ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЕ

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

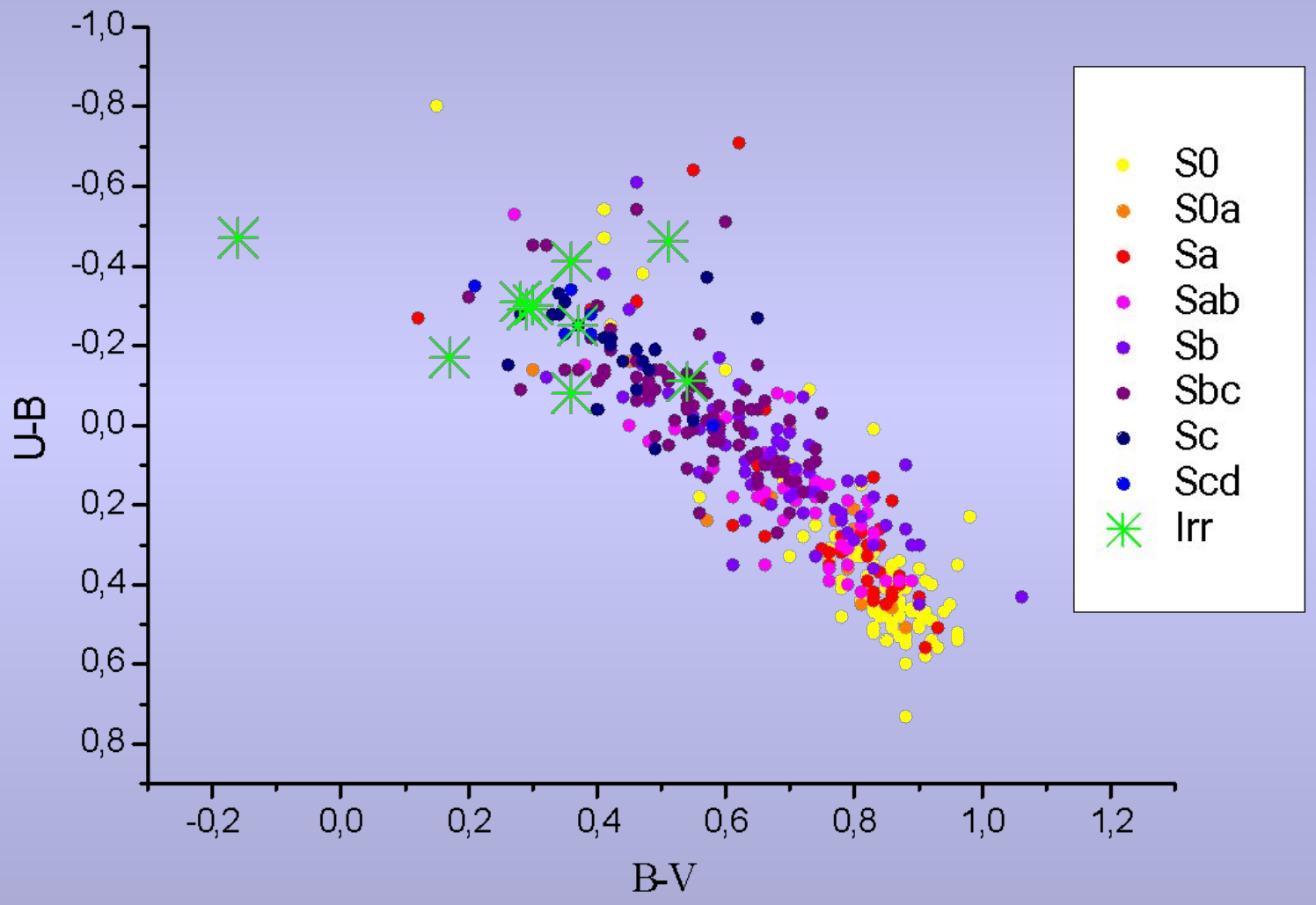
Основные индикаторы активного звездообразования:

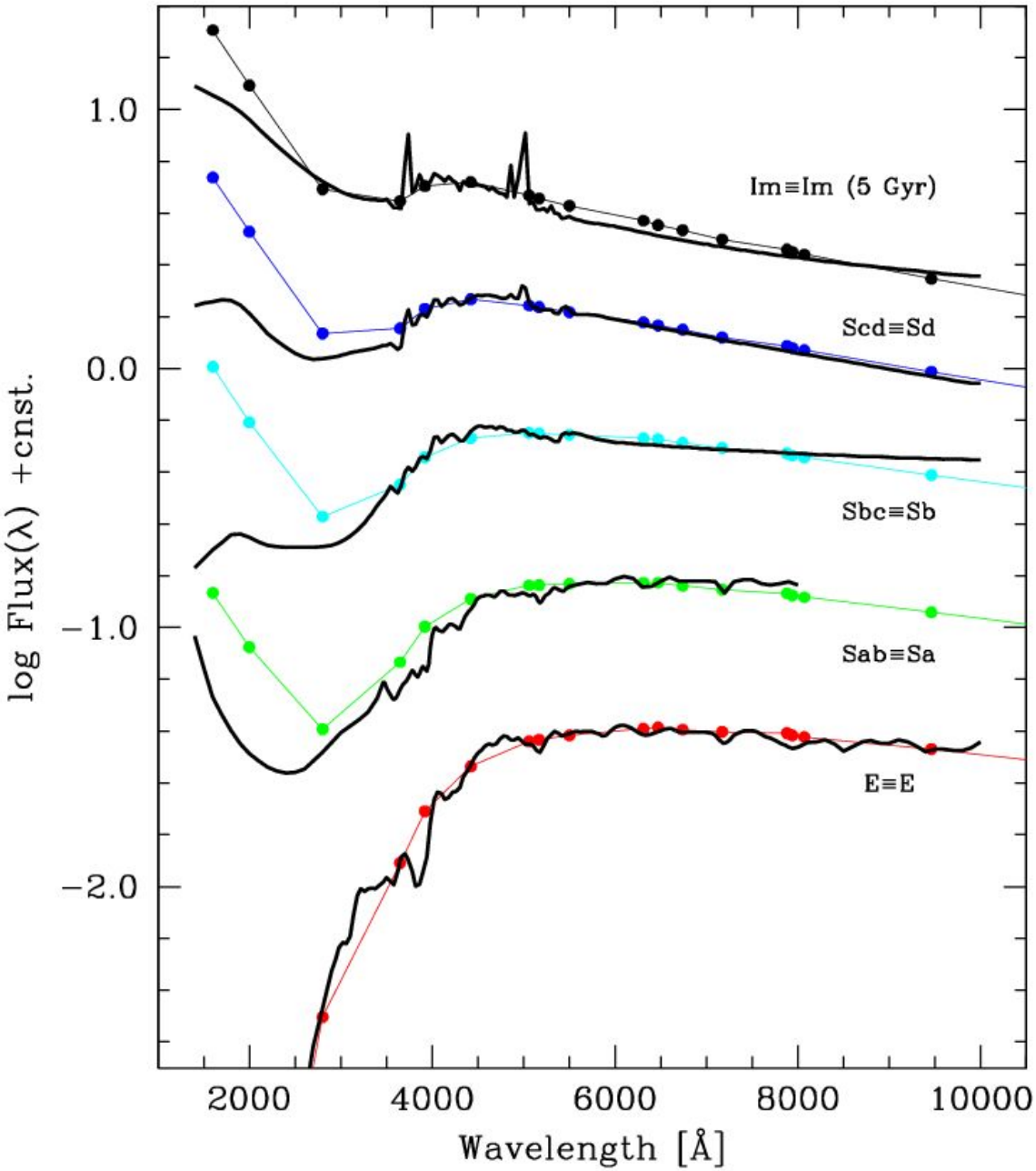
1. Непосредственно наблюдаемые ОВ- звезды и их скопления (только для близких галактик)
2. Яркость в голубой или УФ области спектра. Подъем спектра в голубой области, или низкий показатель цвета.
3. Интенсивность эмиссионных линий, число областей HII.
4. Яркость в далекой ИК области (8 -1000 мкм).
5.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


-1,0
-0,8
-0,6
-0,4
-0,2
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
U-B
-0,2
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
B-V
S0
S0a
Sa
Sab
Sb
Sbc
Sc
Scd
Irr


Im≡Im (5 Gyr)
Scd≡Sd
Sbc≡Sb
Sab≡Sa
E≡E
1.0
0.0
−1.0
−2.0
log Flux(λ) +cnst.
2000
4000
6000
8000
10000
Wavelength [Å]

3. Интенсивность эмиссионных линий.

Самый распространенный индикатор звездообразования. Чаще всего – интенсивность в Hα

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

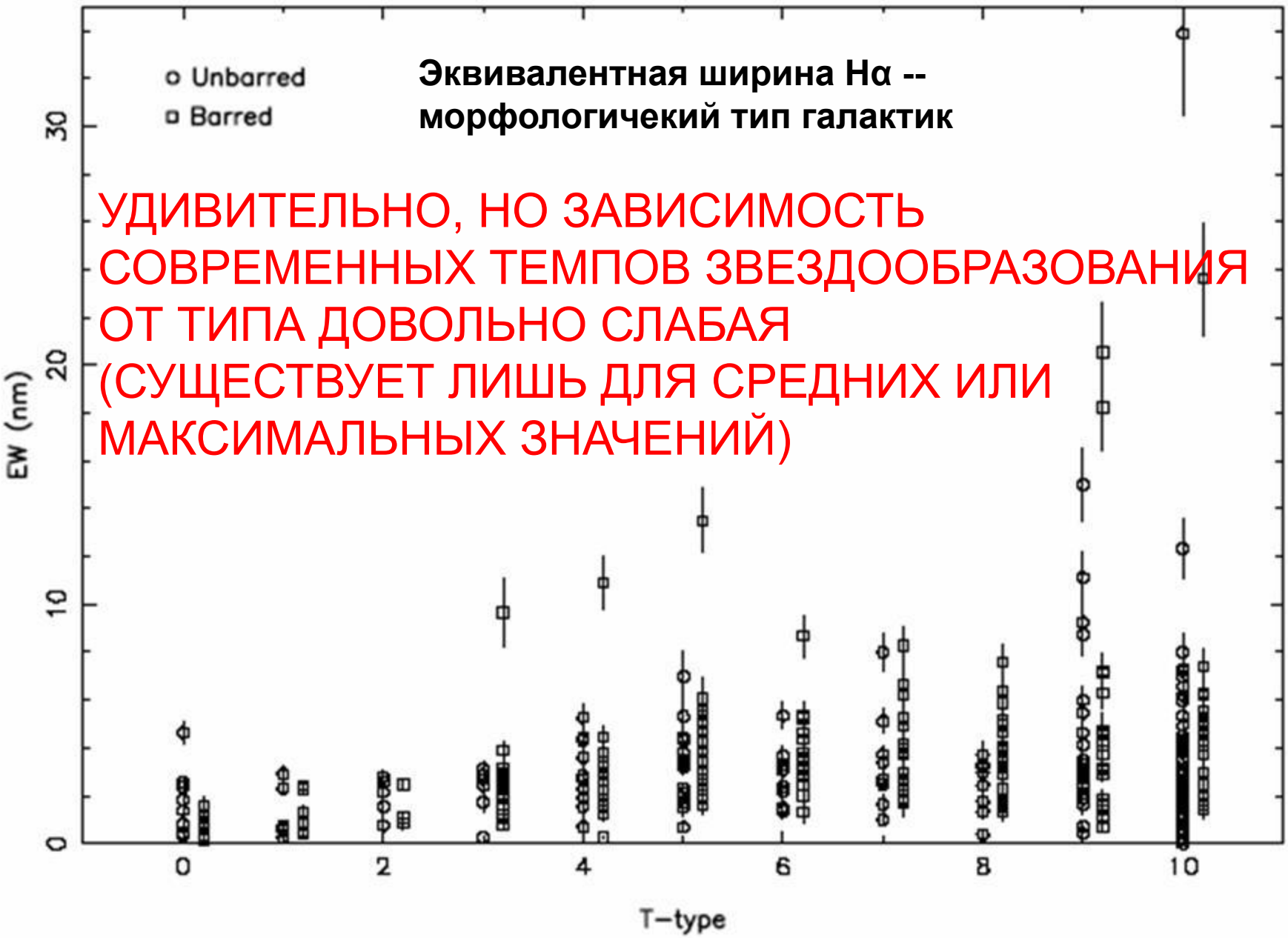
-- от металличности газа
-- от содержания пыли в галактике
-- от наличия активного ядра

Около 13 % болометрической светимости молодой звездной группировки приходится на ионизующие кванты λ<912A.

- SFR [Mc/год] = $8.9 \cdot 10^{42}$ $L_{H\alpha}$ эрг/с

(Kennicutt 1992, 1998)

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



Эквивалентная ширина Hα -- морфологичекий тип галактик

УДИВИТЕЛЬНО, НО ЗАВИСИМОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ТЕМПОВ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ ОТ ТИПА ДОВОЛЬНО СЛАБАЯ (СУЩЕСТВУЕТ ЛИШЬ ДЛЯ СРЕДНИХ ИЛИ МАКСИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ)

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

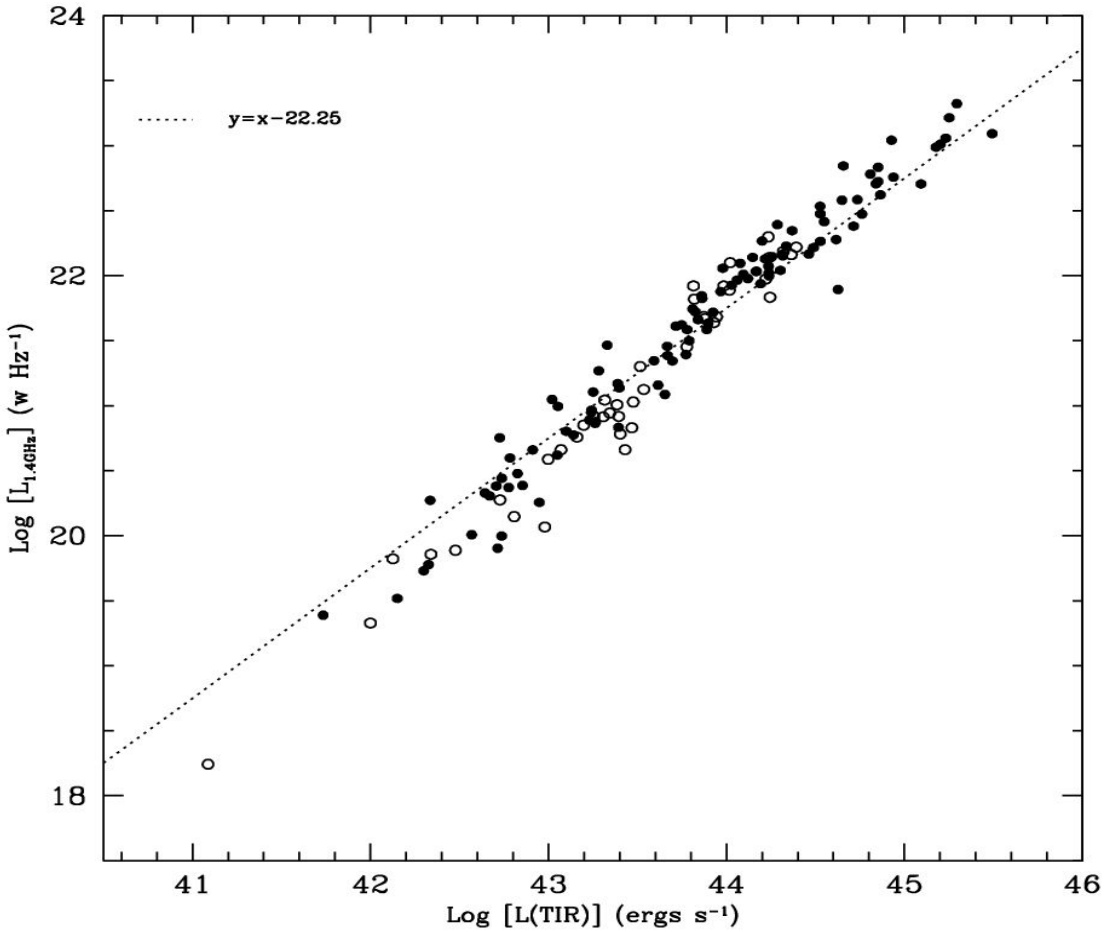
Источники излучения:

- 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.

Kennicutt+09



Объяснение линейности зависимости представляет собой нерешенную проблему.

6. Мягкое рентгеновское излучение.

- Два типа источников:

  a) точечные источники (аккрецирующие звезды, молодые остатки SN) и

  b) горячий газ (в диске это superbubbles).
- Полная светимость $10^{38} – 10^{40}$ эрг/с
- Мягкий рентген (0.3 – 2 КэВ) коррелирует с УФ.

SFR = $L_x \cdot 2 \cdot 10^{-40}$ 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-B, 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**.**

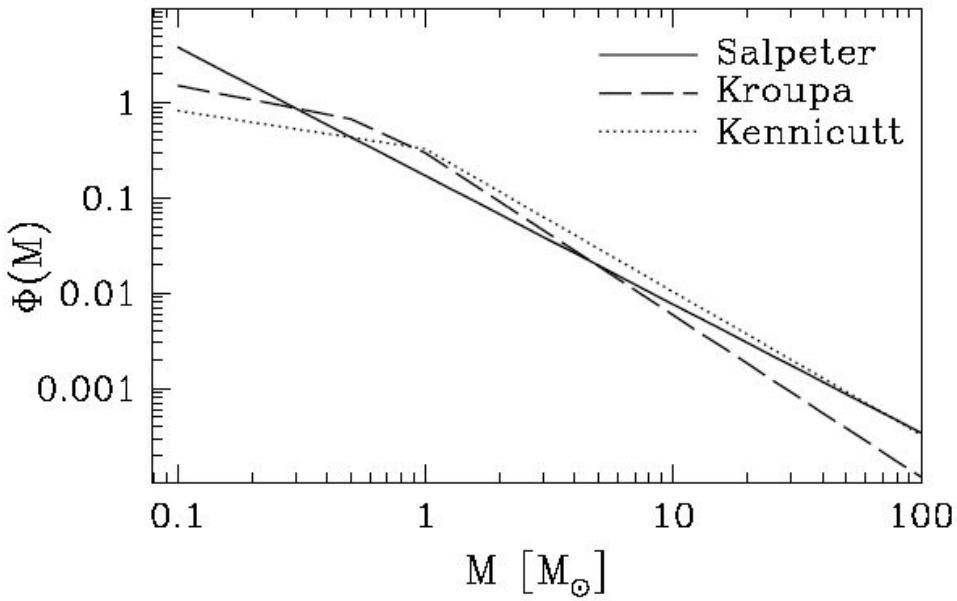
- по совокупности УФ и ИК светимости

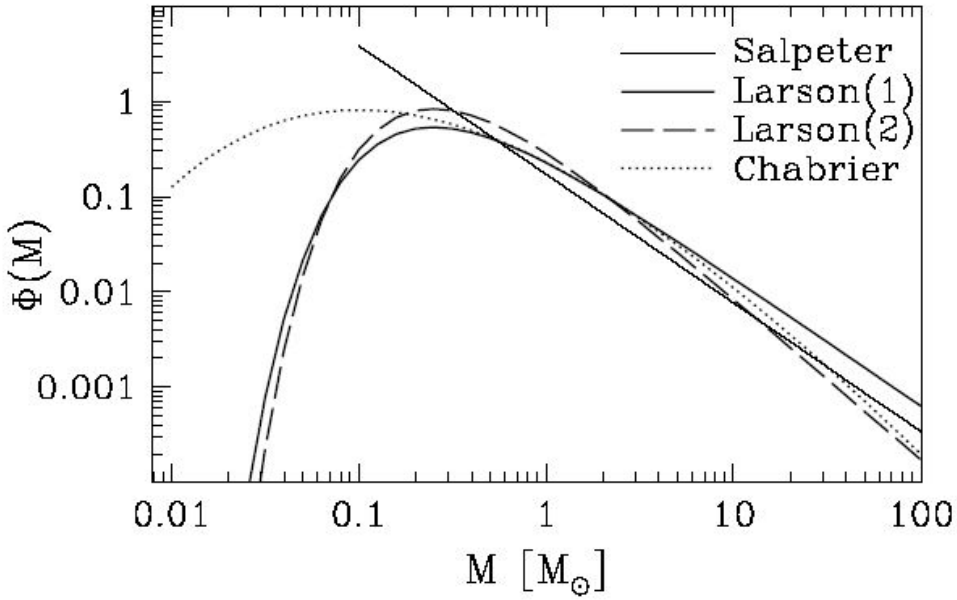
  светимость молодых звезд = $A \cdot (L_{UV}\,obs + B \cdot L_{FIR})$

  (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)


Salpeter
Kroupa
Kennicutt
1
0.1
0.01
0.001
Φ(M)
0.1
1
10
100
M [M⊙]


Salpeter
Larson(1)
Larson(2)
Chabrier
1
0.1
0.01
0.001
Φ(M)
0.01
0.1
1
10
100
M [M⊙]

SINGS

- Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey

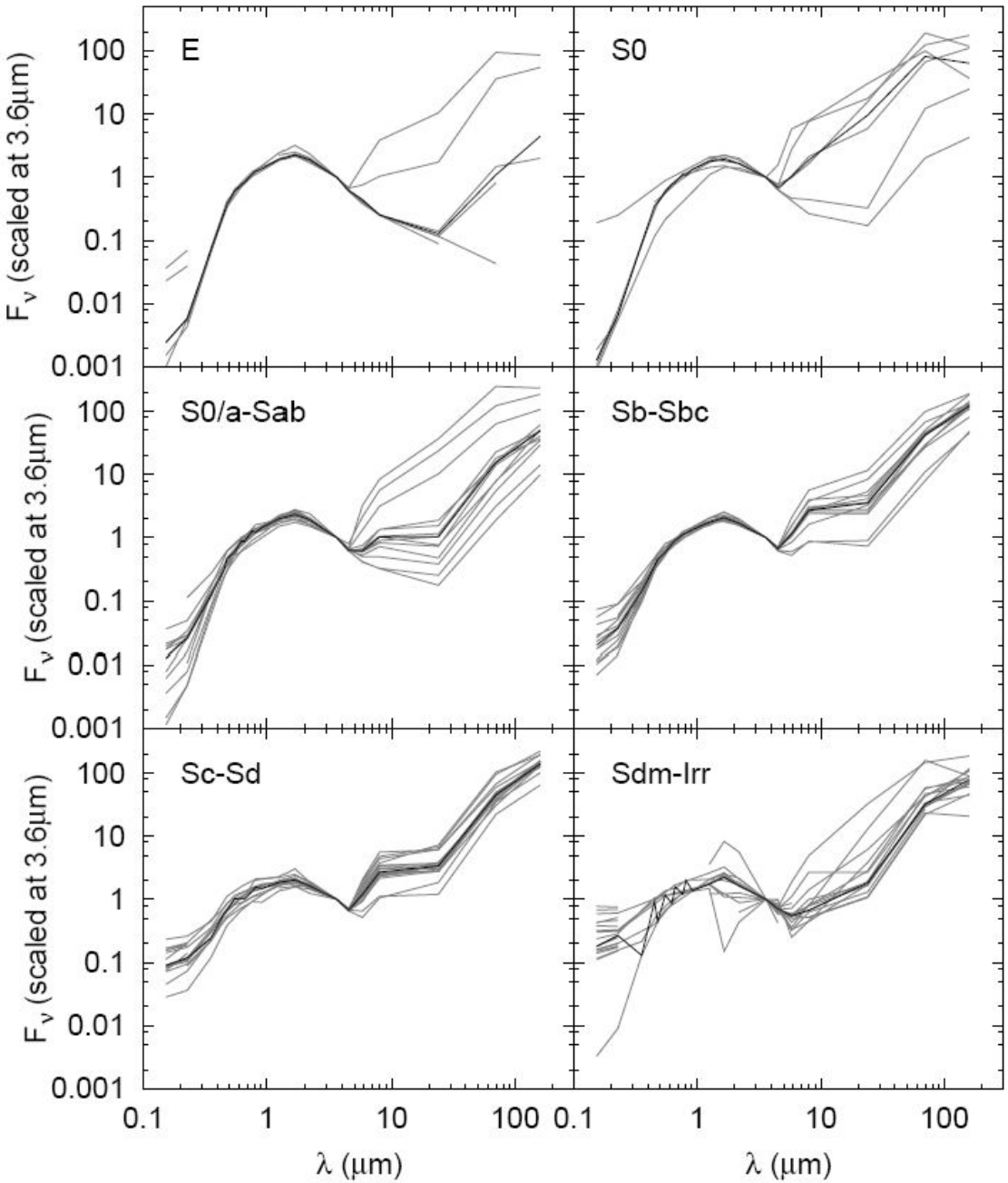
(Kennicutt+2003)

75 галактик различных типов и светимостей в пределах 30 Мпс.

IR (7 wavelengths) 3.6 – 160 mkm

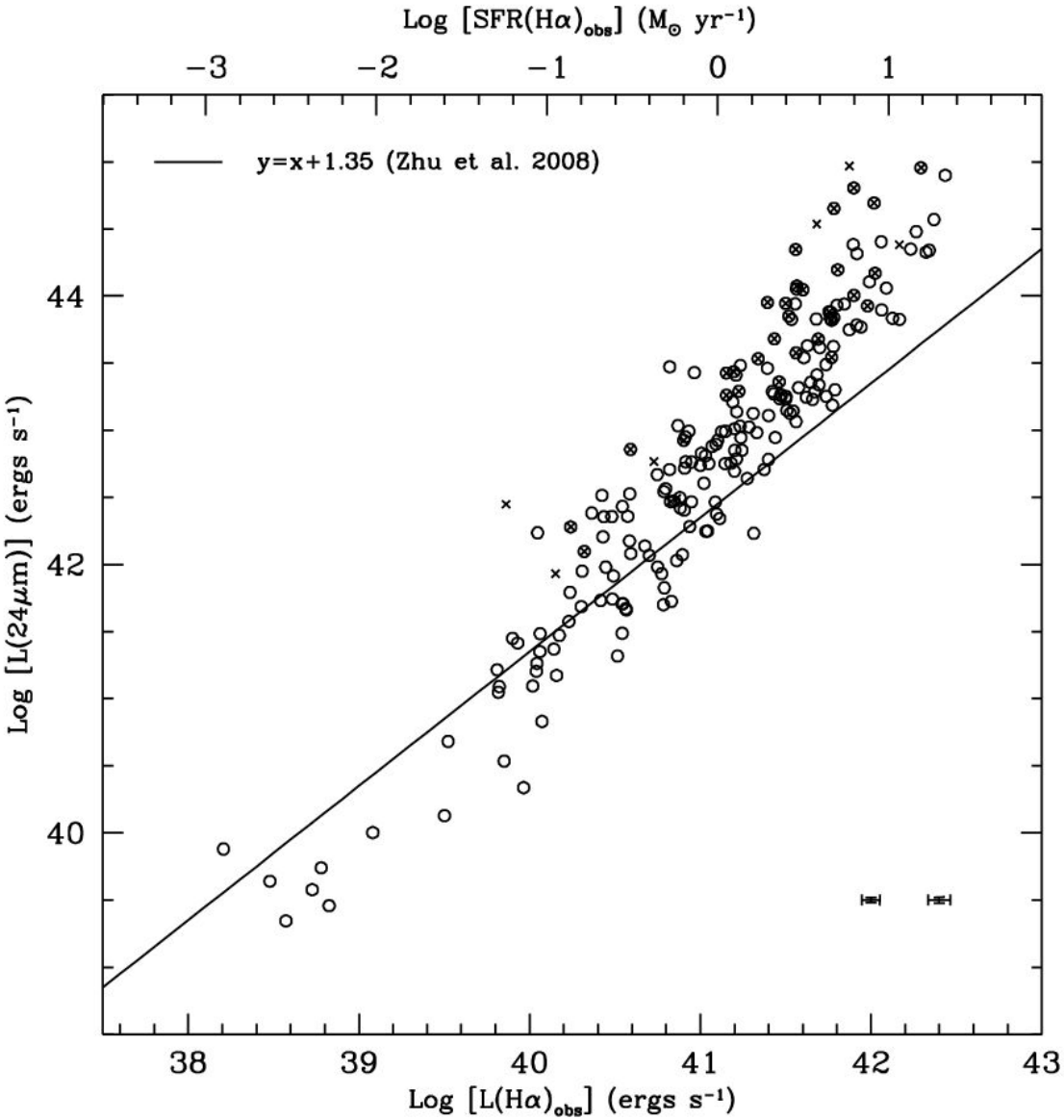
Дополнительные данные, используемые в SINGS

- BVRI, Hα imaging (NOAO)
- JHK imaging (2MASS, Steward, Palomar)
- Visible spectra (3600-7000 A) (Steward, CTIO)
- Pa-α, H-band maps (central arcmin^2) (HST)
- Hα 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)



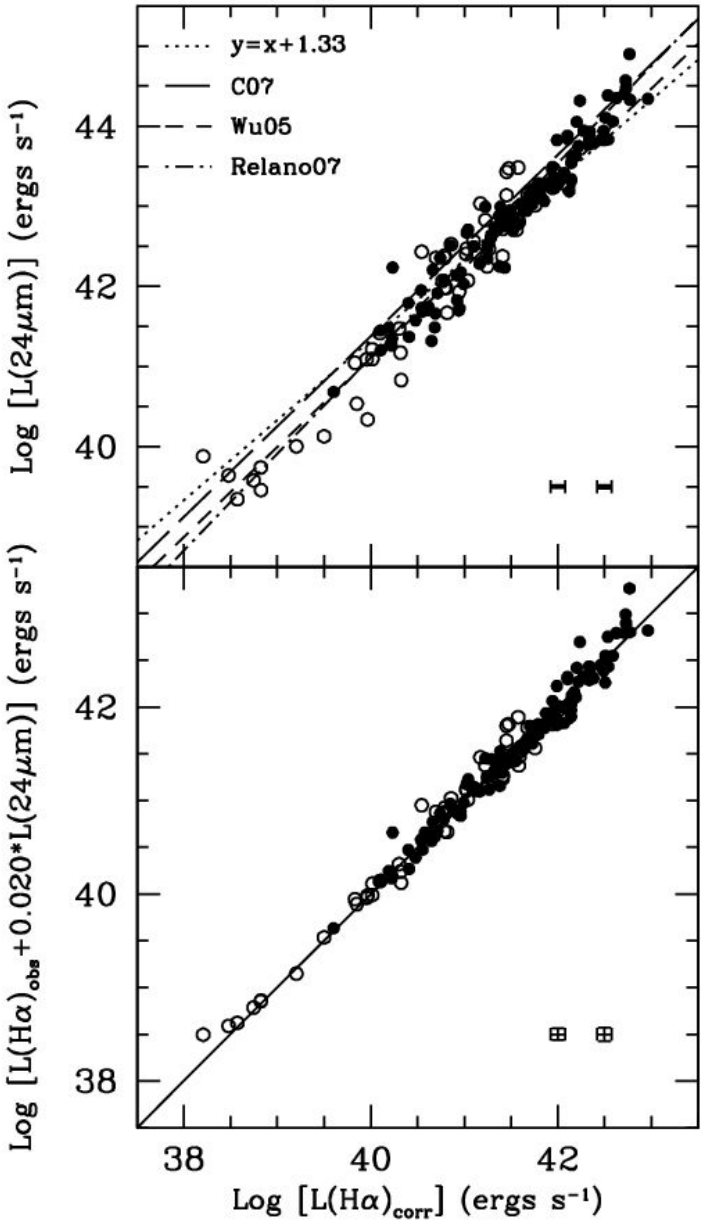
Munoz-Mateus et al,09

Galex-Spitzer-SDSS



Leroy+ 08

Наблюдаемая светимость в Hα- не исправлена за поглощение



Kennicutt+ 09

Исправление потока в Hα-
по бальмеровскому декремент

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

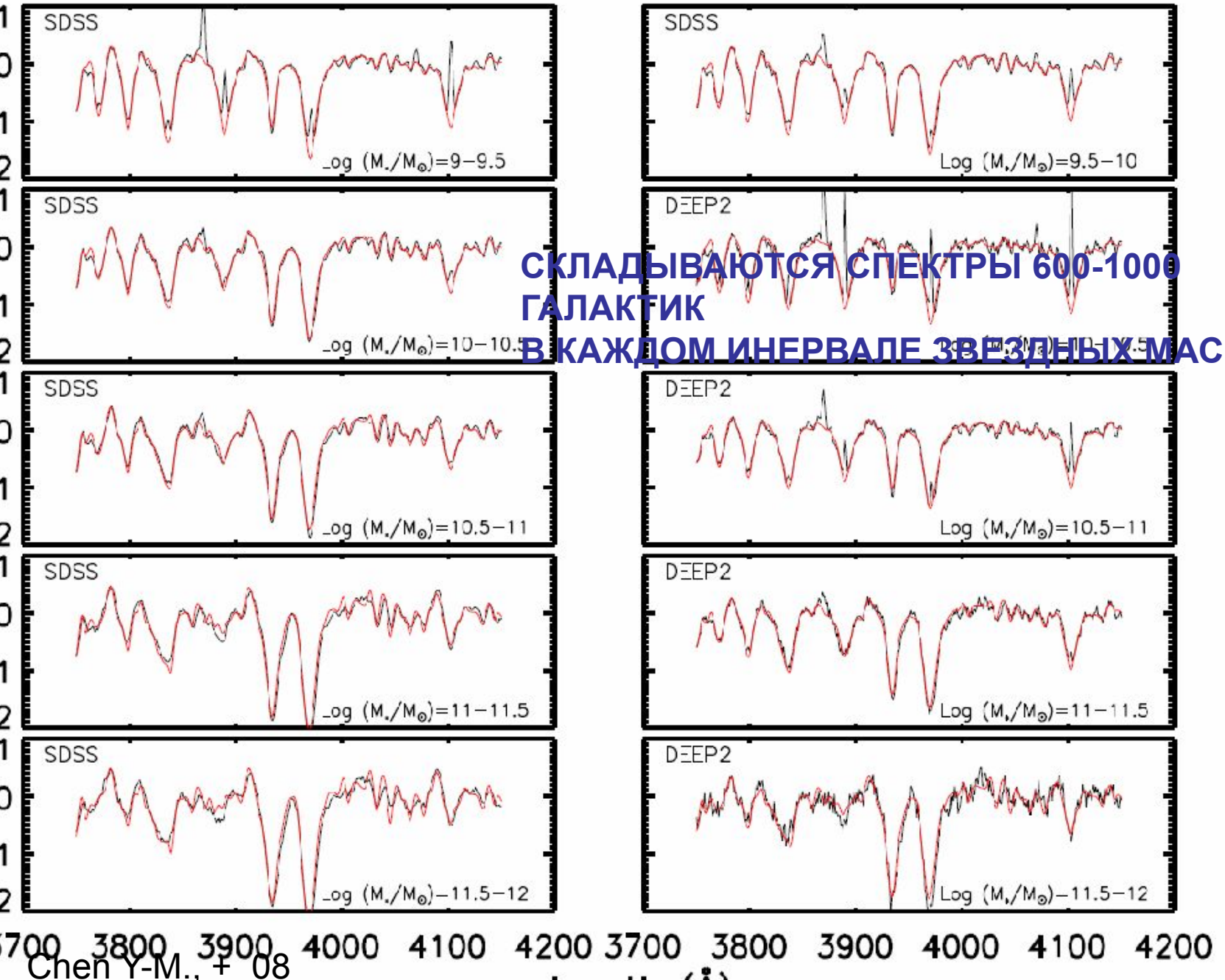
	A	B	*ref*
$FUV_{2000A} + L_{FIR}/L_c$	2.10^{-40} [эрг/с/А]	$1.8 \cdot 10^{-10}$ [Lc]	Hirashita+03 Salpeter IMF
Hα+24 мкм	$5.3 \cdot 10^{-42}$ [эрг/с]	$1.6 \cdot 10^{-43}$ [эрг/с]	Calzetti+07 Kroupa IMF
$FUV_{1750-2750A}$+24мкм	$0.68 \cdot 10^{-28}$ [эрг/с·Гц]	$2.1 \cdot 10^{-42}$ [эрг/с]	Leroy+08 Kroupa IMF
$[OII]_{3727A}$+24 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 ИНЕРВАЛЕ ЗВЕЗДНЫХ МАСС

Chen Y-M., + 08

ХАРАКТЕРНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ:

ТЕМПЫ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ:

$SFR = dM_{звезд}/dt \approx 0.1 – 10\ M_{солнца}/год$

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ

$SFE = SFR/M_{ГАЗ} \approx 0.1 – 1\ (млрд.лет)^{-1}$

ВРЕМЯ ИСЧЕРПАНИЯ ГАЗА

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

- $SFE = SFR/M_{gas}$

(темп звездообразования, нормированный на единицу массы газа)

Обратная величина

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

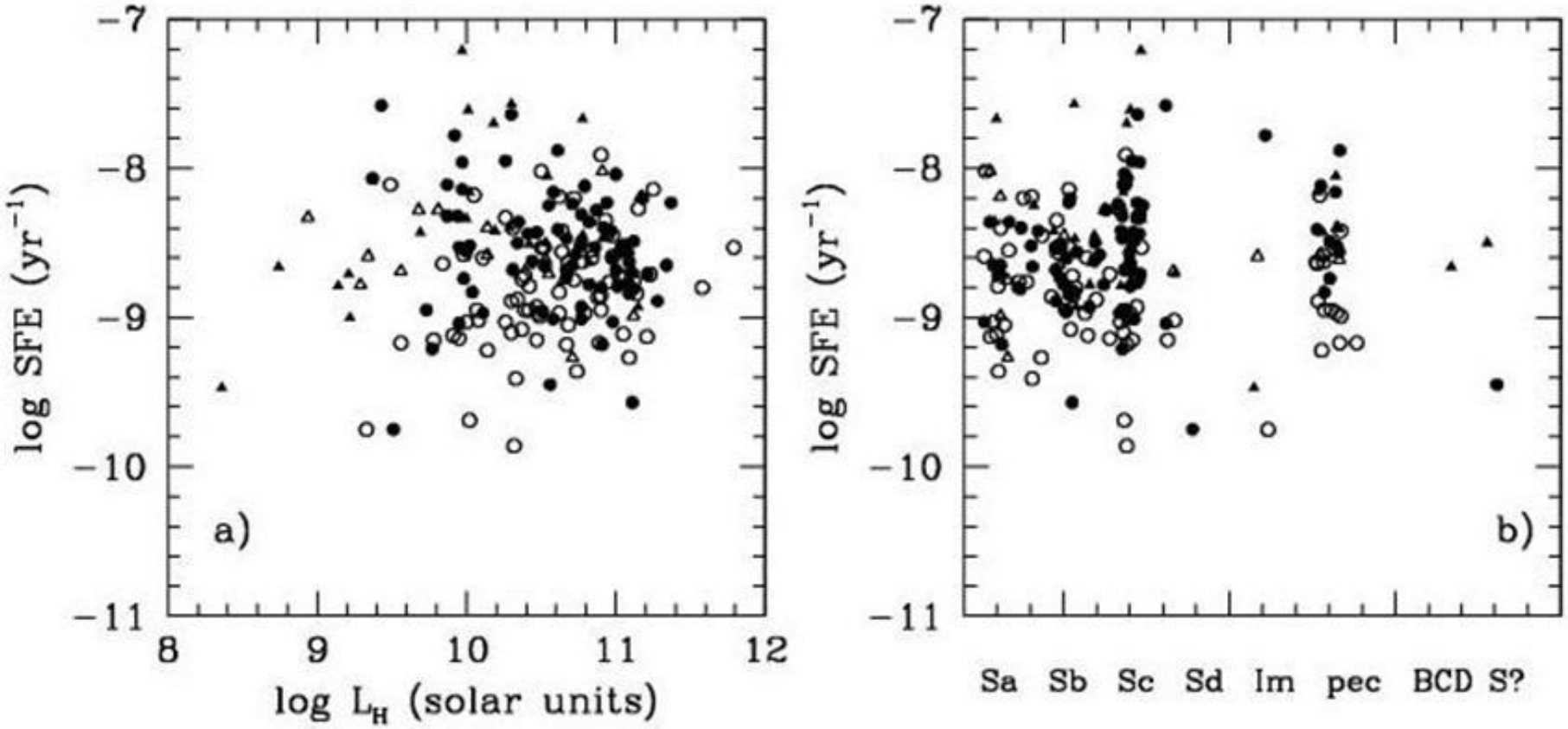
-это характерное время исчерпания газа

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



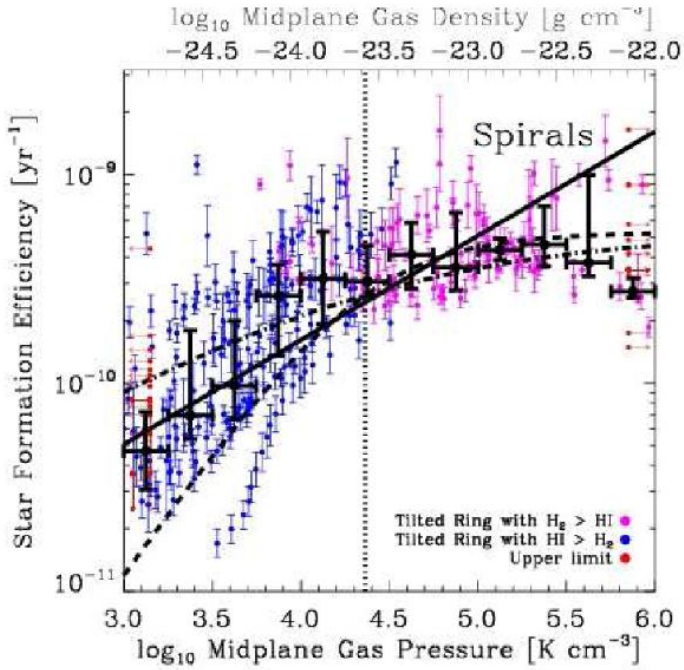
Вывод

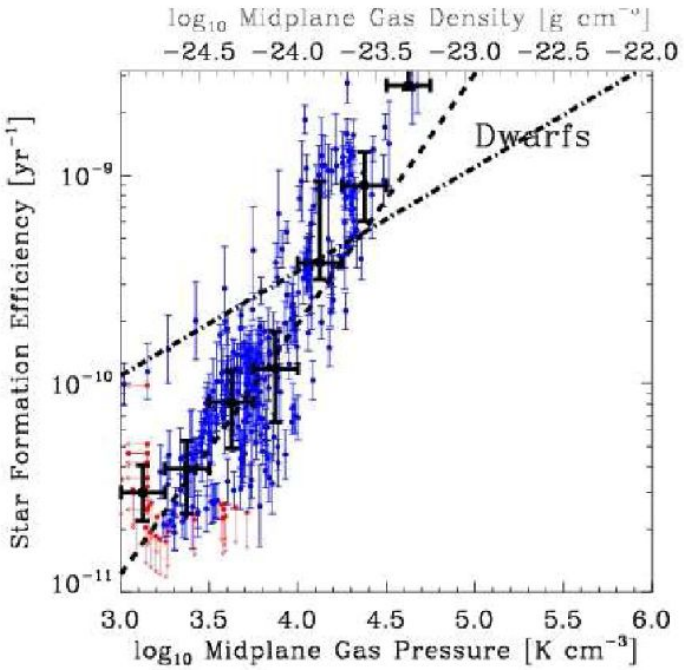
- Глобальные оценки SFE плохо характеризуют историю звездообразования. Например, много газа может быть на периферии, где очень слабое звездообразование. Аккреция газа или выметание газа также усложняют картину.

  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

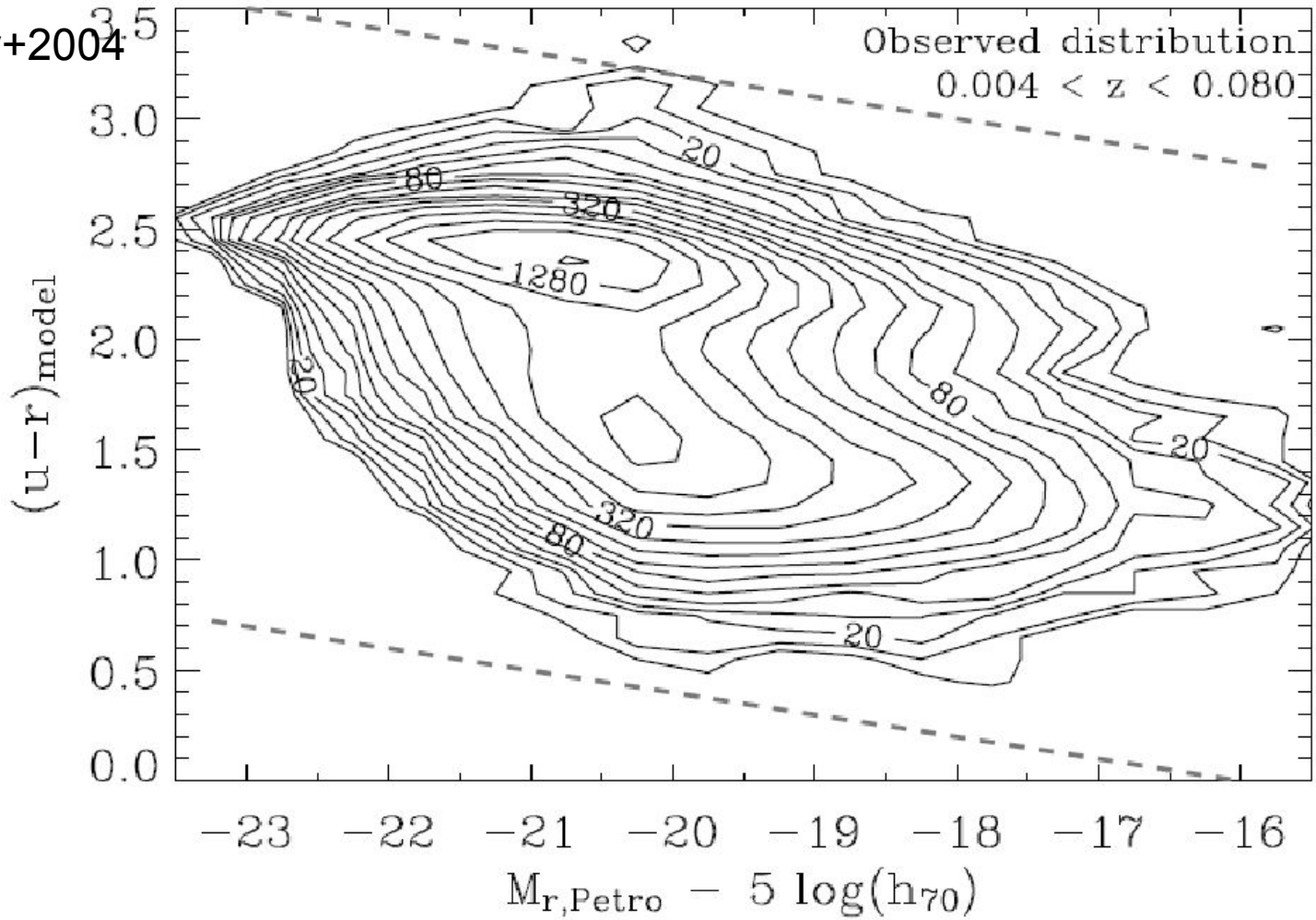


FIG. 1.— Observed bivariate distribution of the sample in rest-frame color versus absolute magnitude. The *contours* are determined for galaxy number counts in 0.1 color × 0.5 magnitude bins (with a total of 66846 galaxies). The contour levels are on a logarithmic scale, starting at 10 and doubling every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