

STEFAN-BOLTZMANNŮV ZÁKON A ZÁŘENÍ ČERNÉHO TĚLESA

Pracovní úkoly:

1. Experimentálně proměřte závislost zářivého výkonu I žárovky na příkonu P vlákna žárovky.
2. Určete absolutní teploty T vlákna žárovky s wolframovým vláknem pro všechna naměřená data.
3. Sestrojte graf závislosti zářivého výkonu I na příkonu P žárovky, graf závislosti zářivého výkonu I na absolutní teplotě T vlákna žárovky a graf potřebný pro ověření hodnoty exponentu ve Stefanově-Boltzmannově zákonu, tj. graf závislosti $\ln I$ na $\ln T$.
4. Ověřte hodnotu exponentu absolutní teploty ve Stefanově-Boltzmannově zákonu.

Pomůcky: Snímač zářivého výkonu s měřákem, žárovka s wolframovým vláknem, zdroj stejnosměrného napětí, ampérmetr, voltmetr, vodiče

Teorie:

Na přelomu devatenáctého a dvacátého století byl formulován a experimentálně potvrzen soubor zákonů popisujících záření absolutně černého tělesa. Základním zákonem je Planckův vyzařovací zákon, který vyjadřuje spektrální závislost intenzity záření absolutně černého tělesa:

$$dI(\lambda, T) = \frac{\hbar}{\pi^2 c^2} \frac{\omega^3}{\exp(h\nu / kT)} d(\omega)$$

kde ω je úhlová frekvence záření a T je absolutní teplota dokonale černého tělesa. Tento zákon byl Maxem Planckem publikován v roce 1900.

Wienův posunovací zákon určuje polohu maxima (λ_{max}) Planckova vyzařovacího zákona v závislosti na teplotě. Je důsledkem Planckova vyzařovacího zákona, ale byl Wilhelmem Wienem publikován o několik let dříve. Závislost na teplotě je reciproká:

$$\lambda_{max} = b \cdot \frac{1}{T}$$

Ještě dříve byl publikován Stefanův-Boltzmannův zákon, který udává celkovou energii emitovanou dokonale černým tělesem v závislosti na jeho teplotě. Tento zákon je opět důsledkem Planckova vyzařovacího zákona a lze ho odvodit integrací Planckova zákona přes všechny vlnové délky. Výsledkem je výraz:

$$I(T) = \frac{2\pi^5}{15} \cdot \frac{k^4}{c^2 h^3} \cdot T^4$$

kde c je rychlost světla ve vakuu, k je Boltzmannova konstanta a h je Planckova konstanta. Konstantní členy na pravé straně rovnice se často sdružují do jediné konstanty a zákon je vyjadřován v následující podobě:

$$I(T) = \sigma \cdot T^4$$

Celková energie (nebo celková intenzita) záření emitovaného jednotkovou plochou povrchu dokonale černého tělesa za jednotku času je dána součinem Stefanovy-Boltzmannovy konstanty σ se čtvrtou mocninou jeho absolutní termodynamické teploty.

Tento zákon popisuje také záření tzv. šedého tělesa, které je charakteristické tím, že koeficient absorpce jeho povrchu je nezávislý na vlnové délce záření a je roven jedné. Žhavené wolframové

vlákno žárovky dobře splňuje podmínku pro šedé těleso. Záření je detekováno v krátké vzdálenosti od zdroje a je měřen zářivý výkon.

Pokyny pro měření a zpracování:

1. Experimentálně proměřte závislost zářivého výkonu I žárovky na příkonu P . Stejnoseměrné napětí na žárovce lze regulovat na napájecím zdroji. Měřte v intervalu od 5 V do 12 V s krokem cca 0,5 V. Pro příkon žárovky platí vztah:

$$P = U_z \cdot I_z,$$

kde U_z je napětí na žárovce a I_z proud tekoucí žárovkou.

2. Absolutní teplotu T vlákna žárovky je nutno vypočítat pomocí teplotní závislosti odporu wolframového vlákna žárovky:

$$R(t) = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t + \beta \cdot t^2),$$

kde R_0 je odpor vlákna za teploty 0°C .

Pro wolfram platí hodnoty:

$$\alpha = 4,82 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1},$$

$$\beta = -6,76 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-2},$$

$$R(t = 25^\circ\text{C}) = 0,9 \Omega.$$

Úpravou uvedené závislosti získáte kvadratickou rovnici, pomocí níž vypočtete teplotu wolframového vlákna t [$^\circ\text{C}$] a následně absolutní teplotu T [K].

3. Ověření hodnoty exponentu absolutní teploty ve Stefanově-Boltzmannově zákonu lze provést nejspíše pomocí zlogaritmování. Výsledkem je výraz:

$$\ln I = \ln \sigma + 4 \cdot \ln T$$

Tato závislost je lineární ($y = q + k \cdot x$) a po provedení lineární regrese lze srovnat regresní koeficient k s očekávanou hodnotou 4. Hodnoty regresních koeficientů určete včetně jejich chyb.