Spektrální hustota záření $\rho(\nu)$ ($\rho(\lambda)$) je definována jako hustota záření připadající na jednotkový interval frekvencí (na jednotkový interval vlnové délky)

$$\rho(\nu) = \frac{\mathrm{d}\rho}{\mathrm{d}\nu}, \rho(\lambda) = \frac{\mathrm{d}\rho}{\mathrm{d}\lambda} \tag{37}$$

- **Rozbor:** Jaká je jednotka, jaký je fyz. význam, v jakých případech půjde tato veličina využit?

6.2 Záření černého tělesa

Pro pevnou látku (dutina v pevné látce s velmi malým otvorem) nebo plyn v termodynamické rovnováze lze popsat spektrální hustotu záření Planckovým vzorcem pro záření černého tělesa

$$\rho(\nu, T) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} \tag{38}$$

Stephan-Boltzmannův zákon - je důsleden Wienova zákona $\rho(\nu) = \nu^3 F(\nu/T)$ a lze odvodit z Planckova zákona. Praví, že intenzita vyzařování (energie vyzářená jednotkovou plochou černého tělesa za jednu sekundu) je přípo úměrná čtvrté mocnině teploty zářícího černého tělesa

$$I = 5.67010^{-8} T^4 \tag{39}$$

- **Rozbor:** Jaká je jednotka, jaký je fyz. význam, v jakých případech půjde tato veličina využit?

- **Příklad:** Převeďte $\rho(\nu, T)$ na $\rho(\lambda, T)$. Nezapomentě při výpočtu, že jednotkovému intervalu vlnových délek neodpovídá jednotkový interval frekvencí.

$$\rho(\nu) = \frac{\mathrm{d}\rho}{\mathrm{d}\nu}, \rho(\lambda) = \frac{\mathrm{d}\rho}{\mathrm{d}\lambda} \tag{40}$$

$$|\mathrm{d}\nu| = \frac{c}{\lambda^2} |\mathrm{d}\lambda| \tag{41}$$

$$\rho(\lambda, T) = \frac{8\pi h\nu^3}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \tag{42}$$

- **Domácí práce:** Vykreslete závislost $\rho(\lambda, T) = \mathrm{f}(\lambda)$ pro různé teploty (1000K, 3000 K, 5000K, 10 000 K). Vyznačte vlnovou délku λ_m, pro kterou tato závislost vykazuje maximum a ověřte, že platí Wienův posunovací zákon

$$\lambda_m T = const. \tag{43}$$

- **Domácí práce:** Vykreslete závislost $\rho(\lambda, T) = \mathrm{f}(\lambda)$ pro různé teploty (1000K, 5000K, 10 000 K). Do stejného grafu vykreslete i Rayleigh-Jeansovu (h$\nu \ll$ kT) a Wienovu aproximační formuly (h$\nu \gg$ kT)

$$\rho(\nu,T)^{RJ} = \frac{8\pi kT\nu^2}{c^3} \quad (44)$$

$$\rho(\nu,T)^{W} = \frac{8\pi kT\nu^3}{c^3} e^{-h\nu/kT} \quad (45)$$

- **Domácí práce:** Absolutně černé těleso se ochlazuje prostřednictvím tepelného záření. Při tomto ochlazování se ve spektru rozdělení zářivé energie podle vlnové délky posunulo maximum spektrálního monochromatického vyzařování o 500 nm. Určete o kolik stupňů se těleso ochladilo, když počátrční hodnota činila 2000 K. [o cca 500 K]

- **Domácí práce:** Hmotnost Slunce činí 2×10^{30}kg. Poloměr Slunce je roven 7×10^8m. Teplota slunečního povrchu je 6000 K. Jakou hmotu ztrácí Slunce tepelným zářením za 1 s? Za jak dlouho ztratí Slunce 1 procento své hmotnosti? [1×10^9 kg/s, $10^1 1$ let]

- **Domácí práce:** Vypočtěte výkon elektrického proudu, který můsí procházet drátem o průměru 1 mm a délce 200 mm, aby se drát udržel na konstantní teplotě 3500 K? [asi 350 W]

6.3 Einsteinovy koeficienty, síla přechodu, síla oscilátoru, koeficient absorpce

Uvažujme dvouhladinový systém, dolní stav označme 1, horní stav označme 2. Koncentrace částic nacházejících se ve stavu 1 (2) označme N_1 (N_2).
Změna koncentrace částic ve stavu 2 vlivem stimulované emise je

$$\frac{\mathrm{d}N_2}{\mathrm{d}t} = -A_{21}N_2 \quad (46)$$

kde A_{21} [s^{-1}] je Einteinův koeficient samovolné emise.
Změna koncentrace částic ve stavu 2 vlivem absorbce je

$$\frac{\mathrm{d}N_2}{\mathrm{d}t} = B_{12}N_1\rho(\nu) \quad (47)$$

kde B_{12} [$m^3J^{-1}s^{-2}$] je Einteinův koeficient absorbce a $\rho(\nu)$ $[Jsm^{-3}]$ je hustota energie elektromagnetického pole na jednotkový interval frekvemcí.
Změna koncentrace částic ve stavu 2 vlivem stimulované emise je

$$\frac{\mathrm{d}N_2}{\mathrm{d}t} = -B_{21}N_2\rho(\nu) \quad (48)$$

kde B_{21} [$m^3J^{-1}s^{-2}$] je Einteinův koeficient stimulované emise.

Celková změna koncentrace částic ve stavu 2

$$\frac{\mathrm{d}N_2}{\mathrm{d}t} = -A_{21}N_2 + B_{12}N_1\rho(\nu) - B_{21}N_2\rho(\nu) = -\frac{\mathrm{d}N_1}{\mathrm{d}t} \quad (49)$$