

Cursul 7.3 Radiația termică: Corpul negru

Corpul negru

Legea lui Kirchhoff

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).

Domeniul În 1874 J. Stefan a arătat că puterea emisă pe unitatea de suprafață, R (radianta) de către un corp ce se afla la temperatura absolută T (K) numită și radianta totală, poate fi reprezentată prin legea empirică:

$$R = e \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (1)$$

unde e se numește emisivitatea și $e \leq 1$.

Legea lui Kirchhoff: Pentru radiația termică raportul dintre puterea de emisie și puterea de absorbție a unui corp nu depinde decât de temperatura corpului fiind independent de temperatura sa.

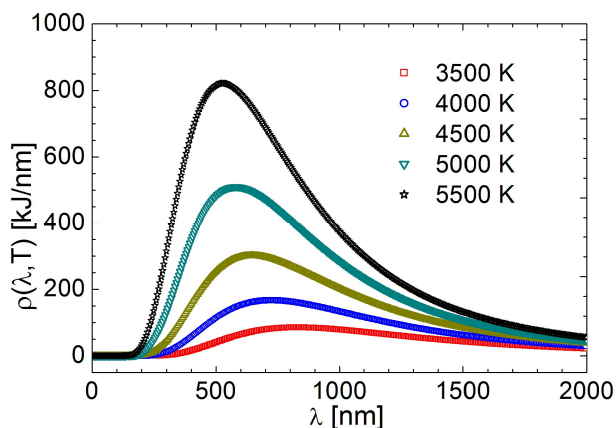


Figura 1. Funcția de densitate spectrală de energie pentru diferite temperaturi

Proprietatea unui corp de a emite radiații este strins legată de proprietatea acestuia de a absorbi radiații: un bun absorbant de radiații este și un bun emitor de radiații. Un corp aflat în echilibru termodinamic cu mediul ambiant trebuie să emită aceeași cantitate de radiații pe care o absoarbe.

Definiție: Corpul negru este acel corp absorbant perfect absoarbe toate radiațiile electromagnetice care ajung pe el indiferent de frecvența lor.

Legea lui Stefan-Boltzmann

În 1884 L Boltzmann a dedus că în cazul corpului negru $\epsilon = 1$. Astfel că relația (C1.5) a lui Stefan devine legea lui Stefan-Boltzmann:

$$R = \sigma \cdot T^4 \quad (2)$$

unde $\sigma = 5.669 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ este constanta lui Stefan-Boltzmann.

Legea de deplasare a lui Wien

În 1893 W. Wien folosind raționamente termodinamice generale a prevăzut că λ_{\max} variază invers proporțional cu temperatura:

$$\lambda_{\max} \cdot T = b \quad (3)$$

care este cunoscută lege de deplasare a lui Wien, confirmată de experiențe ulterioare.

Iar $b = 2.898 \times 10^{-3} \text{ mK}$ este constanta lui Wien.

Funcția de densitate spectrală de energie

În 1894 folosind considerații termodinamice generale ca $u(\lambda, T)$ trebuie să fie de forma:

$$u(\lambda, T) = \lambda^{-5} f(\lambda, T) \quad (4)$$

Mai târziu Lord Reyleigh și J. Jeans au dedus o altă funcție de distribuție:

$$u(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^3}{c^3} kT \quad (5)$$

Pentru lungimile de undă mari rezultatul lui Reyleigh-Jeans se apropie de rezultatele experimentale, totuși nu prezintă maximum observat experimental și diverge atunci când $\lambda \rightarrow 0$. Această comportare este cunoscută sub numele de „catastrofa

ultravioleata” și are drept consecință faptul că energia totală pe unitatea de volum este infinită.

Teoria cuantică a lui Planck

Nu se poate găsi o soluție pentru aceste dificultăți folosind fizica clasică. În decembrie 1900 Max Planck prezintă o nouă formă de distribuție spectrală a radiației corpului negru. Aceasta este bazată pe o ipoteză revoluționară:

Postulat: energia unui oscilator de frecvență dată ν nu poate lua orice valori arbitrare între 0 și ∞ ci doar valori discrete $n\varepsilon_0$. Unde n este un număr întreg pozitiv sau zero iar ε_0 este o cantitate finită sau cuantă de energie care poate depinde de frecvență.

Se poate arăta că:

$$u(\lambda, T) = \frac{8\pi}{\lambda^4} \frac{\varepsilon_0}{e^{\frac{\varepsilon_0}{kT}} - 1} \quad (6)$$

iar pentru a satisface și legea lui Wien trebuie să considerăm:

$$\varepsilon_0 = h \cdot \nu \quad (7)$$

unde h este o constantă fizică fundamentală numită constantă lui Planck. Atunci legea de distribuție a lui Planck este dată de relația:

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

iar în funcție de frecvență este:

$$u(\nu, T) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (9)$$

Ideea cuantificării energiei era în totală contradicție cu fizica clasică iar teoria lui Planck nu a fost acceptată cu ușurință. Nu a trecut mult și conceptul cuantic a fost folosit pentru explicarea altor fenomene. În 1905 Einstein a putut interpreta efectul fotoelectric introducând ideea de fotoni, sau cuante de lumină.