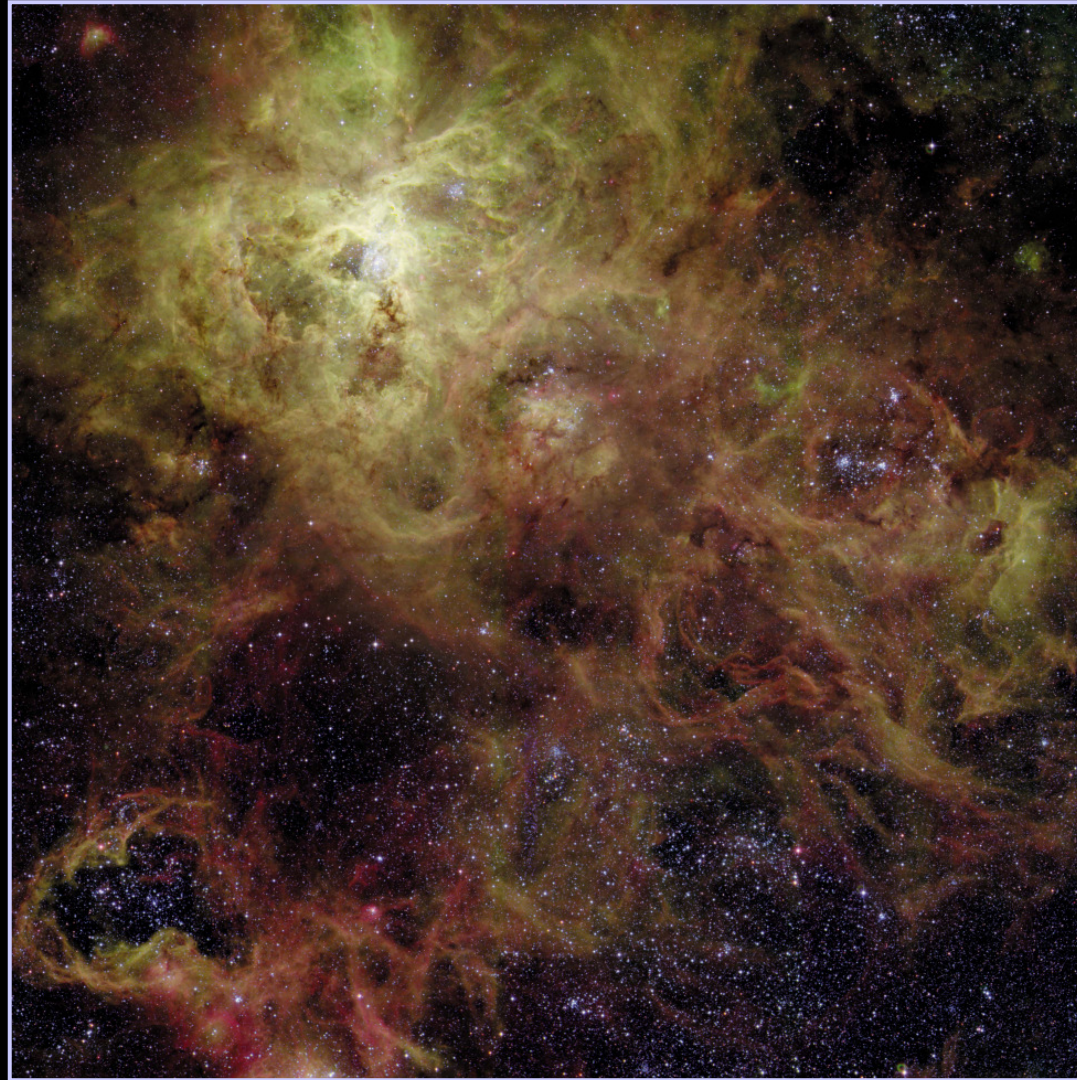


Das Interstellare Medium (ISM)



Komponenten des ISM

Phase		Density cm^{-3}	Temperature K	Total mass M_{\odot}	n T
Atomic (H I)	Cold	$\simeq 25$	$\simeq 100$	1.5×10^9	2500
	Warm	$\simeq 0.25$	$\simeq 8\,000$	1.5×10^9	2000
Molecular (H ₂)		$\geq 1\,000$	≤ 100	$10^9?$	10^5
Ionized	H II regions	$\simeq 1 - 10^4$	$\simeq 10\,000$	5×10^7	$10^4 - 10^8$
	Diffuse	$\simeq 0.03$	$\simeq 8\,000$	10^9	240
	Hot	$\simeq 6 \times 10^{-3}$	$\simeq 5 \times 10^5$	$10^8?$	3000

Der atomare Wasserstoff und die 21 cm Linie

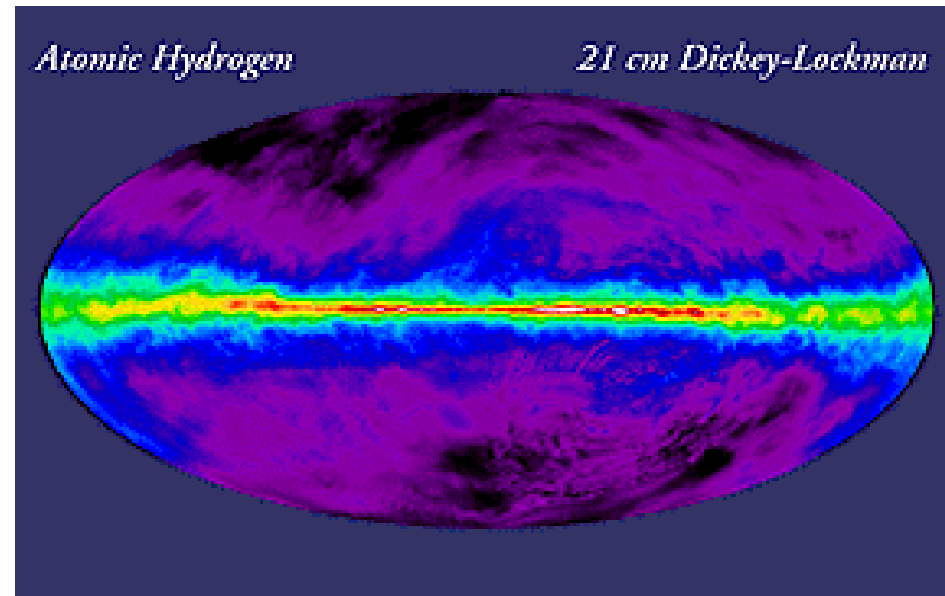
- 70% der Materie ist H und der Rest ist größtenteils He
- 3 verschiedene Zustände von H:
H₂, H I, H II

Heute: H I

Aufgrund der geringen *Dichte* im ISM haben die Teilchen eine große *mittlere freie Weglänge*:

$$\lambda \approx \frac{1}{n_{\text{H}} \sigma_{\text{c}}} = \frac{10^{15}}{n_{\text{H}} / \text{cm}^{-3}} \text{ cm}$$

Stoßquerschnitt: $\sigma_{\text{c}} \approx 10^{-15} \text{ cm}^2$

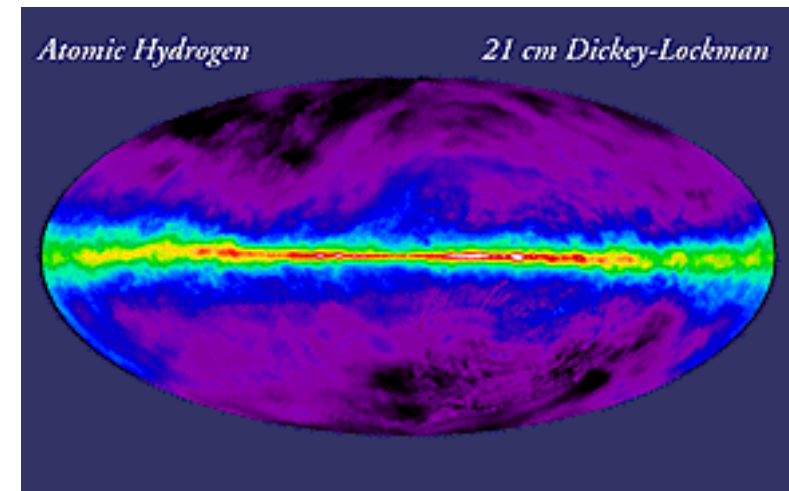


Die **typische Geschwindigkeit** v der Teilchen ist: $\frac{3}{2} m_H v^2 = k_B T$

$$T = 10 \text{ K} \quad \rightarrow \quad v = 0.2 \text{ km/s}$$

$$T = 10^4 \text{ K} \quad \rightarrow \quad v = 7.6 \text{ km/s}$$

Da $v \ll v_{\text{rot}} \approx 200 \text{ km/s}$ befindet sich HI in einer **dünnen Scheibe** in der Milchstraße.



Die Stoßzeitskala:

$$\tau_c = \frac{\lambda}{v} = \left(\frac{3m_H}{2k_B T} \right)^{1/2} (n_H \sigma_c)^{-1} = 4.8 \cdot 10^3 \left(\frac{n_H}{\text{cm}^{-3}} \right)^{-1} \left(\frac{T}{\text{K}} \right)^{-1/2} \text{ Jahre}$$

Bei $T = 100 \text{ K}$ und $n_H = 1 \text{ cm}^{-3}$ findet **1 Stoß im Mittel alle 500 Jahren** statt.

Kinetische Energie des H-Atoms:

$$T = 100 \text{ K}$$

$$E_{\text{kin}} = k_B T = 1.38 \cdot 10^{-16} \frac{\text{erg}}{\text{K}} \cdot T = 1.38 \cdot 10^{-14} \text{ erg}$$

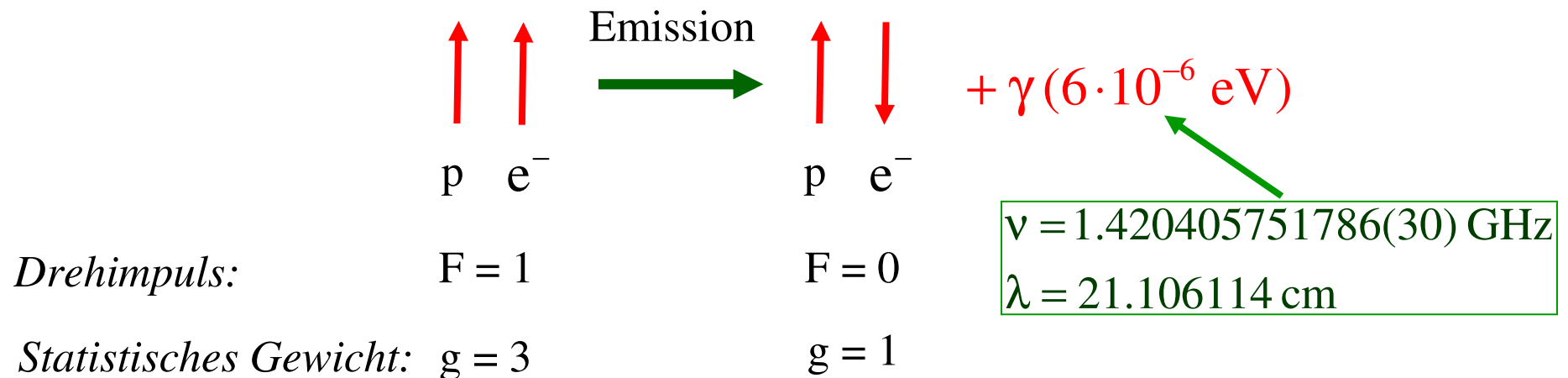
$$1\text{eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ CV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1.6 \cdot 10^{-12} \text{ erg}$$

- Beim **Stoß** steht eine Energie von **0.01 eV** zur Verfügung
- Die **Anregungsenergie** von H beträgt jedoch **10eV**.



Nahezu alle H-Atome sind im Grundzustand.

- **21 cm Strahlung** wird erzeugt, wenn sich der **Spin des Elektrons**, relativ zum **Proton** im Atomkern umdreht (verbotene Hyperfeinstruktur)



- **Verbotener Übergang:** Lebensdauer des angeregten Zustands = **11 Million Jahre**.
- Auf der **Erde** hat selbst das beste Vakuum Gasdichten, die so hoch sind, dass alle Atome durch **Stöße** abgeregt werden, bevor sie 21 cm Strahlung emittieren.
- Im **ISM** sind die **Stoßzeitskalen** jedoch lang genug, dass viele H Atome **21 cm Strahlung** emittieren.
- **Beachte:** Obwohl das H-Atom im ISM sehr häufig ist führt die Tatsache, dass die 21 cm Emission nur **selten stattfindet** dazu, dass diese Linie **optisch dünn** bleibt.