Přenos záření v pohybujícím se prostředí

- prostředí se vůči nám pohybuje rychlostí $v(r)$

  $\Rightarrow$ $\nu' = \nu\left(1 - \frac{\vec n \vec v}{c}\right)$ – foton potká jinou opacitu

$\Rightarrow$ rovnice přenosu:

$$\frac{1}{c}\frac{\partial I}{\partial t} + \vec n\cdot\vec\nabla I = \eta - \chi I \quad \text{... v soustavě pozorovatele}$$

$$\underbrace{\frac{1}{c}\frac{\partial I}{\partial t}}_{\text{položíme rovno nule}} + \vec n\vec\nabla I - \frac{1}{c}\vec n\cdot\vec\nabla\vec v\cdot\vec n\,\nu\frac{dI}{d\nu} \underbrace{- \frac{1}{c}\vec n\cdot\vec\nabla\vec v\,(1-\vec n\vec n)\,\nabla_n I + \frac{3}{c}\vec n\vec\nabla\vec v\vec n I}_{\text{můžeme zanedbat}} = \eta - \chi I$$

- Sobolevova aproximace: – pro prostředí s velkými rychlostmi (1. člen zmizí)

  - předpokládáme opacitu pouze ve spektrální čáře

    $\Rightarrow$ $\chi_L = \frac{\pi e^2}{m_e c} g_l f_{lu}\left(\frac{n_l}{g_l} - \frac{n_u}{g_u}\right)$ $\qquad \chi(\nu) = \chi_L\phi(\nu)$, $\quad \eta(\nu) = \chi_L S_L \phi(\nu)$

  - zavedeme integrál profilu

    $$y = \int_{\nu}^{\infty}\phi(\nu')\,d\nu' \quad \text{pro } \vec n\cdot(\vec\nabla\vec v)\vec n > 0$$

    $$y = \int_{-\infty}^{\nu}\phi(\nu)\,d\nu' \quad \text{pro } \vec n\cdot(\vec\nabla\vec v)\vec n < 0$$

  - když máme úzkou čáru: $\frac{\nu_0}{c}|\vec n\vec\nabla\vec v\vec n|\frac{dI}{dy} = \chi_L[S_L - I]$

    $\rightarrow$ Sobolevova opt. hloubka $\tau(\vec n) = \frac{\chi_L c}{\nu_0|\vec n\vec\nabla\vec v\vec n|}$

  - okrajová podmínka pro $y=0 \Rightarrow I = I_c$

    $\Rightarrow$ $I(\vec n, y) = I_c e^{-\tau(\vec n)y} + S_L[1 - e^{-\tau(\vec n)y}]$

$\rightarrow$ integrací přes profil dostaneme $\bar I(\vec n) = I_c\beta(\vec n) + S_L[1-\beta(\vec n)]$,

kde $\beta = \frac{1-e^{-\tau(n)}}{\tau(n)}$

→ integrací přes úhly dostaneme

$$\bar{J} = \frac{1}{4\pi} \oint I_c \beta(\vec{n})\, d\omega + S_L(1-\beta),$$

$$\text{kde } \beta = \frac{1}{4\pi} \oint \beta(\vec{n})\, d\omega = \frac{1}{4\pi} \oint \frac{1-e^{-\tau(\vec{n})}}{\tau(\vec{n})}\, d\omega$$

Sobolevova pravděpodobnost úniku fotonu

- aby byla aprox. splněna musí být velký gradient rychlostí
  - čára se posune tak, že lze řešit přes malou oblast určenou rezonanční podmínkou:

$$\frac{\nu-\nu_0}{\nu_0} = \frac{\vec{n}\cdot\vec{v}}{c} = \frac{v_e}{c} \Rightarrow \frac{\Delta\nu}{\nu_0} = \frac{1}{c}\frac{dv_e}{dl}\Delta l$$

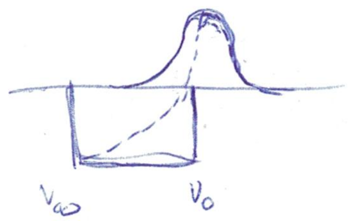
- Δl ... vzdálenost na které spolu hmota interaguje v čáře — rezonanční oblast
  $\Delta \nu$ ... šířka spekt. čáry – většinou $\Delta\nu_D$

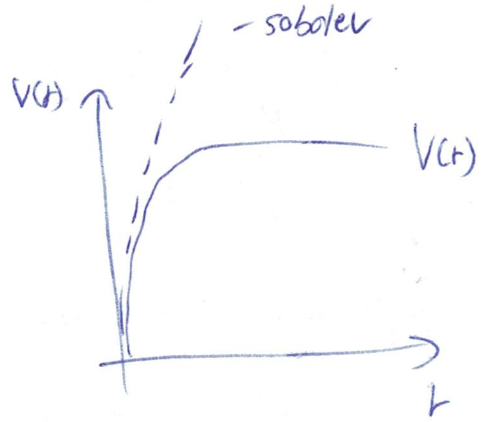
$$\Rightarrow \text{sobolevova délka} \quad \Delta l_S = \frac{c\Delta\nu_D}{\nu_0 \frac{dv_e}{dl}}$$

$$\Delta l_S \approx \frac{v_{th}}{v_0}\, l_0$$ – typická délka prostředí

(v_0 – rychlost expanze)

- P-Cygni profil





Přenos záření metodou Monte Carlo

- zkoumejme záření jako balík fotonů – generujeme s danou pravděp. urč. jevy
  - vypustíme fotony a necháme je interagovat
- distribuční fce $q(x_0) = \int_a^{x_0} P(\xi)\, d\xi \quad 0 \le q(x_0) \le 1, \quad \int_a^b P(\xi)\, d\xi = 1$
- P že nebude $P(\tau) = e^{-\tau}$, P že bude $P_i(\tau) = 1 - e^{-\tau} = q$