Verificarea experimentală a **legii radiației termice**

Considerații teoretice

Corpurile emit şi absorb energie sub formă de radiație electromagnetică: gazele au un spectru de emisie discontinuu (sub formă de linii privit prin spectroscop), lichidele au un spectru sub formă de benzi, iar corpurile solide au un spectru continuu, pentru toate frecvențele

Orice corp aflat la o temperatura mai mare de zero Kelvin, datorită oscilațiilor sarcinilor elementare ce-l alcătuiesc, emite radiație electromagnetică. Această radiație se numeşte ***radiație termică*** şi are un spectru continuu.

Puterea de emisie şi cea de absorbție diferă de la un corp la altul, dar raportul lor este o expresie universală ce depinde doar de temperatura corpului şi de lungimea de undă (frecvența) radiației, expresie numită ***funcția de distribuție a lui Planck***.

Un corp total absorbant, respectiv total emisiv se numeste 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, ρ, adică energia dW emisă în unitatea de volum dV într-un domeniu spectral $d\nu$ este chiar funcția lui Planck:

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

unde: $k_B=1{,}38\cdot10^{-23}$ J/K e constanta lui Boltzmann,
$c = 3\cdot10^8$ m/s viteza luminii (a undelor electromagnetice), iar
$h=6{,}6\cdot10^{-34}$ J·s este constanta lui Planck.

Constanta lui Planck cuantifică energia oscilatorilor microscopici în sensul că energia se emite şi se absoarbe de către aceştia în cuante ("porții") cu valoarea $E=h\nu$, numite fotoni. Cuantificarea energiei câmpului electromagnetic, a fenomenelor de emisie şi de absorbție a energiei, prin constanta lui Planck sunt descoperiri fundamentale pentru înțelegerea proceselor la scară microscopică.

Energia radiației emise de un corp în unitatea de timp de unitatea de suprafață de o singură parte a sa, într-un unghi solid 2π, se numeşte ***radianță integrală R***:

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

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

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

Această lege se numeşte legea radiației termice sau legea lui Stefan-Boltzmann, iar $\sigma=5{,}67\cdot10^{-8}$ W/(m^2·k^4) este ***constanta lui Stefan şi Boltzmann***. Aceasta este o lege de conversie a energiei de agitație termică evaluată de temperatura absolută în energie electromagnetică evaluată de radianța spectrală: "***energia electomagnetică 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 ε numit emisivitate care depinde de natura corpului emisiv:

$$R = \varepsilon\sigma T^4 \qquad (4)$$

Schimbul de energie dintre un corp încălzit şi mediul înconjurător se realizează în general în trei moduri: prin conducție, prin convecție şi prin radiație. In anumite condiții, cum ar fi o bună izolare a corpului încălzit şi o temperatură relativ ridicată a acestuia, energia disipată prin conducție şi convecție poate fi neglijată în raport cu cea 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·I, este disipată aproape integral sub formă de radiație electromagnetică, R=P/S, radianța spectrală fiind tocmai puterea emisă de unitatea de suprafață:

$$P = U\cdot I = R\cdot S = \varepsilon\sigma S\,(T^4 - T_o^4) = K\cdot(T^4 - T_o^4) \qquad (5)$$

unde: T este temperatura filamentului,
T_o este temperatura mediului ambiant,
ε este emisivitatea filamentului (corp alb $0<\varepsilon<1$ corp negru),
S – suprafața filamentului, iar
$K=\varepsilon\sigma S$ este o constanta a experimentului.

Pentru temperaturi mai mari ca 800°C se îndeplineşte condiția $T>>T_o$ şi relația de mai sus devine:

$$P=U\cdot I=K\cdot T^4 \qquad (6)$$

Prin logaritmare găsim:

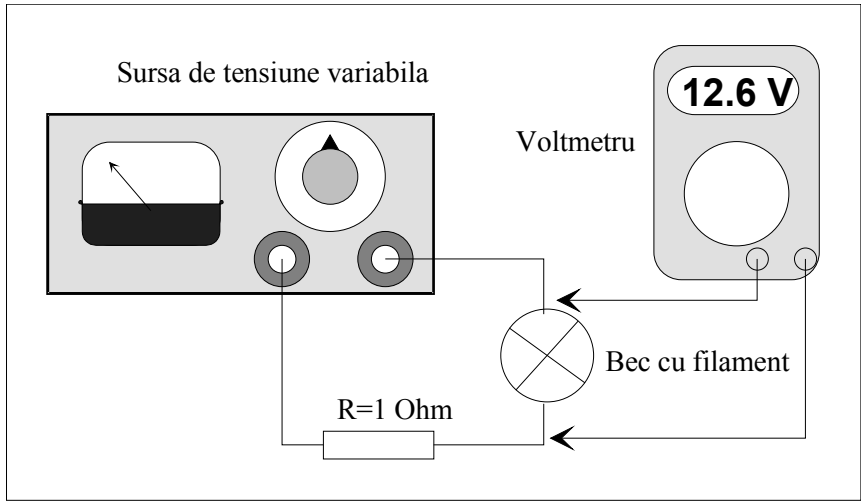
$$\ln P = 4\cdot\ln T + \ln K \qquad (7)$$

Prin reprezentarea grafică a lui "ln P" în funcție de "ln T"se obține o dreapă a cărei panta are valoarea 4, ceea ce reprezintă o verificare a legii radiației termice a lui Stefan-Boltzmann.

Metoda experimentală

Pentru verificarea legii lui Stefan-Boltzmann se foloseşte un bec cu filament, o sursă de alimentare cu tensiune reglabilă şi un voltmetru digital ca în montajul din figură. Se măsoară succesiv tensiunea pe bec şi tensiunea pe rezistența de 1Ω, care ne spune curentul prin bec ($I=U_R/R$)

Se realizează montajul din figură, se modifică tensiunea de la sursă din volt în volt şi se măsoară de fiecare dată tensiunea pe bec şi intensitătea curentului electric prin bec (tensiunea pe rezistența de 1Ω).



Prelucrarea datelor experimentale

Se determină puterea consumată: $P=UI$

Se determină rezistența filamentului: $R=U/I$

Se calculează temperatura filamentului de bec din legea variației rezistenței electrice cu temperatura:

$$R=R_o\cdot(1+\alpha\cdot t) \quad => t=(R/R_o-1)/\alpha \qquad \text{sau}$$

$$T=T_o+(R/R_o-1)/\alpha$$

unde $\alpha=5{,}3\cdot10^{-3}$ grd^{-1} este coeficientul de temperatură a wolframului, metalul din care este făcut filamentul de bec, $T_o=273$ K, iar $R_o=1{,}78\Omega$ reprezintă rezistența "la rece" a filamentului (valorile ridicate ale temperaturii filamentului permit aceste aproximații).

Se completează tabelul următor:

U	I	P	ln P	R	T	ln T
[V]	[A]	[W]	-	[Ω]	[K]	-

Se reprezină grafic ln P =f (ln T)

Se aleg două puncte de pe grafic, se coboară perpendicularele pe axe, iar din triunghiul dreptunghic rezultat se calculează panta graficului cu relația:

$$tg\alpha = \Delta(\ln P) / \Delta(\ln T)$$

şi se compară cu valoarea teoretica 4, apreciindu-se corectitudinea verificării legii lui Stefan-Boltzmann.