

Zračenje crnog tijela – Planckova hipoteza ($\Delta E = h\nu$)

Planckov zakon zračenja

$$u_T(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}$$

- $u_T(\nu)$... gustoća energije zračenja idealnog crnog tijela temperature T po jedinici volumena i po intervalu frekvencije $(\nu, \nu + d\nu)$ ($[J/(m^3 Hz)]$)
- U_T ... iznos energije zračenja po jedinici volumena (stalan u termičkoj ravnoteži)

$$U_T = \int_0^\infty u_T(\nu) d\nu = \left| \nu = \frac{c}{\lambda} \right| = \int_0^\infty u_T \left(\frac{c}{\lambda} \right) \frac{c}{\lambda^2} d\lambda$$

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} J_s \dots \text{Planckova konstanta}; \quad \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

$$k_B = 1.380 \cdot 10^{-23} JK^{-1} \dots \text{Boltzmannova konstanta}$$

Rezultati klasične fizike

- *Rayleigh-Jeansov zakon*

$$u_T^{(RJ)}(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} k_B T \dots \text{vrijedi za } \nu \ll k_B T/h$$

- *Wienova aproksimacija*

$$u_T^{(W)}(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} h\nu e^{-\frac{h\nu}{k_B T}} \dots \text{vrijedi za } \nu \gg k_B T/h$$

Empirijski zakoni/posljedice Planckovog zakona

- *Wienov zakon:* Gustoća energije zračenja idealnog crnog tijela temperature T je maksimalna na valnoj duljini λ_{max} danoj formulom

$$\lambda_{max} T = 2.898 \cdot 10^{-3} mK.$$

- *Stefan-Boltzmanov zakon:* Ukupna snaga zračenja po jedinici površine idealnog crnog tijela temperature T je

$$P_T = \sigma_{SB} T^4, \quad \sigma_{SB} = \frac{2\pi^5 k_B^4}{15c^2 h^3} = \frac{\pi^2 k_B^4}{60c^2 \hbar^3} = 5.67 \cdot 10^{-8} W m^{-2} K^{-4} .$$

Snaga (energija u jedinici vremena) zračenja idealnog crnog tijela po jediničnoj površini:

$$p_T(\nu) = \frac{c}{4} u_T(\nu), \quad P_T = \int_0^\infty p_T(\nu) d\nu = \frac{c}{4} U_T .$$