

Die Kühlkurve des ISM:

- Für $T < 10000$ K, dominiert die Anregung von C II und O I.
- Für $T > 10000$ K, dominiert die Anregung des H-atoms, sowie viele weitere Linien.

Die Energiegleichung:

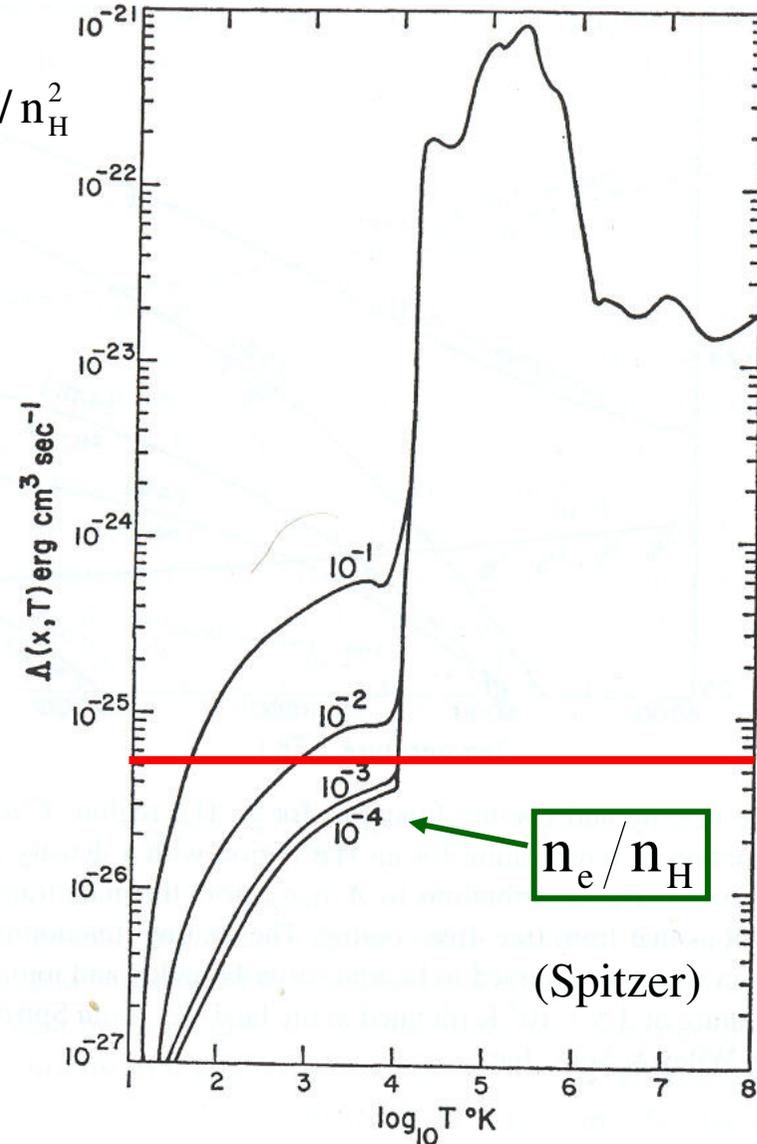
$$\frac{d}{dt} \left(\frac{3}{2} n_H k_B T \right) = \Gamma(T) \cdot n_H - \Lambda(T) \cdot n_H^2$$

$$n_H \approx \text{kons tan t}$$

$$5 \cdot 10^{-26} \text{ erg s}^{-1}$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{2}{3k_B} (\Gamma(T) - \Lambda(T) \cdot n_H)$$

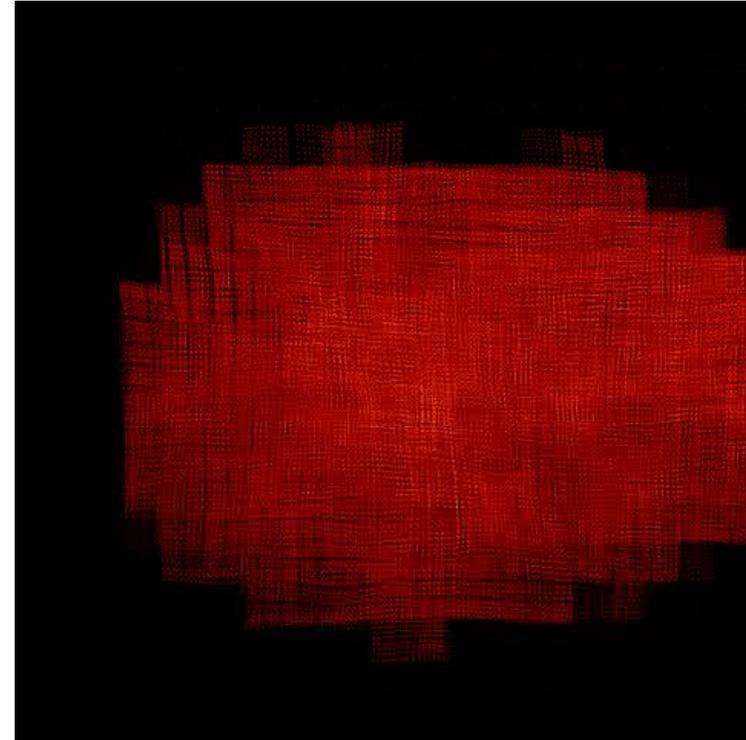
$$\Lambda(T) / n_H^2$$



Die Bedeutung der Kühlung bei der Galaxienentstehung

Phasen der Galaxienentstehung:

- Entstehung eines dunklen Halos durch **hierarchische Verschmelzung**
- Gas wird im sehr dynamischen Verschmelzungsprozess auf die **Virialtemperatur** geheizt.



- Virialtheorem:

$$2 \cdot E_{\text{kin}} = -E_{\text{pot}} \rightarrow m\sigma^2 = \frac{GmM}{R} \rightarrow \sigma^2 = R_g T = \frac{GM}{R}$$

Diagram: A green box labeled 'Gasmasse' has an arrow pointing to the 'm' in the equation. Another green box labeled 'Halomasse' has an arrow pointing to the 'M' in the equation.

Dunkle Halos:

$$R \approx 200 \text{ kpc} \left(\frac{M}{10^{12} M_{\odot}} \right)^{1/3} \rightarrow T \approx 2.7 \cdot 10^6 \left(\frac{M}{10^{12} M_{\odot}} \right)^{2/3}$$

Gaskühlung und Galaxienentwicklung:

Zeitskala auf der Gas ins **Zentrum** fallen kann:

$$\tau_{\text{ff}} \approx \frac{R}{\sigma_{\text{vir}}} = \sqrt{\frac{R^3}{GM}} \approx 1.4 \cdot 10^9 \text{ Jahre}$$

$$\sigma^2 = \frac{GM}{R}$$

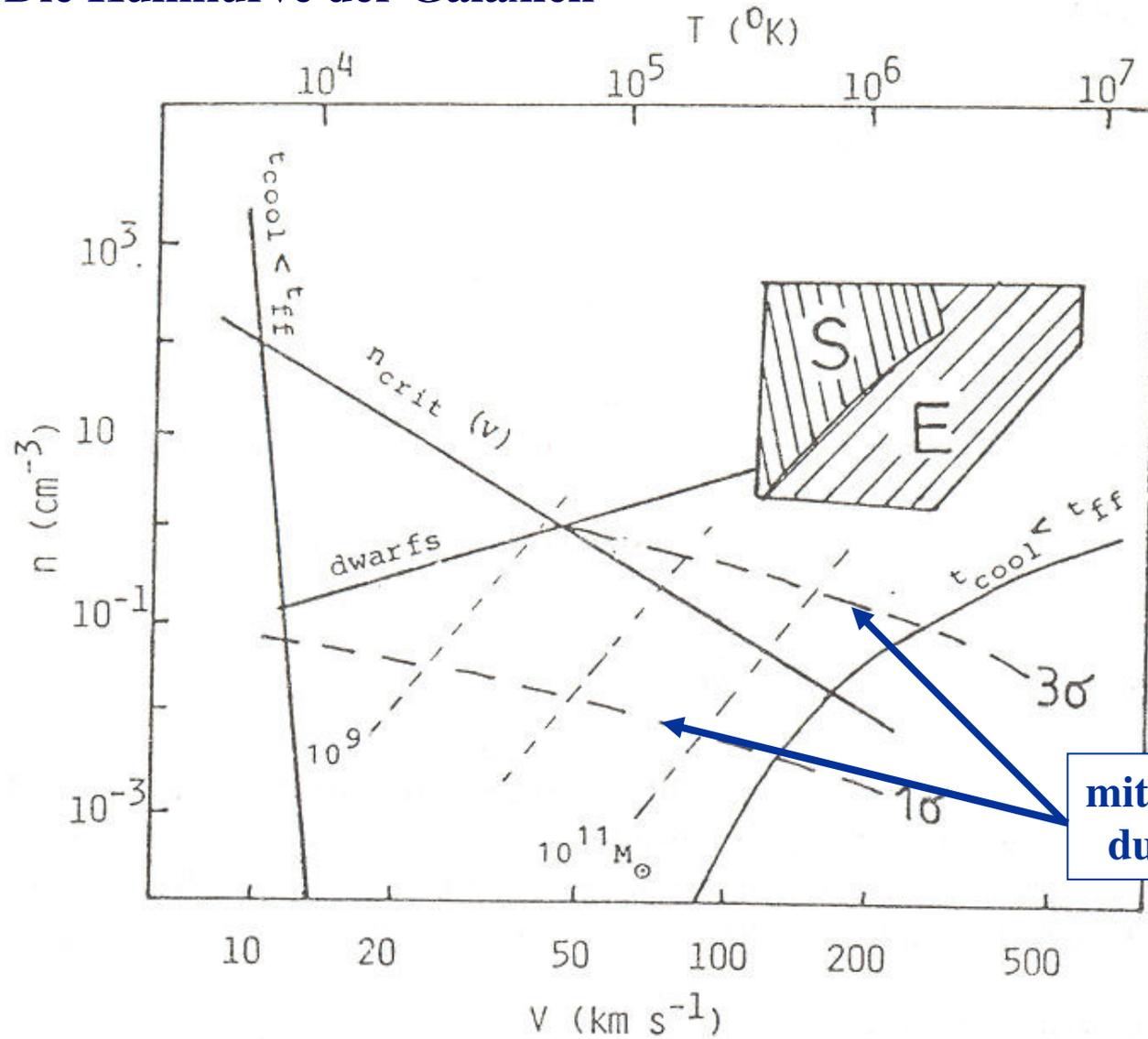
$$R = 200 \text{ kpc} \left(\frac{M}{10^{12} M_{\odot}} \right)^{1/3}$$



Nur für $\tau_{\text{kühlung}} < 1.4 \cdot 10^9 \text{ Jahre}$ kann sich in einigen 10^9 Jahren eine Gasscheibe bilden.

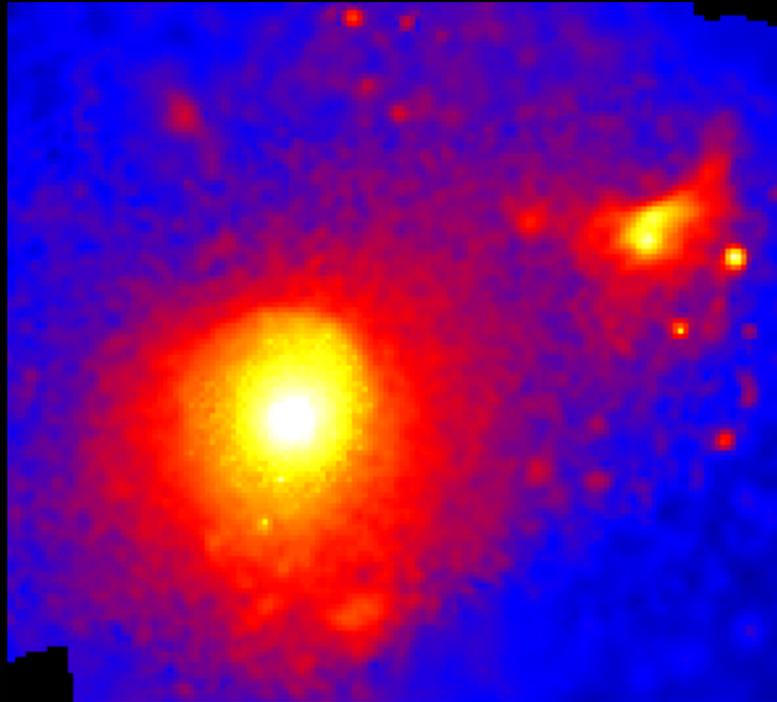
- Sonst wird das einfallende Gas durch die **Kompression** aufgeheizt und behält seine **Virialtemperatur** bei.
- In diesem Fall würde es **viele freie Fallzeiten** benötigen, bis sich eine **Gasscheibe** bilden kann.

Die Kühlkurve der Galaxien



**mittlere Dichte
dunkler Halos**

Heißes Röntngas im Virohaufen



Numerische Simulation



z: 49.5

Thermisches Gleichgewicht im ISM:

$$\Lambda(n, T) = \Gamma(n, T)$$

- In einem begrenzten Druckbereich können **2 stabile Gasphasen** im Druckgleichgewicht existieren: **warme** and **kalte** HI-phase.

