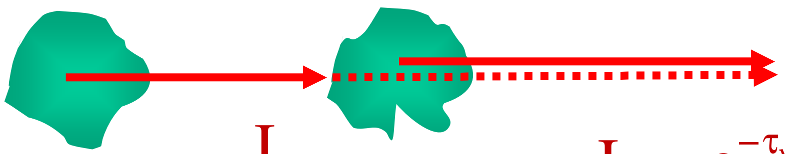


$I_{\nu,0}$ $\qquad$ $I_{\nu,0} \cdot e^{-\tau_\nu} + I'_\nu$

$$I_\nu(\tau_\nu) = I_{\nu,0}\, e^{-\tau_\nu} + B_\nu\left(1 - e^{-\tau_\nu}\right)$$

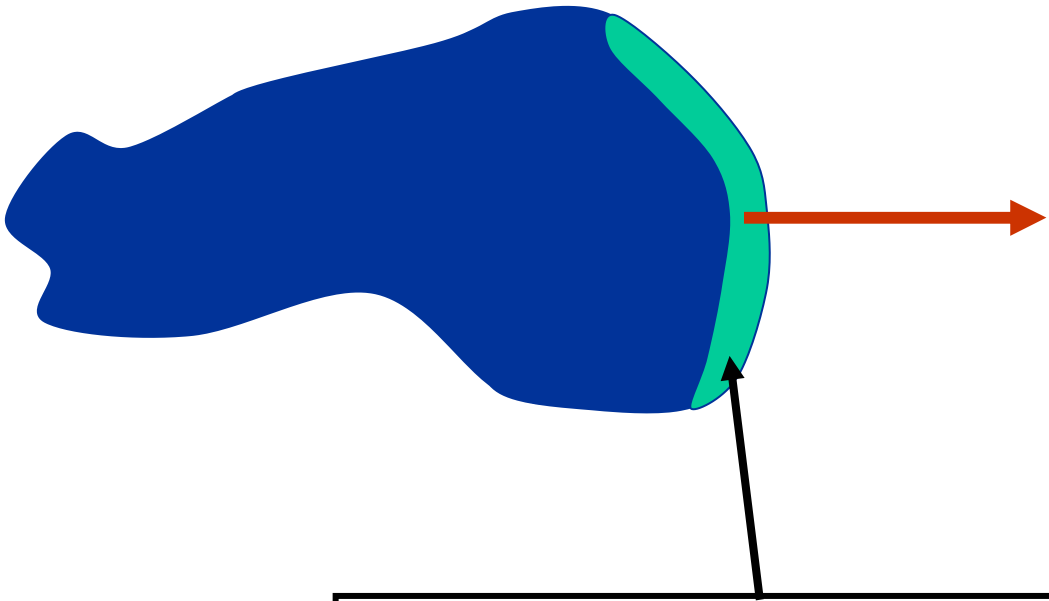
Radiobereich

$$B_\nu = \frac{2h\nu^3}{c^2}\,\frac{1}{\exp\left(\frac{h\nu}{k_B T}\right) - 1} \rightarrow \frac{2k_B T\nu^2}{c^2}$$

$$\longrightarrow \quad \boxed{I_\nu(\tau_\nu) = I_\nu(0)\, e^{-\tau_\nu} + \frac{2k_B T\nu^2}{c^2}\left(1 - e^{-\tau_\nu}\right)}$$

Optisch dickes Gebiet: $\tau_\nu \gg 1 \longrightarrow e^{-\tau_\nu} \approx 0 \longrightarrow \boxed{I_\nu = \frac{2k_B T\nu^2}{c^2}}$

- Information über **Temperatur** des HI-Gebietes.
- **Keine Information** über Masse der HI Wolke oder die Zahl der HI Atome



Charakteristische Säulendichte

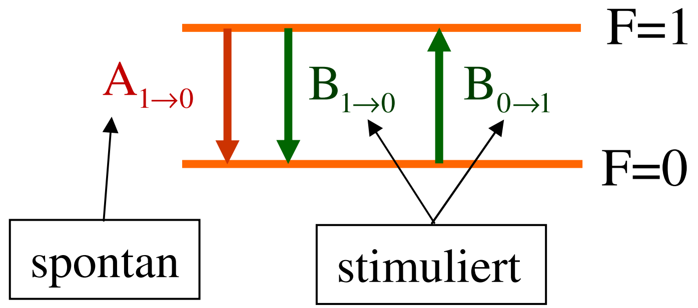
$$\tau \approx 1$$

$$\rightarrow \Sigma_{crit} \approx 10^{21}\,\mathrm{cm}^{-2}$$

Der Absorptionskoeffizient:

Dichte

$$\kappa_\nu \equiv \frac{h\nu}{4\pi}\left(n_0 B_{0\to1} - n_1 B_{1\to0}\right)$$



Es gilt:

Spontaner Emissionskoeff: $A_{1\to0} = \frac{2h\nu^3}{c^2} B_{1\to0}$ **und** $g_0\, B_{0\to1} = g_1\, B_{1\to0}$

Thermodynamisches Gleichgewicht:

$(\tau_{coll} \approx 10^3\,\text{yrs} \ll \tau_{emit} \approx 10^7\,\text{yrs})$

$$\frac{n_1}{n_0} = \frac{g_1}{g_0}\exp\left(-\frac{h\nu}{k_B T}\right) \approx \frac{g_1}{g_0}\left(1 - \frac{h\nu}{k_B T}\right)$$

Radiobereich

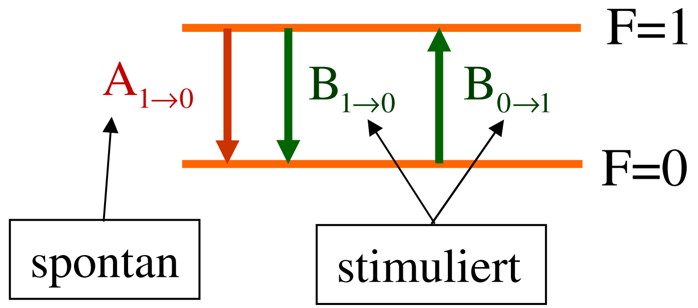
$g_1 = 3 \qquad g_0 = 1$

$\rightarrow$ $B_{0\to1} = 3 \cdot B_{1\to0}$ aber $n_1 < 3 \cdot n_0 \;\to\; \kappa > 0$

Der Absorptionskoeffizient:

Dichte

$$\kappa_\nu \equiv \frac{h\nu}{4\pi}\left(n_0 B_{0\to1} - n_1 B_{1\to0}\right)$$



Es gilt:

Spontaner Emissionskoeff: $A_{1\to0} = \dfrac{2h\nu^3}{c^2} B_{1\to0}$ **und** $g_0\, B_{0\to1} = g_1\, B_{1\to0}$

Thermodynamisches Gleichgewicht:

$(\tau_{coll} \approx 10^3\,\text{yrs} \ll \tau_{emit} \approx 10^7\,\text{yrs})$

$$\frac{n_1}{n_0} = \frac{g_1}{g_0}\exp\left(-\frac{h\nu}{k_B T}\right) \approx \frac{g_1}{g_0}\left(1 - \frac{h\nu}{k_B T}\right)$$

Radiobereich

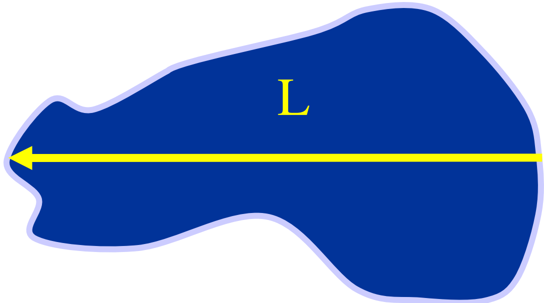
$$\kappa_\nu = \frac{c^2}{8\pi\nu^2}\frac{g_1}{g_0}A_{1\to0}\, n_0\left(1 - \frac{g_0}{g_1}\frac{n_1}{n_0}\right)$$

$$\boxed{\kappa_\nu = \frac{c^2}{8\pi\nu}\left(\frac{g_1}{g_0}\right)A_{1\to0}\frac{h}{k_B T}\, n_0 > 0}$$

$$\boxed{I_\nu(\tau_\nu) = I_\nu(0)\, e^{-\tau_\nu} + \frac{2k_B T\nu^2}{c^2}\left(1 - e^{-\tau_\nu}\right)}$$

Optisch dünnes Gebiet:

$$\tau_\nu \ll 1 \longrightarrow e^{-\tau_\nu} \approx 1 - \tau_\nu \longrightarrow I_\nu = I_{\nu,0} + \frac{2k_B T\nu^2}{c^2}\tau_\nu$$



$$\tau_\nu = \kappa_\nu \cdot L = \frac{c^2}{8\pi\nu}\left(\frac{g_1}{g_0}\right) A_{1\to 0}\frac{h}{k_B T}\, n_0 \cdot L$$

$$\longrightarrow \boxed{I_\nu = I_{\nu,0} + \frac{3h\nu}{4\pi}\left(\frac{g_1}{g_0}\right) A_{1\to 0}\Sigma}$$

$$\boxed{\Sigma = n_0 \cdot L : \text{Oberflächendichte}}$$

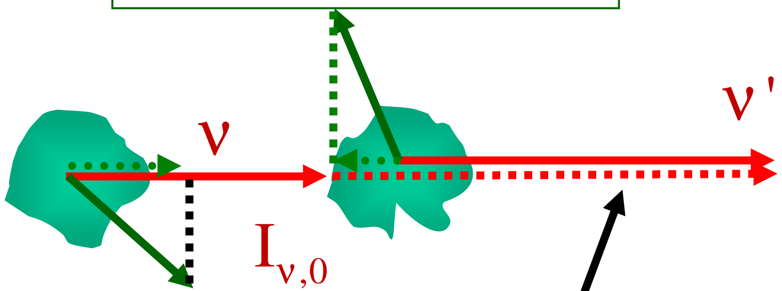
- Keine Information über **Temperatur**
- Information über **Oberflächendichte** und **Gesamtmasse** von **HI**

Kritische Oberflächendichte für $\tau = 1$

Turbulente- und Rotationsbewegung von HI

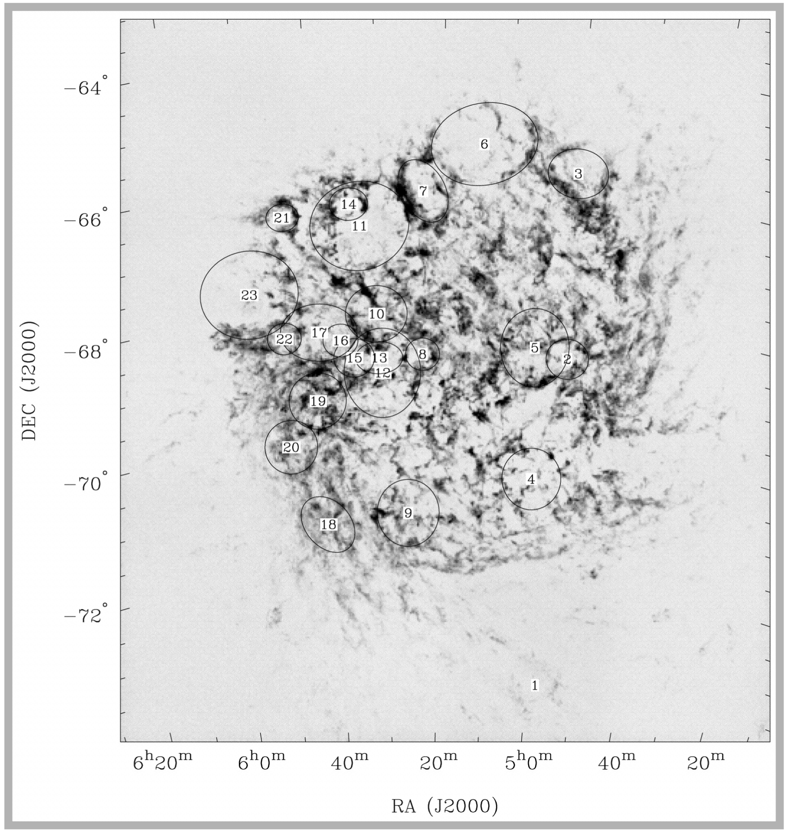
→ Die Linien sind **dopplerverschoben**

Wolkengeschwindigkeit



Wolkengeschwindigkeit

Nur wenig Absorption da sich diese HI-Wolke mit einer anderen Geschwindigkeit bewegt



Relativgeschwindigkeit zum Beobachter

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{\Delta v}{c} \quad \rightarrow \quad \frac{d\nu}{dv} = \frac{\nu}{c}$$

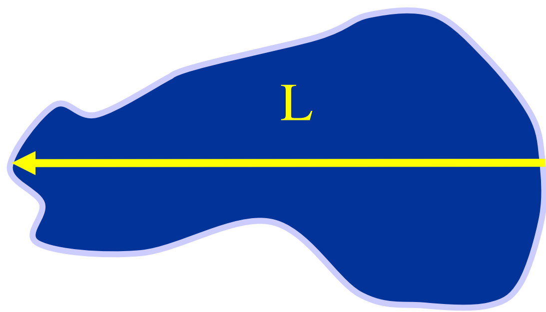
$$\kappa_\nu d\nu = \frac{c^2}{8\pi\nu}\left(\frac{g_1}{g_0}\right)A_{1\to0}\,\frac{h}{k_B T}\,\frac{dn_0}{dv}\,\frac{dv}{d\nu}\,d\nu$$

$$\boxed{\frac{dv}{d\nu} = \frac{c}{\nu}}$$

$$\kappa_\nu d\nu = \frac{c^3}{8\pi\nu^2}\left(\frac{g_1}{g_0}\right)A_{1\to0}\,\frac{h}{k_B T}\,\frac{dn_0}{dv}\,d\nu$$

Integration über ν

$$\kappa = \frac{c^3}{8\pi\nu^2}\left(\frac{g_1}{g_0}\right)A_{1\to0}\,\frac{h}{k_B T}\,\frac{n_0}{\Delta v}$$



$$\rightarrow \quad \boxed{\tau = \kappa \cdot L = \frac{c^3}{8\pi\nu^2}\left(\frac{g_1}{g_0}\right)A_{1\to0}\,\frac{h}{k_B T \Delta v}\,\Sigma_0(v)}$$

Oberflächendichte von optisch dickem HI Gas:

$$\Sigma_{HI} = \Sigma_1 + \Sigma_0$$

$$A_{1\to 0} = 2.87 \cdot 10^{-15}\ s^{-1}$$

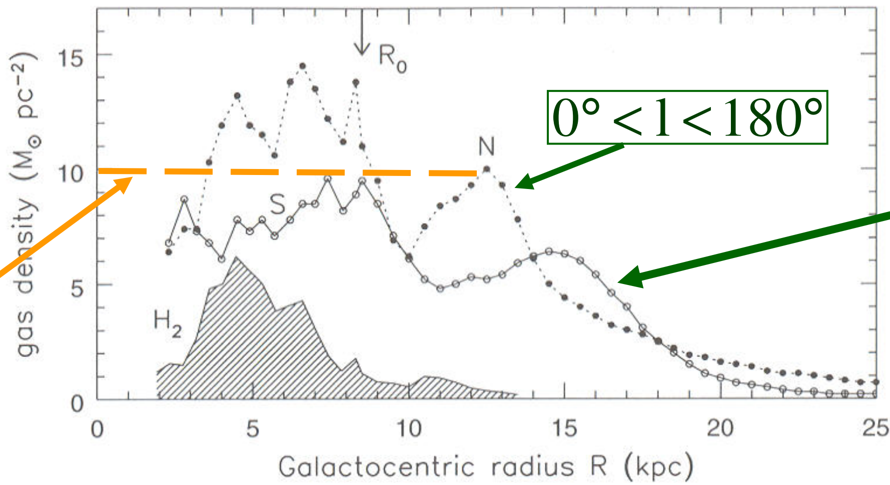
$$\tau = \kappa \cdot L = \frac{c^3}{8\pi\nu^2}\left(\frac{g_1}{g_0}\right) A_{1\to 0} \frac{h}{k_B T \Delta v} \Sigma_0(v) = 5.5 \cdot 10^{-19} \left(\frac{\Sigma_{HI}(v)}{cm^2}\right)\left(\frac{K}{T}\right)\frac{km/s}{\Delta v}$$

$$\frac{\Sigma_1}{\Sigma_0} = \frac{g_1}{g_0}\exp\left(-\frac{h\nu}{k_B T}\right) \approx \frac{g_1}{g_0} = 3$$

$$\tau = 1$$

$$\Sigma_{HI} = 2 \cdot 10^{18}\left(\frac{T}{K}\right)\left(\frac{\Delta v}{km/s}\right)\tau\ cm^{-2} \approx 10^{21}\ cm^{-2}$$

Radiale Verteilung von HI in der Milchstraße:



$n = 10^{21}\ cm^{-2}$

$0° < 1 < 180°$

$180° < 1 < 360°$

(Burton & Dame)