ați determinat practic temperatura de strălucire a filamentului becului?
7. Indicați sursele posibile de erori care pot afecta rezultatele măsurătorilor.

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.