

Длинный путь:
(grav/magnetograv instability)

Разреженный газ

Молекулярные облака

Холодные ядра облаков

Молодые звезды

Короткий путь:
Shock waves, turbulence

Обратная СВЯЗЬ:
Сброс до 40% газа
Ионизация
Горячие «пузыри» и потоки
Поддержание турбулентности



Для галактик со «спокойной» историей звездообразования возможна упрощенная модель:

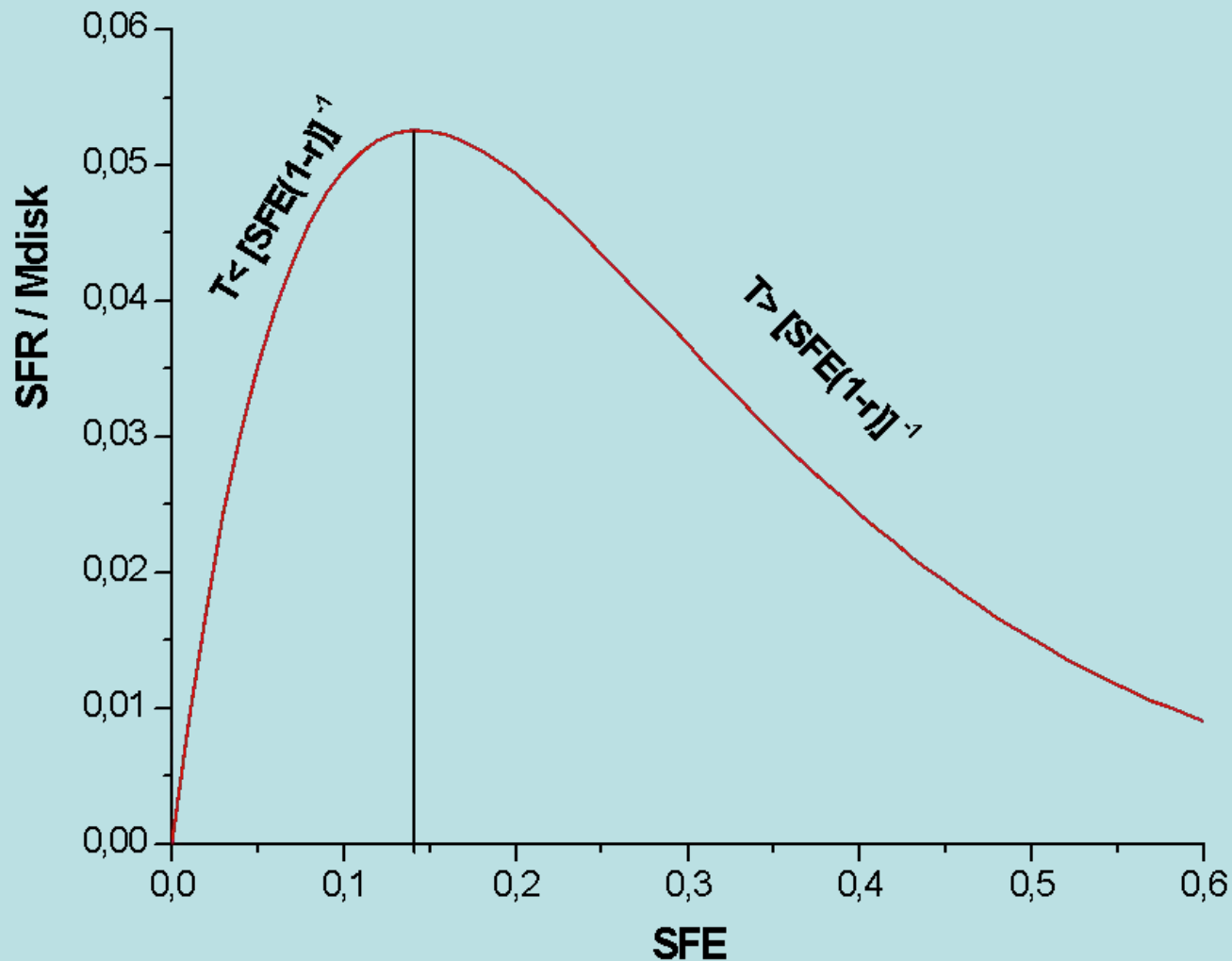
*Если эффективность звездообразования (**SFE**) в галактике (или ее части) остается примерно постоянной, и нет обмена газом с окружением, то*

*Возраст диска T – Относительная масса газа M_g/M_d – **SFE** связаны одним уравнением*

$$\ln M_g/M_d = -SFE(1-r)T,$$

где r – доля газа, возвращаемого звездами в среду.

Зависимость SFR на единицу массы диска от SFE при фиксированном возрасте T



ЧЕМ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ SFE?

На больших масштабах (1 -- 2 кпк) и малых масштабах (десятки пк) звездообразование управляется различными факторами:

- **Большие масштабы:** крупномасштабные неустойчивости, наличие спиральных ветвей, внешнее воздействие на галактику
- **Малые масштабы:** тепловая неустойчивость, турбулентность, расширяющиеся оболочки, локальные условия молекуляризации газа, интенсивность нагревающего излучения

Вращение диска ускоряет SF:

**ЧЕМ БЫСТРЕЕ ВРАЩАЕТСЯ
ДИСК, ТЕМ...**

- СИЛЬНЕЕ СЖАТИЕ ГАЗА ПРИ ВХОДЕ В СПИРАЛЬНУЮ ВЕТВЬ
- МЕНЬШЕ СРЕДНИЙ ПРОМЕЖУТОК ВРЕМЕНИ МЕЖДУ ПРОХОЖДЕНИЕМ ГАЗА ЧЕРЕЗ СПИРАЛЬНЫЕ ВЕТВИ

Вращение диска тормозит SF:

ЧЕМ БЫСТРЕЕ ВРАЩАЕТСЯ ДИСК, ТЕМ...

- **ГАЗОВЫЙ СЛОЙ УСТОЙЧИВЕЕ К ГРАВИТАЦИОННЫМ ВОЗМУЩЕНИЯМ**
- **СИЛЬНЕЕ ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ ПРОЦЕССУ СЖАТИЯ ГАЗОВЫХ КОНДЕНСАЦИЙ («СВЕРХОБЛАКОВ», ГИГАНТСКИХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ОБЛАКОВ).**

**ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ
ДИСКА НА «ГЛОБАЛЬНУЮ»
ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ НЕ
ОДНОЗНАЧНО, ЛИБО МАЛО В
СОВРЕМЕННУЮ ЭПОХУ.**

Реально надо учитывать нестационарные процессы:
тепловую неустойчивость, самогравитацию газа,
звздообразование и обр.связь.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} + \frac{\nabla p}{\rho} + \nabla \Phi_{\text{ext}} + \nabla \Phi_{\text{sg}} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \nabla \cdot [(\rho E + p) \mathbf{v}] = \rho \Gamma_{\text{UV}} + \Gamma_{\star} - \rho^2 \Lambda(T_g), \quad (3)$$

$$\nabla^2 \Phi_{\text{sg}} = 4\pi G \rho, \quad (4)$$

where, ρ , p , \mathbf{v} are the gas density, pressure, velocity of the gas. The specific total energy $E \equiv |\mathbf{v}|^2/2 + p/(\gamma - 1)\rho$, with $\gamma = 5/3$.

Крупномасштабные неустойчивости

- Гравитационная
- Паркеровская

Роль магнитного поля:

на малых масштабах - отрицательна:
мешает сжатию газа,

На больших масштабах –
положительна: отводит угловой момент
при образовании сверхоблаков

Гравитационная неустойчивость

- Определяет массы наиболее протяженных областей, охваченных звездообразованием (сверхоблаков)

$$M \sim \lambda^2 \cdot \Sigma_{\text{газ}}$$

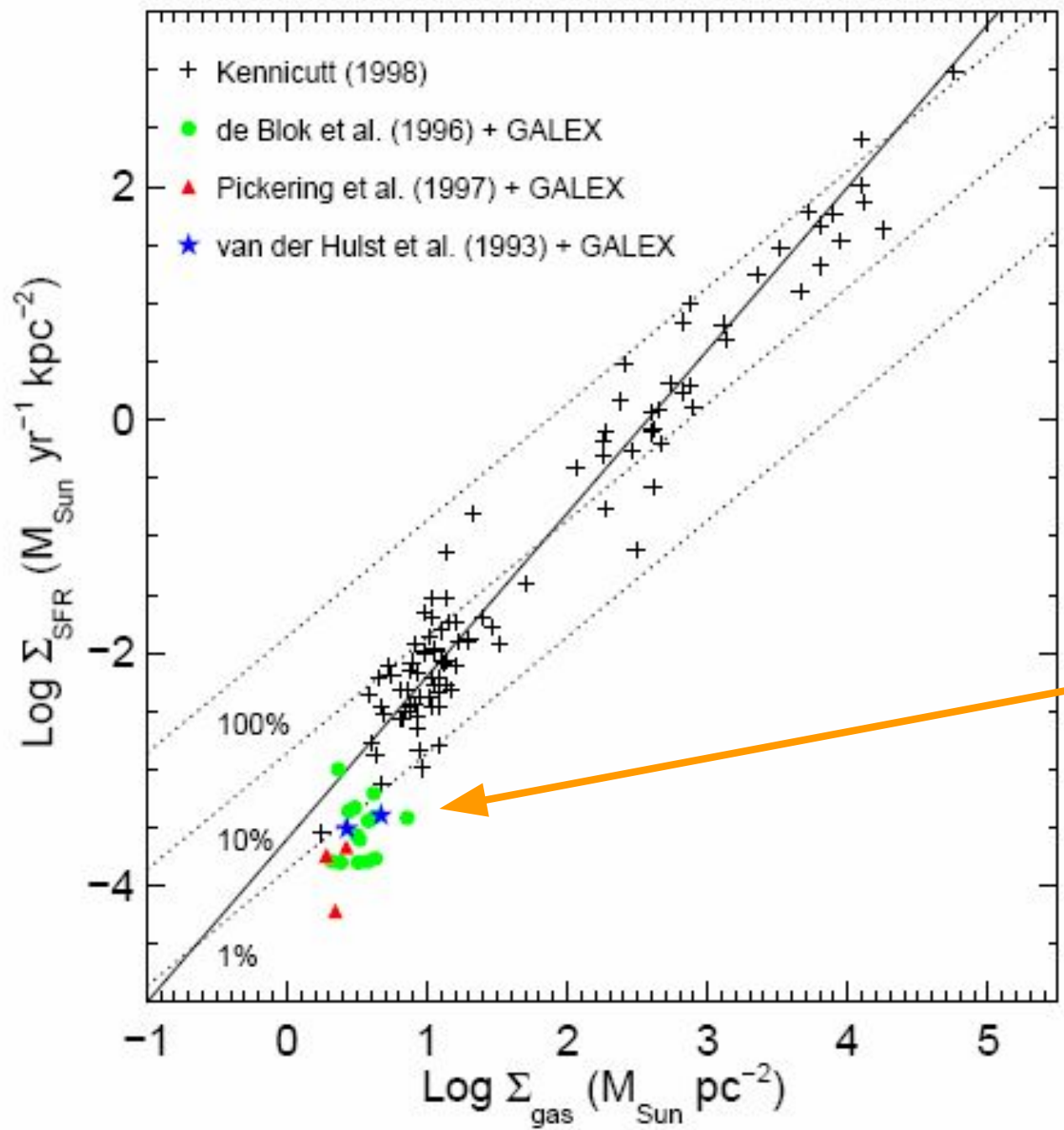
Где λ - длина волны наиболее быстро растущих возмущений

$\Sigma_{\text{газ}}$ — поверхностная плотность газового слоя

С ЧЕМ ТЕСНЕЕ СВЯЗАНЫ ТЕМПЫ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ?

- С атомарным газом?
- С молекулярным газом?
- С полной массой газа?

Wyder et al., 09
(see also Boissier et al, 09)



LSBs

Чем выше средняя плотность старого звездного диска на данном R , тем выше эффективность звездообразования

Причины:

Следствием более высокой плотности диска являются:

- Более сильно сжатый газовый диск
- Более высокая доля молекулярного газа
- Более сильная обратная связь

<<звезды-ударные волны-образование H_2 -звездообразование>>

Парадокс:

НАБЛЮДАЕМЫЙ ТЕМП

ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ И

ЭФФЕКТИВНОСТЬ

ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ ПОЧТИ НЕ

РЕАГИРУЮТ на величину

$\sigma / \sigma_{\text{крит}}$, если это отношение **>0.5**.

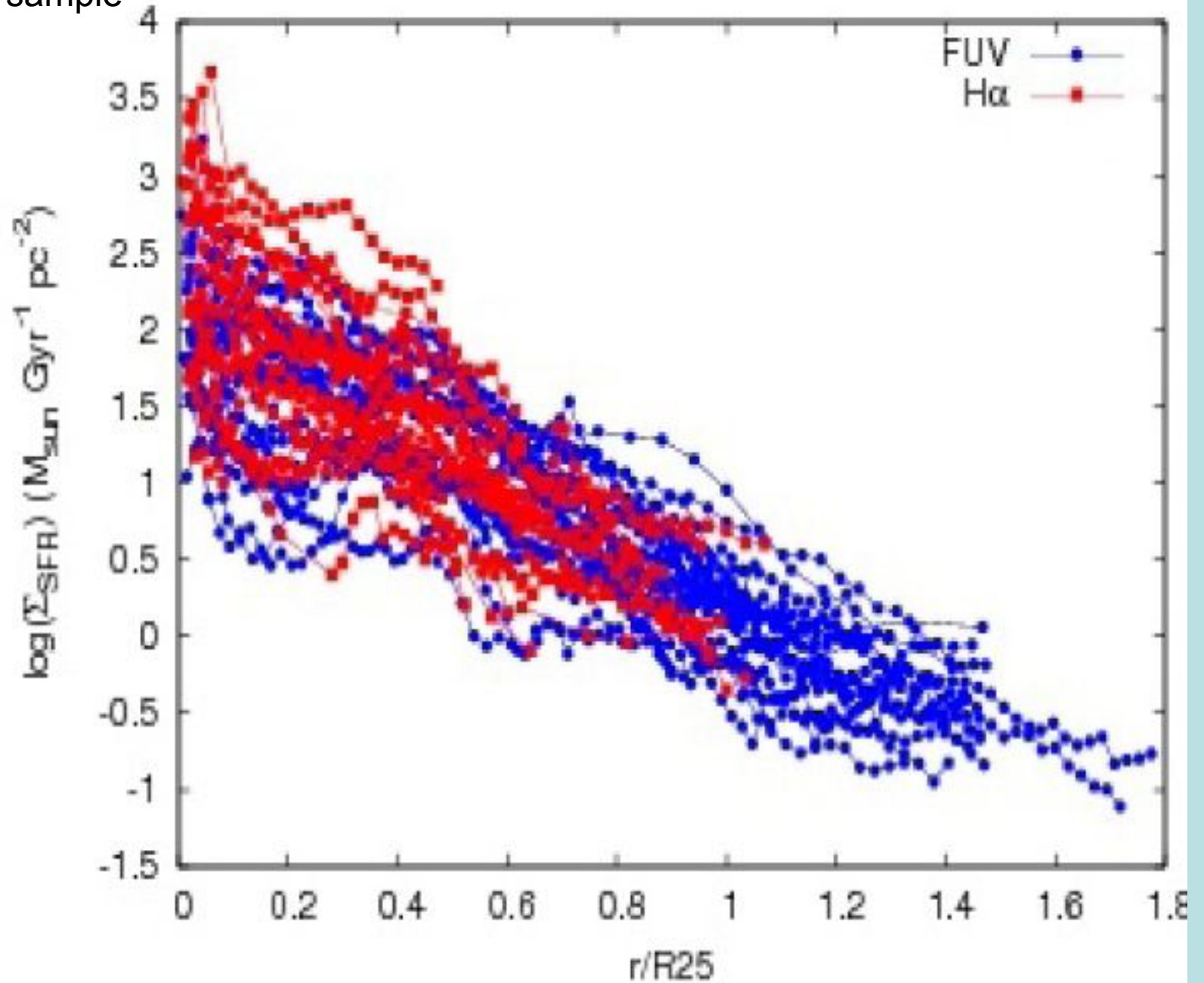
Отдельная проблема:
звездообразование в условиях
очень низкой плотности газа

Звздообразование на периферии дисков

- Молодые звезды все же существуют!
Слабое звезздообразование идет как на далекой периферии дисков (Ferguson), так и в S0-галактиках, содержащих газ.
- В Галактике отдельные HII – области – до 18- 20 кпк от центра.

Boissier 08

SINGS sample



На периферии дисков:

- Нет крупномасштабной гравитационной неустойчивости
- Нет звездных спиральных ветвей
- Нет условий для тепловой неустойчивости (горячая фаза)
- Газовый диск расширяется и становится очень разрежен

Звездообразование при низкой плотности газа.

1. Линзовидные галактики
2. Внешние области галактических
дисков
3. Галактики низкой яркости

Механизмы, стимулирующие звездообразование при низкой плотности газа

- Затухание турбулентных движений и понижение дисперсии скоростей облаков
- Вспышки SN, расширяющиеся области HII
- Аккреция межгалактических облаков
- Гравитационное возмущение со стороны близких галактик

КРУПНОМАСШТАБНЫЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ЗДЕСЬ НЕ РАБОТАЮТ!

Три моды звездообразования

- Основная мода:

$$M_{N1} > M_{N2}, \sigma_{\text{gas}} \approx 3-10 M_{\odot} / \text{pc}^2$$

- Разреженный газ

$$M_{N1} \gg M_{N2}, \sigma_{\text{gas}} < 3-5 M_{\odot} / \text{pc}^2$$

- Плотный газ

$$M_{N1} < M_{N2}, \sigma_{\text{gas}} \geq 10 M_{\odot} / \text{pc}^2$$