

Повторение

- Звезды далеки друг от друга, и практически никогда не сближаются друг с другом. Поэтому каждая одиночная звезда не ощущает гравитационного воздействия соседних звезд, однако реагирует на совокупное гравитационное поле всех звезд галактики. Совокупность звезд можно рассматривать как бесстолкновительный звездный газ.
- Газовые облака, в отличие от звезд, часто сталкиваются теряя энергию. В этом причина, по которой газ и звезды в галактических дисках движутся не-одинаково. Газ вращается вокруг центра галактики быстрее звезд, а у звезд более высокая дисперсия скоростей

повторение

- Теряя энергию и сохраняя момент вращения, газовая среда всегда стремится сжаться во вращающийся диск. Современным звездным дискам в галактиках предшествовали газовые диски.
- Гравитационная устойчивость дисков, требует, чтобы разброс (дисперсия) скоростей диска превышали некоторую пороговую величину (для звезд - обычно 30-50 км/с), которая зависит от плотности диска и угловой скорости на данном расстоянии от центра. Поэтому по измеренным значениям дисперсии скоростей и угловой скорости реально оценить, какую плотность (или массу) может иметь диск.

Повторение

- Известны два типа спиральной структуры: флокуллентная структура («материальные» ветви) и упорядоченная структура (ветви волновой природы).
- Спиральные волны движутся по диску, вовлекая в свое волновое движение и газ, и звезды. В отличие от диска, их угловая скорость постоянна вдоль радиуса.
- Известны два основных механизма поддержания спиральных волн в газо-звездном диске: медленно развивающаяся гравитационная неустойчивость диска, и отклонение гравитационного поля галактики от осевой симметрии. Это отклонение может быть вызвано наличием звездного бара во внутренней области галактики или немного вытянутым гало из темной материи во внешней области.

Вопрос типа зачетного

Почему спиральные ветви галактик в ультрафиолетовом свете, как правило, узкие, четкие и контрастные, в ближнем инфракрасном свете – размытые, а в инфракрасных линиях излучения молекул – снова узкие и контрастные



**Ultraviolet
GALEX**

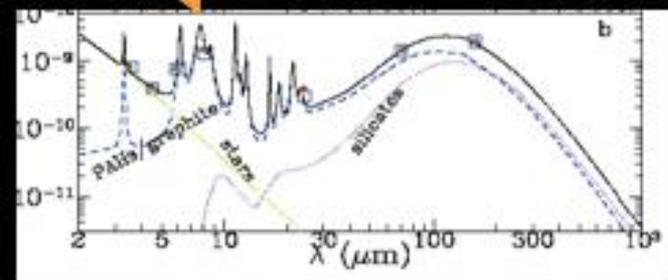
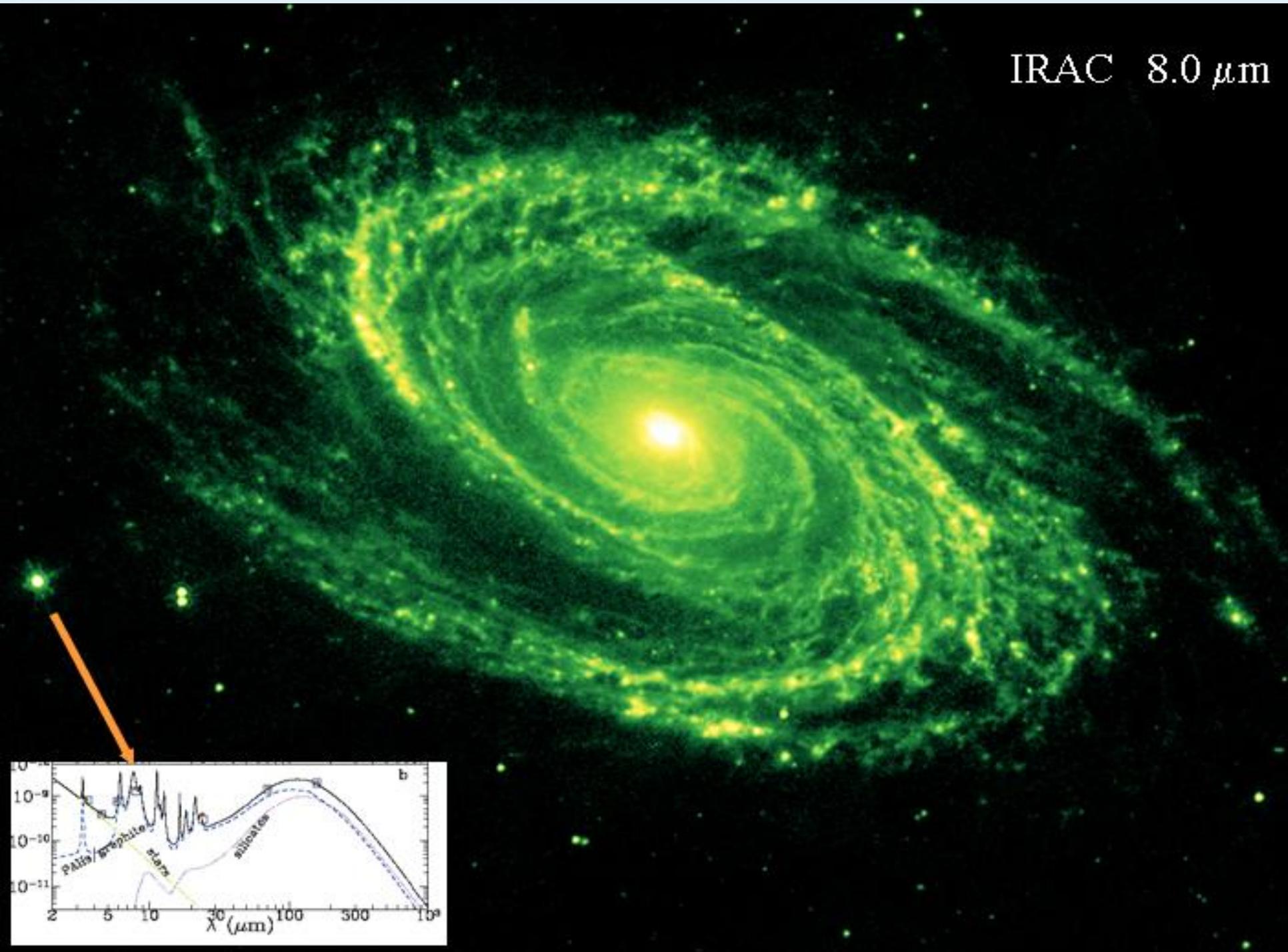


**Visible
DSS**



**Near Infrared
2MASS**

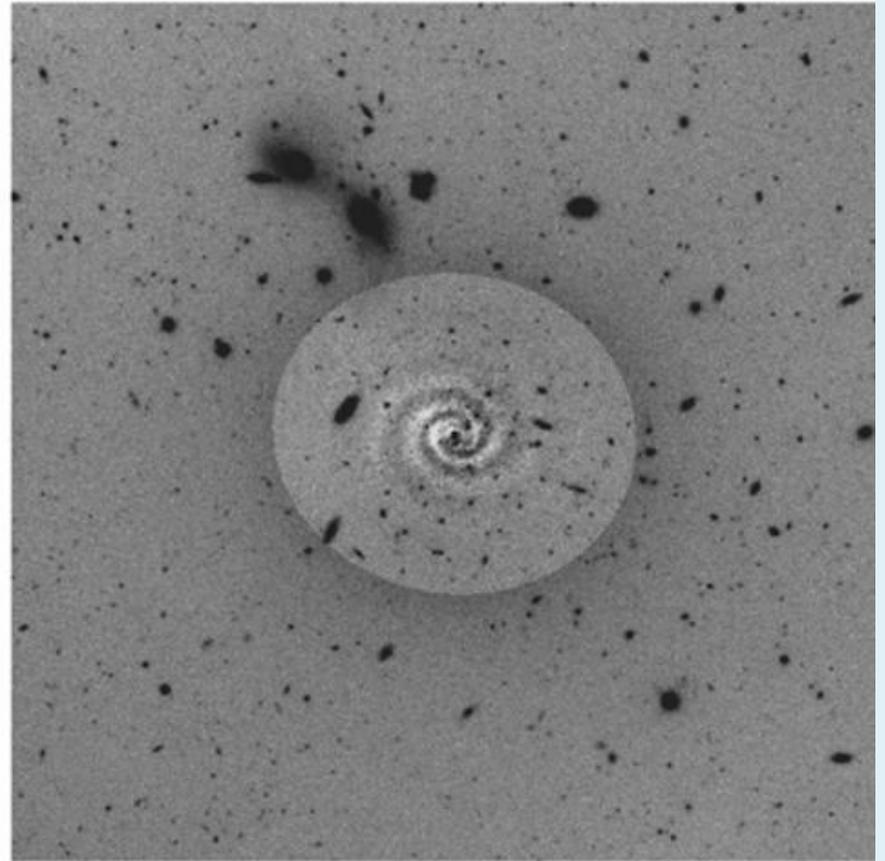
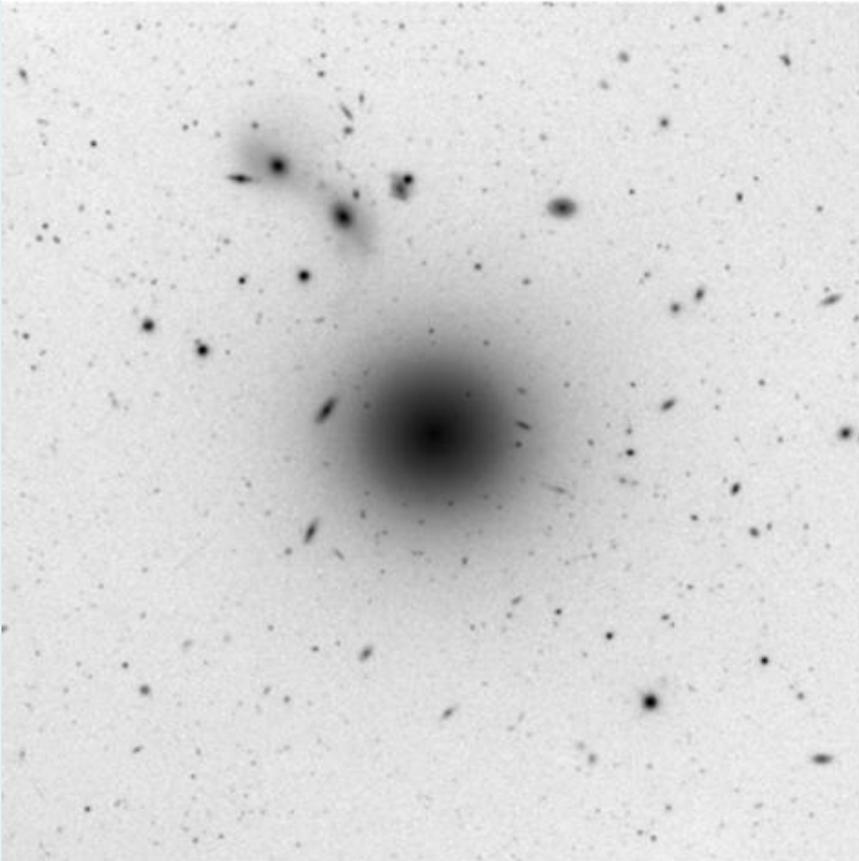
IRAC 8.0 μm



Почему не у всех галактик наблюдаются спирали?

- Нет диска
- Диск есть, но сильно динамически перегрет (высокая дисперсия скоростей звезд или сильные не-круговые движения газа)
- Очень мало газа

dE или dS?



Если плотность звездного диска
лишь слегка возрастает в
спиральных ветвях, то газ
(вместе с пылью) многократно
увеличивает плотность при входе
в спиральную ветвь.

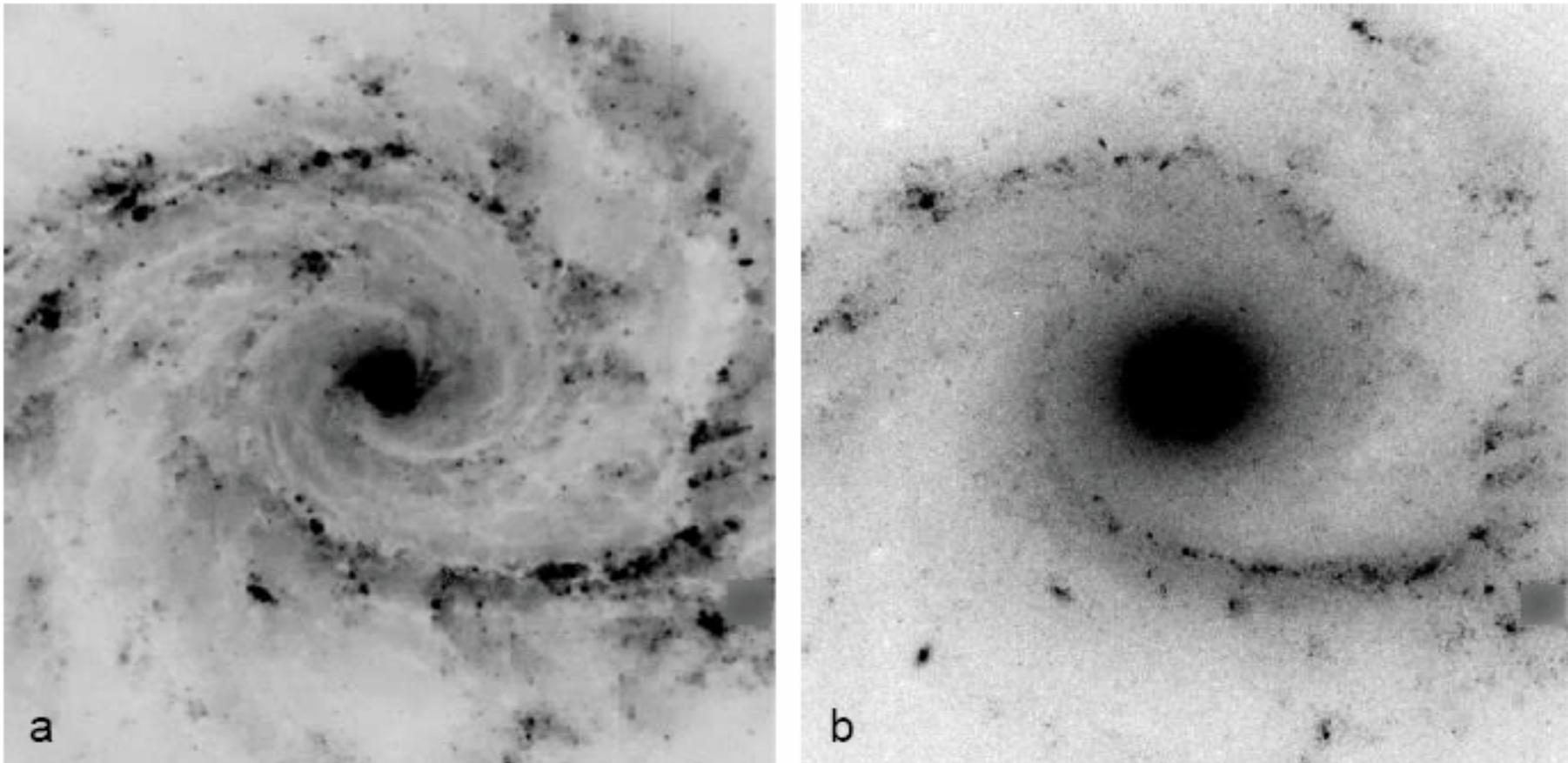
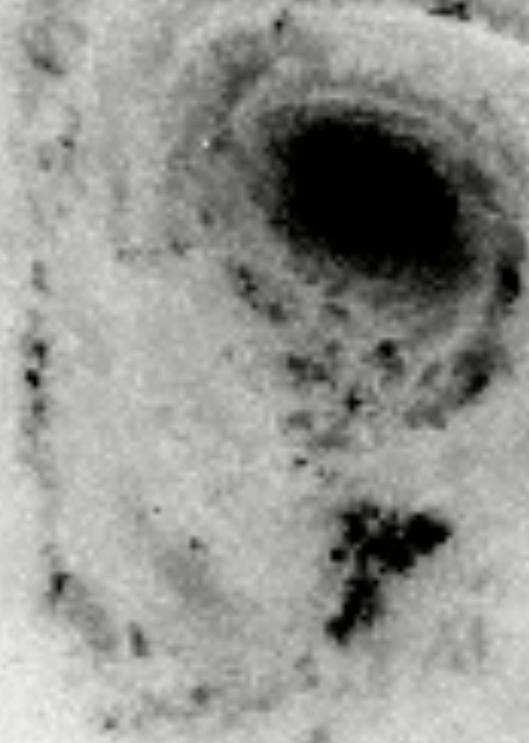


Figure 1. Direct images of NGC 2997 with foreground stars removed in different colors: a) B image, b) K' image.

NGC1142



Спирали и звездообразование

- Спиральные ветви регулируют звездообразование, пространственно упорядочивают его, но оно может идти и без спиральных ветвей. Для этого достаточно, чтобы в галактике было много газа (атомарного или молекулярного).
- Чем холоднее газ, тем с большей вероятности он сожмется в звезду.

Сила, формирующая звезды – это гравитация.

- Предшественником любой звезды должна быть разреженная холодная среда, способная к самопроизвольному уплотнению благодаря собственному гравитационному полю

Четыре главных особенности процесса звездообразования

- Звезды рождаются в областях повышенной плотности газа группами – от нескольких десятков до нескольких десятков тысяч звезд в каждой.
- Предшественником звезд являются холодные молекулярные облака, теряющие свою гравитационную устойчивость
- Превращение газа в звезду – многоступенчатый процесс, продолжающийся сотни тысяч лет.
- Молодые звезды нагревают и отбрасывают окружающий газ. Через 10-20 миллионов лет они теряют связь с газовыми облаками, их породившими.

Три способа «увидеть» до-звездное вещество

- 1. Оптика (темные туманности)
- 2. Радиоволны миллиметрового диапазона (линии молекул CO)
- 3. Инфракрасный свет (холодная пыль)





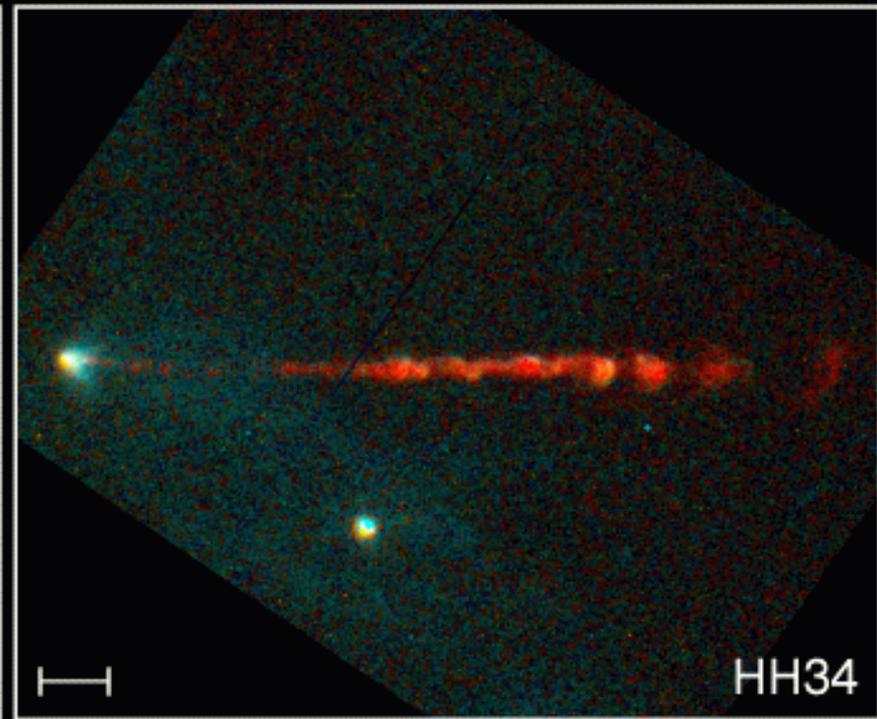
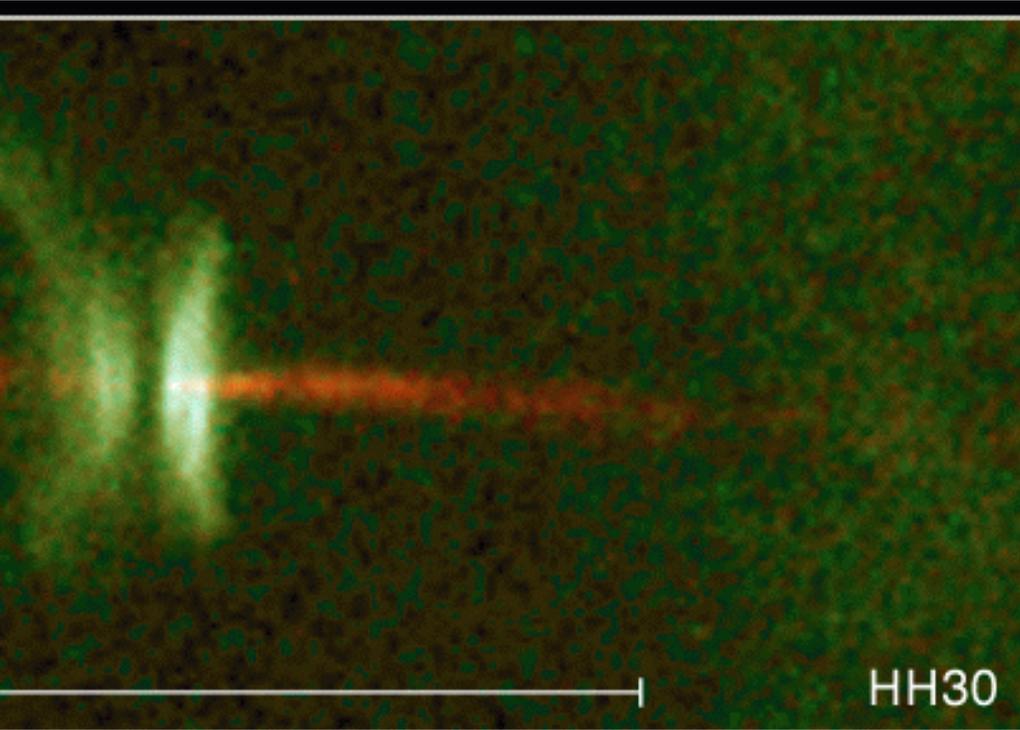


Edge-On Protoplanetary Disk



HST · WFC3

Струи плазмы из формирующихся звезд



Tarantula LMC
ESO





МАСШТАБ СЖАТИЯ

Характерная
плотность облака
 10^{-21} г/см³

Характерная
плотность звезды
1 г/см³

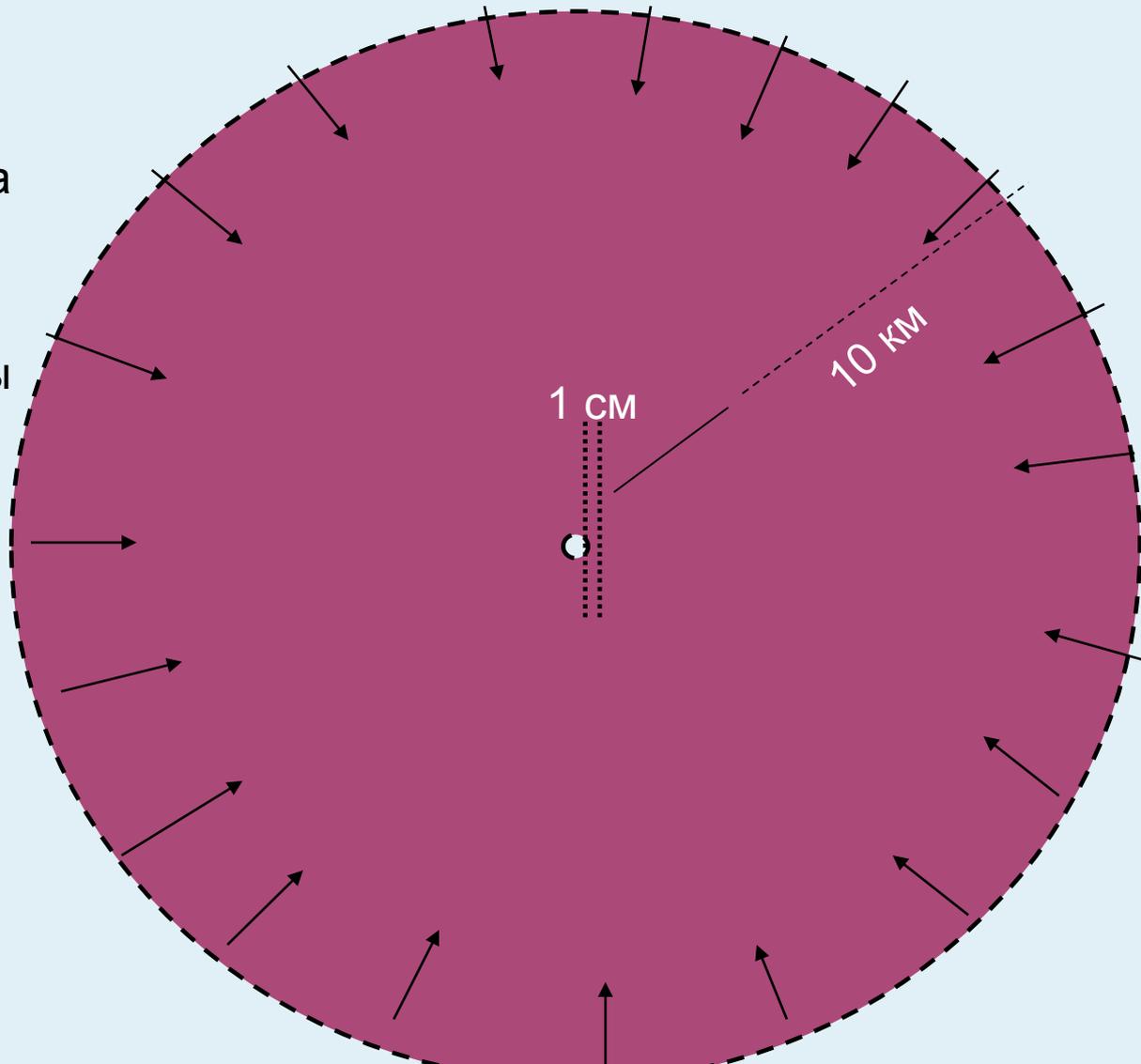
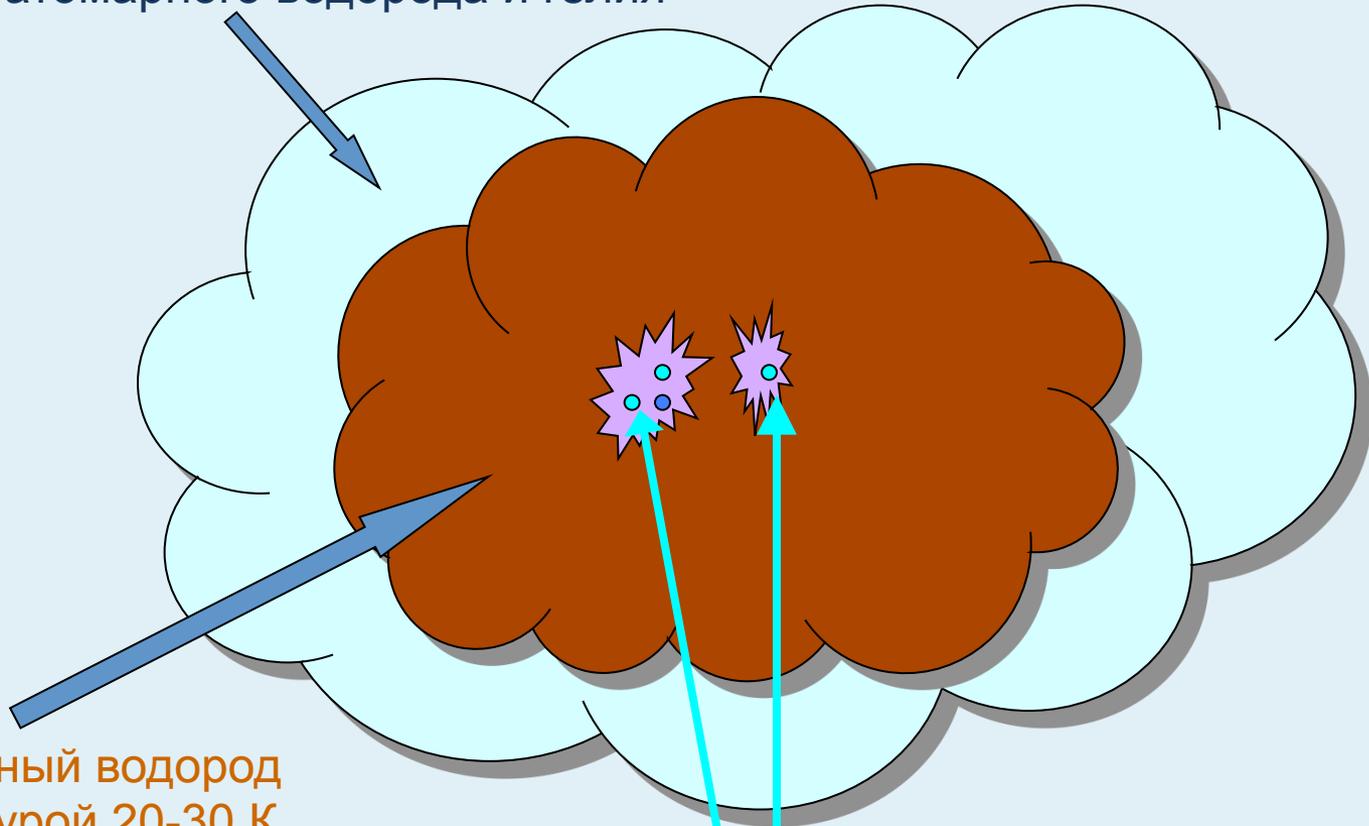


СХЕМА СТРОЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОГО ОБЛАКА

Оболочка из атомарного водорода и гелия



Молекулярный водород
с температурой 20-30 К
плюс пыль

Холодные ядра облака
(области рождения звезд)

РОЖДЕНИЕ ЗВЕЗДЫ ПРИРОДА СКРЫВАЕТ ОТ ЛЮБОПЫТНЫХ



Что препятствует сжатию газа до состояния звезды?

- Любые процессы, нагревающие газ и поэтому усиливающие его упругость;
 - Вращение газа, ускоряющееся при сжатии;
 - Замагниченность газа, препятствующая росту плотности
-
- Поэтому темп звездообразования очень низкий: в среднем во всём объеме Галактики появляется всего несколько молодых звезд в год

Свидетельства происходящего звздообразования

1. Непосредственно наблюдаемые
ОВ- звезды и их скопления



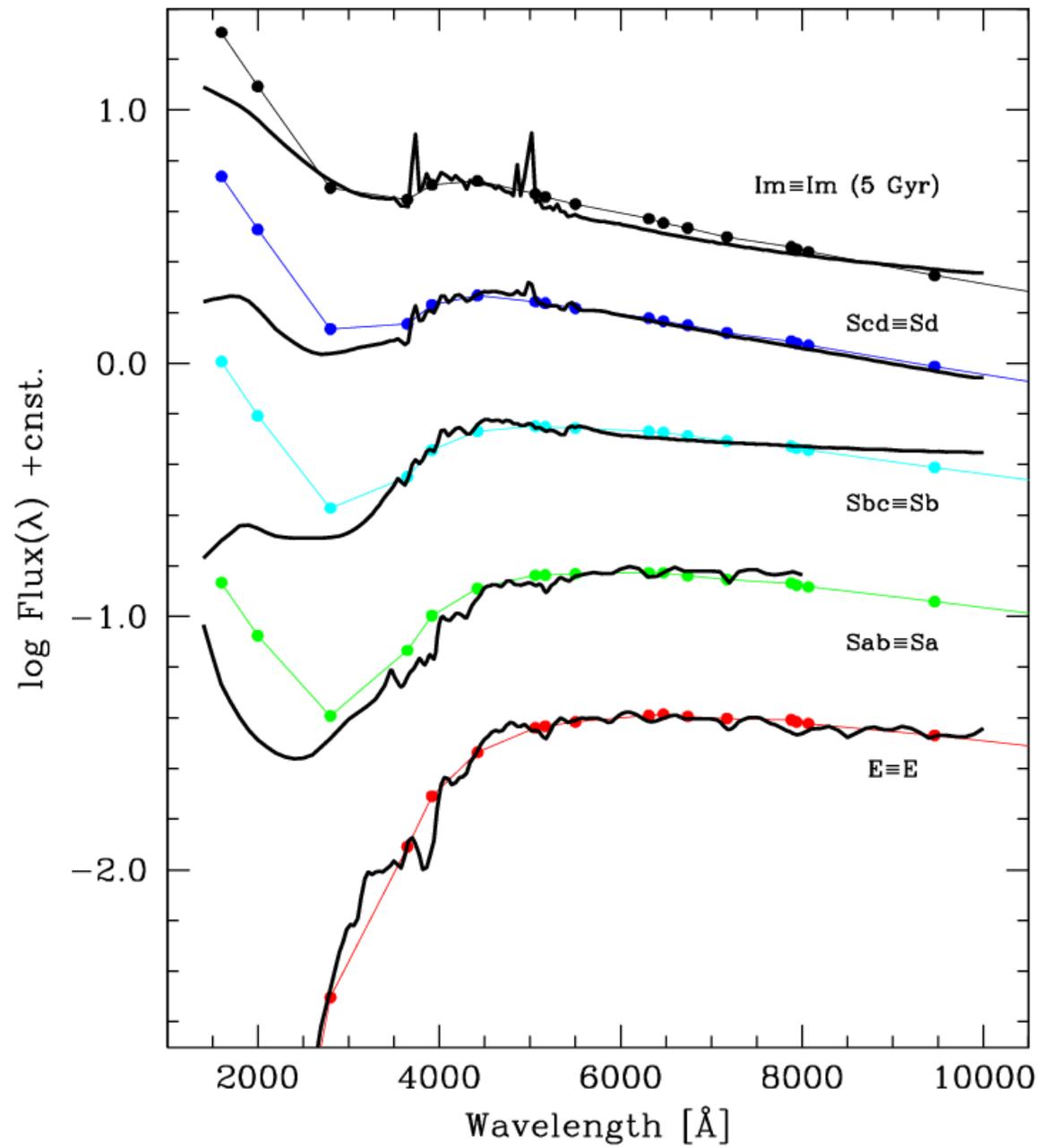
NGC 1569 dlrr HST

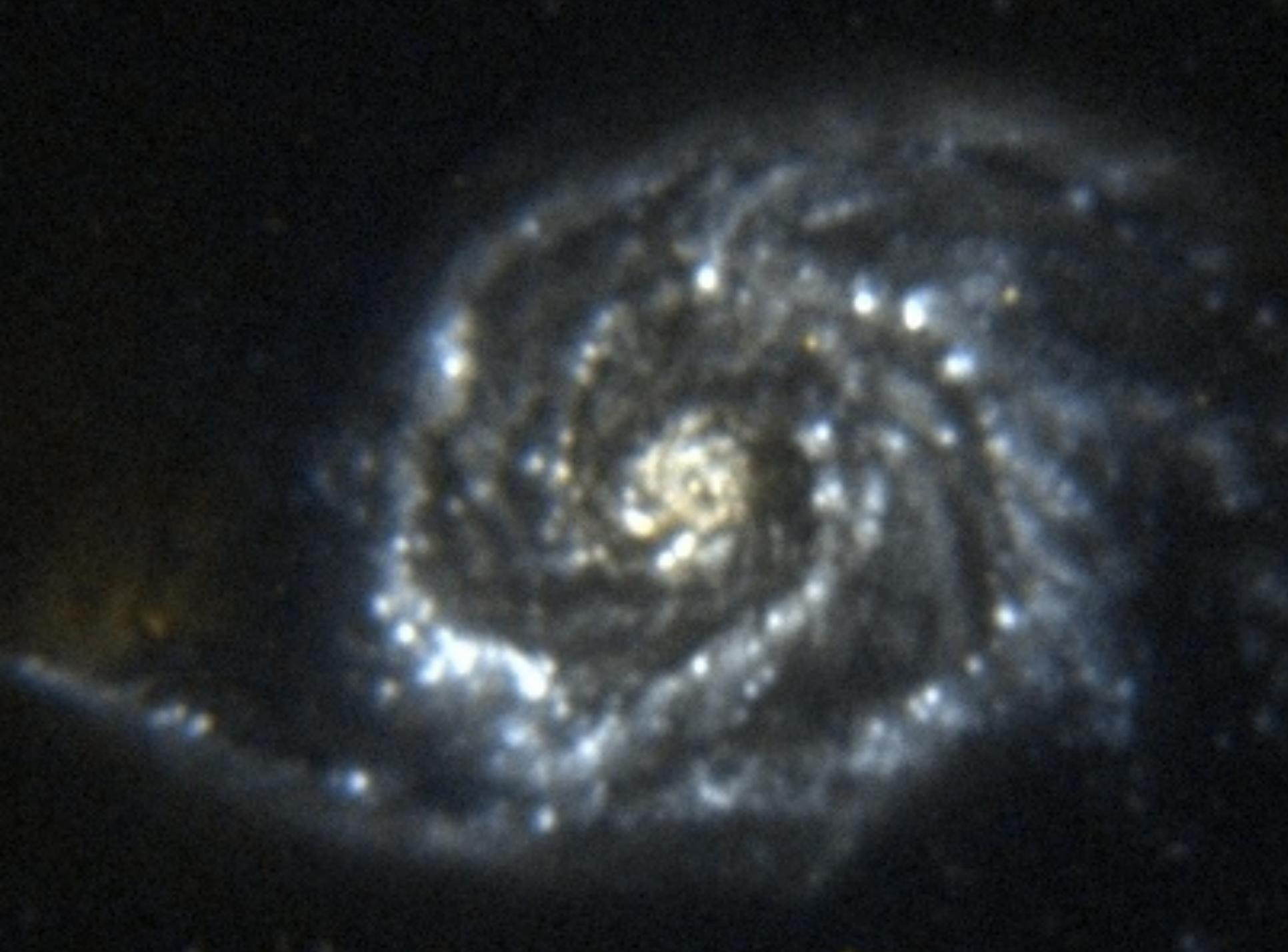


2. Повышенная яркость галактики в голубой области спектра

Фактически, отражает относительный вклад в светимость молодого звездного населения

Примечание: голубой подъем спектра может быть и без молодых звезд (E-галактики)





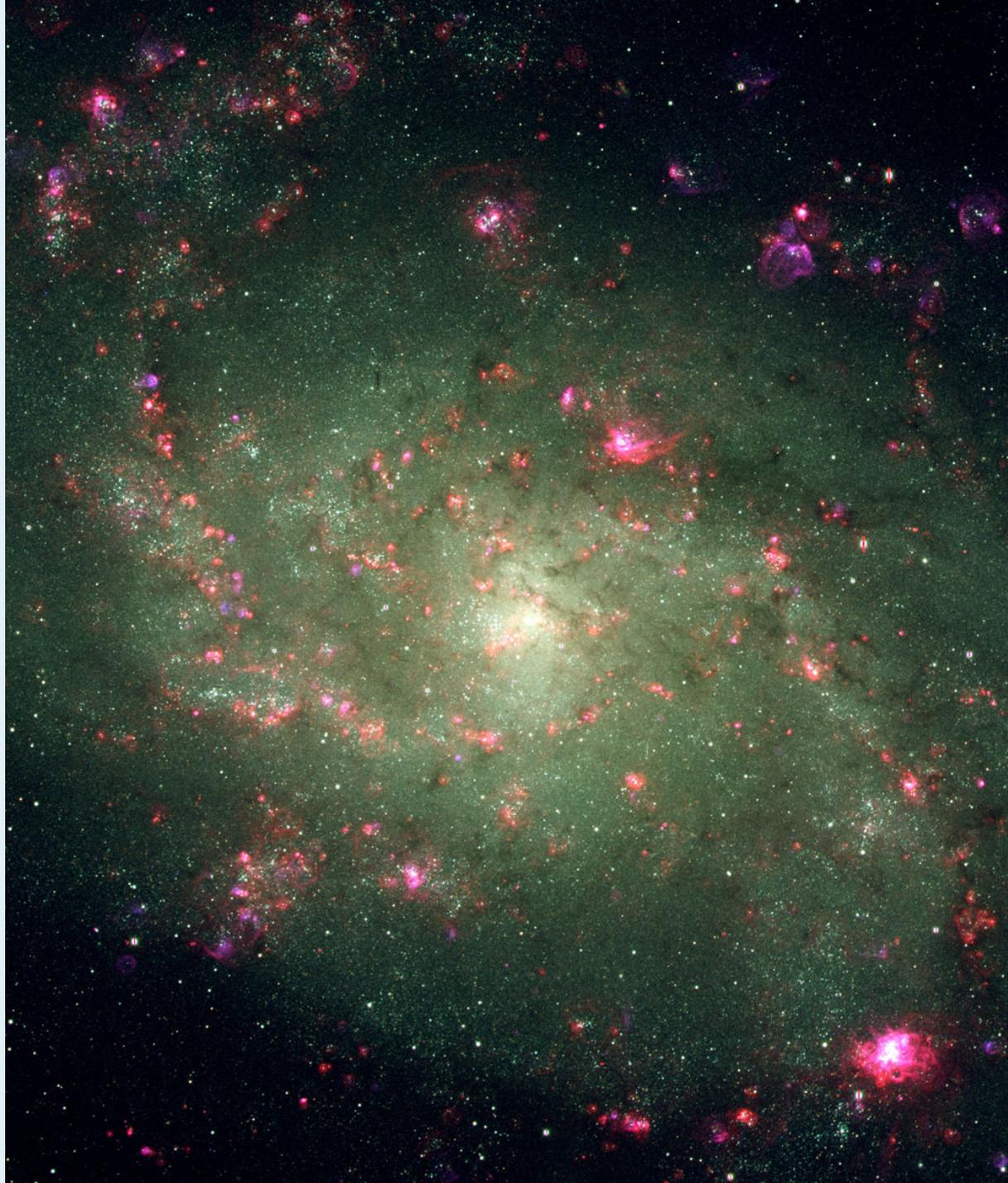
3. Интенсивность эмиссионных линий в излучении межзвездного газа.

Самый распространенный индикатор звездообразования.
Чаще всего – интенсивность в $H\alpha$

ПРИМЕЧАНИЕ.

Интенсивность линий характеризует количество света, излучаемого только наиболее массивными и горячими звездами. Основная масса образующихся звезд эмиссионных линий не образует





4. Яркость галактики в далекой инфракрасной (ИК) области спектра (8 -1000 мкм).

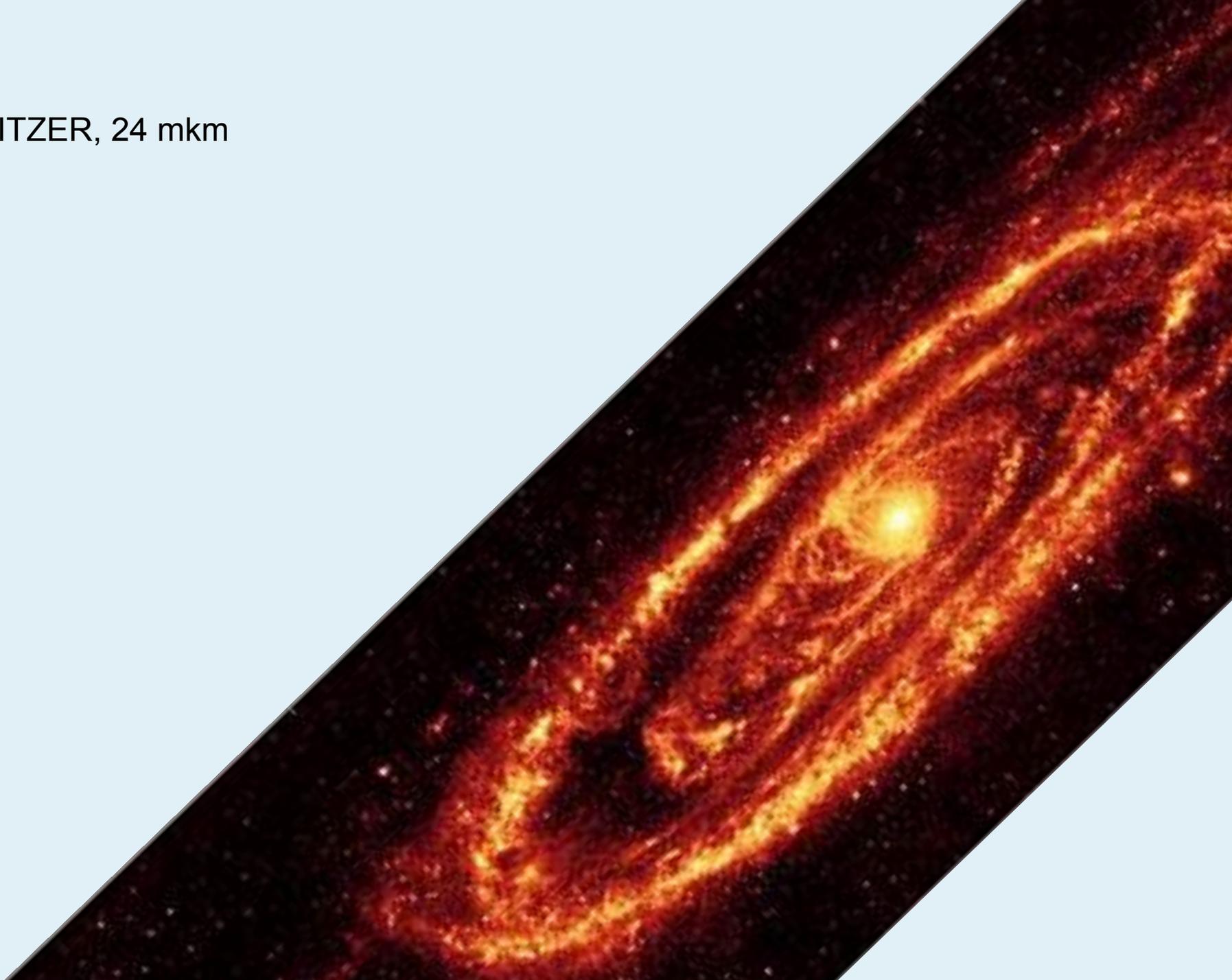
Источники излучения:

- Пыль в областях звездообразования (десятки микрон)
- Пыль в окрестности областей звездообразования (сотни микрон)





SPITZER, 24 mkm



ТЕМПЫ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ ОБЫЧНО ОЦЕНИВАЮТСЯ

- По любому из перечисленных выше индикаторов молодого населения – через модель излучения массивных звезд
- По анализу оптического спектра излучения звезд, представляя его как сумму спектров звезд разного возраста
- по совокупности УФ и ИК светимости
светимость молодых звезд = $A \cdot (L_{UV, \text{эмис.}} + B \cdot L_{FIR})$

Kennicutt et al., 2009, 2011:

- $SFR [M_{\odot}/\text{год}] = 7.9 \cdot 10^{-42} L_{H\alpha} + 1.9 \cdot 10^{-44} L_{8-1000} [\text{эрг/с}]$

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ

- $SFE = SFR/M_{\text{gas}}$

(темп звездообразования, нормированный
на единицу массы газа)

Обратная величина

$$T_d = SFE^{-1}$$

-это характерное время исчерпания газа

ХАРАКТЕРНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ:

ТЕМПЫ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ:

$$\text{SFR} = dM_{\text{звезд}}/dt \approx 0.1 - 10 M_{\text{солнца}}/\text{ГОД}$$

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ

$$\text{SFE} = \text{SFR}/M_{\text{ГАЗ}} \approx 0.1 - 1 (\text{МЛРД ЛЕТ})^{-1}$$

ВРЕМЯ ИСЧЕРПАНИЯ ГАЗА

$$\tau_{\text{газ}} = 1/\text{SFE} \approx 1-10 \text{ млрд.лет}$$

70-е – 80-е годы:

- Низкая эффективность звездообразования – много оставшегося газа – **Scd-Irr**
- Высокая эффективность звездообразования – газ почти весь израсходован – **S0-Sa**

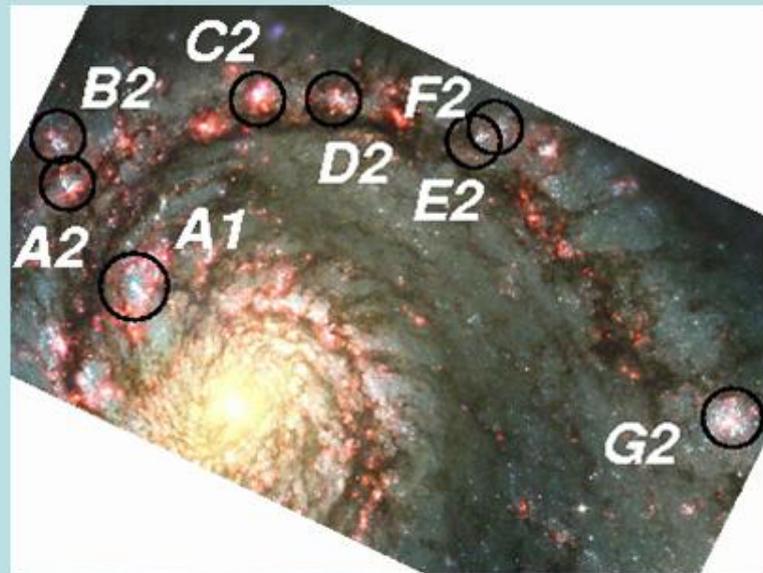
Темпы звездообразования в первую очередь зависят от количества и плотности газа, в первую очередь - молекулярного.

- А как обстоит дело с эффективностью звездообразования? Какие факторы его определяют?
- Это – ключевой вопрос в изучении рождения звезд в галактиках

- Самые большие области, хваченные звездообразованием, называются ЗВЕЗДНЫЕ КОМПЛЕКСЫ. Их размер – несколько сотен парсек.
- Они возникают из газовых комплексов примерно того же размера.

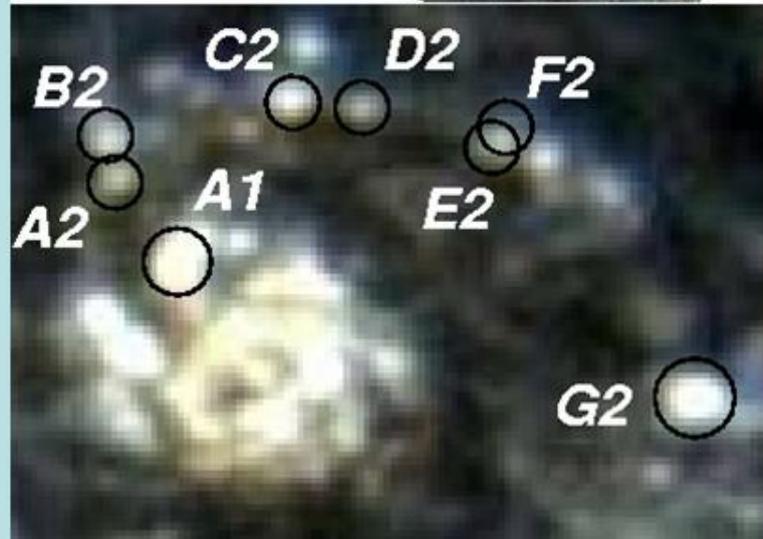
Bastian+ 2005

HST



M 51

GALEX



Комплекс G2 в M51 (HST)

Размер квадрата – 475 пк

Bastian, Gieles, Efremov,
Lamers, 2005

Массивные комплексы =
сверхоблака

Масса ≈ 10 млн M_{\odot}

Размер 100-200 пк

Возраст звезд ≈ 10 млн лет

Время свободного сжатия

-100-200 млн лет (не-
гравитационный механизм
уплотнений внутри облаков?)



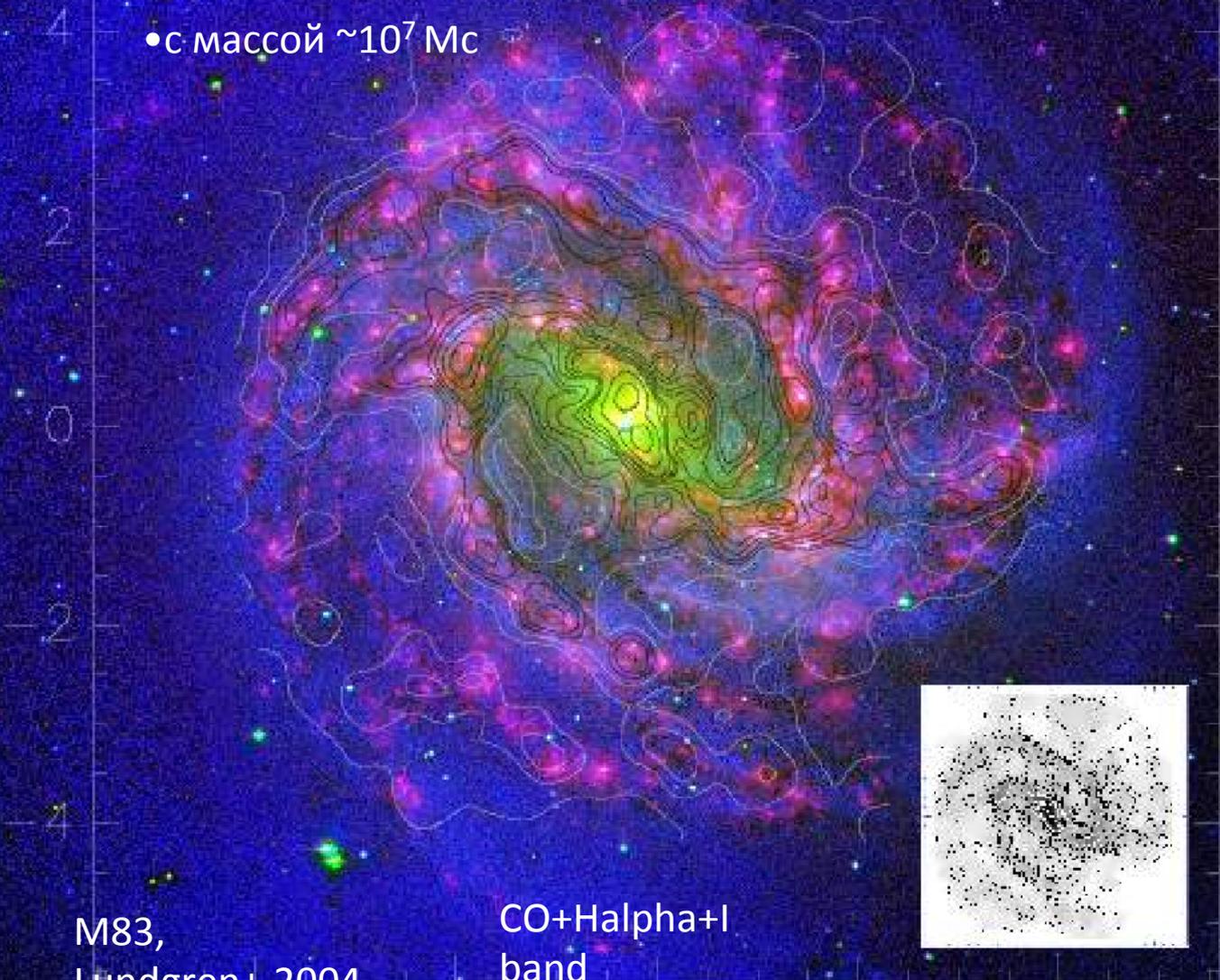
M51:

Несмотря на большое количество молодых звездных группировок,
в **M51** довольно средняя
эффективность звездообразования.

$T_{\text{gas}}=3\text{Gyr}$

Большое количество газовых комплексов – результат большого количества газа.

- Гигантским звездным комплексам
- соответствуют гигантские газовые комплексы
- с массой $\sim 10^7 M_{\odot}$

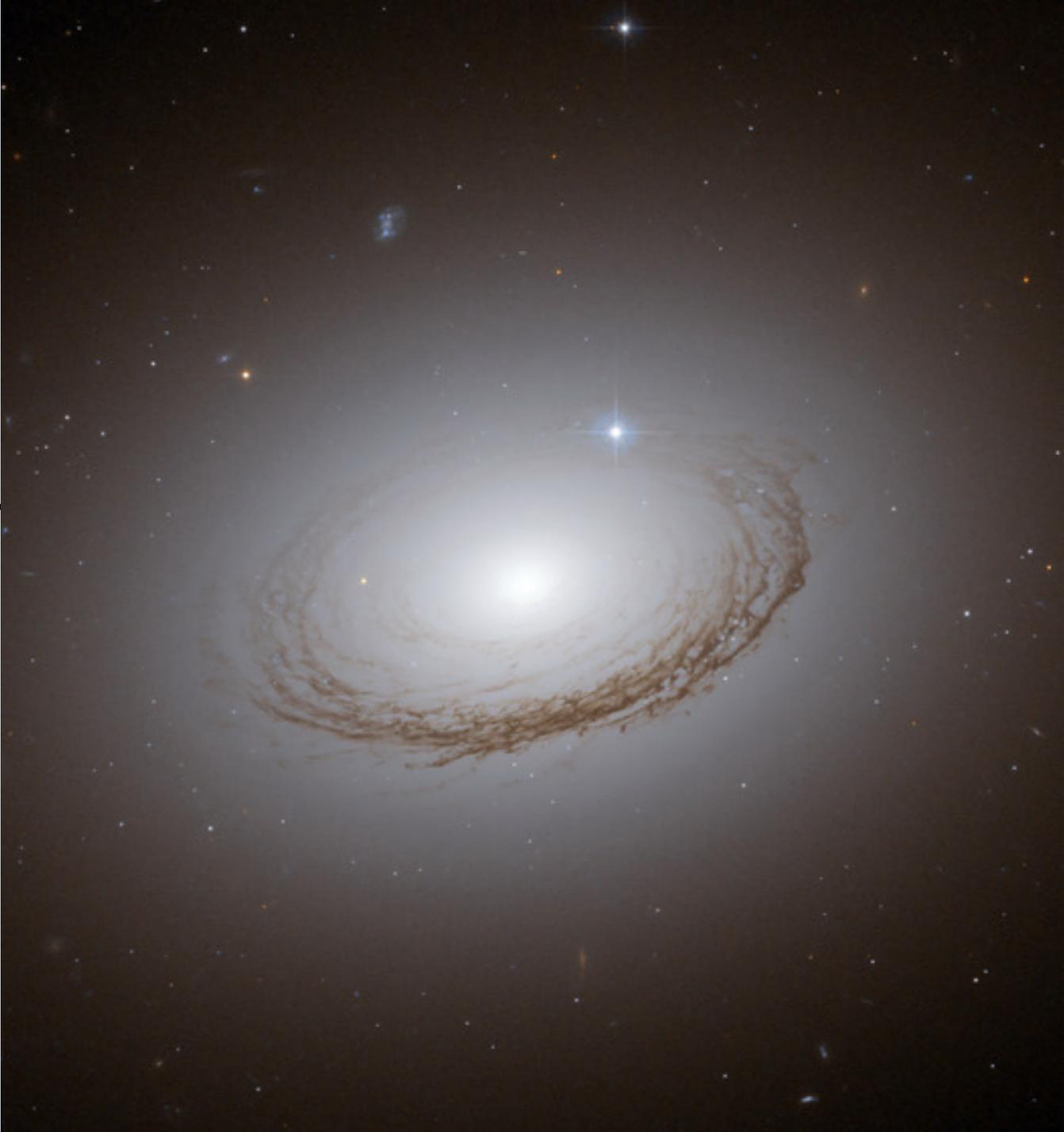


M83,
Lundgren+,2004

CO+Halpha+I
band

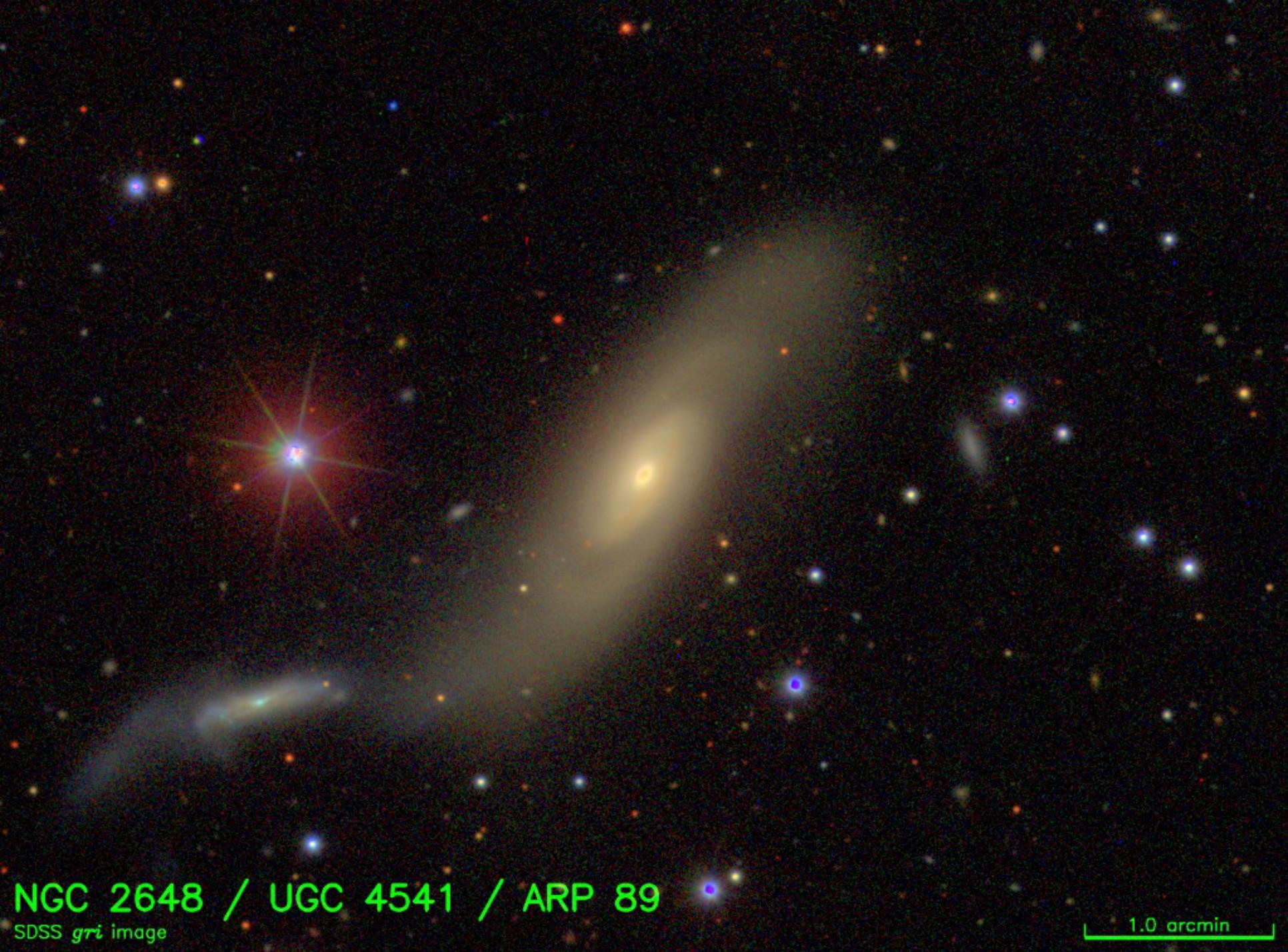
Линзовидные галактики: ГАЛАКТИКИ БЕЗ КОМПЛЕКСОВ!

Причина- низкая плотность газа



Γ

B!



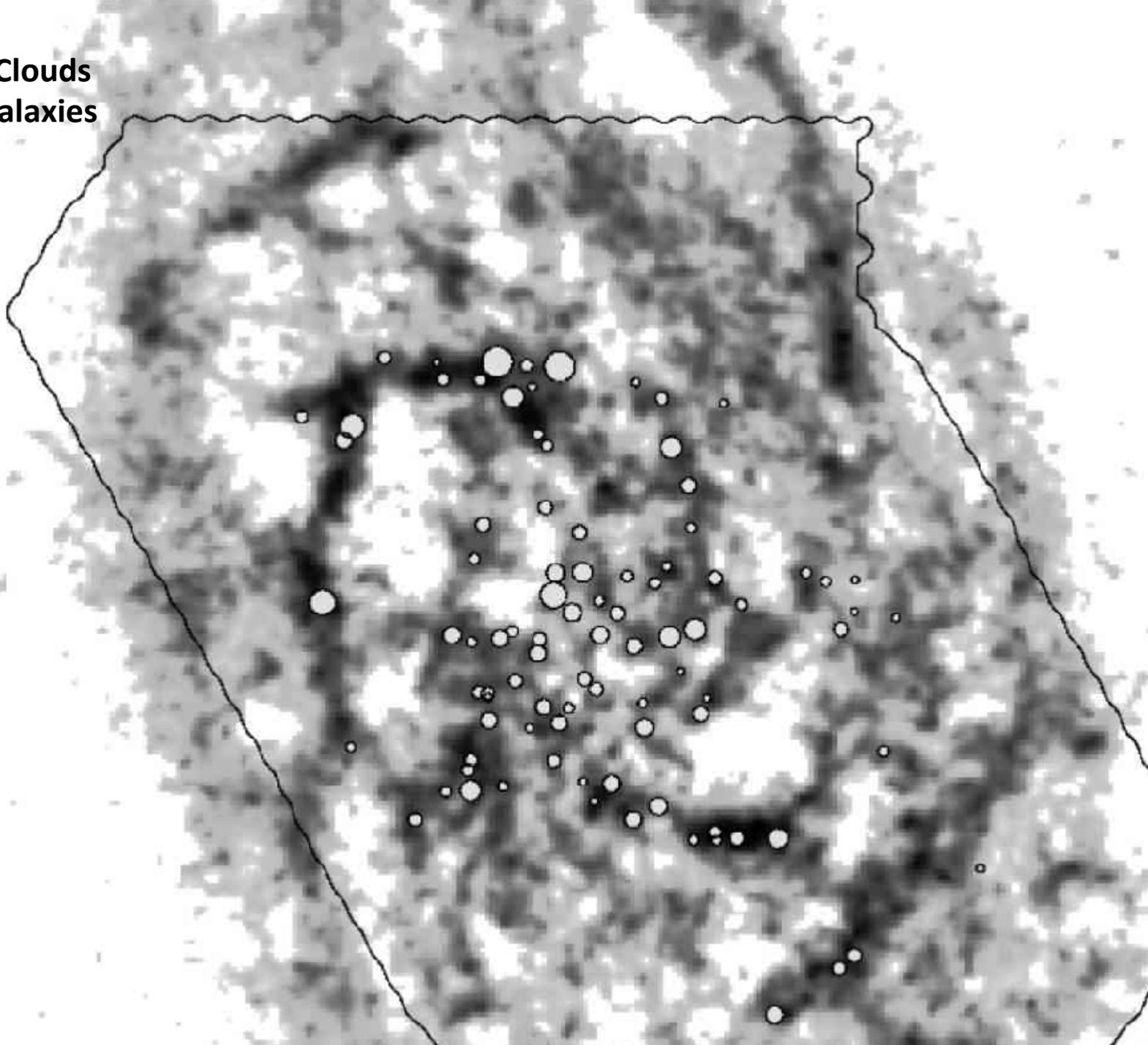
NGC 2648 / UGC 4541 / ARP 89
SDSS *gri* image

1.0 arcmin

Чтобы шло образование звезд,
нужен молекулярный газ

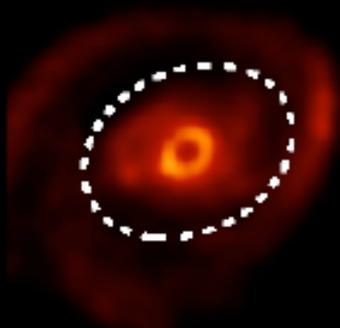
**Giant Molecular Clouds
in Local Group Galaxies**

M33, *GMC+HI*
L.Blitz et al, 2006

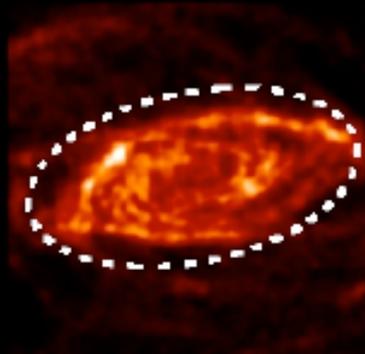


HI Maps

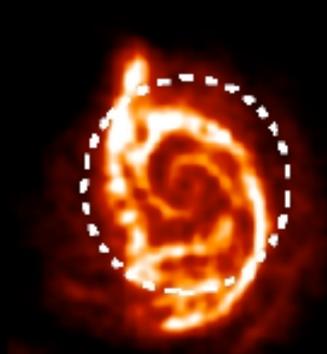
NGC 4736



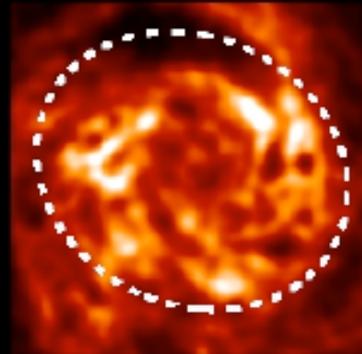
NGC 5055



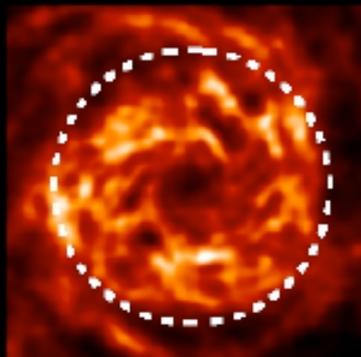
NGC 5194



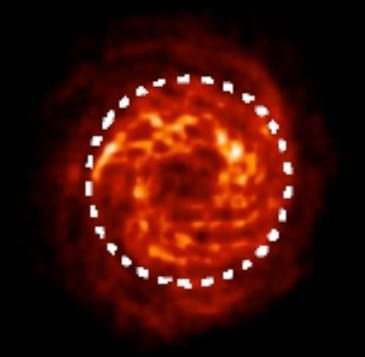
NGC 6946



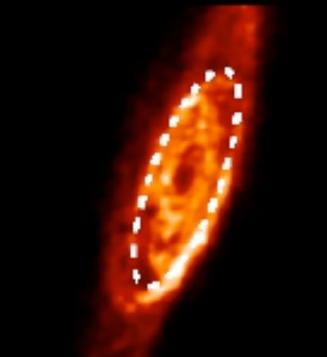
NGC 0628



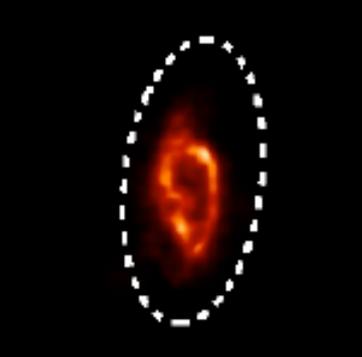
NGC 3184



NGC 3521

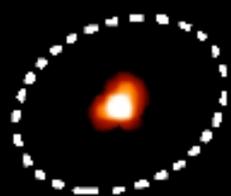


NGC 3627

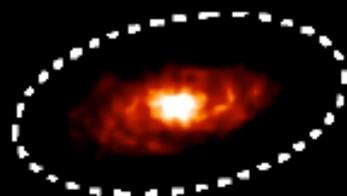


H₂ Maps

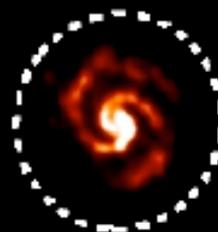
NGC 4736



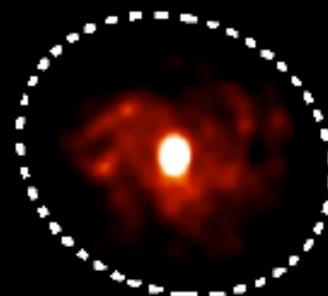
NGC 5055



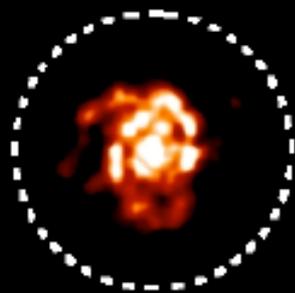
NGC 5194



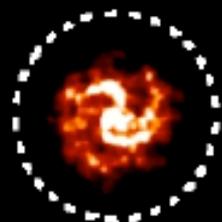
NGC 6946



NGC 0628



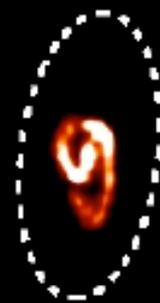
NGC 3184



NGC 3521



NGC 3627

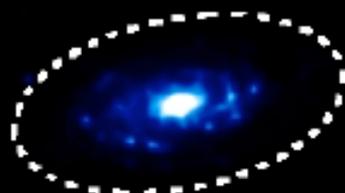


SFR Maps

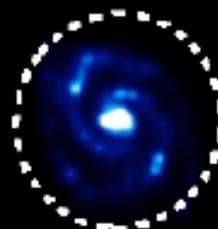
NGC 4736



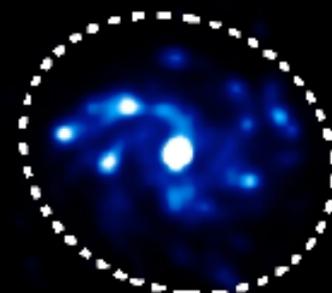
NGC 5055



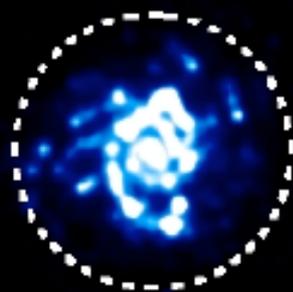
NGC 5194



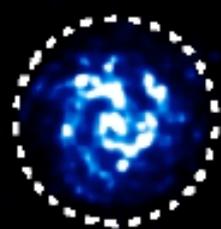
NGC 6946



NGC 0628



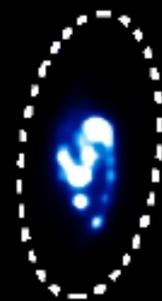
NGC 3184



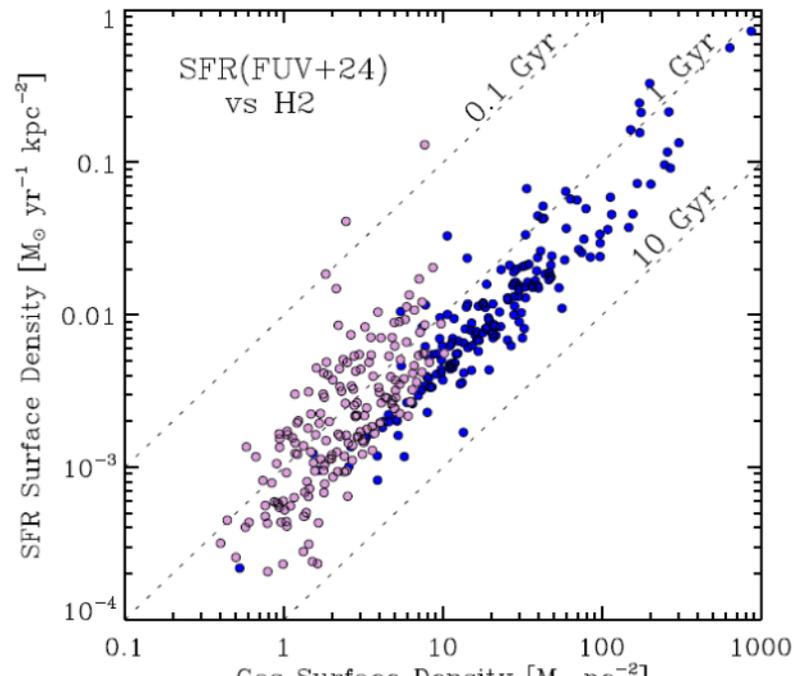
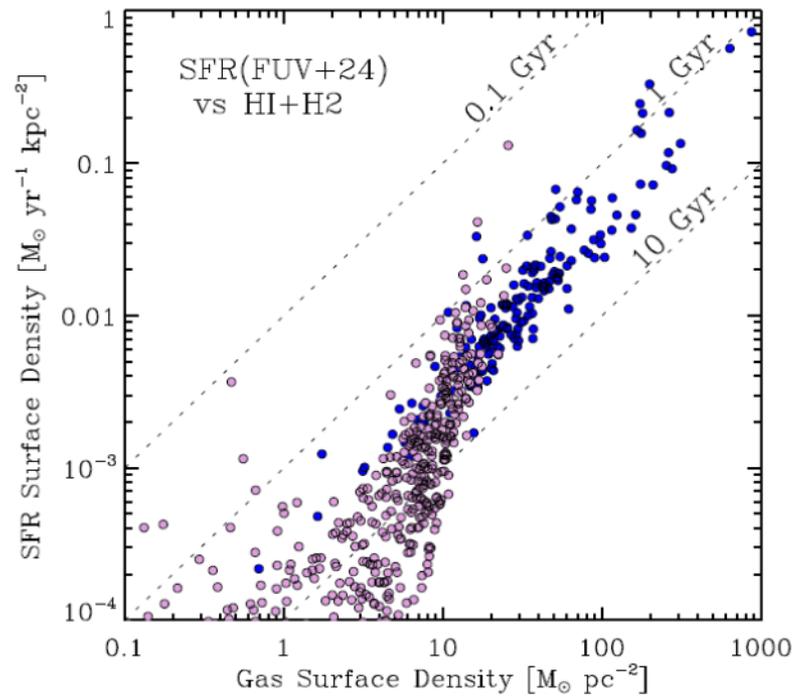
NGC 3521

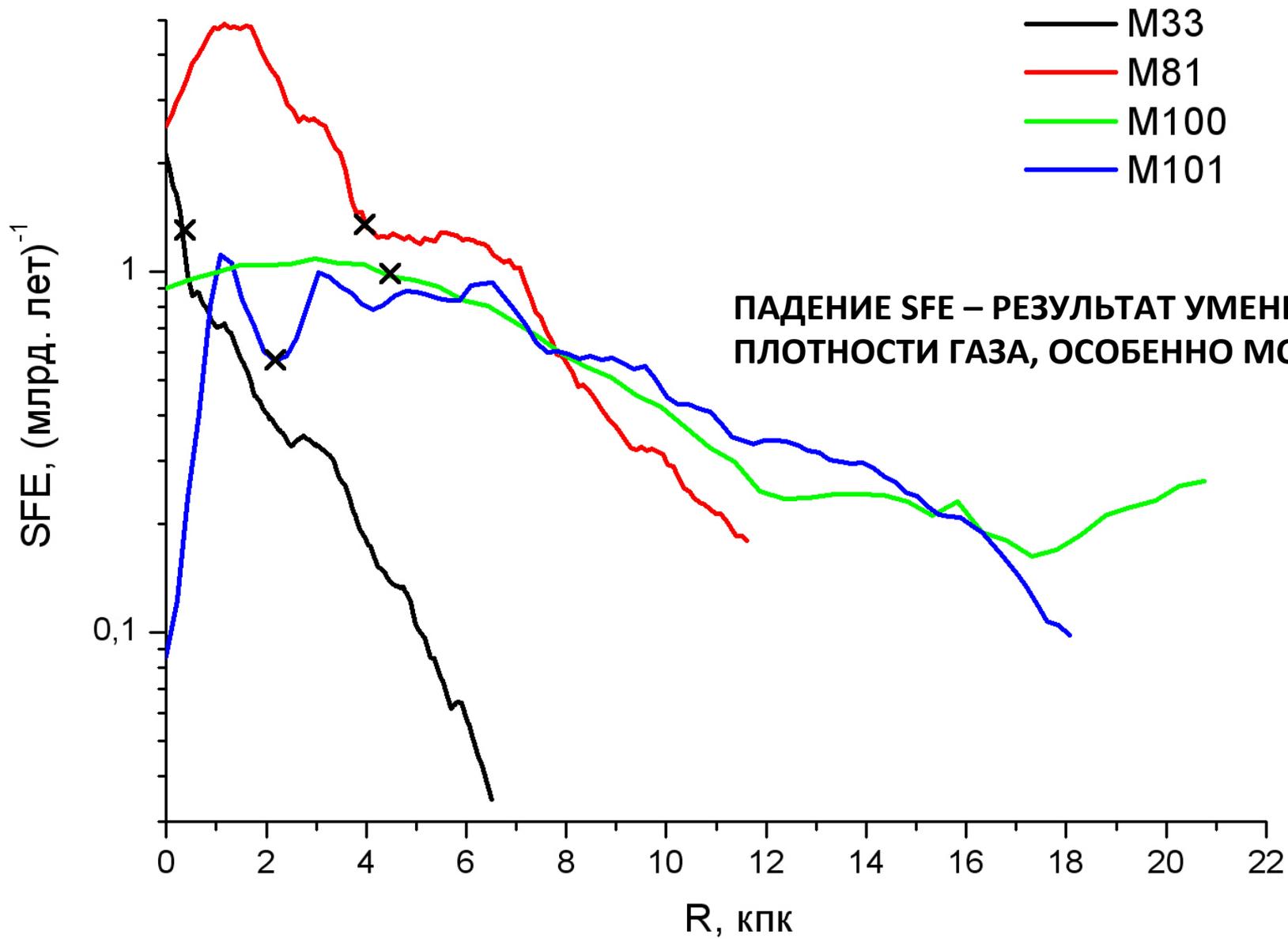


NGC 3627



Schruba et al., 2011

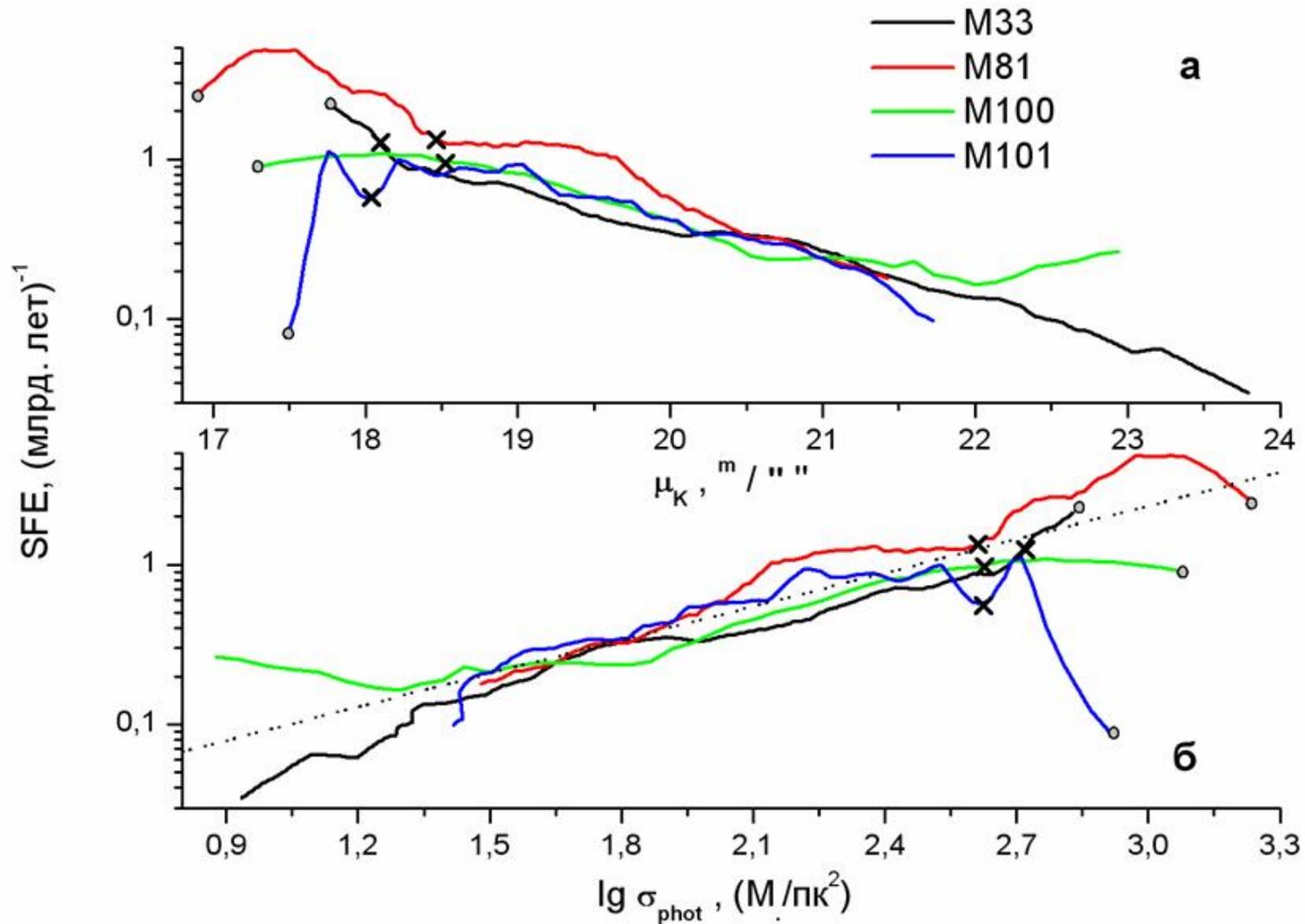




Чем выше средняя плотность старого звездного диска на данном R , тем выше эффективность звездообразования:

Причина:

- Более сильно сжатый газовый диск
- Более высокая доля молекулярного газа



Наиболее четкая зависимость SFE наблюдается от поверхностной яркости (поверхностной плотности) звездного диска

Понятие обратной связи и самоподдерживающееся звздообразование

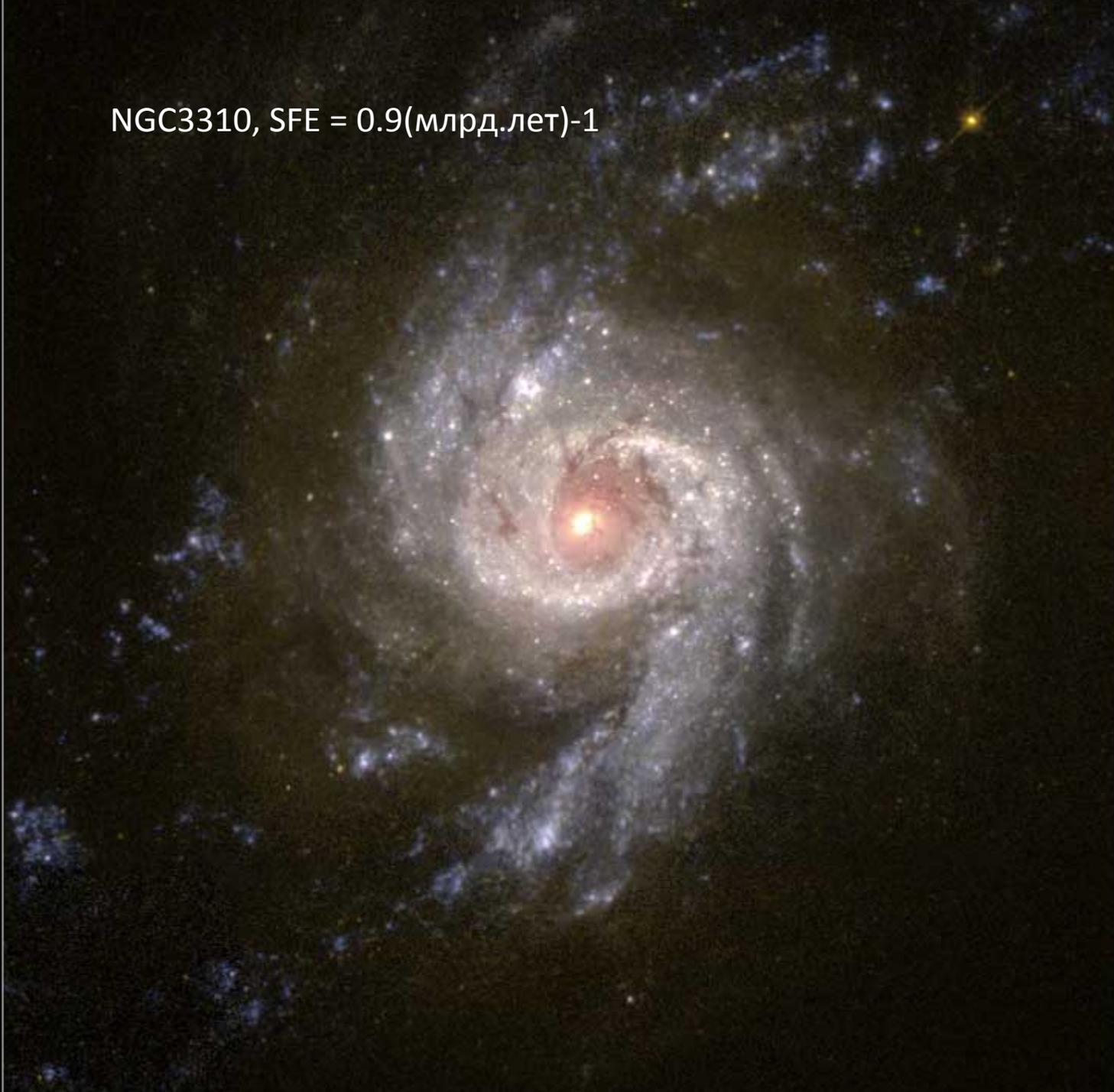
- Два канала влияния молодых звезд на окружение:
- А) Ударные волны (положит. обр. связь)
- Б) Исчерпание газа (отрицат. обр. связь)
- *Вспышки звездообразования*
- *Остановка звездообразования*

Аналогия с лесным пожаром

Звездообразование в околоядерных дисках

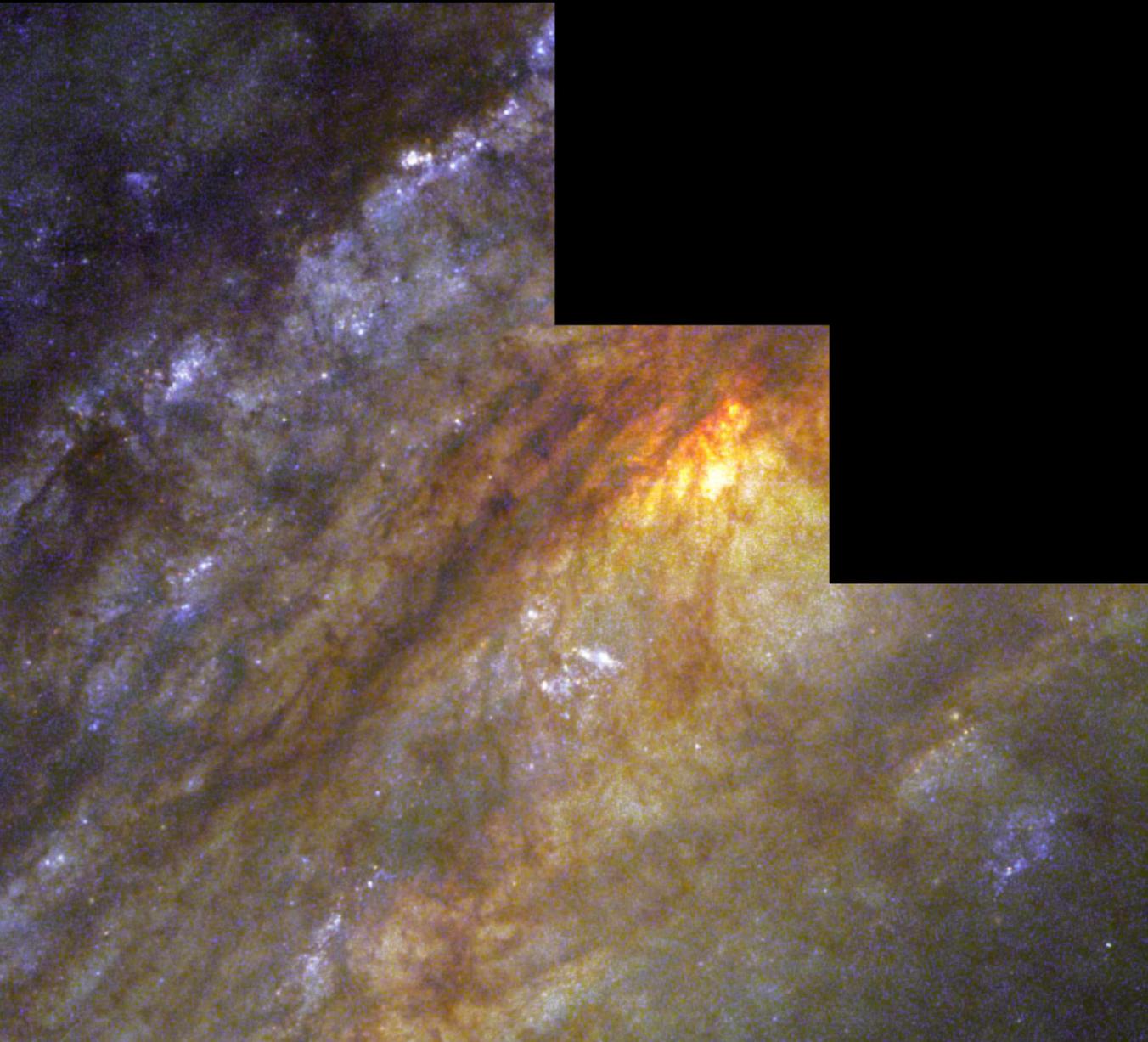
- Накопление газа
- Динамическая обособленность
- Более высокое давление газа, почти полная молекуляризация плотность молекулярного газа
- Вспышки звездообразования, связь с активностью ядра
- Галактики с ультравысокой ИК светимостью (ULIRG)

NGC3310, SFE = 0.9(млрд.лет)⁻¹









I Zw 18

