

# VERIFICAREA EXPERIMENTALĂ A LEGII STEFAN-BOLTZMANN

## 1. Scopul lucrării

Scopul lucrării este acela de a studia radiația termică care reprezintă o sursă ecologică și inepuizabilă de energie (vezi de exemplu Soarele). Se verifică legea Stefan-Boltzmann pentru energia radiantă cu ajutorul unui stand experimental inedit, sursa radiantă fiind reprezentată de un bec. Se va măsura intensitatea și tensiunea electrică, determinându-se apoi puterea și temperatura. Se va evalua grafic respectarea legii Stefan-Boltzmann determinându-se panta dreptei  $\ln P = f(\ln T)$ , a cărei valoare trebuie să fie aproximativ 4.

## 2. Considerații teoretice

Toate corpurile emit și absorb energie din/sau mediul înconjurător sub forma de radiație electromagnetică. Această radiație electromagnetică depinde de natura corpurilor astfel, de exemplu, gazele prezintă un spectru de emisie discontinuu deci se obțin numai anumite frecvențe caracteristice; lichidele prezintă un spectru sub formă de benzi deci sunt observabile domenii de frecvențe diferite, iar corpurile solide au un spectru continuu și se observă toate frecvențele. Datorită oscilațiilor sarcinilor elementare care se găsesc în toate corpurile aflate la o temperatură mai mare de zero Kelvin acestea emit radiații electromagnetice. O astfel de radiație se numește **radiație termică**, are un spectru continuu, este nepolarizată, iar spectrul acesteia depinde numai de temperatura la care se găsește corpul radiant și nu depinde de natura acestuia.

S-a demonstrat experimental că puterea de emisie și cea de absorbție diferă de la un corp la altul, dar raportul lor este o expresie universală care depinde doar de temperatura corpului și de lungimea de undă (frecvența) a radiației, expresie numită *funcția de distribuție a lui Planck* (vezi Fig. 1).

Un corp total absorbant, respectiv total emisiv se numește corp negru. O incintă încălzită electric emite printr-un orificiu o radiație ce poate fi aproximată cu cea emisă de un corp negru. *Densitatea spectrală de energie* emisă de un corp negru,  $\rho$ , adică energia  $dW$  emisă în unitatea de volum  $dV$  într-un domeniu spectral  $dv$  este chiar funcția lui Planck:

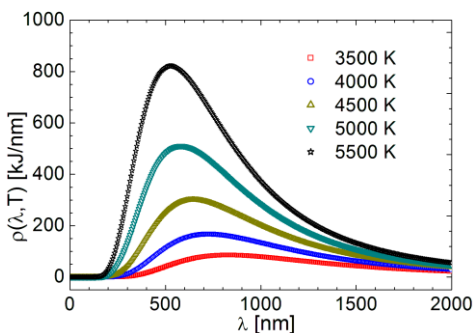


Figura 1.

$$\rho(\nu, T) = \frac{1}{dV} \frac{dW}{d\nu} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}, \quad (1)$$

sau în funcție de lungimea de undă:

$$\rho(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}, \quad (2)$$

unde  $c=3 \times 10^8$  m/s este viteza luminii (sau în general viteza undelor electromagnetice),  $k=1.38 \times 10^{-23}$  J/K este constanta lui Boltzmann, iar  $h$  este constanta lui Planck. Aceasta din urmă, cuantifică energia oscilatorilor microscopici în sensul că energia se emite și se absoarbe de către aceștia în *cuante* (cantități discrete de energie) cu valoarea  $E=h \cdot \nu$ , numite fotoni. Cuantificarea energiei câmpului electromagnetic, a fenomenelor de emisie și de absorbție a energiei, prin constanta lui Planck sunt descoperiri fundamentale pentru înțelegerea proceselor fizice care au loc la scară microscopică.

Energia radiației emise de un corp în unitatea de timp, pe unitatea de suprafață, se numește **radianță spectrală**  $\mathcal{R}$ :

$$[\mathcal{R}] = \frac{[\text{energie}]}{[\text{timp}] \cdot [\text{suprafata}]} = \frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} = \frac{\text{W}}{\text{m}^2}. \quad (3)$$

Expresia radianței spectrale pentru un corp negru se obține cu ajutorul legii de distribuție a lui Planck conform relației:

$$\mathcal{R} = \int_0^{\infty} \rho(\nu, T) d\nu = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} T^4 = \sigma T^4 \Rightarrow R = \sigma T^4. \quad (4)$$

Această lege se numește legea Stefan-Boltzmann, iar  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$  este constanta Stefan-Boltzmann. Aceasta este o lege de conversie a energiei de agitație termică, evaluată de temperatura absolută, în energie electromagnetică evaluată de radiația spectrală: energia electromagnetică emisă de un corp negru depinde doar de puterea a patra a temperaturii sale absolute.

Pentru corpurile care nu sunt absolut negre formula se corectează cu un factor subunitar  $\varepsilon$  numit emisivitate care depinde de natura corpului emisiv:

$$\mathcal{R} = \varepsilon T^4. \quad (5)$$

Schimbul de energie dintre un corp încălzit și mediul înconjurător se realizează în general în trei moduri: prin conducție, prin convecție și prin radiație. În anumite condiții, cum ar fi o bună izolare a corpului încălzit și o temperatură relativ ridicată a acestuia, energia disipată prin conducție și convecție poate să fie neglijată în raport cu energia pierdută prin radiație. Aceste condiții sunt îndeplinite de filamentul unui bec aflat la temperaturi mai mari ca 800°C. Puterea electrică consumată de bec  $P = U \cdot I$ , este disipată aproape integral sub forma de radiație electromagnetică, astfel  $\mathcal{R} = P/S$  radianța spectrală fiind tocmai puterea emisă de unitatea de suprafață pentru care avem relația:

$$P = UI = \mathcal{R}S = \varepsilon \sigma S(T^4 - T_0^4) = K(T^4 - T_0^4), \quad (6)$$

unde  $T$  este temperatura filamentului,  $T_0$  este temperatura mediului ambiant,  $\varepsilon$  – emisivitatea filamentului,  $S$  – suprafața filamentului, iar  $K = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S$  este o

constantă a experimentului. Pentru temperaturi mai mari ca  $800^{\circ}\text{C}$  se îndeplinește condiția  $T \gg T_0$  și relația de mai sus devine:

$$P = U \cdot I = K \cdot T^4, \quad (7)$$

prin logaritmare obținem:

$$\ln P = \ln K + 4 \cdot \ln T. \quad (8)$$

Prin reprezentarea grafică a lui  $\ln P$  în funcție de  $\ln T$  se obține o dreaptă a cărei pantă are valoarea 4, ceea ce reprezintă o verificare a legii Stefan-Boltzmann.

### 3. Aplicații

Așa cum am arătat anterior orice corp aflat la o temperatură mai mare de 0 K emite radiații electromagnetice. La temperaturile obișnuite maximul funcției de distribuție al energiei radiante se găsește în domeniul radiației infraroșii și doar o parte extrem de mică din această radiație se găsește în domeniul vizibil. De aceea radiația emisă de corpurile aflate la temperatura camerei este invizibilă pentru ochiul uman. Există dispozitive care permit observarea radiației infraroșii și o transformă în lumină vizibilă. Astfel de dispozitive pot să aibă aplicații în dispozitive de vedere pe timp de noapte așa cum ar fi binoclurile în infraroșu.

Corpurile mamiferelor cu sânge cald emit o cantitate de radiație IR mai mare decât corpurile înconjurătoare fapt care face ca aceste corpuri să fie extrem de bine observate prin dispozitivele de vedere nocturne. Valoarea lungimii de undă maxime a radiației electromagnetice emisă de corpuri depinde de temperatura acestora (conform legii de deplasare a lui Wien  $\lambda_{\max} T = b = 2.8978 \times 10^{-3} \text{ mK}$ ). Acest fapt este utilizat în practică pentru a obține o scală de temperatură prin măsurarea radiației electromagnetice. Astfel de dispozitive se pot întâlni la inginerii constructori care determină gradul de izolare al cladirilor (adică cantitatea de căldură pierdută prin radiație de către diverse construcții).

### 4. Metodica experimentală

#### 4.1 Montajul experimental

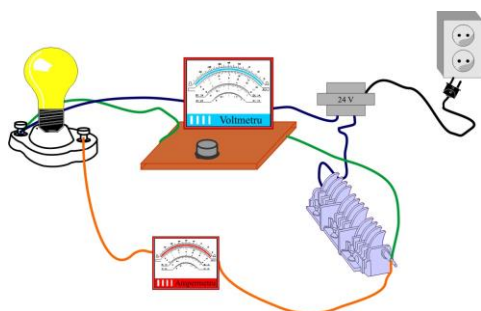


Figura 2.

Pentru verificarea legii Stefan-Boltzmann se folosește un bec de 24 V și 0,1A, o sursă de alimentare de 24 V, un reostat, un miliampermetru și un voltmetru, legate ca în montajul din figura alăturată. Se realizează montajul din figura 2.

#### 4.2 Modul de lucru

1. Se măsoară tensiunea din 2 în 2 V începând cu valoarea de 6V.

2. Pentru fiecare valoare a tensiunii electrice se măsoară valorile corespunzătoare ale intensității curentului electric.

#### 4.3 Prelucrarea datelor

1. Se determină puterea consumată folosind relația

$$P = U \cdot I \quad (9)$$

2. Se determină rezistența filamentului cu relația:

$$R = U/I \quad (10)$$

3. Se deduce temperatura filamentului din legea variației rezistenței cu temperatura:

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t) \Rightarrow T = T_0 + \frac{R - R_0}{\alpha \cdot R_0} \quad (11)$$

unde  $\alpha = 0.0053 \text{ grad}^{-1}$ ,  $T_0 = 300 \text{ K}$ , iar  $R_0 = 0,9 \Omega$  reprezintă rezistența la temperatura „rece” a filamentului (valorile ridicate ale temperaturii filamentului permit aceste aproximații)

4. Se completează tabelul următor:

Tabelul 1

U [V]	I [A]	P [W]	ln P	R [Ω]	T [K]	ln T
6						
8						
10						
12						
14						
16						
18						
20						

5. Se reprezintă grafic  $\ln P = f(\ln T)$
6. Se aleg două puncte de pe grafic (cât mai îndepărtate dar în domeniu de reprezentare), se coboară perpendicularele pe axe, iar din triunghiul dreptunghic rezultat se calculează panta graficului:

$$\frac{\Delta(\ln P)}{\Delta(\ln T)} = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{\ln T_2 - \ln T_1} \quad (12)$$

și se compară cu valoarea teoretică 4, apreciindu-se corectitudinea verificării legii Stefan-Boltzmann.