

ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЕ

- -это процесс локальный, и если он связан с крупномасштабными параметрами диска, то только потому, что они определяют условия, ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ образованию звезд

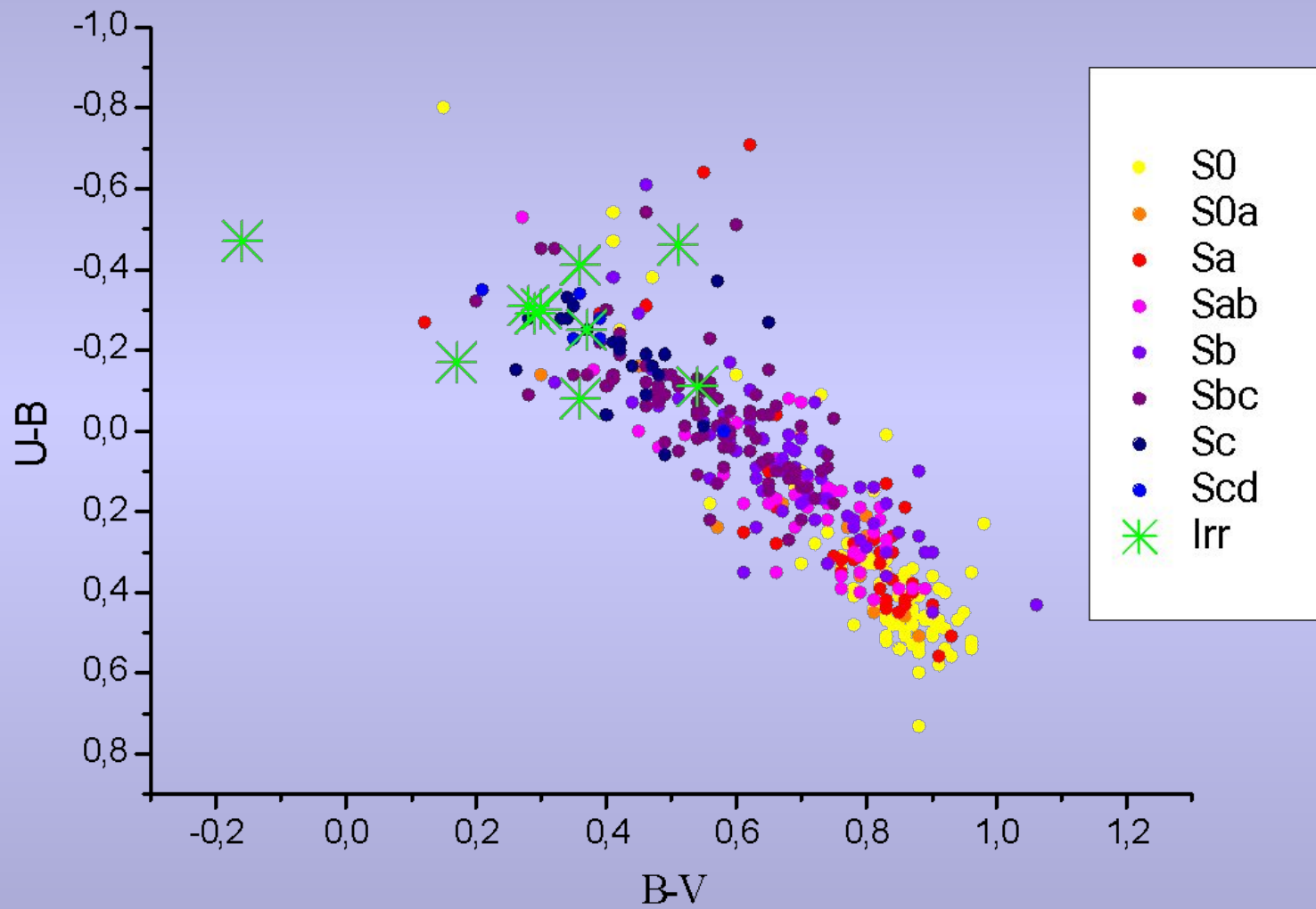
Основные индикаторы активного звездообразования:

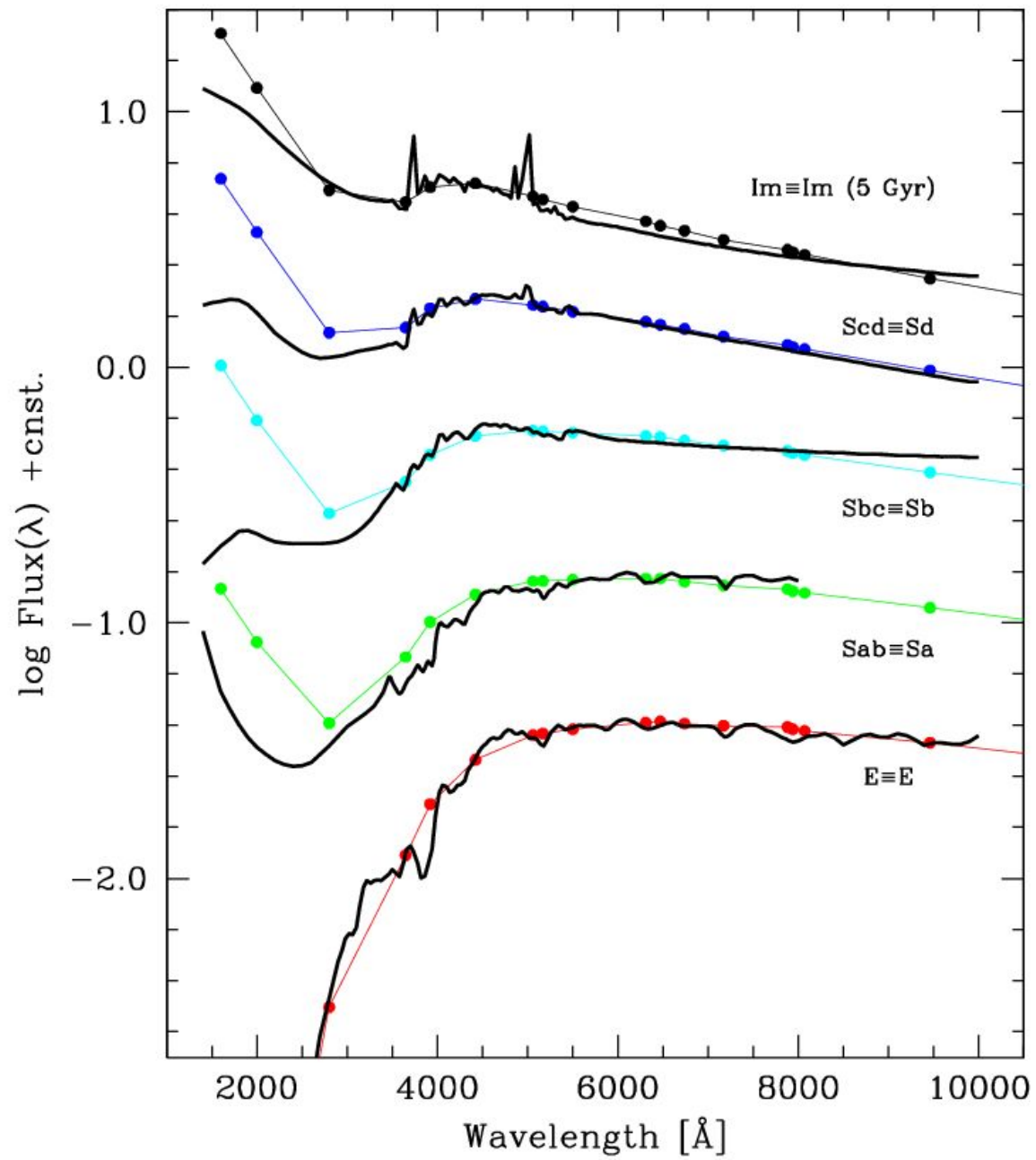
1. Непосредственно наблюдаемые ОВ- звезды и их скопления (только для близких галактик)
2. Яркость в голубой или УФ области спектра. Подъем спектра в голубой области, или низкий показатель цвета.
3. Интенсивность эмиссионных линий, число областей HII.
4. Яркость в далекой ИК области (8 -1000 мкм).
5. Тепловое и не-тепловое радиоизлучение.
6. Светимость в рентгеновском диапазоне

2. Подъем спектра в голубой области, или низкий показатель цвета.

Фактически, отражает относительный
вклад в светимость молодого и старого
звездного населения

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





3. Интенсивность эмиссионных линий.

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

ПРИМЕЧАНИЕ.

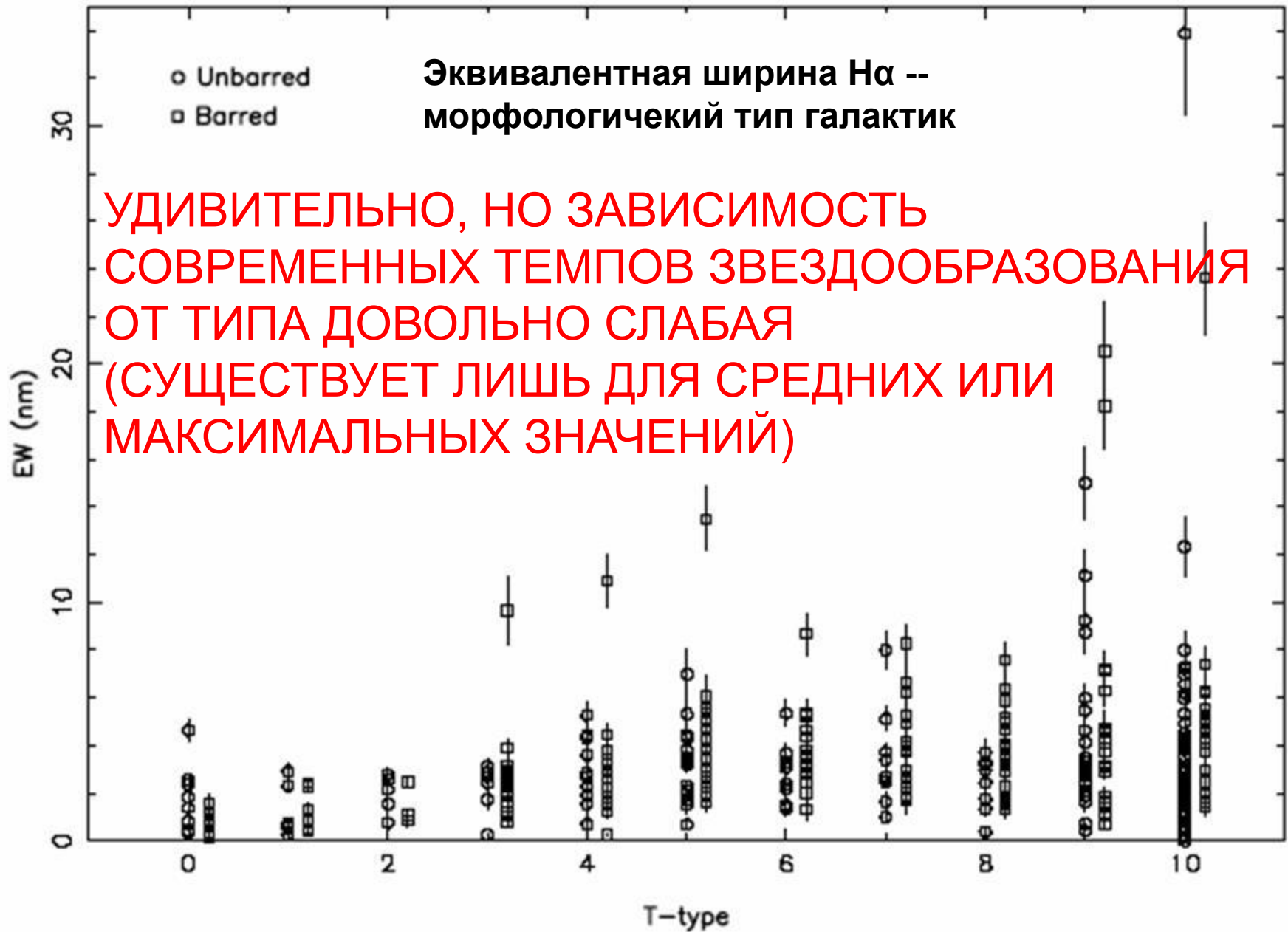
Интенсивность линий зависит НЕ ТОЛЬКО от количества молодых звезд, но и

- от металличности газа
- от содержания пыли в галактике
- от наличия активного ядра

Около 13 % болометрической светимости молодой звездной группировки приходится на ионизирующие кванты $\lambda < 912 \text{ \AA}$.

- $\text{SFR} [\text{M}_{\odot}/\text{год}] = 8.9 \cdot 10^{42} L_{\text{H}\alpha} \text{ эрг/с}$
(Kennicutt 1992, 1998)

$L_{\text{H}\alpha}$ должна быть исправлена за поглощение в нашей и родительской галактике, за вклад линий N[II] в излучение в H α - фильтре, а для галактик со слабым звездообразованием – и за влияние абсорбционной линии H α .



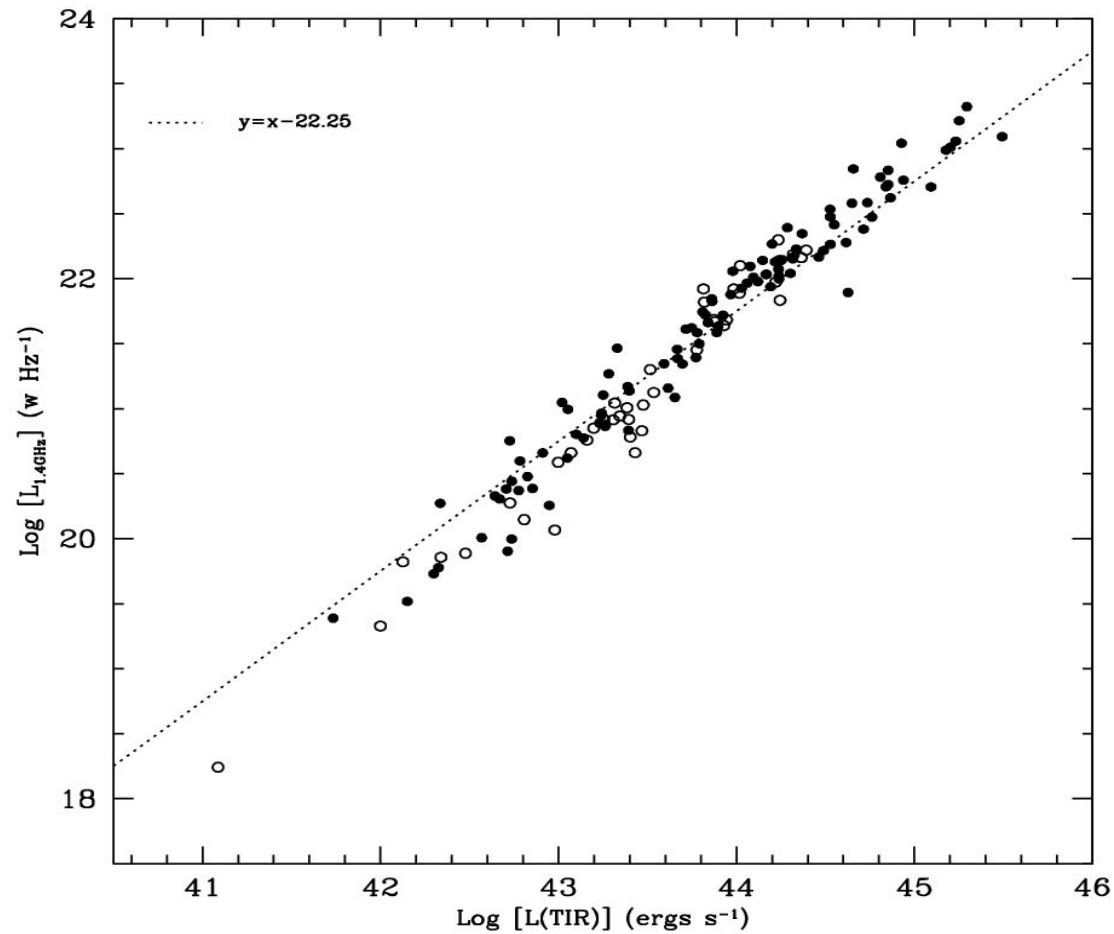
4. Яркость в далекой ИК области (8 -1000 мкм).

Источники излучения:

- Пыль в областях звездообразования (8-25 мкм)
- Пыль в окрестности областей звездообразования (60-200 мкм)
- Пыль вдали от областей звездообразования (400-1000 мкм)

5. Тепловое и не-тепловое радиоизлучение.

- Связь с молодыми звездами:
- Тепловое радиоизлучение – излучение областей HII
- Нетепловое радиоизлучение: синхротронное излучение, «подпитываемое» взрывами SN.



Объяснение линейности зависимости представляет собой нерешенную проблему.

6. Мягкое рентгеновское излучение.

- Два типа источников:
 - а) точечные источники (аккрецирующие звезды, молодые остатки SN) и
 - б) горячий газ (в диске это superbubbles).
- Полная светимость $10^{38} - 10^{40}$ эрг/с
- Мягкий рентген (0.3 – 2 КэВ) коррелирует с УФ.

$$SFR = L_x \cdot 2 \cdot 10^{-40} \text{ эрг/с (0.3 – 2 КэВ)}.$$

Возможна нелинейность.

Характерный возраст источников,
дающих максимальный вклад в излучение

- Эмиссионное излучение, O-звезды :
 $10^6 - 3 \cdot 10^6$ лет
- УФ, FIR, рентген : $10^7 - 10^8$ лет
- Показатели цвета U-V, B-V: $10^8 - 10^9$ лет

Темпы звездообразования [солн. масса/год]

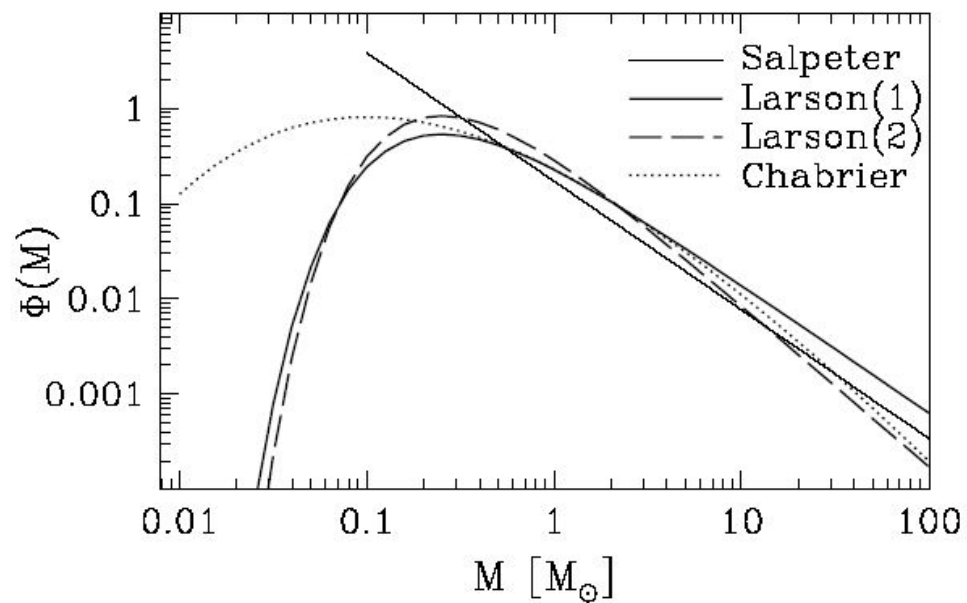
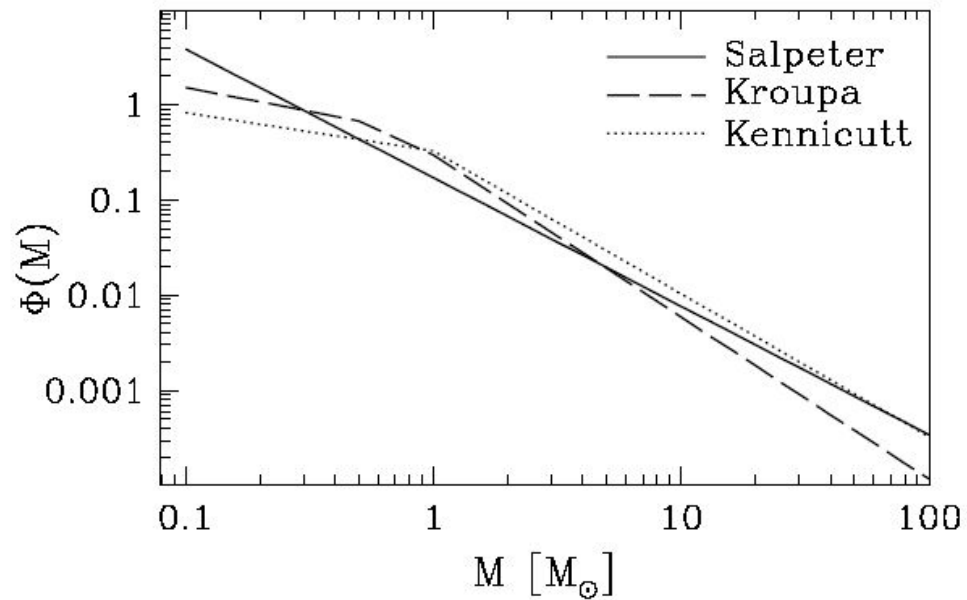
- От качественной оценки (интенсивное, умеренное, слабое) до количественной – большая дистанция.
- *Надо знать способности звезд различной массы излучать в различных диапазонах, время их жизни, влияние пыли, распределение рождающихся звезд по массам*
- ***ВСЕ ОЦЕНКИ SFR МОДЕЛЬНО ЗАВИСИМЫ!***

ТЕМПЫ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ ОБЫЧНО ОЦЕНИВАЮТСЯ

- По количеству молодых объектов (ОВ-звезды, голубые скопления)
- по интенсивности излучения в эмиссионных линиях
(проблема: учет поглощения, чувствительность к верхнему пределу масс звезд, при низких SFR – трудно учитываемый вклад AGB- звезд и ударных волн)
- по форме спектра или показателям цвета, включающих голубую область (поглощение света и хим.состав звезд могут быть модельными параметрами)
- по яркости галактики в УФ и голубой области спектра (проблема: учет поглощения)
- по тепловому излучению межзвездной пыли
(проблема: учет вклада старых звезд в нагрев пыли; низкое угловое разрешение IRAS в далеком ИК)
- По интенсивности радиоизлучения (ярк. температуре) галактики.
- по совокупности УФ и ИК светимости
светимость молодых звезд = $A \cdot (L_{UV, obs} + B \cdot L_{FIR})$
(Hirashita et al, 2003, Boissier et al, 2004). Слабая зависимость от принятой модели звездообразования

Основные источники грубых ошибок в оценках SFR

- Поглощение пылевой средой (для оптических индикаторов)
- Нагрев пыли старыми звездами (для ИК)
- Учет маломассивных звезд (проблема начальной функции масс звезд)



SINGS

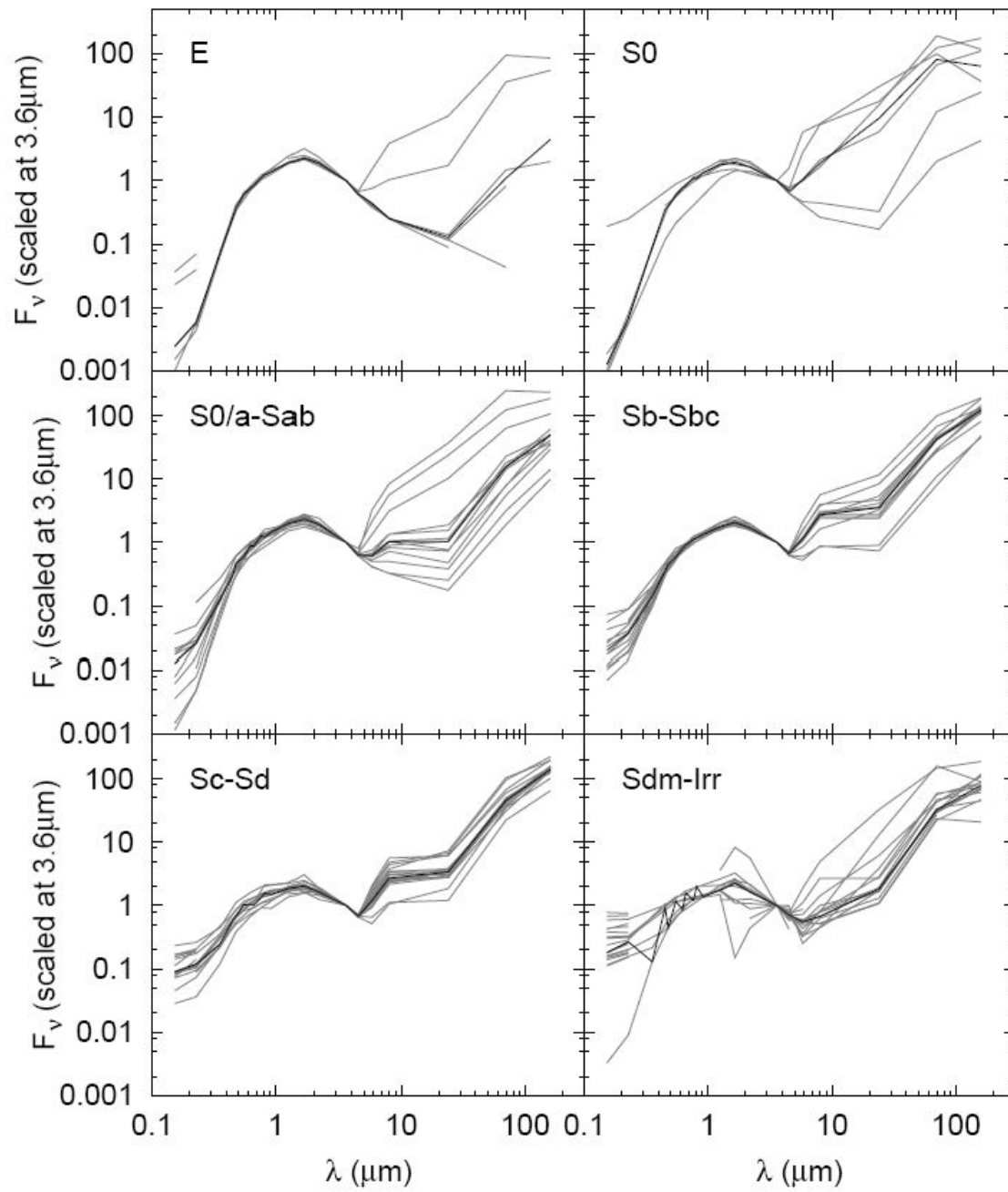
- Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey
(Kennicutt+2003)

75 галактик различных типов и
светимостей в пределах 30 Мпс.

IR (7 wavelengths) 3.6 – 160 μm

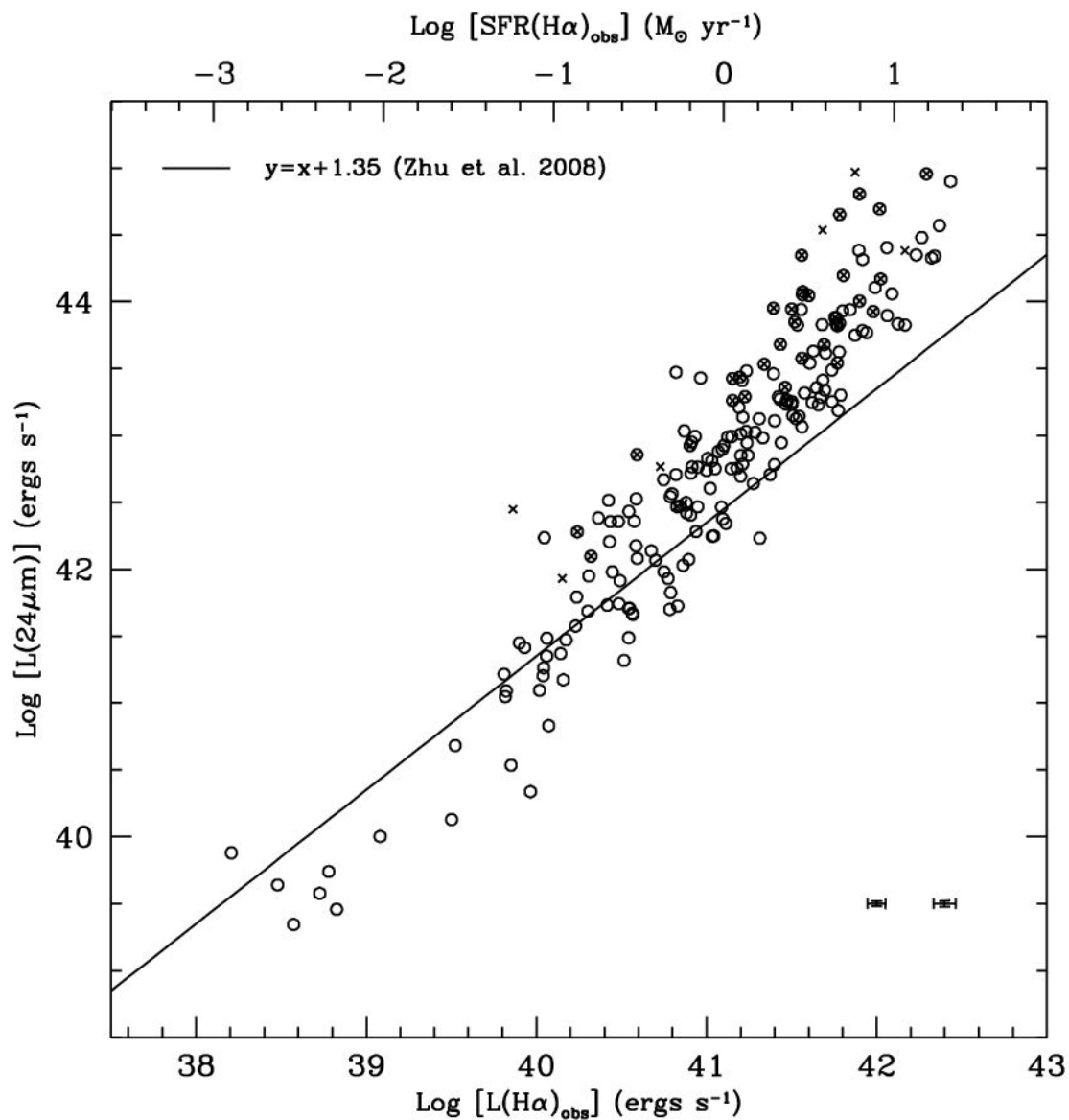
Дополнительные данные, используемые в SINGS

- BVRI, H α imaging (NOAO)
- JHK imaging (2MASS, Steward, Palomar)
- Visible spectra (3600-7000 A) (Steward, CTIO)
- Pa- α , H-band maps (central arcmin²) (HST)
- H α Fabry-Perot maps (CFHT, ESO, OHP, OMM)
- UV imaging (1500 A, 2500 A) (GALEX)
- X-Ray maps (CXO)
- CO maps (BIMA SONG, FCRAO)
- HI, radio continuum maps (VLA, WSRT, ACTA)
- submillimeter maps (JCMT/SCUBA, IRAM/MAMBO)

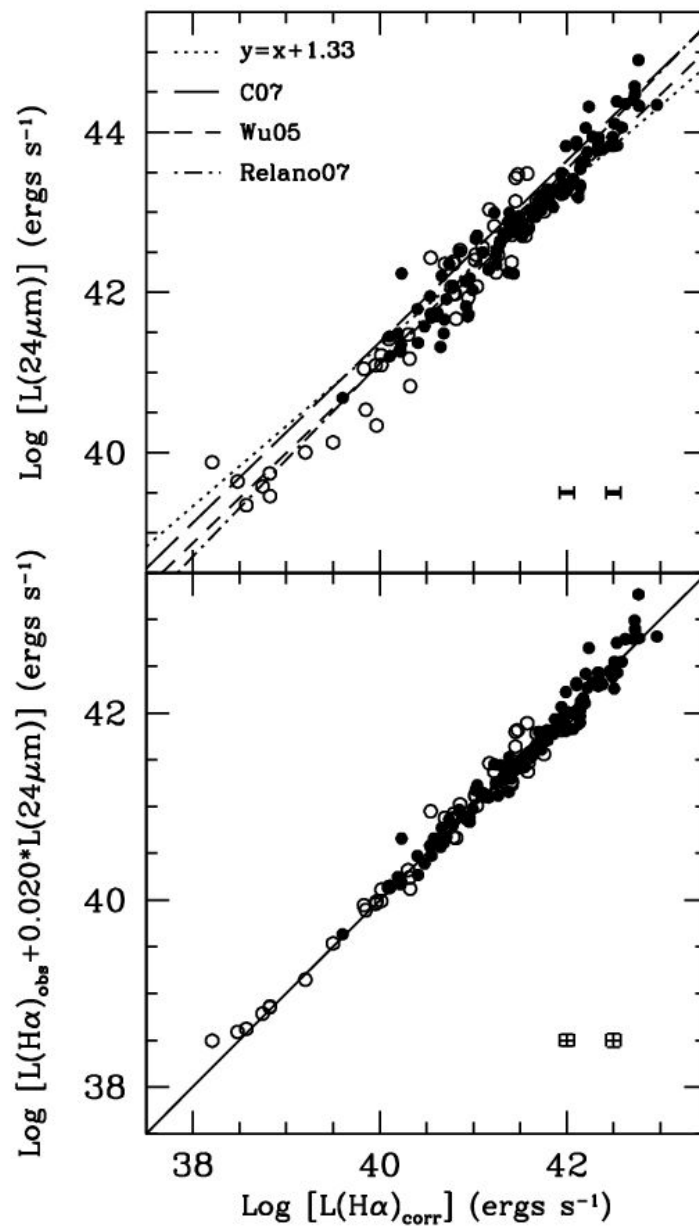


Munoz-Mateus et al,09
Galex-Spitzer-SDSS

Leroy+ 08



Наблюдаемая светимость в H α - не исправлена за поглощение



Исправление потока в $\text{H}\alpha$ -
по бальмеровскому декременту

$$\text{SFR} = A L_{\lambda} + B \cdot L_{\text{IR}}$$

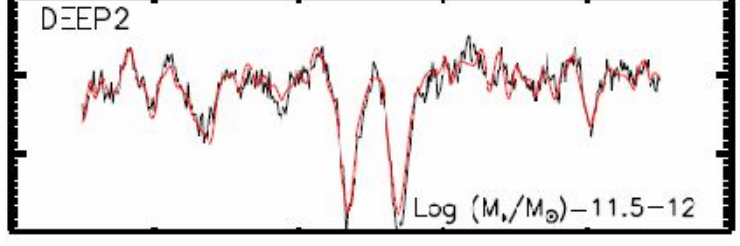
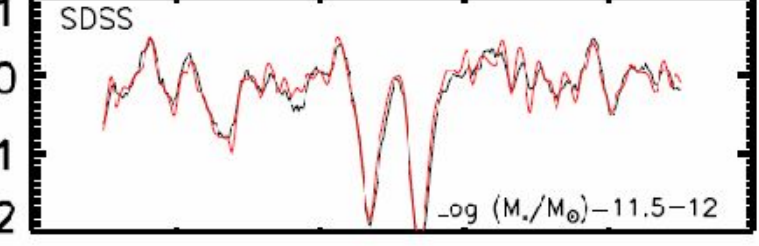
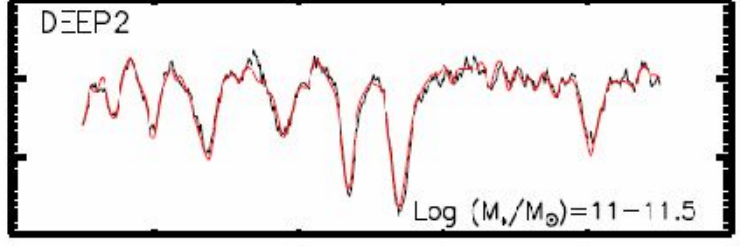
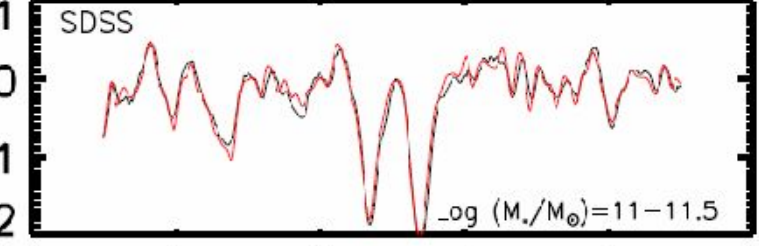
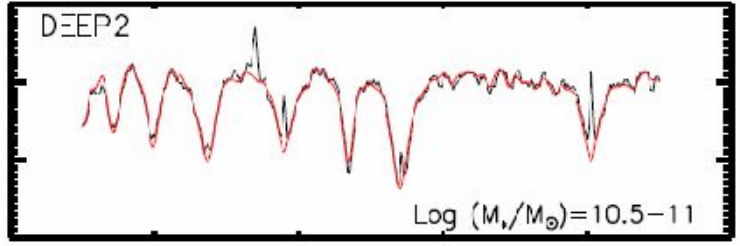
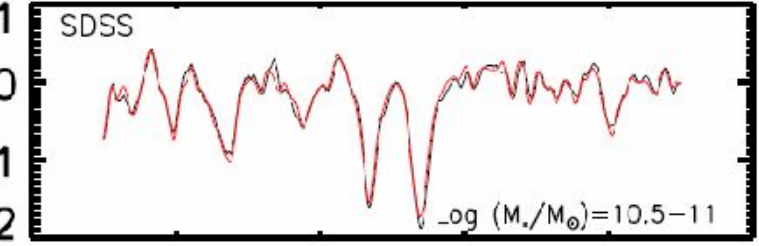
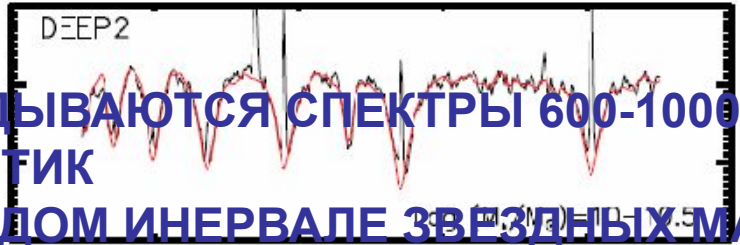
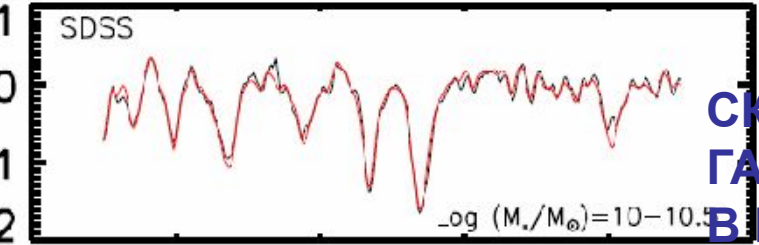
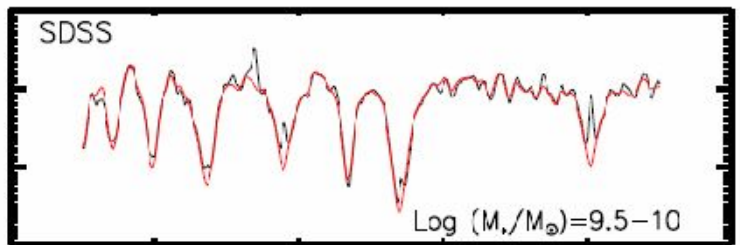
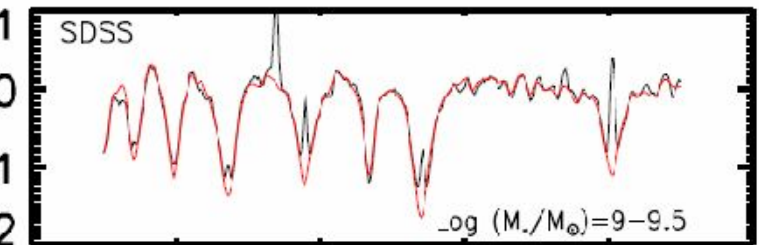
	A	B	ref
$\text{FUV}_{2000\text{A}} + L_{\text{FIR}} / L_{\text{c}}$	$2 \cdot 10^{-40}$ [эрг/с/А]	$1.8 \cdot 10^{-10}$ [Lc]	Hirashita+03 Salpeter IMF
$\text{H}\alpha + 24 \text{ мкм}$	$5.3 \cdot 10^{-42}$ [эрг/с]	$1.6 \cdot 10^{-43}$ [эрг/с]	Calzetti+07 Kroupa IMF
$\text{FUV}_{1750-2750\text{A}} + 24 \text{ мкм}$	$0.68 \cdot 10^{-28}$ [эрг/с·Гц]	$2.1 \cdot 10^{-42}$ [эрг/с]	Leroy+08 Kroupa IMF
$[\text{OII}]_{3727\text{A}} + 24 \text{ мкм}$	$8.1 \cdot 10^{-42}$ [эрг/с]	$2.3 \cdot 10^{-43}$ [эрг/с]	Kennicutt+09 Salpeter IMF

Другой путь оценки (Chen Y-M.+, 2008):

Определяется не интенсивность звездообразования а интенсивность звездообразования в расчете на единицу светимости (массы) звездного населения (SSFR).

Спектр сопоставляются с моделью звездного населения, в которую в качестве свободных параметров задаются:

- темп спадания SFR со временем
- Возраст галактик
- Металличность звезд.



СКЛАДЫВАЮТСЯ СПЕКТРЫ 600-1000 ГАЛАКТИК В КАЖДОМ ИНТЕРВАЛЕ ЗВЕЗДНЫХ МАСС

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

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

- Важный вывод:
- Независимо от массы галактик, за последние 8 млрд лет ($z=1$ -0) SSFR уменьшилось примерно в 3-4 раза. Причем формирование массивных галактик практически завершилось раньше, чем маломассивных.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ

- $SFE = SFR/M_{\text{gas}}$
(темп звездообразования,
нормированный на единицу массы газа)

Обратная величина

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

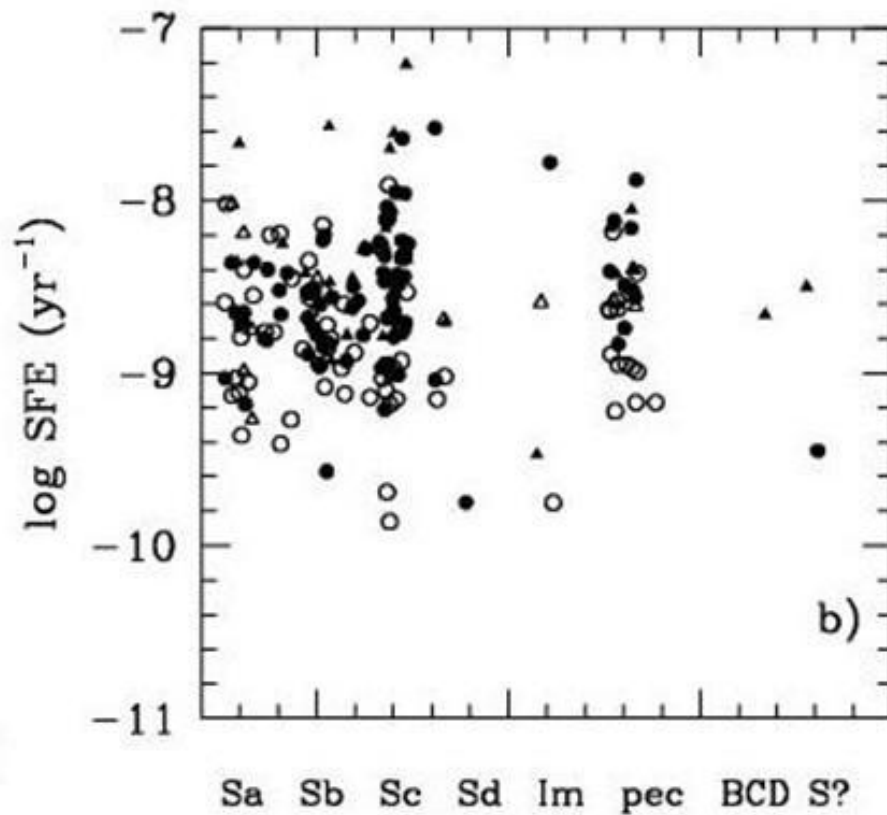
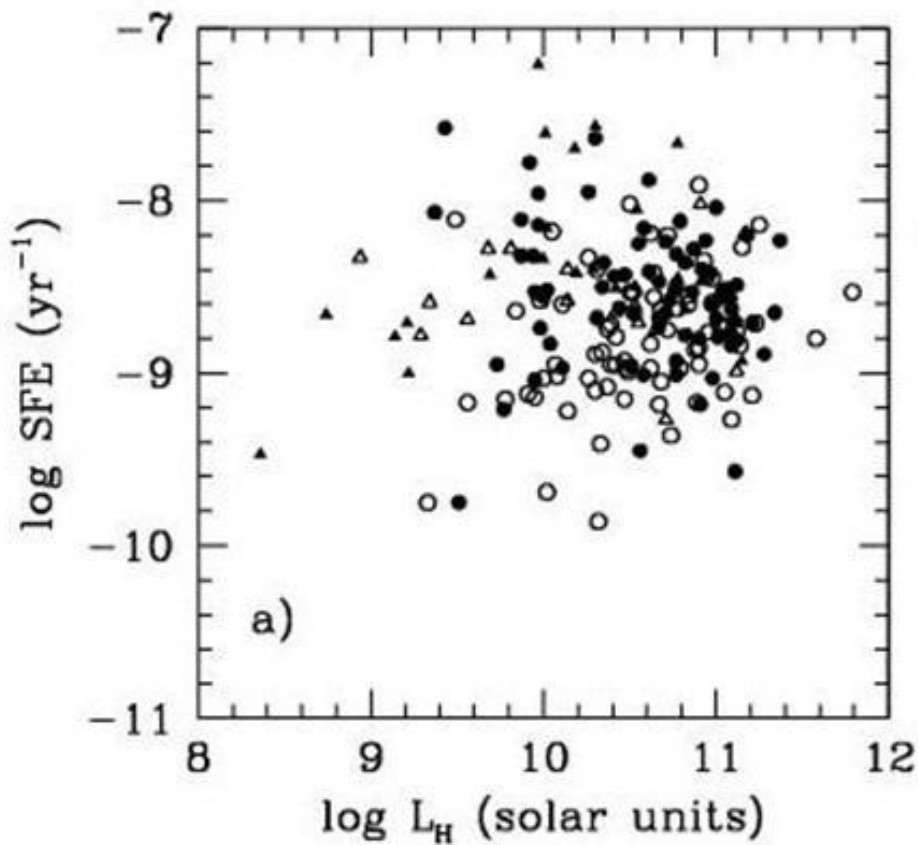
-это характерное время исчерпания газа

70-е – 80-е годы:

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

Зависимость SFE от светимости и морфологического типа галактик

ВЕРНЕЕ, ЕЕ ОТСУТСТВИЕ

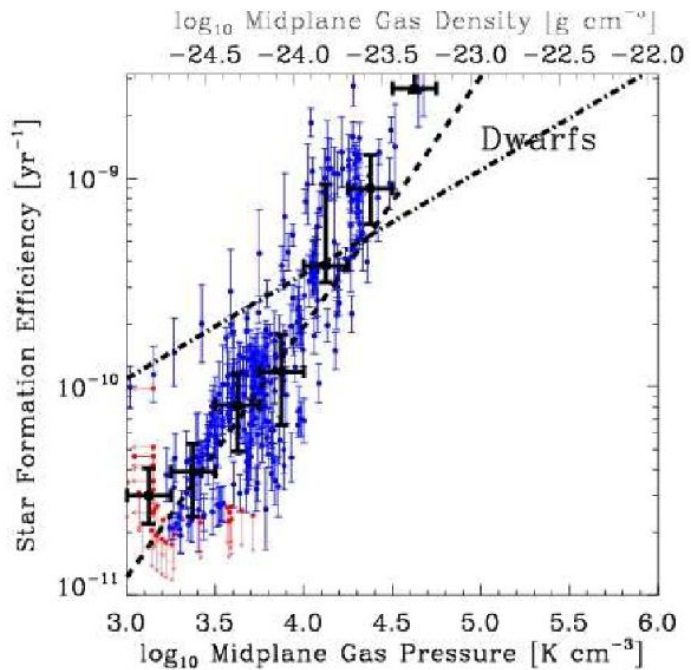
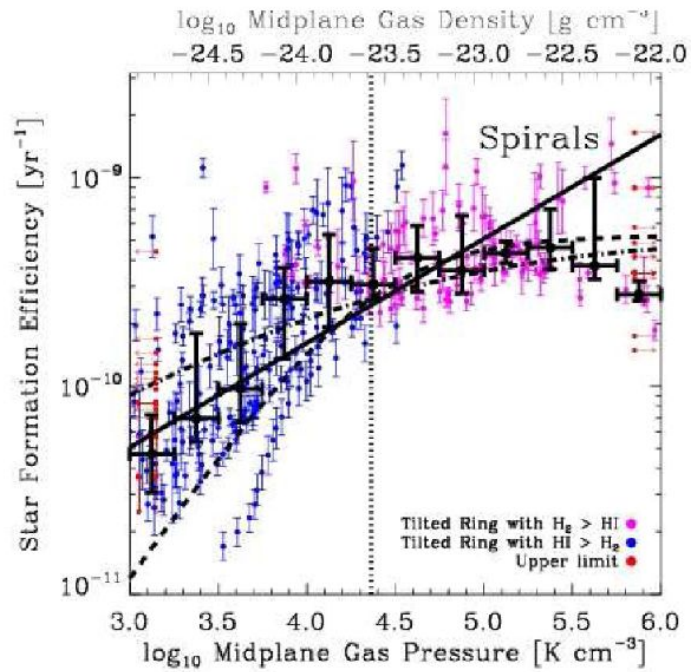


Вывод

- Глобальные оценки SFE плохо характеризуют историю звездообразования. Например, много газа может быть на периферии, где очень слабое звездообразование. Аккреция газа или выметание газа также усложняют картину.
Нужны локальные оценки.

SFR и содержание газа

- Звезды возникают из молекулярного газа. Молекулярный газ образуется в результате сжатия (охлаждения) атомарного газа (HI). Что к этому приводит – не ясно.
- Гравитационное сжатие HI?
- Крупномасштабные ударные волны в спиральных ветвях?
- Сверхзвуковая турбуленция?



Leroy+ 08

Для карликовых галактик SFE на периферии ниже, а в центре – выше, чем для S. Это косвенное свидетельство недоучета молекулярного газа (X-фактор выше?)

Baldry+2004

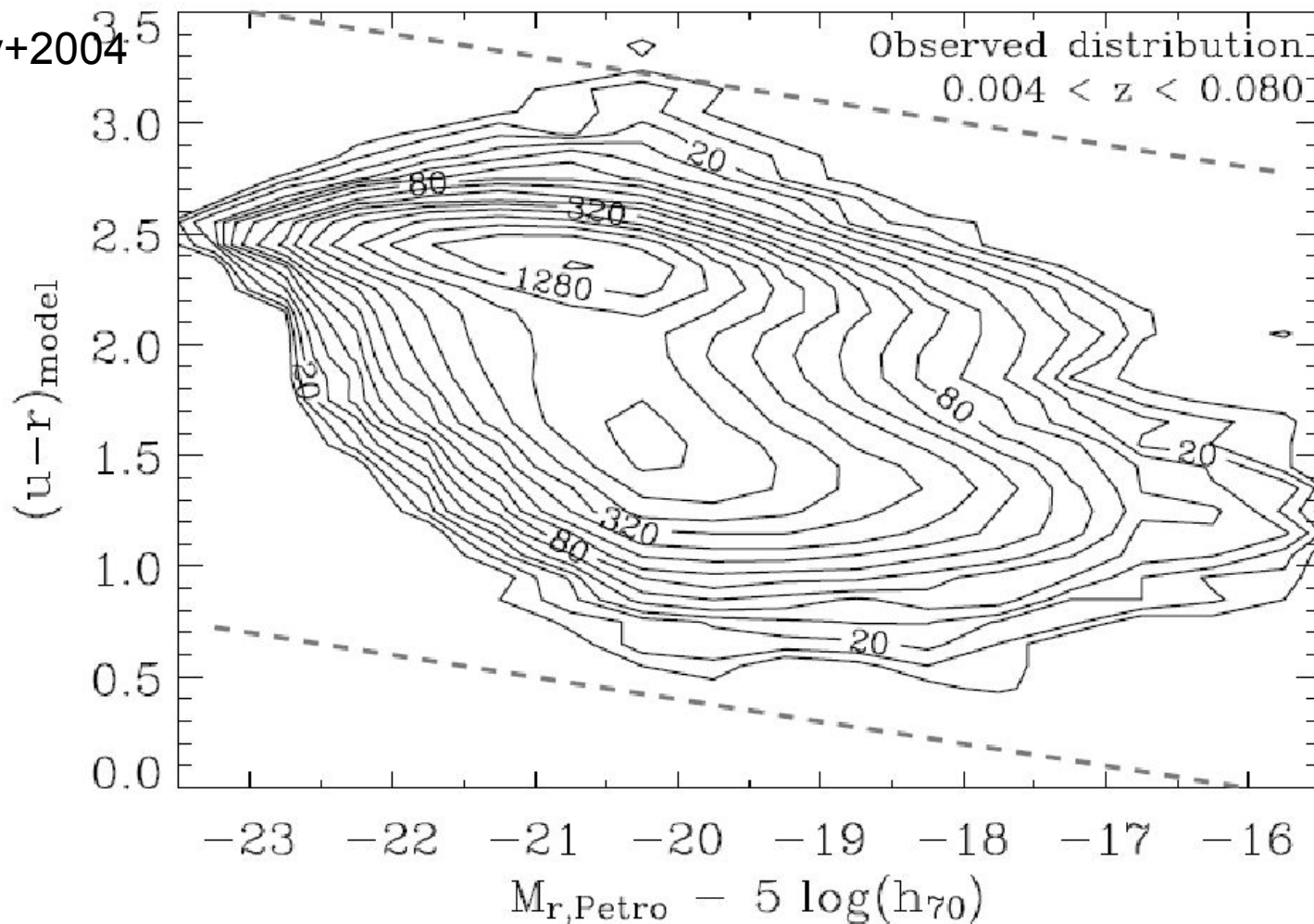


FIG. 1.— Observed bivariate distribution of the sample in rest-frame color versus absolute magnitude. The *contours* are determined for galaxy number counts in $0.1 \text{ color} \times 0.5 \text{ magnitude}$ bins (with a total of 66846 galaxies). The contour levels are on a logarithmic scale, starting at 10 and doubling every two contours.