



A.В. ЗАСОВ

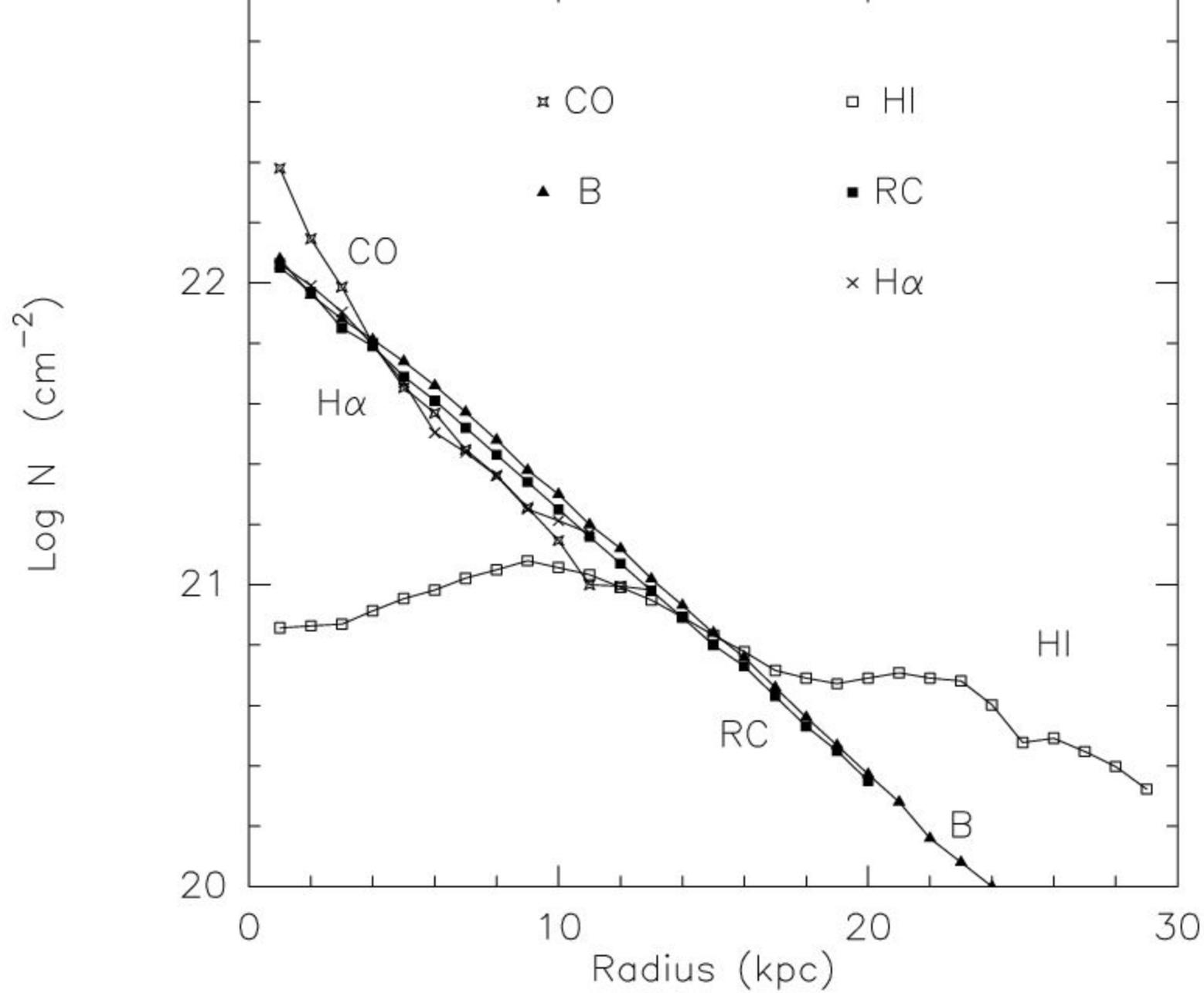
# Межзвездный газ в галактиках

## Три компонента межзвездной среды с $T < 10\,000\text{ K}$ :

1. Атомарный газ (облака, межоблачная среда)
2. Молекулярный облачный газ
3. Диффузный молекулярный газ (только в областях высокого давления)

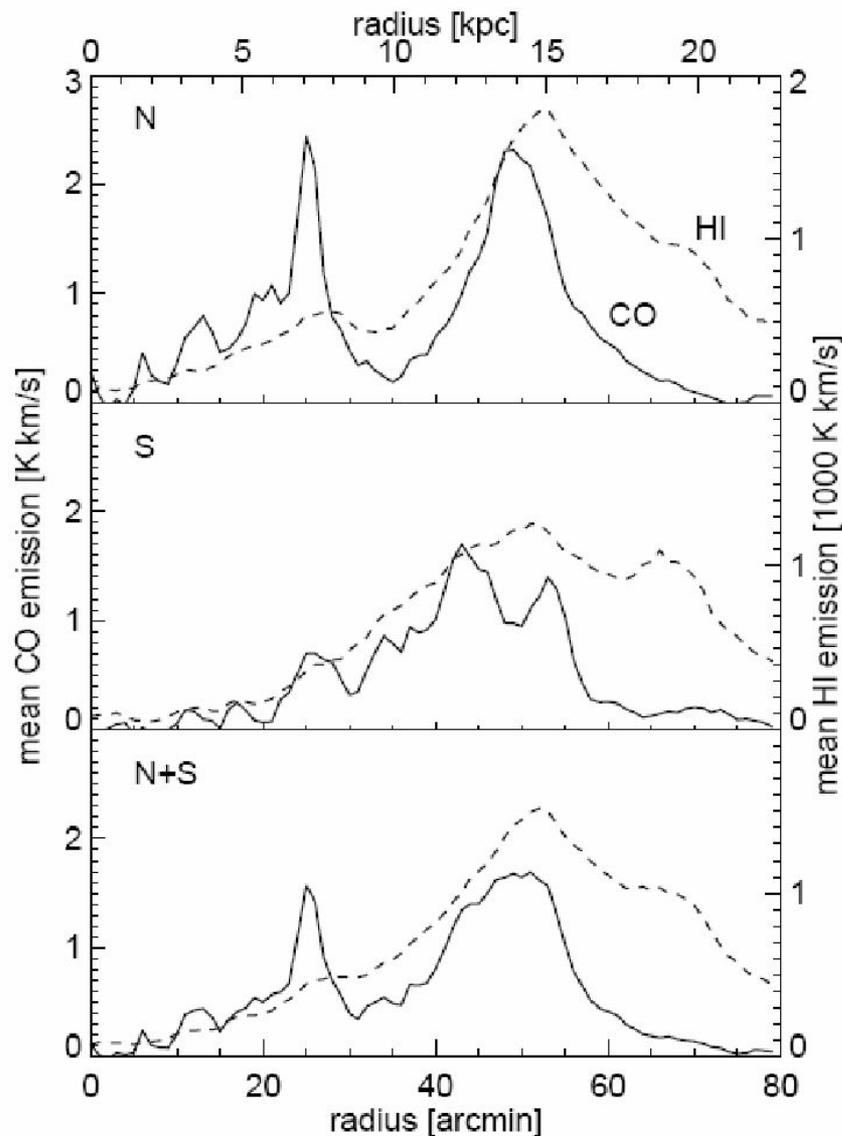
## Более горячие компоненты

1. Теплый компонент: облака HII и диффузный ионизованный газ (DIG)
2. Горячий компонент:  $T = 10^5 - 10^6\text{ K}$



Radial distributions of various surface densities in a typical spiral galaxy NGC 6946:

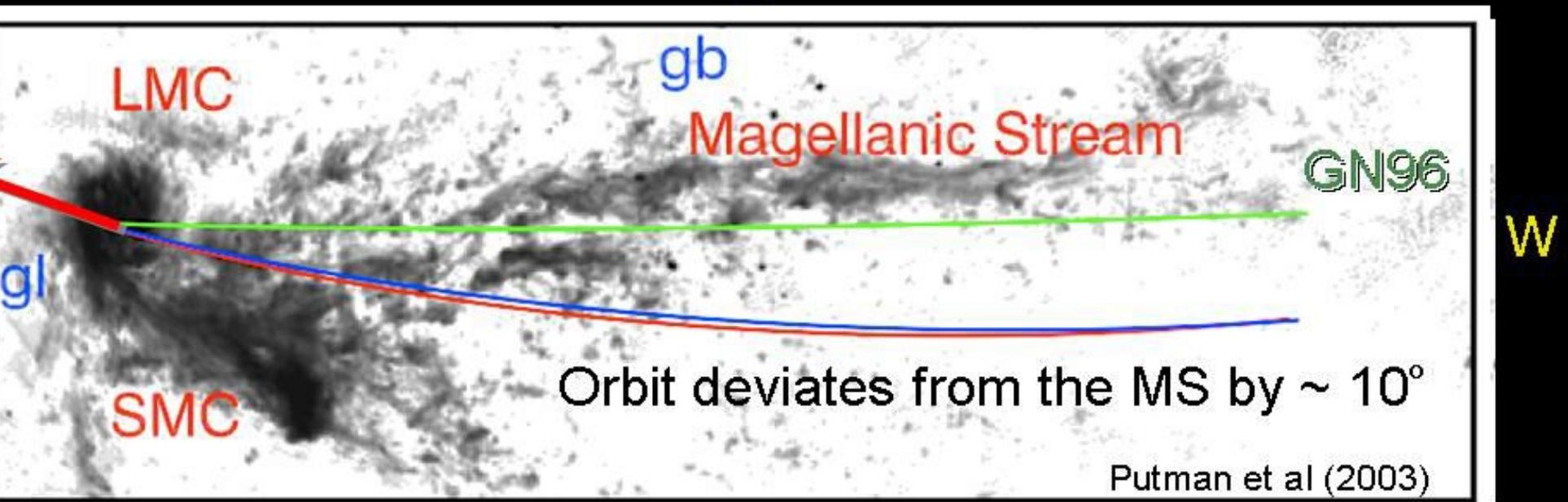
Распределение интенсивности  
Излучения в линиях HI и CO  
Вдоль большой оси M31  
C.Nieten et al., 2006



**Fig. 9.** Radial profiles of  $I_{1-0}$  (full lines, left-hand scale) and  $I_{\text{HI}}$  (dashed lines, right-hand scale) for the northern half (N), the southern half (S) and the full area of M31 (N+S).

# HI: LMC+SMC + Магелланов поток

N



- ОСНОВНАЯ МАССА ГАЗА — НЕЙТРАЛЬНЫЙ ВОДОРОД (H I).
- Характерная поверхностная плотность — 2 — 10 масс Солнца на  $\text{пк}^2$ .
- Масса газа от массы диска: 1% - 50%.

# Молекулярный газ

Количество - от <1% до 200% от атомарного.

Температура < 50К

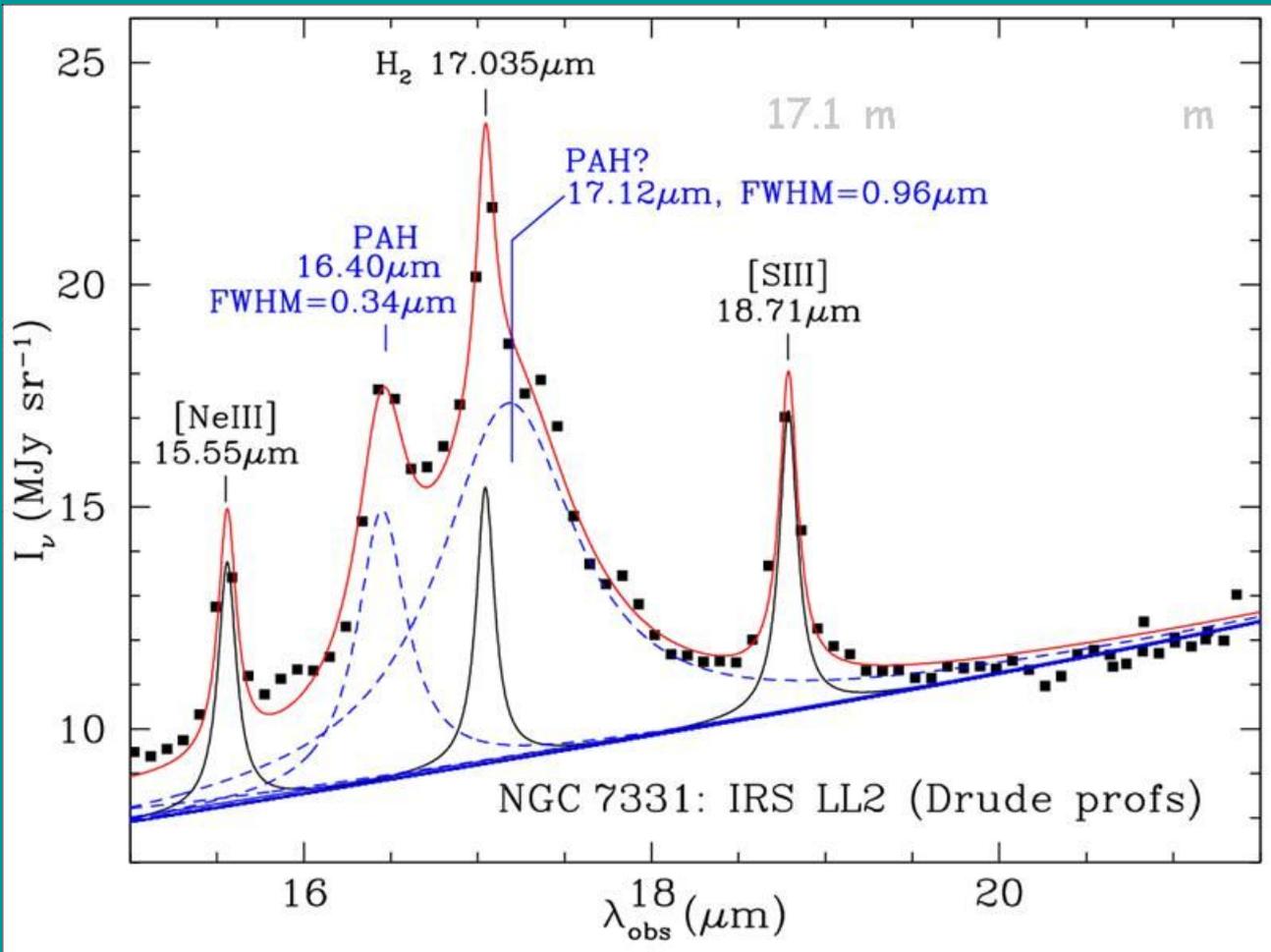
Диапазон концентрации молекул – от  $0.1 \text{ см}^{-3}$  (диффузный газ) до  $10^5 \text{ см}^{-3}$  (ядра молекулярных облаков)

# Процессы, от которых зависит доля газа в молекулярном состоянии

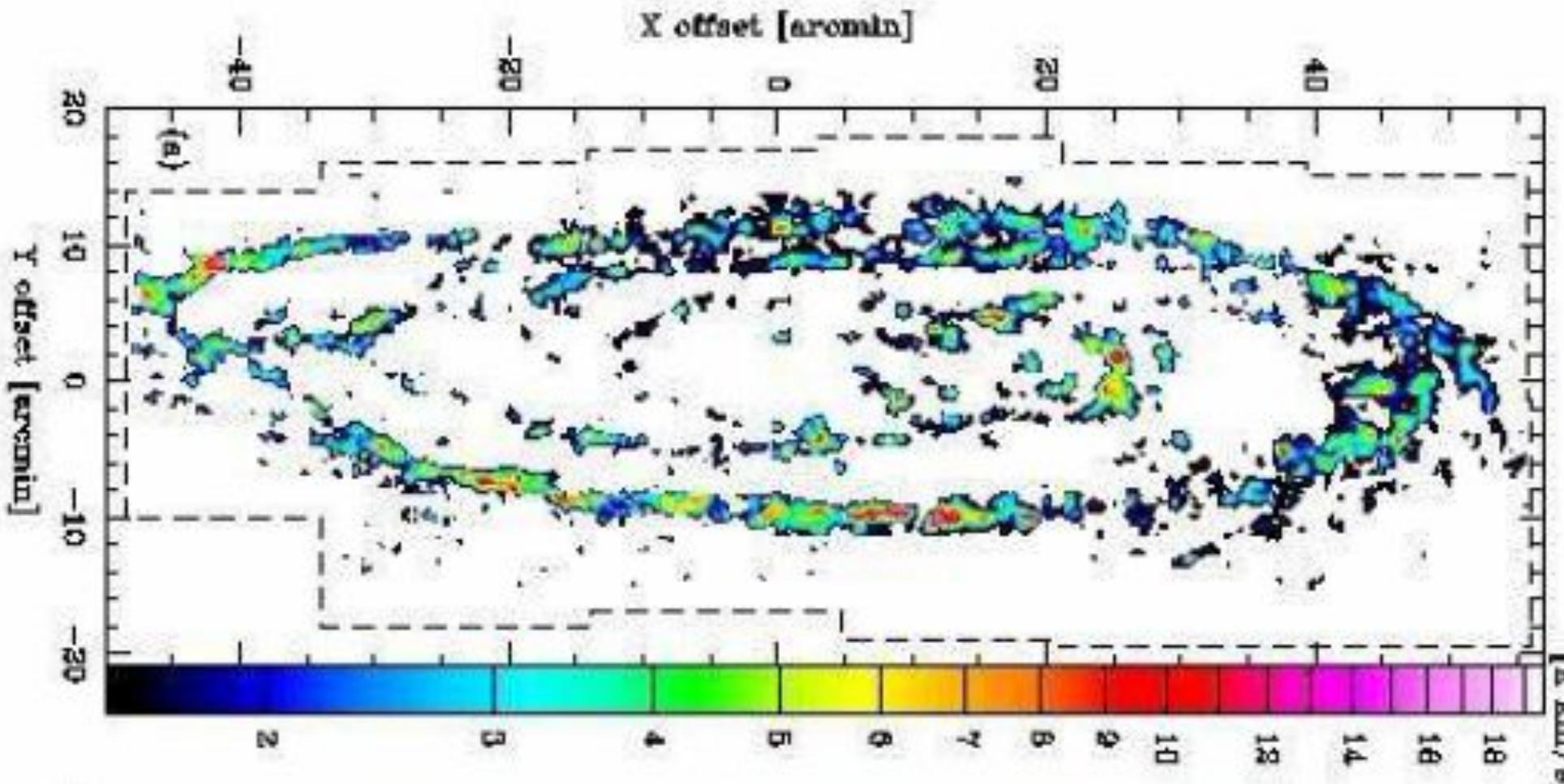
- А) Статическое давление (турбулентное, тепловое, магнитное)
- Б) Давление, связанное с ударными волнами (контрастные спиральные ветви, расширяющиеся оболочки)
- В) Плотность УФ излучения
- Г) Содержание тяжелых элементов в газе

# Отношение $M_{\text{H}_2}/M_{\text{HI}}$ в дисках галактик:

- В среднем – около 15%, для галактик высокой светимости слабо зависит от морфологического типа, но сильно меняется внутри одной галактики.
- Интервал значений – от  $>1000$  в окооядерных областях, до  $< 0.1$  в неправильных галактиках и во внешних областях спиральных галактик.



M31 в линии CO.  
Nielen+ 2005



$X_{CO}$  ACROSS THE LOCAL GROUP

Galaxy	Mean $X_{CO}$ $\times 10^{20} \text{ cm}^{-2} (\text{K km s}^{-1})^{-1}$	Scatter in $X_{CO}$ <sup>a</sup> $\times 10^{20} \text{ cm}^{-2} (\text{K km s}^{-1})^{-1}$
SMC	$13.5 \pm 2.6$	2.2
LMC	$5.4 \pm 0.5$	1.7
IC10	$2.6 \pm 0.5$	2.2
M33	$3.0 \pm 0.4$	1.5
M31	$5.6 \pm 1.1$	2.7
Quad 2 <sup>b</sup>	$6.6 \pm 0.6$	2.0
Local Group <sup>c</sup>	$5.4 \pm 0.5$	2.0

<sup>a</sup>Scatter is a factor based on median absolute deviation of the log.

<sup>b</sup>Clouds with luminosities corresponding to  $M_{Lum} \geq 5 \times 10^4 M_{\odot}$  (for  $X_{CO} = 2 \times 10^{20}$ )

<sup>c</sup>Excluding Milky Way.

# Механизмы формирования молекулярной среды

- Давление + экранировка пылью
- Гравитационная неустойчивость на масштабах сотни пк
- Сверхзвуковая турбулентность + мелкомасштабная грав. неустойчивость

# Толщины звёздных и газовых дисков. Оценки объёмных плотностей.

Уравнение гидростатического равновесия:

$$\frac{\langle (C_z)_i^2 \rangle}{\rho_i} \frac{d\rho_i}{dz} = (K_z)_* + (K_z)_{\text{HI}} + (K_z)_{\text{H}_2} + (K_z)_{\text{DM}}. \quad (1)$$

$\rho$  — объёмная плотность,

$i$  = звёзды, HI, H<sub>2</sub>,

$(C_z)_i$  — вертикальные дисперсии скоростей компонент.

Квазиизотермическое распределение плотности в гало:

$$\rho_{\text{DM}}(r) = \frac{v_{\text{rot}}^2}{4\pi G} \frac{1}{(R_C^2 + r^2)}. \quad (2)$$

$R$  — расстояние от центра,

$v_{\text{rot}}$  и  $R_C$  — круговая скорость и радиус ядра.

# Порядковый расчет давления (парциального)

$$P_g = \rho_{\text{gas}} V_g^2 \sim (\sigma_g / h_g) \cdot V_g^2 \sim \sigma_g V_g \rho_*^{1/2}$$

$$\frac{dP}{dz} = -\rho_{\text{gas}} \left( (K_z)_* + (K_z)_{\text{gas}} \right)$$

$$\frac{d(K_z)_*}{dz} = -4\pi G \rho_*$$

$$\frac{d(K_z)_{\text{gas}}}{dz} = -4\pi G \rho_{\text{gas}}$$

$$\rho_{\text{gas}} = 1.38 (\rho_{\text{H}_2} + \rho_{\text{HI}})$$

# Основные упрощающие предположения:

- Газовые диски галактик осесимметричны;
- Они находятся в гидростатическом равновесии;
- Газ состоит из двух дискретных компонент: HI и H<sub>2</sub>.
- Давление газа определяется его турбулентными движениями:

$$P_g = \rho_g C_z^2$$

- M 81, M 106: рост молекуляризации газа даже при отсутствии роста давления!

Какова причина?

# Связь относительной массы молекулярного газа с плотностью пыли

## ПЫЛЬ:

- Увеличивает непрозрачность среды, экранируя от ГМ излучения
- Увеличивает частоту формирования молекул в единице объема

# Dissociation Balance

(Krumholz, McKee, & Tumlinson 2008a; McKee & Krumholz 2009)

Уравнение равновесия H<sub>2</sub>-HI-H<sub>2</sub> и уравнение переноса:

Формирование = Фотодиссоциация

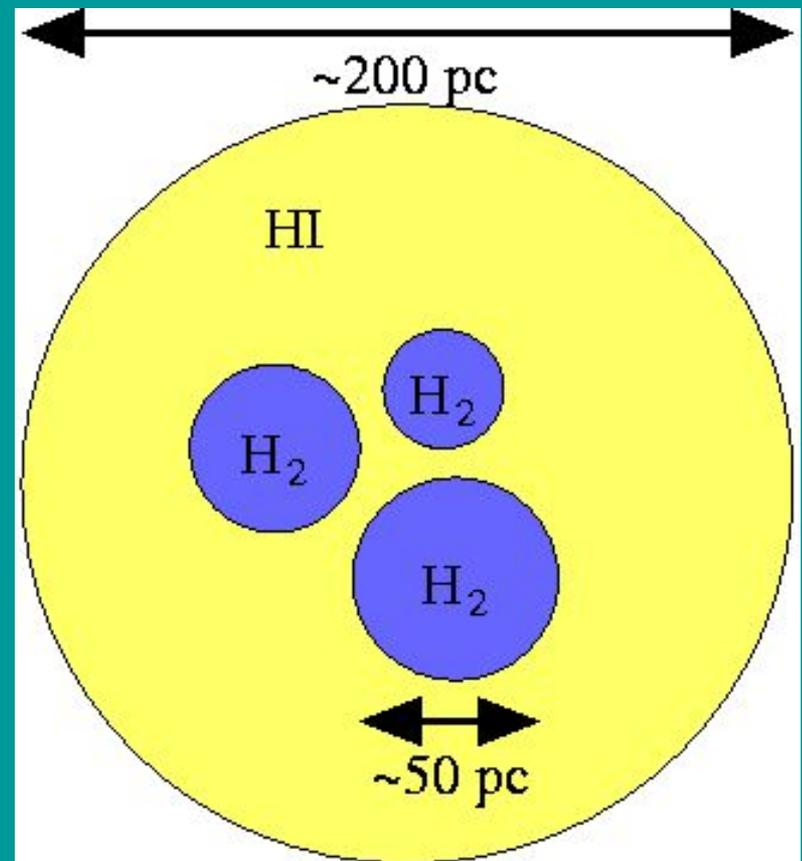
$$n_{\text{HI}} n_{\mathcal{R}} = n_{\text{H}_2} \int d\Omega \int d\nu \sigma_{\text{H}_2} f_{\text{diss}} I_{\nu} / (h\nu)$$

$$\hat{e} \cdot \nabla I_{\nu} = -(n_{\text{H}_2} \sigma_{\text{H}_2} + n \sigma_{\text{d}}) I_{\nu}$$

Уменьшение интенсивности =

Поглощение молекулами H<sub>2</sub> + частицами пыли

- Молекулярный газ заключен в основном в GMC - внутри газовых компелсов. Во внешних частях молекулы диссоциируются фотонами ( $\sim 1000 \text{ \AA}$ ).



# Процессы, от которых зависит доля газа в молекулярном состоянии

- А) Статическое давление (турбулентное, тепловое, магнитное)
- Б) Давление, связанное с ударными волнами (контрастные спиральные ветви, расширяющиеся оболочки)
- В) Плотность УФ излучения
- Г) Содержание тяжелых элементов в газе

# Где можно ожидать высокую степень молекуляризации газа?

- Высокое давление газа и высокая концентрация пыли (плотный диск?)
- Высокое содержание тяжелых элементов (внутренняя область галактики?)
- Наличие факторов, затрудняющих образование звезд (по кр. мере массивных)
  - *магнитное поле*
  - *высокая угловая скорость вращения диска*
  - *концентрация газа не в облаках, а в разреженной среде*