Obsazení energetických hladin atomů

- uvažujeme LTE → platí Maxwell, Saha, Boltzmann
  → neplatí Planck, ale platí Kirchhof a $S_\nu = B_\nu$

- detailní rovnováha – srážková < pružné – Maxwell; nepružné – Saha, Boltzmann
  – zářivá – neplatí – má tendenci narušovat Saha a Boltzmanna

- pole záření – v difuzním přiblížení celkem platí detailní rovnováha záření
  – u povrchu ale už moc ne
  – navíc je záření nelokální – nezanedbatelná volná dráha fotonů
  ⇒ teplota záření neodpovídá teplotě v daném místě
  – anizotropie záření – faktor zředění $W = \frac{\omega_*}{4\pi}$

$$\omega_* = \int_0^{2\pi}\int_0^{\theta} \sin\theta \, d\varphi \, d\theta = 2\pi(1-\cos\theta)$$

$$\Rightarrow W = \frac{1}{2}\left(1 - \sqrt{1-\left(\frac{r_*}{r}\right)^2}\right)$$

– na povrchu $W = \frac{1}{2}$

– TE $W = 1$

– mlhoviny $W \ll 1$

- když máme silné pole záření nebude platit Saha a Boltzmann ⇒ NLTE

- rovnice kinetické rovnováhy

$$\underbrace{\frac{\partial n_\ell}{\partial t}}_{\text{položíme rovna nule}} + \underbrace{\nabla\cdot(n_\ell \vec{v})}_{\text{berem malý rychlosti}} = \sum_{u\neq\ell} (n_u \underbrace{P_{u\ell}}_{\text{četnost přechodu}} - n_\ell P_{\ell u})$$

$$\Rightarrow \sum (n_u P_{u\ell} - n_\ell P_{\ell u}) = 0$$

- v detailní rovnováze platí $n_u P_{u\ell} = n_\ell P_{\ell u}$

$$P_{u\ell} = \underbrace{R_{u\ell}}_{\text{zářivé}} + \underbrace{C_{u\ell}}_{\text{srážkové}}$$

- b-faktor $b_\ell = \frac{n_\ell}{n^*_\ell}$

• Četnost zářivých přechodů

– vázané-vázané přechody

– absorpční $$n_l \phi_\nu B_{lu} J_\nu d\nu = n_l 4\pi \frac{\alpha_{lu}}{h\nu} J_\nu d\nu$$

$$n_l R_{lu} = n_l B_{lu} \int_0^\infty \phi_\nu J_\nu d\nu = n_l 4\pi \int_0^\infty \frac{\alpha_{lu}}{h\nu} J_\nu d\nu$$

$$n_l R_{lu} = n_l B_{lu} \bar{J}_{lu} \approx n_l 4\pi \alpha_{lu} \frac{\bar{J}_{lu}}{h\nu}$$

– emisní – spontánní + stimulovaná

$$n_u R^{stim}_{ul} = n_u B_{ul} \bar{J}_{lu} = n_u \frac{g_l}{g_u} B_{lu} \bar{J}_{lu} \approx n_u \frac{4\pi}{h\nu} \frac{g_l}{g_u} \alpha_{lu} \bar{J}_{lu}$$

$$n_u R^{spont}_{ul} = n_u A_{ul} = n_u \frac{2h\nu^3}{c^2} B_{ul} = n_u \frac{g_l}{g_u} \frac{2h\nu^3}{c^2} B_{lu}$$

$$\approx n_u \frac{4\pi}{h\nu} \frac{g_l}{g_u} \frac{2h\nu^3}{c^2} \alpha_{lu}$$

celkově: $$n_u R_{ul} = n_u (A_{ul} + B_{ul} \bar{J}_{lu})$$

– vázané-volné přechody

– fotoionizace $$n_l R_{lk} = n_l 4\pi \int_0^\infty \frac{\alpha_{bf\,lk}}{h\nu} J_\nu d\nu$$

– rekombinace $$n_k R^{spont}_{kl} = n_k \left(\frac{n_l}{n_k}\right)^* 4\pi \int_0^\infty \frac{\alpha_{bf\,lk}}{h\nu} \frac{2h\nu^3}{c} e^{-\frac{h\nu}{kT}} d\nu$$

$$n_k R^{stim}_{kl} = n_k \left(\frac{n_l}{n_k}\right)^* 4\pi \int_0^\infty \frac{\alpha_{bf\,lk}}{h\nu} J_\nu e^{-\frac{h\nu}{kT}} d\nu$$

celkově: $$n_k R_{kl} = n_k \underbrace{\left(\frac{n_l}{n_k}\right)^*}_{n_e \Phi_{ik}} 4\pi \int_0^\infty \frac{\alpha_{bf\,lk}}{h\nu} \left(\frac{2h\nu^3}{c^2} + J_\nu\right) e^{-\frac{h\nu}{kT}} d\nu$$

Obsazení energetických hladin atomů

- četnost srážkových přechodů – uvažují se pouze srážky s elektrony

$$n_u C_{ul} = n_u \left(\frac{n_l}{n_u}\right)^* C_{lu} = n_u \left(\frac{n_l}{n_u}\right)^* n_e q_{lu}(T)$$

rozdělení rychlostí

$$q_{lu} = \int_0^\infty \sigma_{lu}(v)\, f(v)\, dv$$

– soustavy rovnic stat. rovnováhy

$$n_l \sum_u (R_{lu} + C_{lu}) = \sum_u n_u (R_{ul} + C_{ul})$$

– potřebujeme okrajovou rovnici – elneg. $\sum_k \sum_j q_j N_{jk} = n_e$

– částice $\sum_k \sum_j N_{jk} = N_N$

Polarizace atomárních hladin

$g = 2J+1$, $M \in \langle -J, J \rangle$ ... projekce do význačného směru

$\rho_J = \langle JM | \rho | JM' \rangle$ ... matice hustoty stavů $\hat{\rho} = \sum p_\alpha |\psi^{(\alpha)}\rangle \langle \psi^{(\alpha)}|$

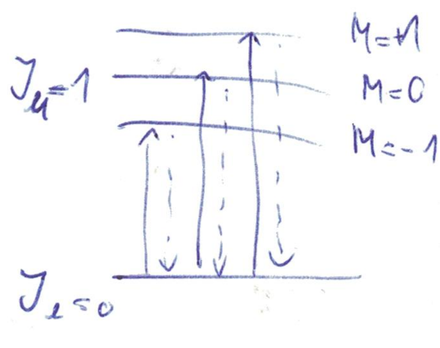
má i nediag. prvky

– anizotropním zářením

– dopadá-li nepol. záření

⇒ excitace do $\Delta M = \pm 1$

⇒ deexcitace $\Delta M = 0, \pm 1$



$$\frac{Q}{I} = \frac{\sin^2\theta}{1+\cos^2\theta}$$

$$\longrightarrow \frac{Q}{I} = \frac{A\sin^2\theta - B\sin^2\theta}{A\sin^2\theta + B(1+\cos^2\theta)}$$

$$A = \sum_{\Delta M = 0} n S \qquad B = \frac{1}{2} \sum_{\Delta M = \pm 1} n S$$

$$S = 3 \begin{pmatrix} J_u & J_l & 1 \\ -M_u & M_l & \Delta M \end{pmatrix}$$