

Содержание атомарного газа и устойчивость газового слоя в дисках галактик.

▣ А.В.Засов, Н.А.Зайцева

СХЕМА ЭВОЛЮЦИИ СОДЕРЖАНИЯ ГАЗА В ДИСКЕ



MHI к тому же зависит от соотношения $MHI-MH2$, меняющемуся от галактике к галактике.

Wong, Blitz, 2007

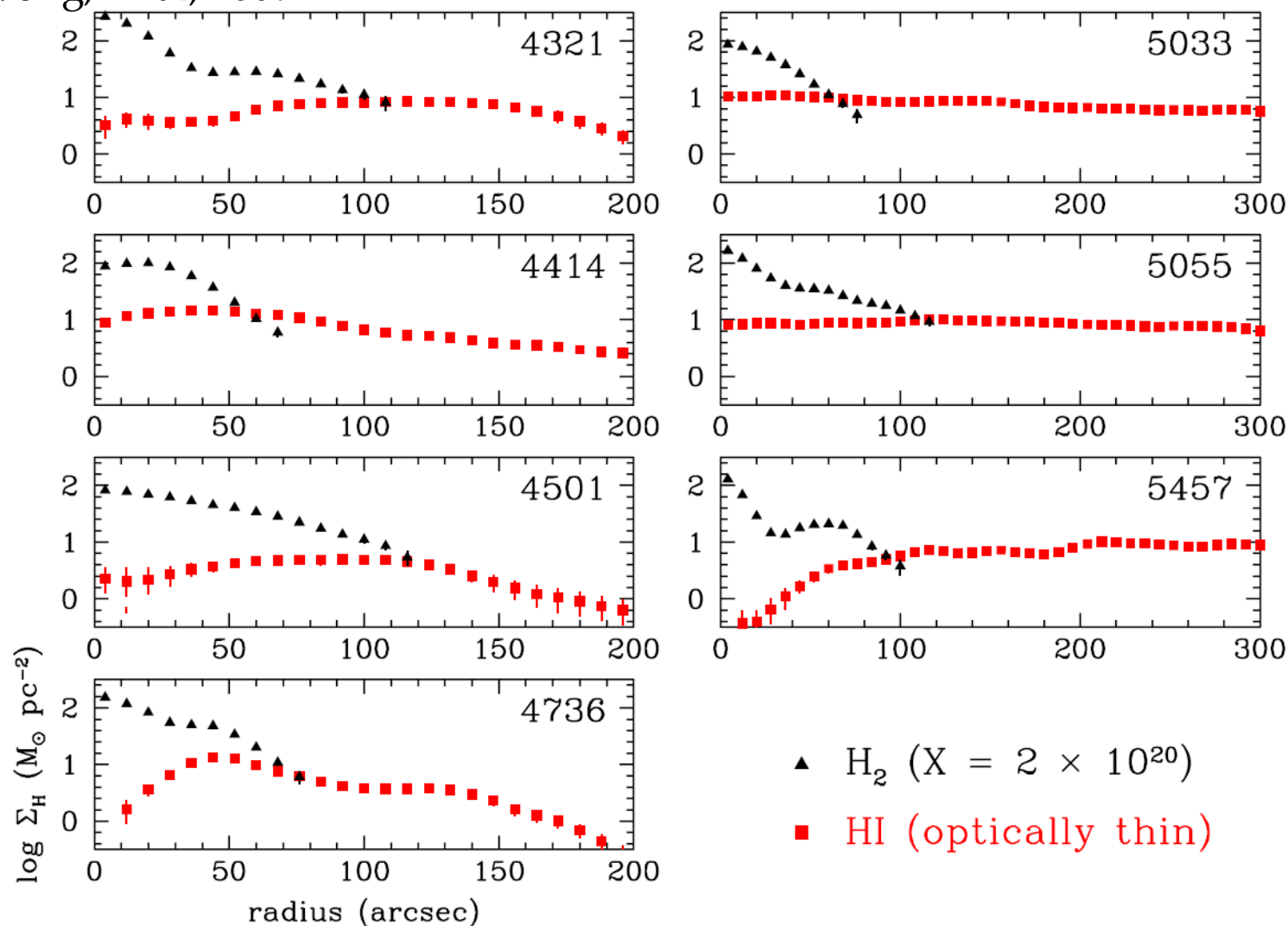
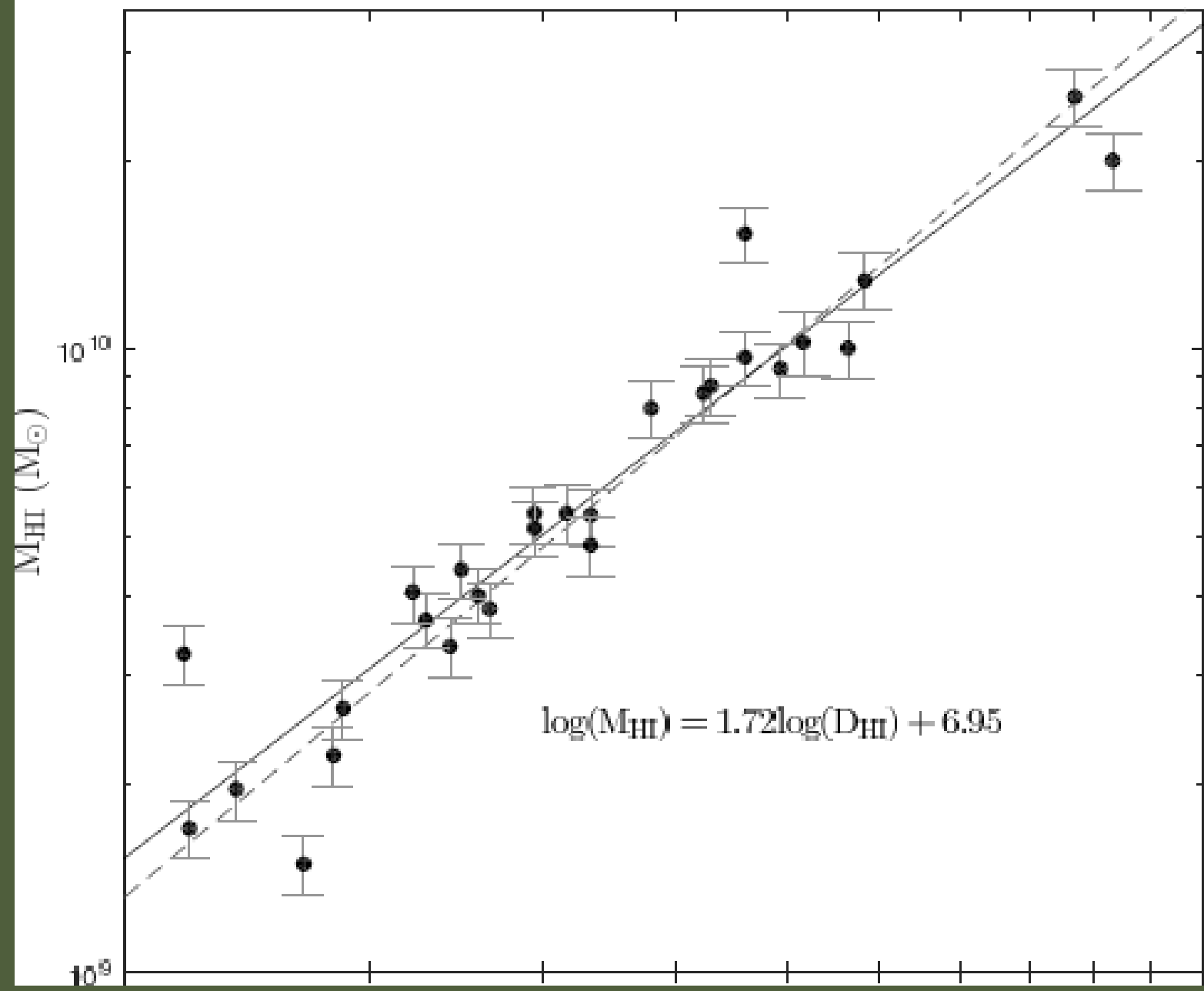


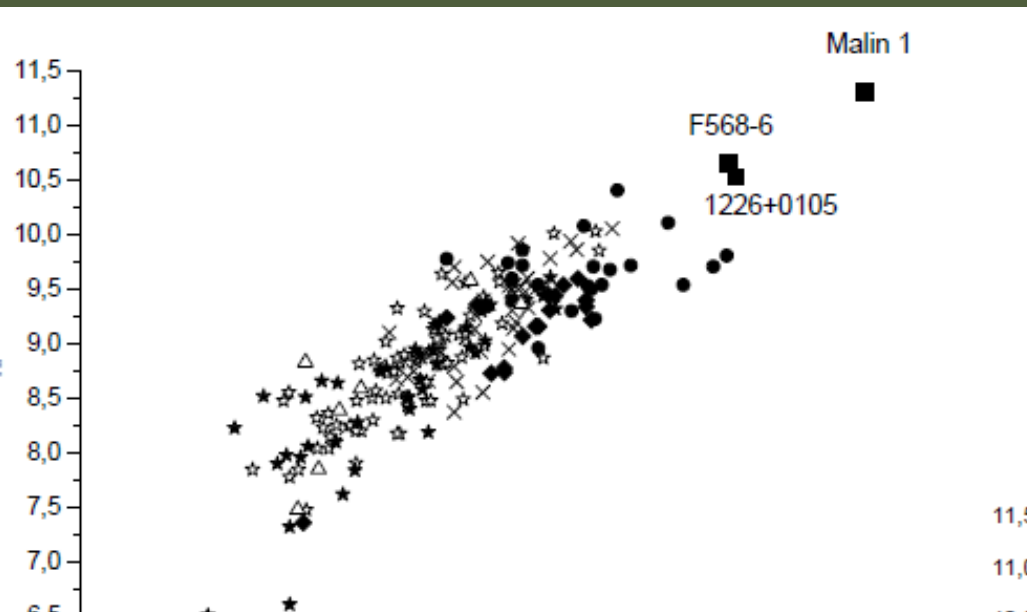
Fig. 1. Radial HI and H₂ profiles for seven spiral galaxies (listed by NGC number) studied by [24]. The profiles are derived from azimuthal averages of BIMA+12m CO and VLA HI images at a resolution of $\sim 15''$.

Масса HI в диске галактики коррелирует

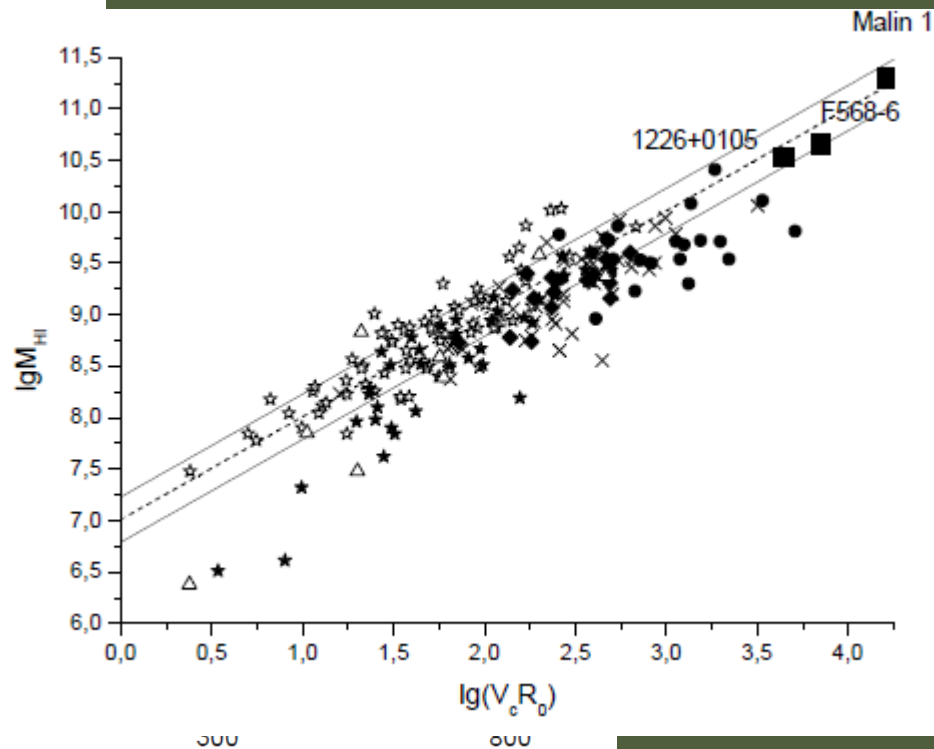
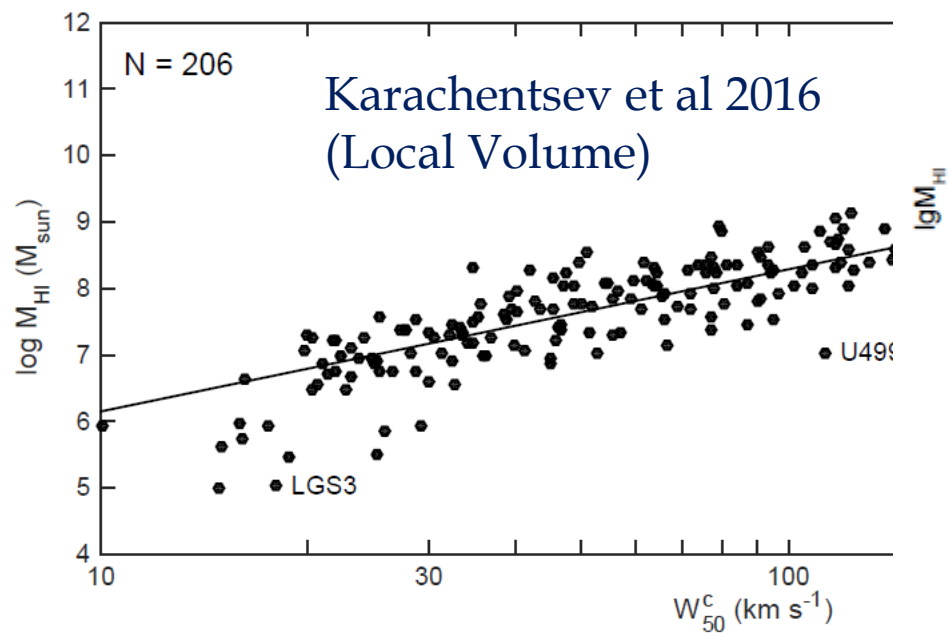
- С размером диска
- Со звёздной массой диска
- Со скоростью вращения диска
- С удельным угловым моментом диска

2015





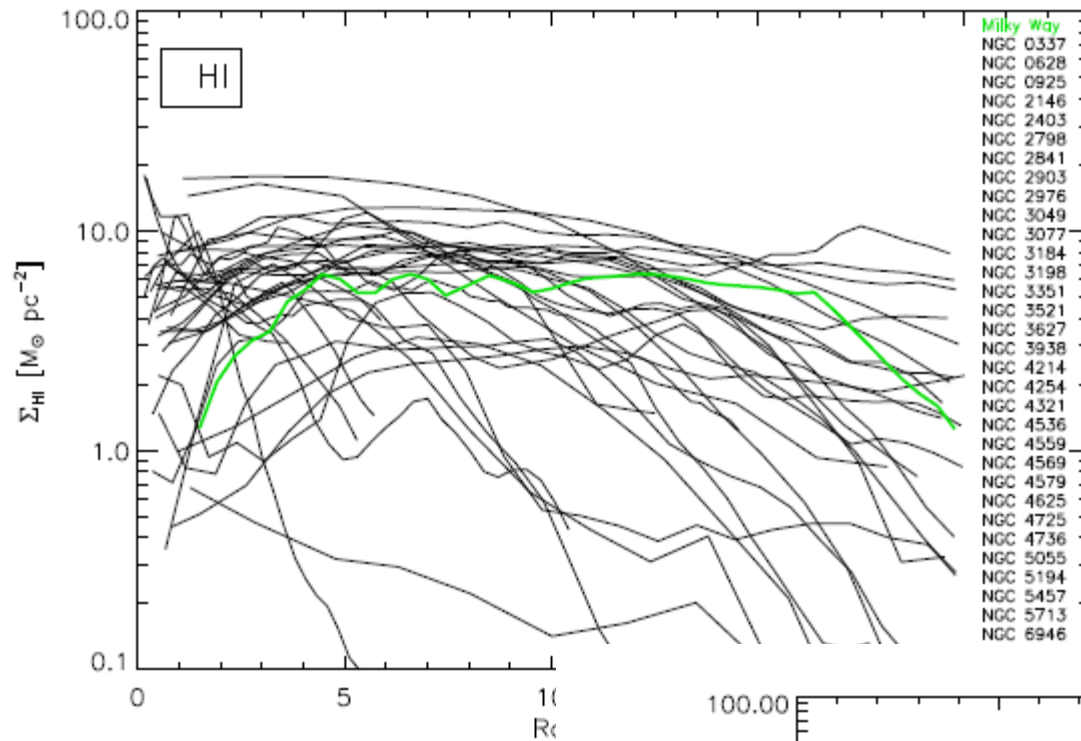
Засов, Смирнова, 2005



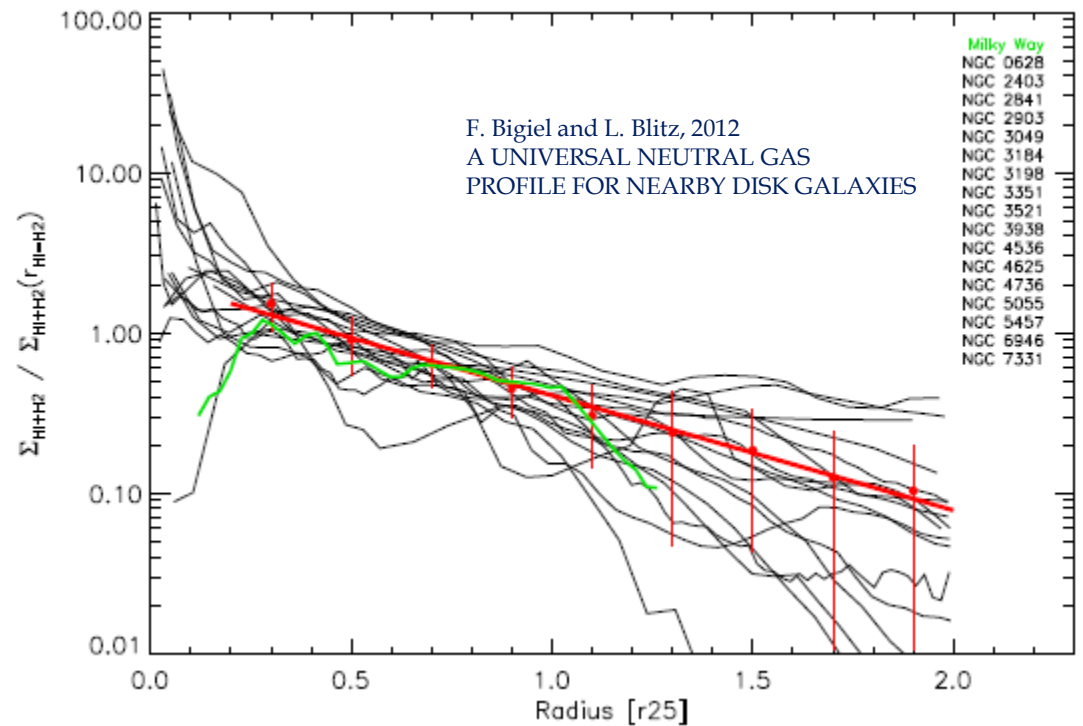
Как эволюционирует HI в дисках?

Модель bathtub не объясняет корреляций, поскольку оставляет вопросы

- ▣ На каком уровне достигается равновесие между SFR и аккрецией?
- ▣ Почему сходны радиальные профили плотности газа в различных галактиках (кроме внутренних областей)?

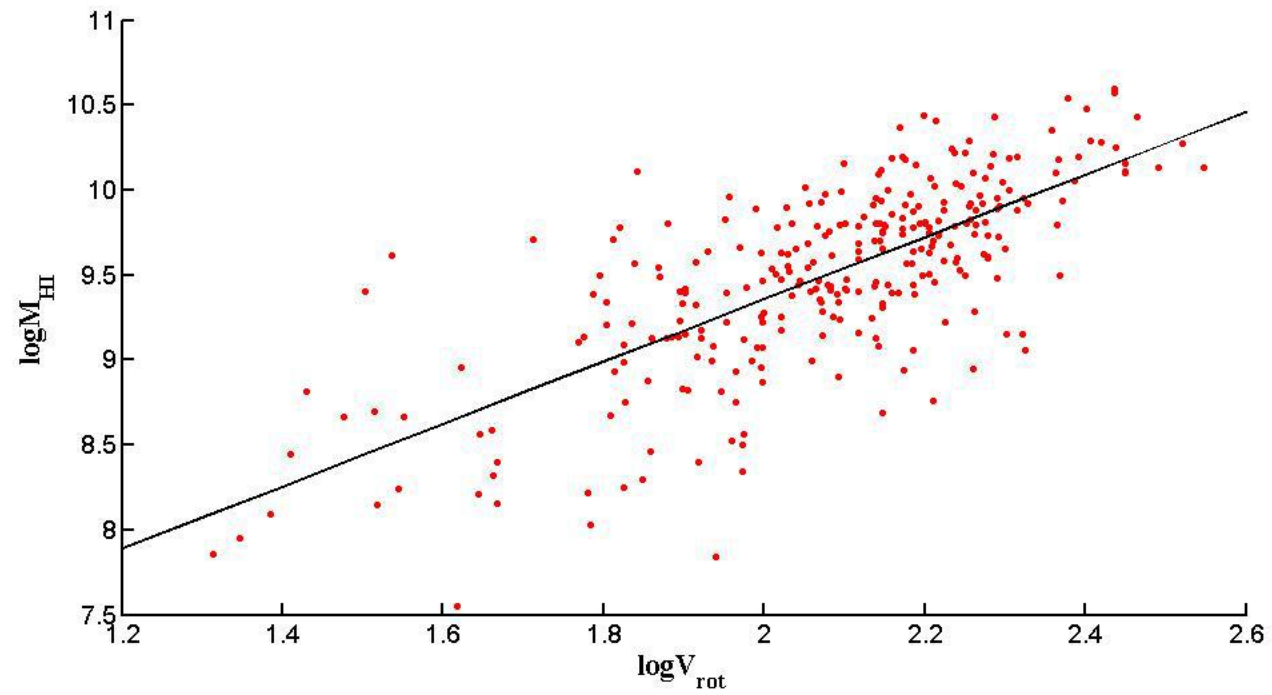


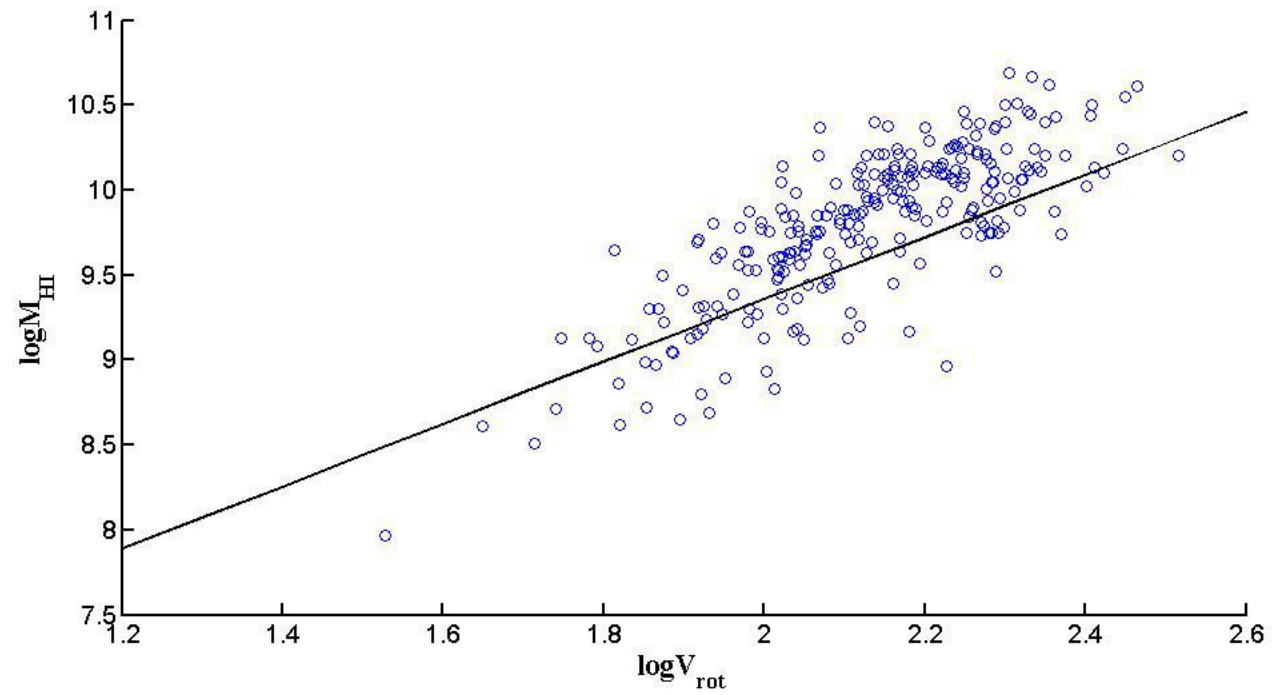
Biguel



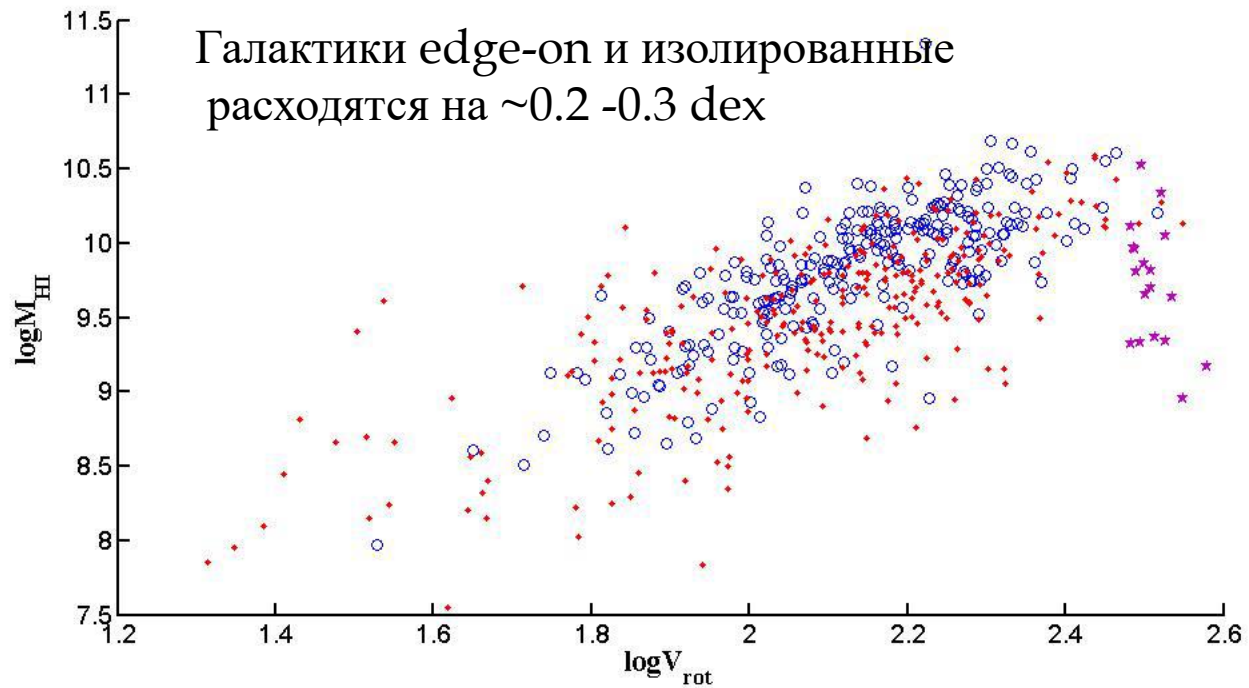
Использовались:

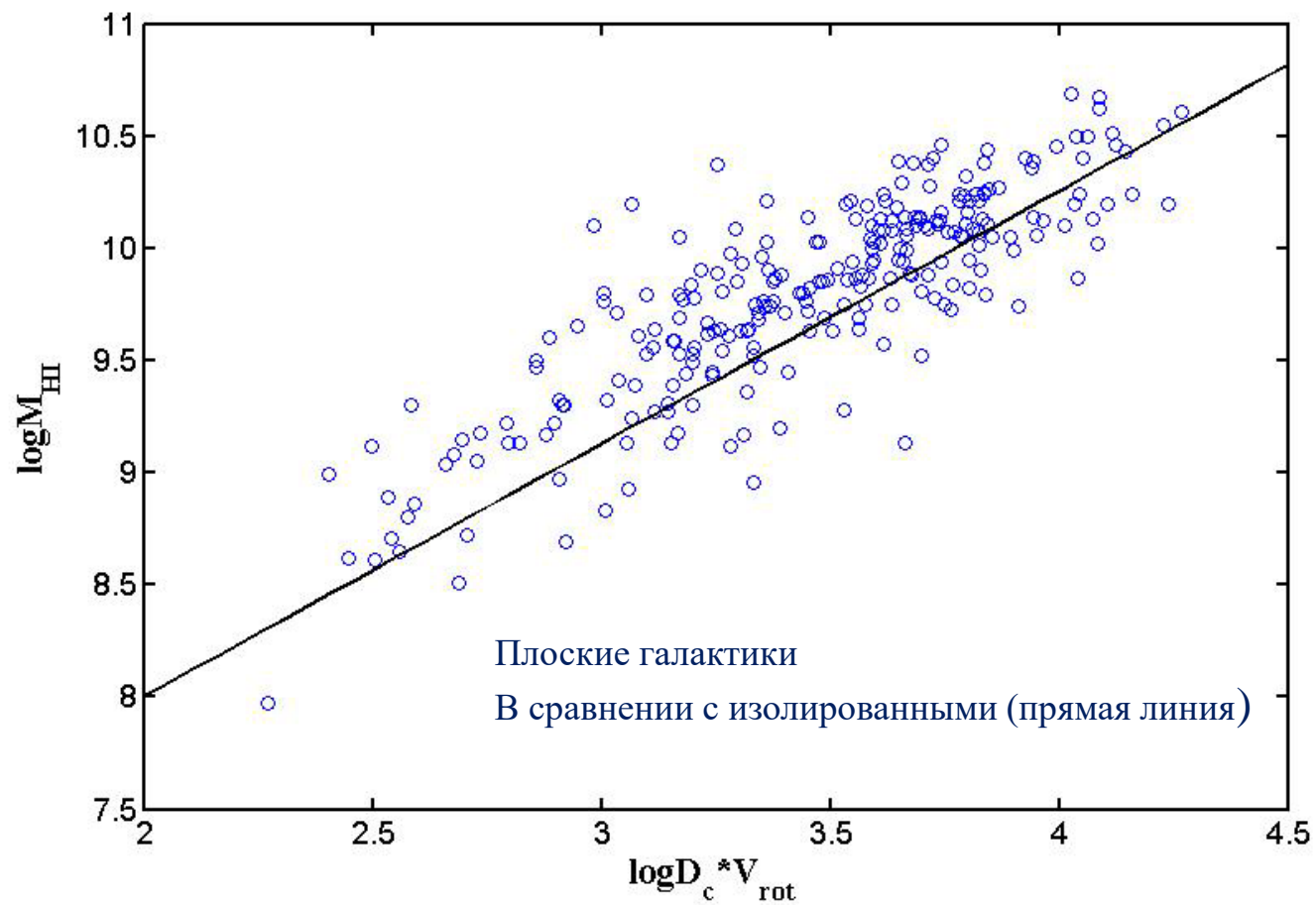
- ▣ Изолированные галактики (AMIGA)-
(most isolated galaxies , updated vesrion of CIG
(Karachentseva,1973) .
- ▣ Галактики edge-on (RCFG), Karachentsev etal,
2003
- ▣ Галактики обзора THINGS (Walter etal, 2008)



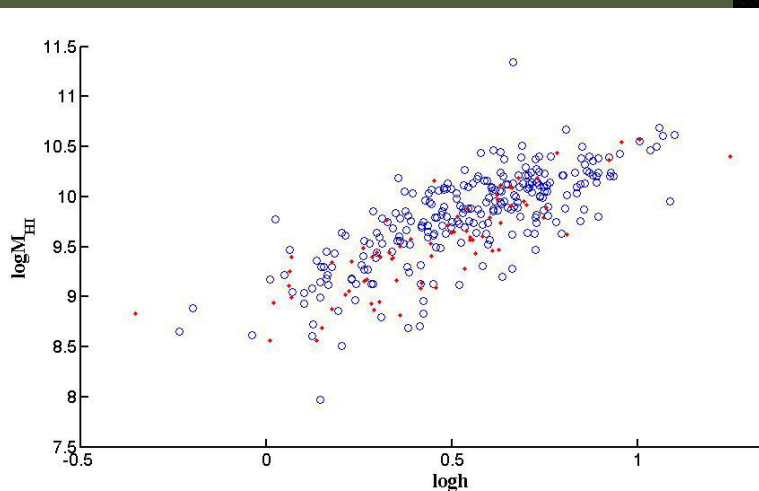


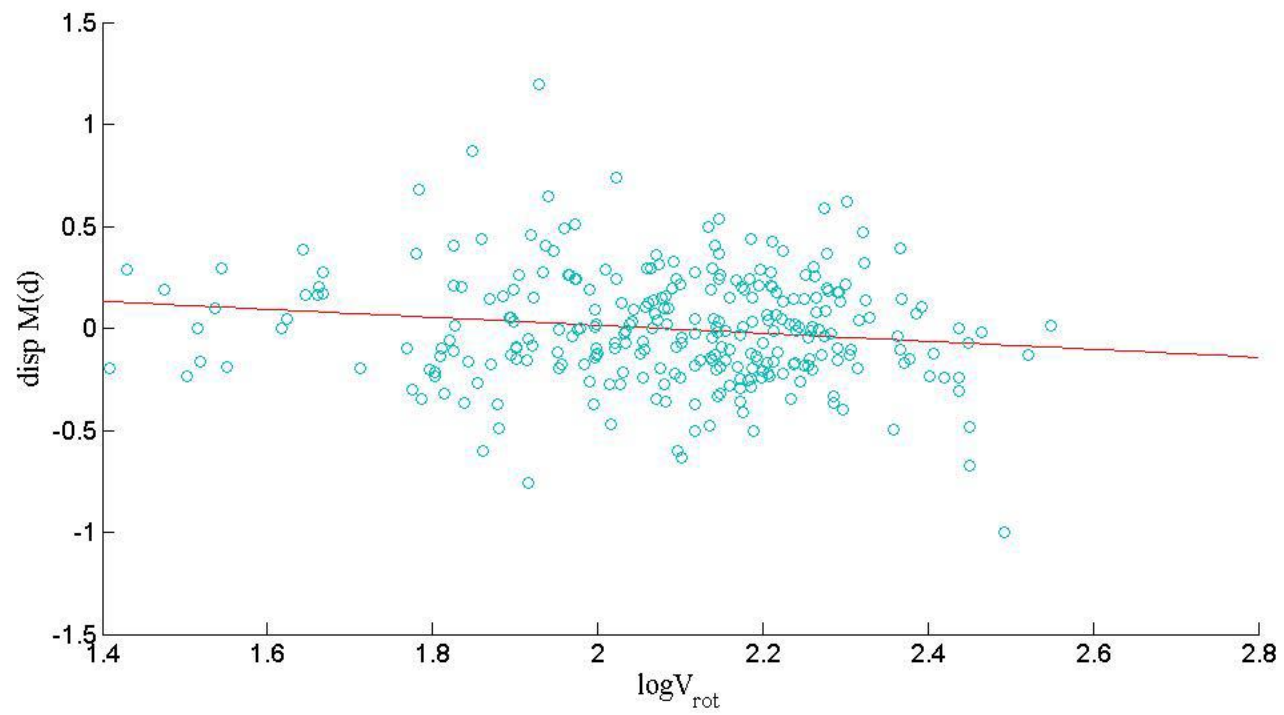
Галактики edge-on и изолированные
расходятся на $\sim 0.2 - 0.3$ dex

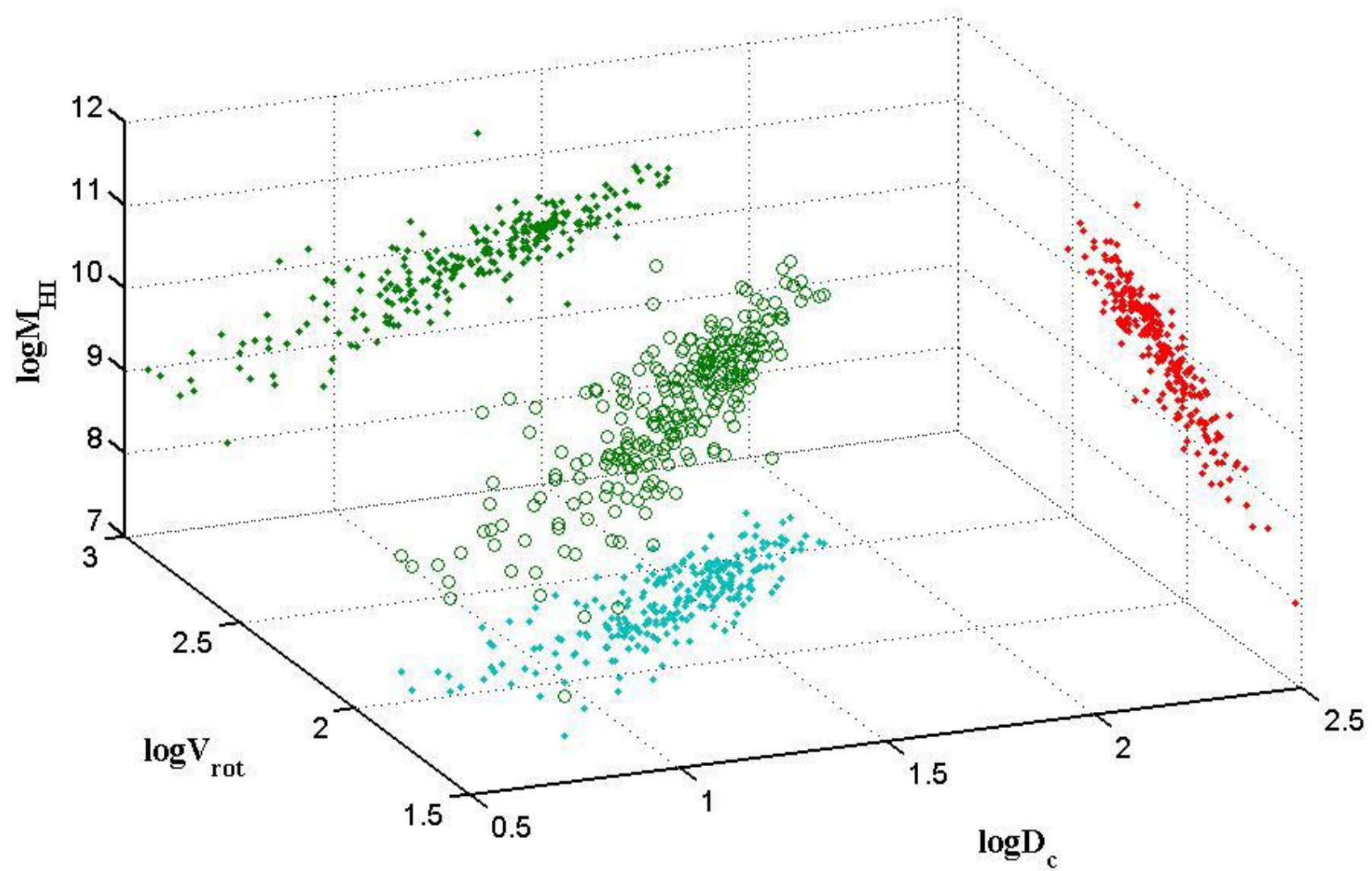




- ▣ Галактики edge-on:
- ▣ в HYPERLEDA принимаемое значения поглощения HI соответствует к-ту 2.14 (по Heidmann, 1992). Для согласования с зависимостью MHI- VD к-т должен быть ~ 1.3







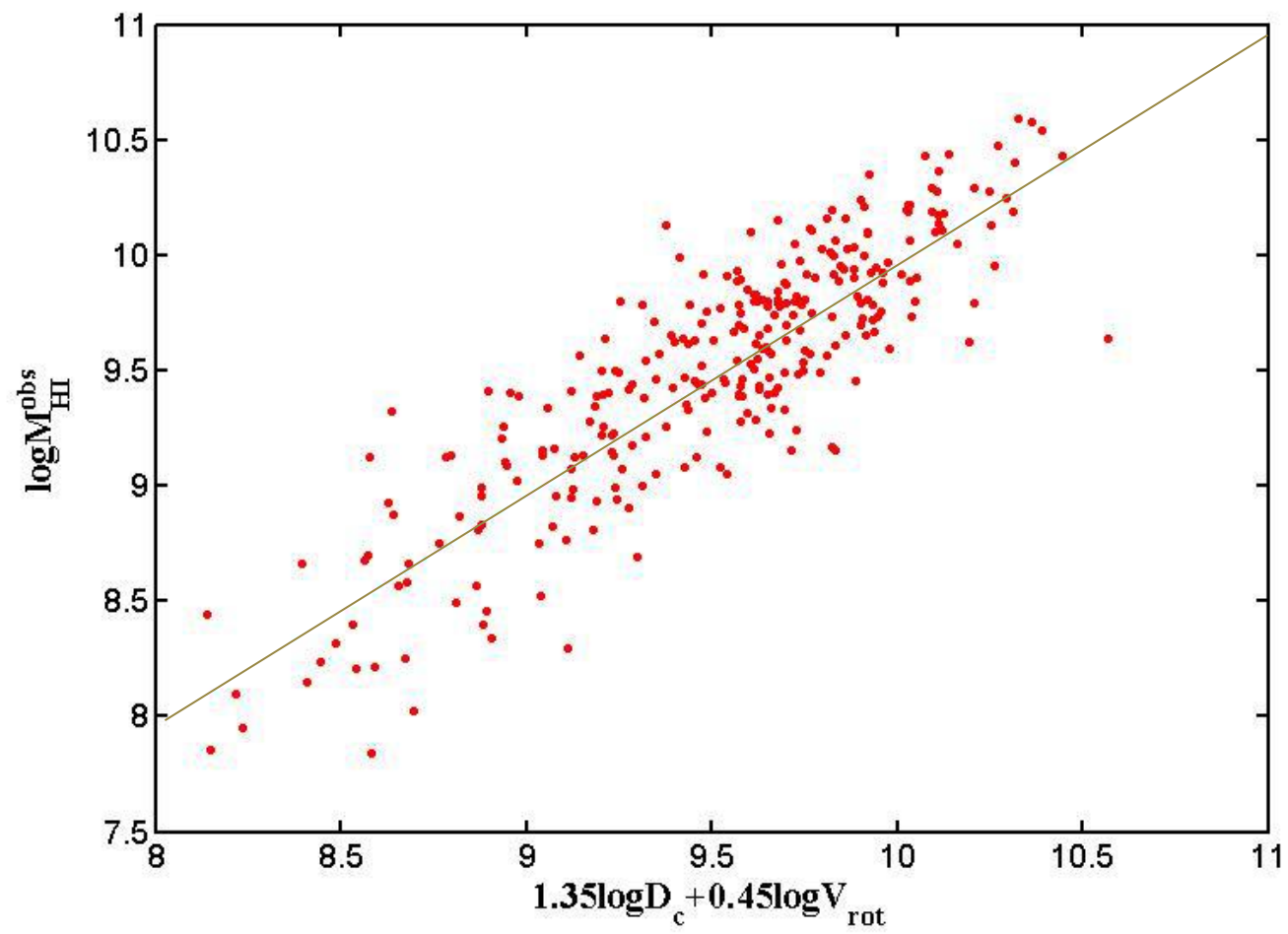
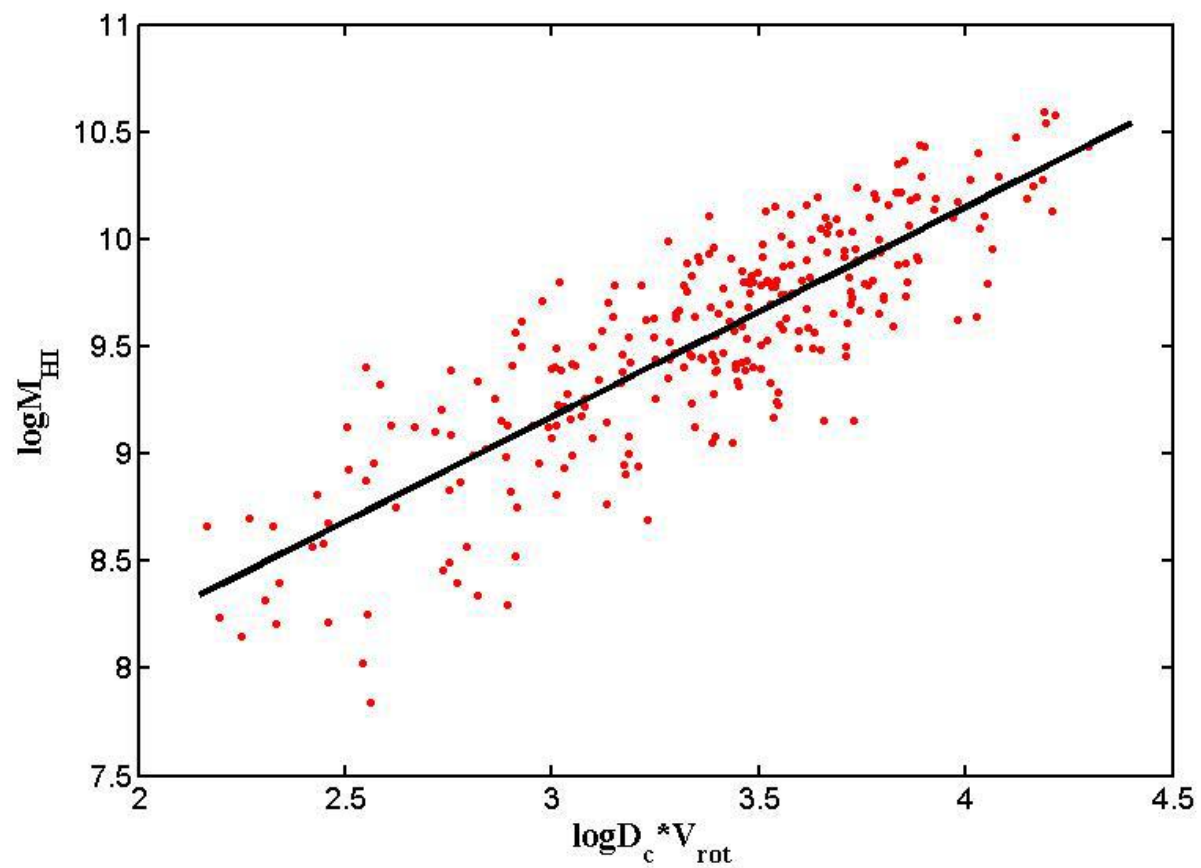


Таблица 1: Итоговые зависимости

	Edge-on				AMIGA			
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
$f(x) = kx + b$	k	b	MSE	p	k	b	MSE	p
$M_{HI} = f(D_c)$	1.43	7.90	0.079	0.80	1.59	7.50	0.076	0.87
$M_{HI} = f(V_{rot})$	2.26	5.00	0.084	0.78	1.83	5.69	0.144	0.73
$M_{HI} = f(D_c V_{rot})$	0.95	6.52	0.069	0.83	0.98	6.24	0.079	0.86
$M_{HI} = f(R_d)$	1.45	9.02	0.092	0.76	1.49	8.85	0.071	0.83
$M_{HI} = f(R_d V_{rot})$	1.02	7.09	0.069	0.83	1.03	6.91	0.071	0.83

Примечание: (1) вид рассматриваемой зависимости; (2), (3) полученные коэффициенты в зависимостях; (4) среднеквадратичная ошибка; (5) коэффициент корреляции.

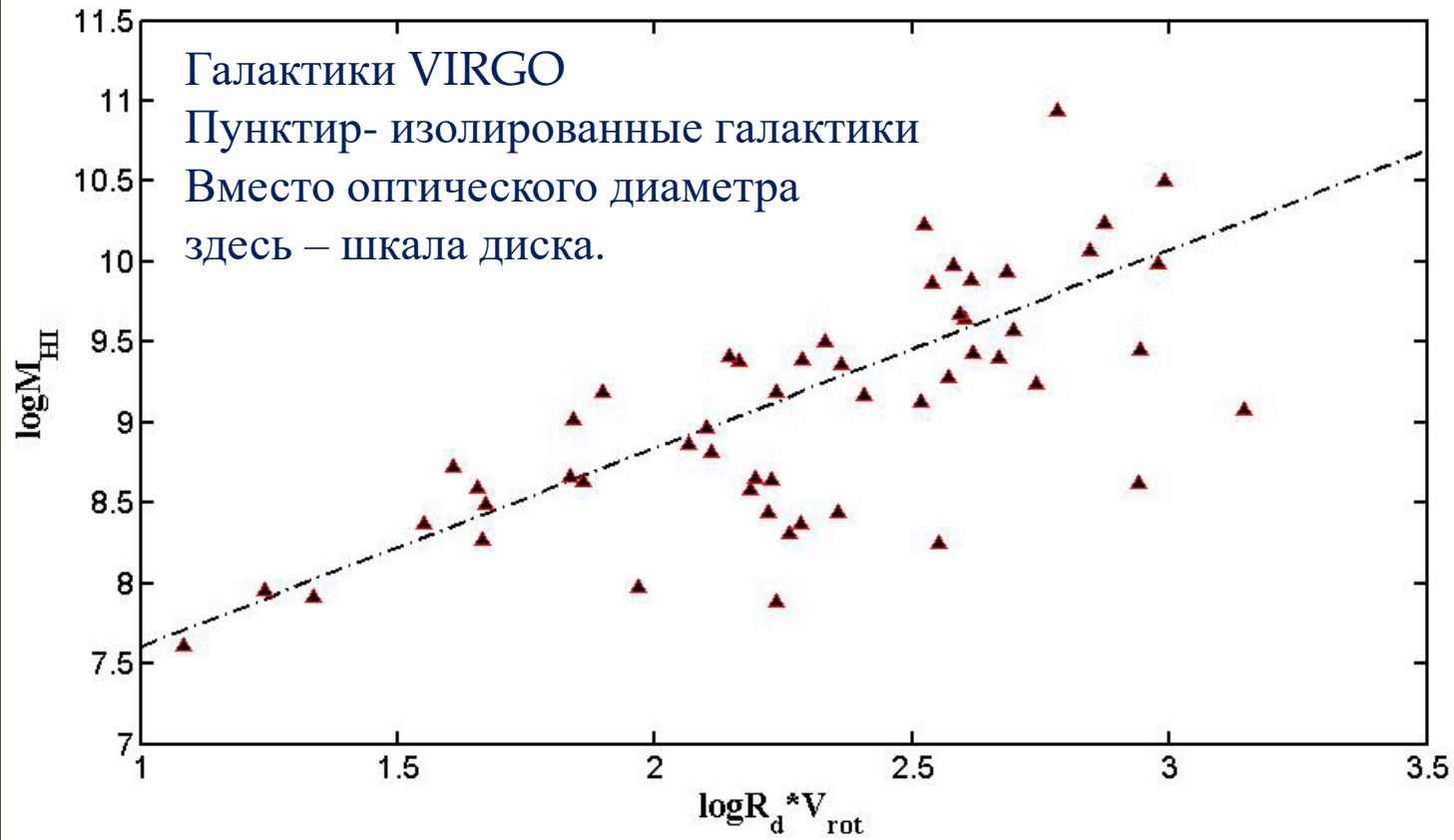


Галактики VIRGO

Пунктир- изолированные галактики

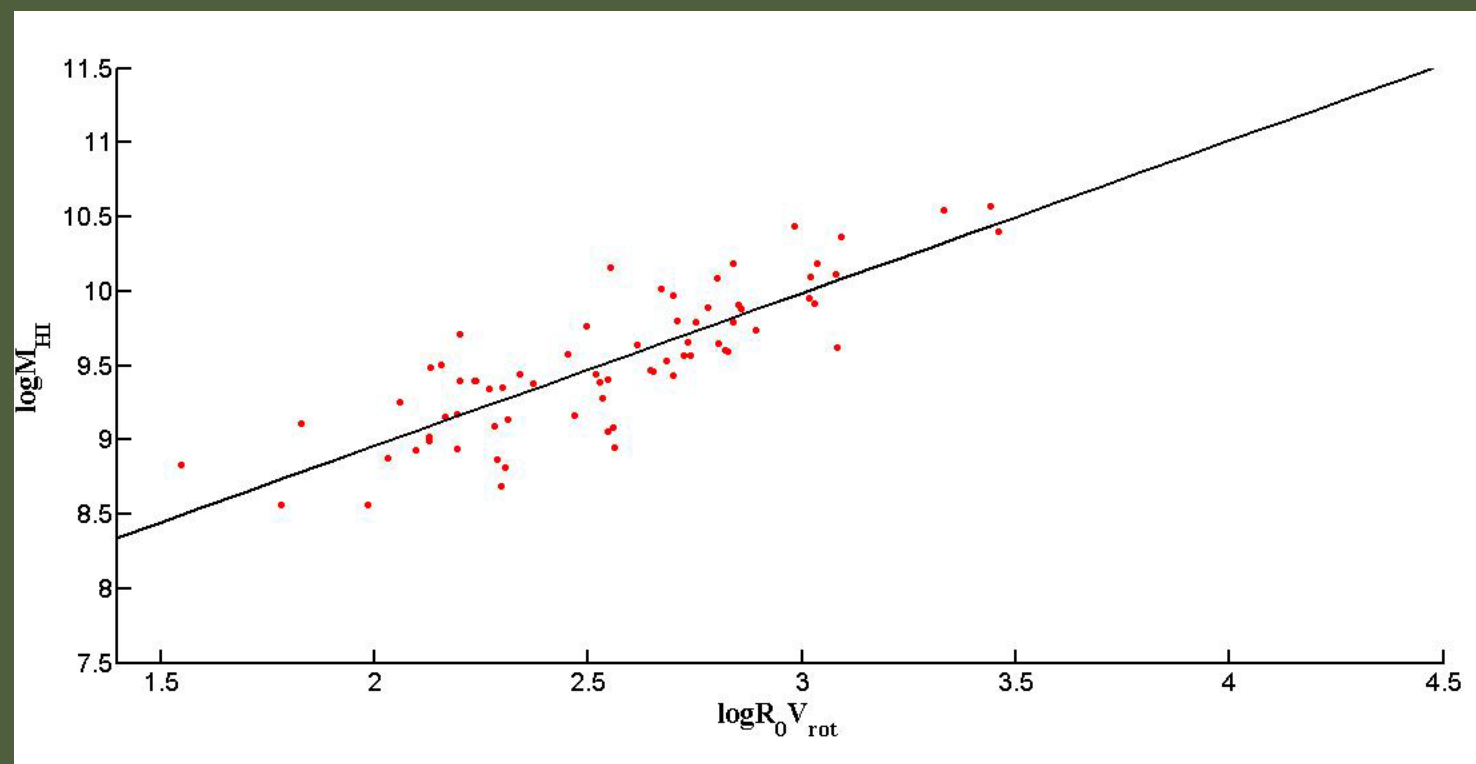
Вместо оптического диаметра

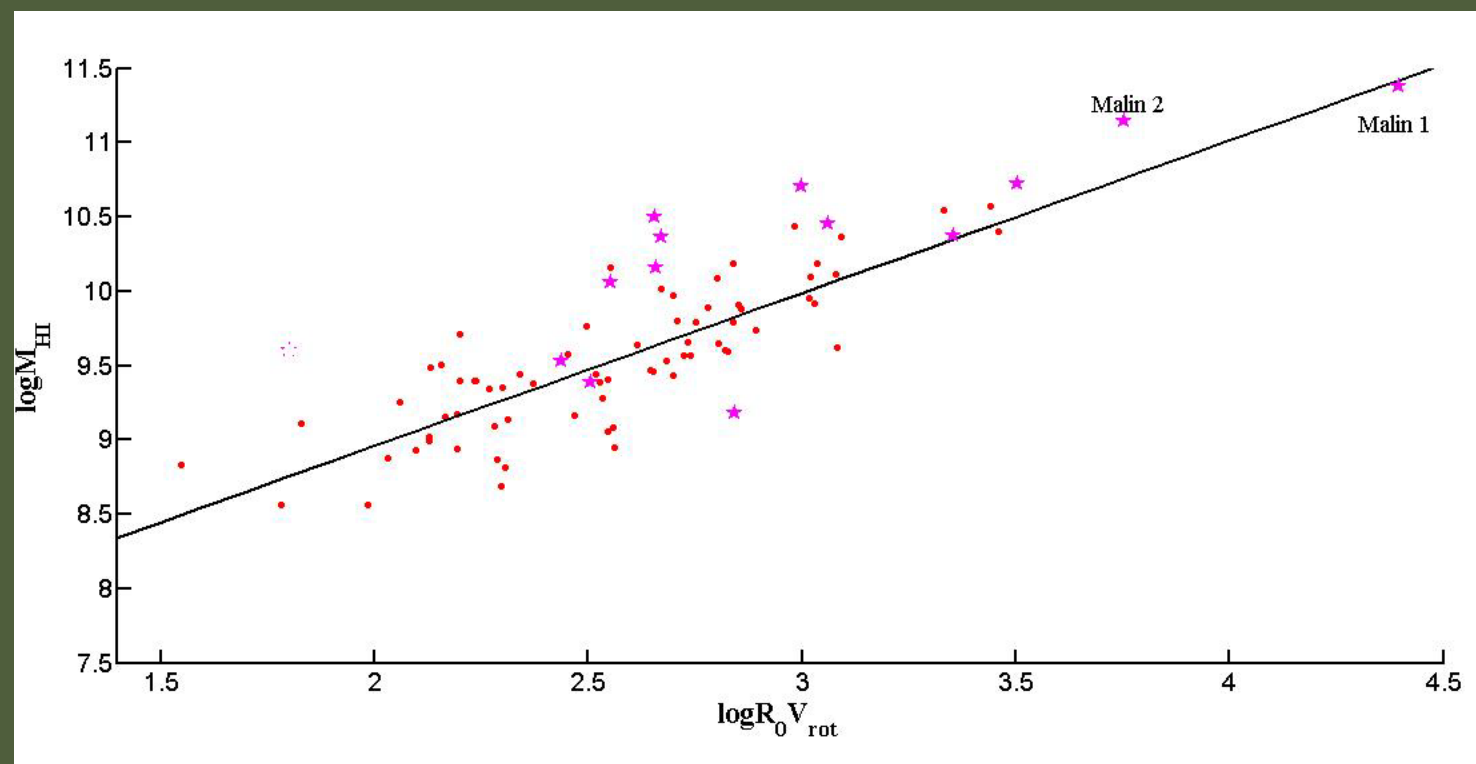
здесь – шкала диска.



Куда ведет эволюция?

- ▣ При отсутствии ухода газа из галактики масса газа постоянна (есть аккреция) или уменьшается.
- ▣ Диаметр звездного диска медленно растет (Carrasco et al. 2010; van Dokkum et al. 2010; Cassata et al. 2013; McLure et al. 2013), однако радиальная шкала стабильна (Sachdeva et al., 2016; Hubble DF, $z \sim 1$, рост $\log D_{\text{opt}}$ в ~ 1.5 раза).
- ▣ Скорость вращения наиболее консервативна, поскольку для ее изменения требуется перераспределение массы.





- ▣ Проблема: как согласовать корреляции МНІ с размером диска, скоростью вращения (или их комбинациями), с тем, что масса газа должна зависеть от эволюционных факторов?
- ▣ Ключ к решению: радиальное распределение газа в диске диктуется условиями гравитационной устойчивости диска (идея предложена еще в 70-х).

Слой межзвездного газа

- ▣ Радиальная дисперсия скоростей

$$C = 8-12 \text{ км/с}$$

Для устойчивости требуется, чтоб скорость звука (радиальная дисперсия скоростей) была ограничена снизу величиной

$$C_{cr} = Q \pi G \Sigma_{gas} / \kappa$$

Условие маржинальной устойчивости

ОДНОКОМПОНЕНТНЫЙ ДИСК

$$Q = \frac{\kappa \sigma}{\pi G \Sigma} > 1,$$

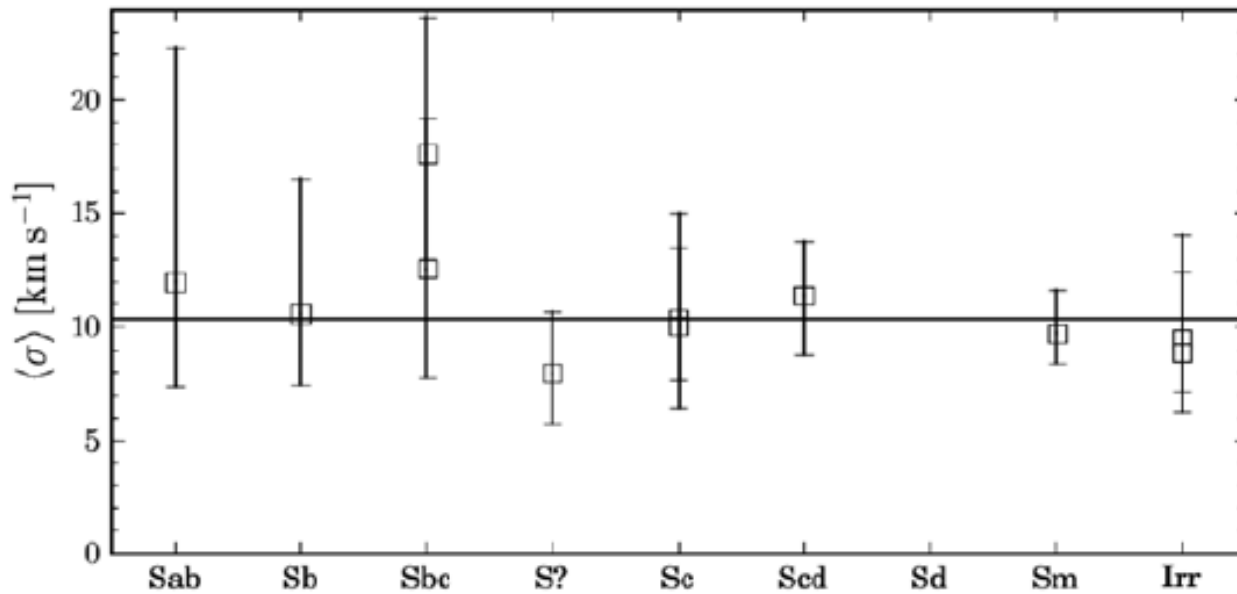
ДВУХКОМПОНЕНТНЫЙ ДИСК

$$Q_{\star} = \frac{\kappa \sigma_{\star}}{\pi G \Sigma_{\star}}, \quad Q_g = \frac{\kappa \sigma_g}{\pi G \Sigma_g},$$

Romeo, Falstad, 2013

$$\frac{1}{Q_{\text{RW}}} = \begin{cases} \frac{W}{Q_{\star}} + \frac{1}{Q_g} & \text{if } Q_{\star} \geq Q_g, \\ \frac{1}{Q_{\star}} + \frac{W}{Q_g} & \text{if } Q_g \geq Q_{\star}; \end{cases}$$

$$W = \frac{2\sigma_{\star}\sigma_g}{\sigma_{\star}^2 + \sigma_g^2}.$$

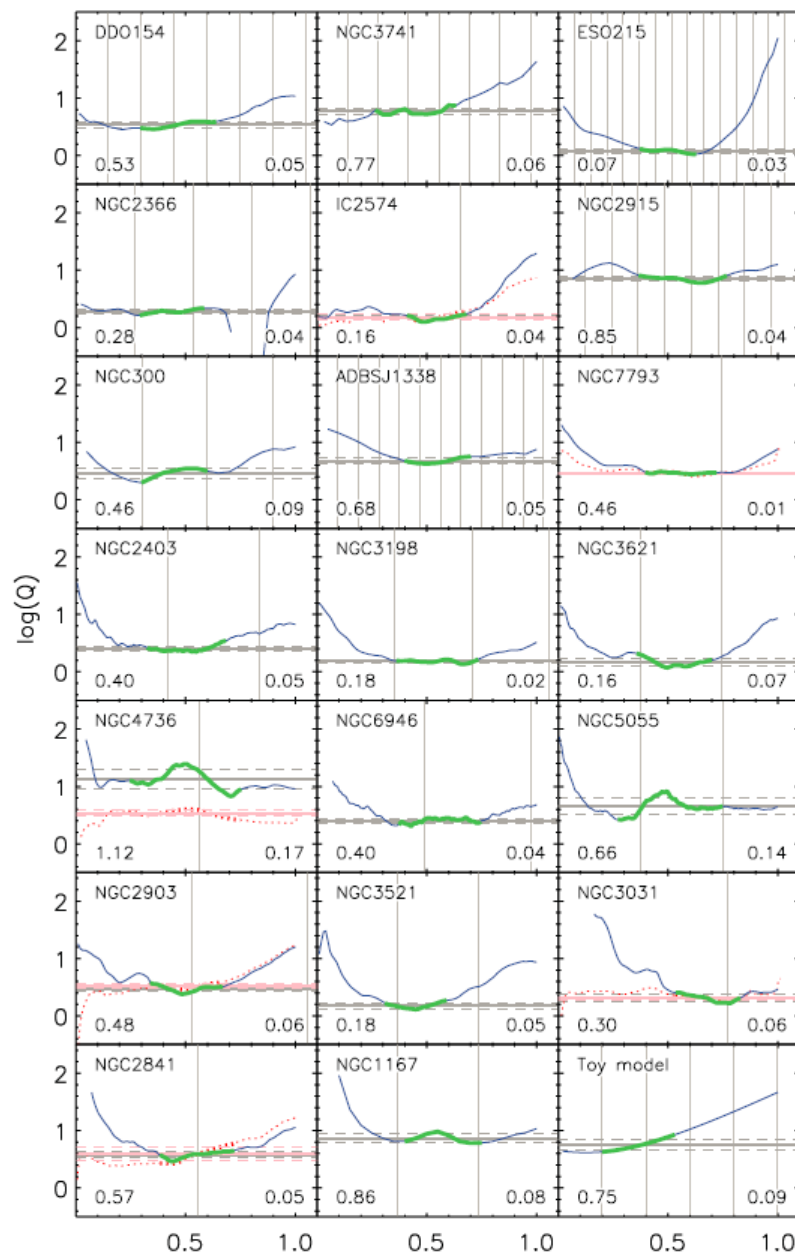


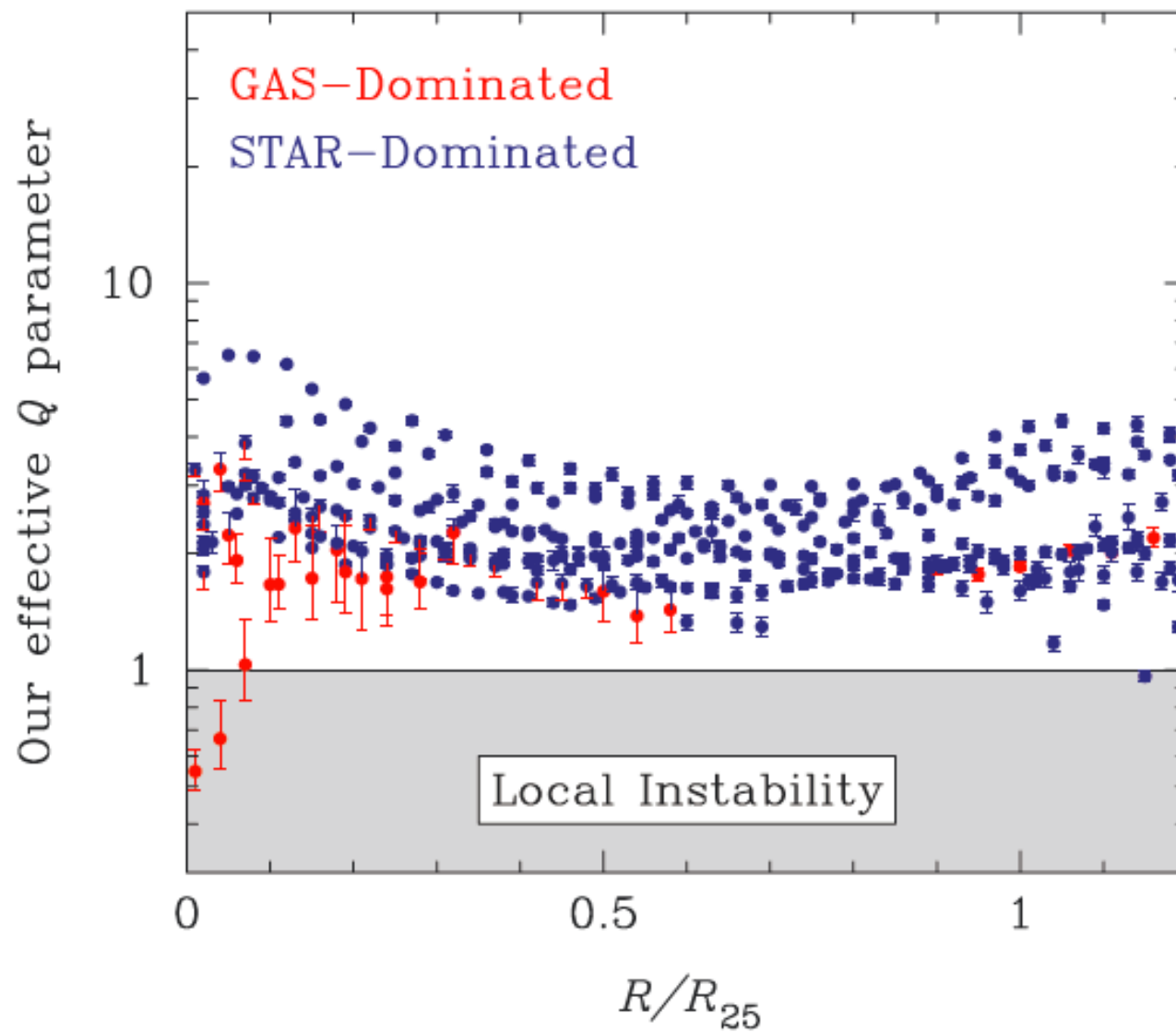
**Velocity dispersion of HI at the optical radius R25
for galaxies of the THINGS survey (D.Tamburro et al., 2009)**

- ▣ Оценки критического значения параметра Q для газа – между 1 и ~ 2 (теория и численные эксперименты).
- ▣ *Li et al, 2005 (гидродин.модели)*
- ▣ *W-T.Kim, E.Ostriker, 2007 (гидродин.модели)*
- ▣ *Хоперсков и др. 2003 (N-body)*
- ▣ *В.Поляченко и др. ,1997 (аналитика).*

Проблема:
На значительном протяжении $Q > 2$.

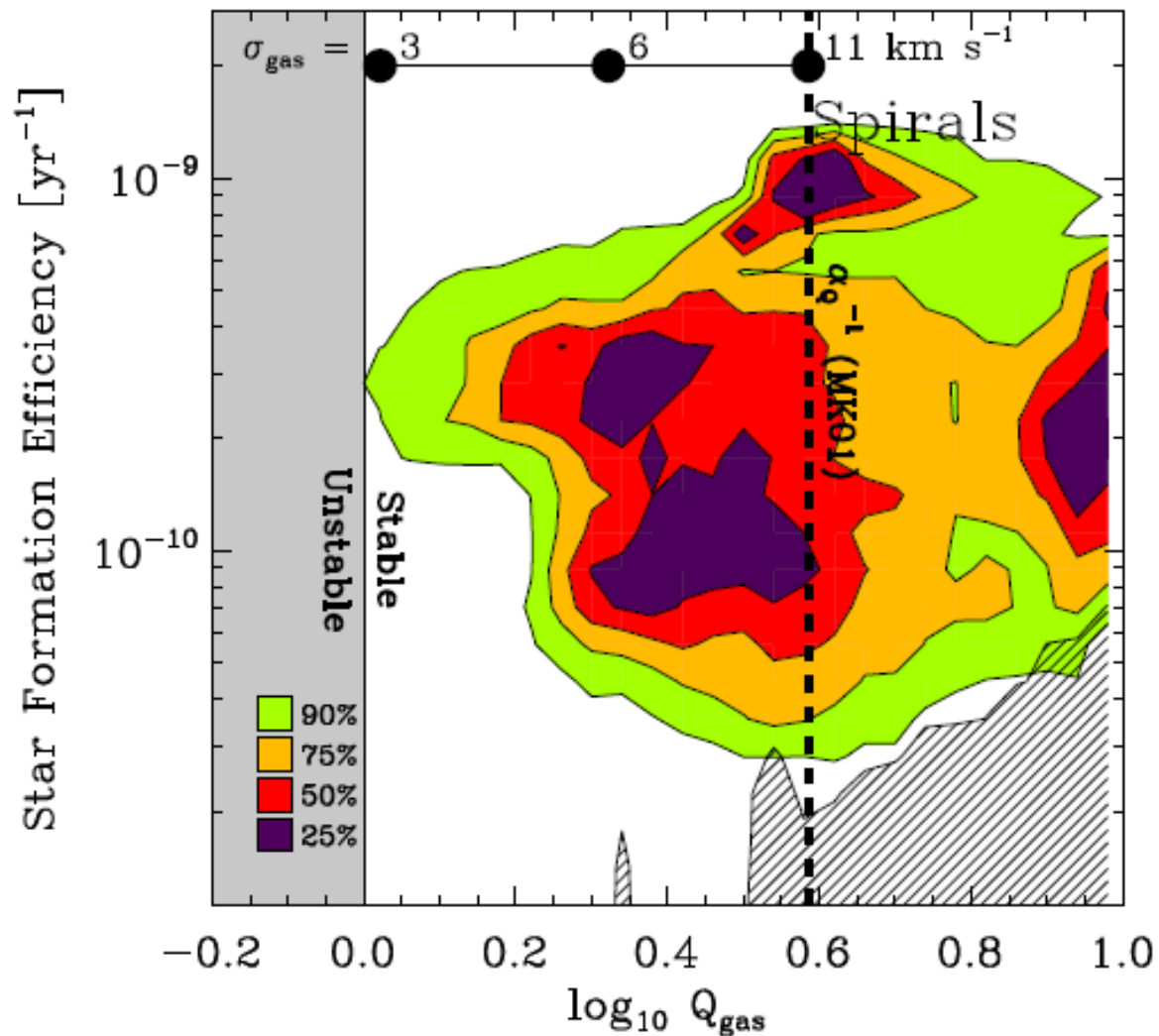
G. R. Meurer, Z. Zheng and W. J. G. de Blok





SFR – Q_{gas} для галактик THINGS

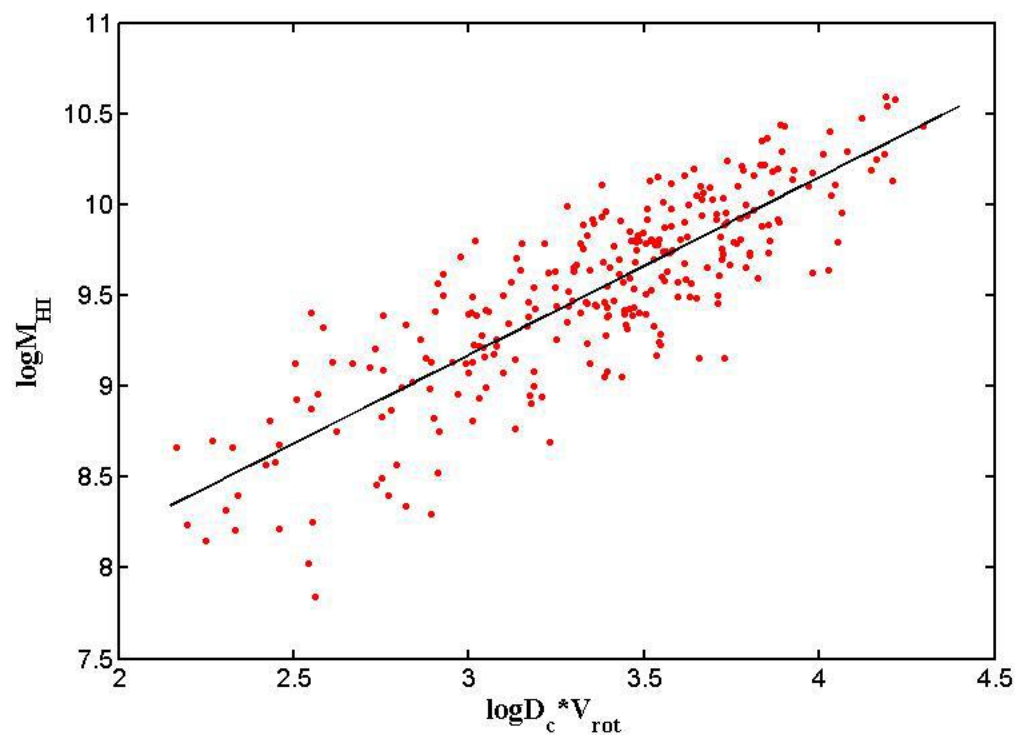
Leroy et al., 2008

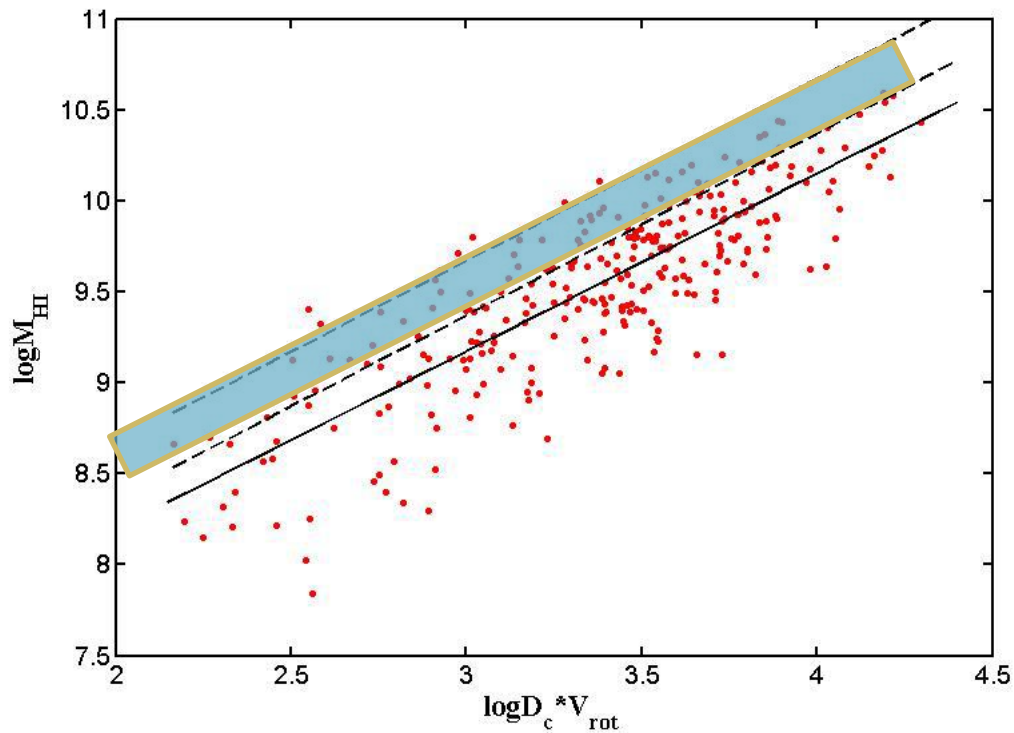


Оценка параметра Q для галактик THINGS на $R=R_{25}$
с использованием новых оценок дисперсии скоростей HI
(по Ianjamasimanana et al ,2015)

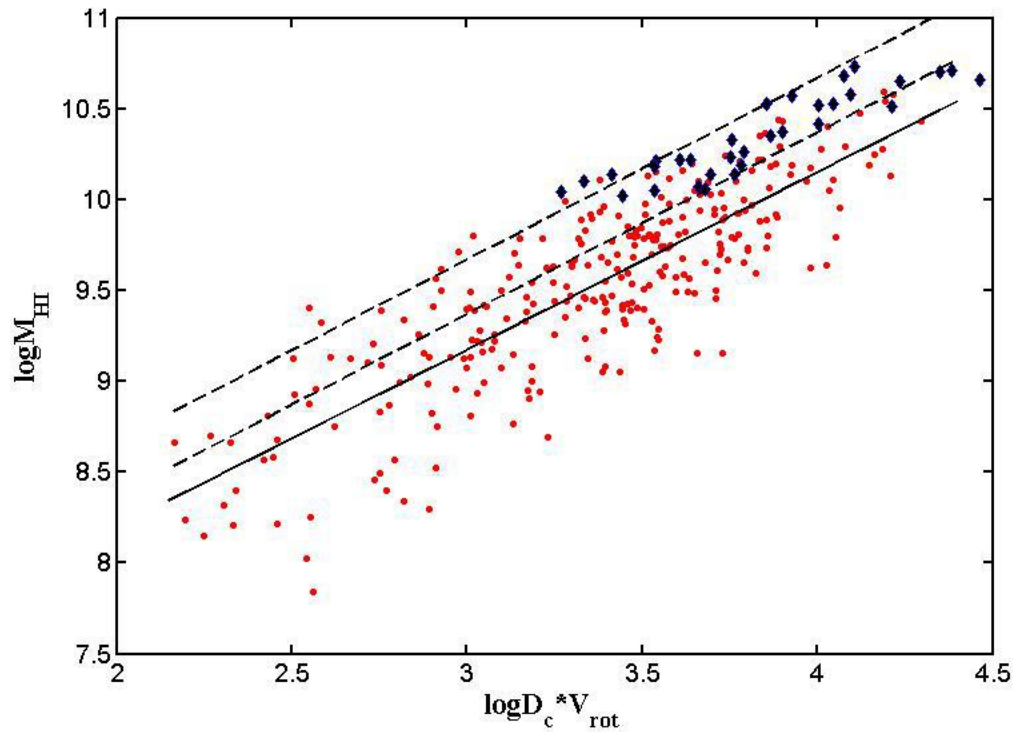
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<i>NGC</i>	R_{25} , кпк	σ_V , км/с	Q
NGC925	14.3	8.8	1.8
NGC2366	2.2	11.3	3.1
NGC2403	7.4	8.4	2.9
NGC2903	15.2	9.9	4.3
NGC2976	3.8	9.6	13.8
NGC3198	12.9	12.5	2.8
IC2574	7.5	8.1	1.5
NGC3621	9.4	10.0	3.3
NGC4736	5.3	7.7	10.4
DDO154	1.2	8.7	2.4
NGC5055	17.2	8.9	3.5
NGC6946	9.8	7.7	4.6
NGC7793	5.9	9.6	2.3

Вернемся к исходной зависимости





Пунктир: $Q_c/C_g=5$ (внизу) и $Q_c/C_g=10$ (вверху)
 Q_c – критическое значение параметра устойчивости
 C_g – дисперсия турбулентных скоростей газа



Черные символы:

HI-rich galaxies: $\log M_{\text{HI}} > 10$, $M_{\text{HI}}/M_* > 1/3$.

Более низкое SFR на единицу площади диска. S.Huang et al., 2014

Две возможности:

- ▣ Вариант 1. Масса газа в диске не эволюционирует, SF поддерживается на уровне, близком к уровню маржинальной устойчивости. Критическое значение $Q_c \sim 3 - 5$.

Причина высокого Q_c : крупномасштабные неоднородности в распределении газа, возникающие без участия гравитационных сил?

Elmegreen 2011:

Gas dissipation can increase the stability threshold from 1 to 2–3 and allow small-scale instability to persist even at large Q_{tot} .

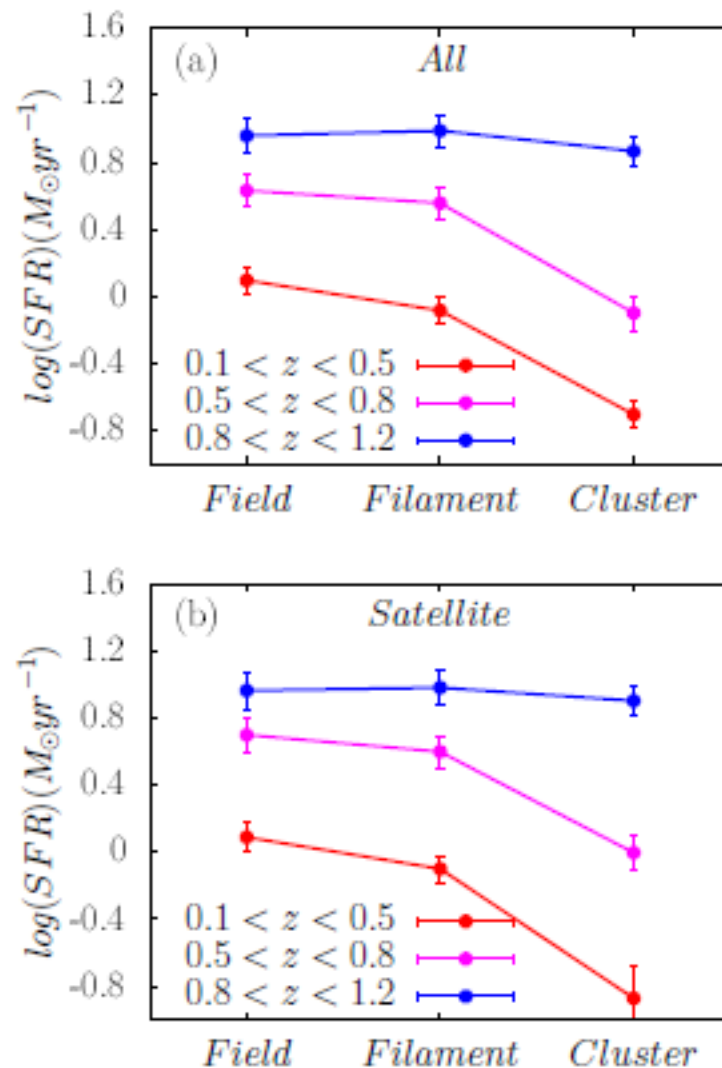
- ▣ Вариант 2. Масса газа падает со временем, пороговое значение плотности газа имело место в прошлом, когда масса газа была в 2-3 раза больше современной (кроме HI-rich galaxies). Аккреция не уравнивает звездообразование.

Два аргумента в пользу последнего варианта:

- ▣ 1. Последние несколько миллиардов лет SFR в галактиках замедляется (на статистическом уровне), что косвенно свидетельствует об уменьшении массы газа (затухание аккреции?)

Эволюция SFR в галактиках с $\log M^* > 9.6$

- ▣ B.Darwish et al, 2016
SED template fitting procedure for SFR estimation.
Satellite – галактика, не являющаяся главной в группе или скоплении
Начиная $z \sim 0.8$ SFR затухает (аккреция становится незначительной?)



2. Эффективность $SF = SFR/MHI$ слабо зависит от массы галактик.

Интегральная $SFE=SFR/MHI$ для близких галактик Wong et al., 2016

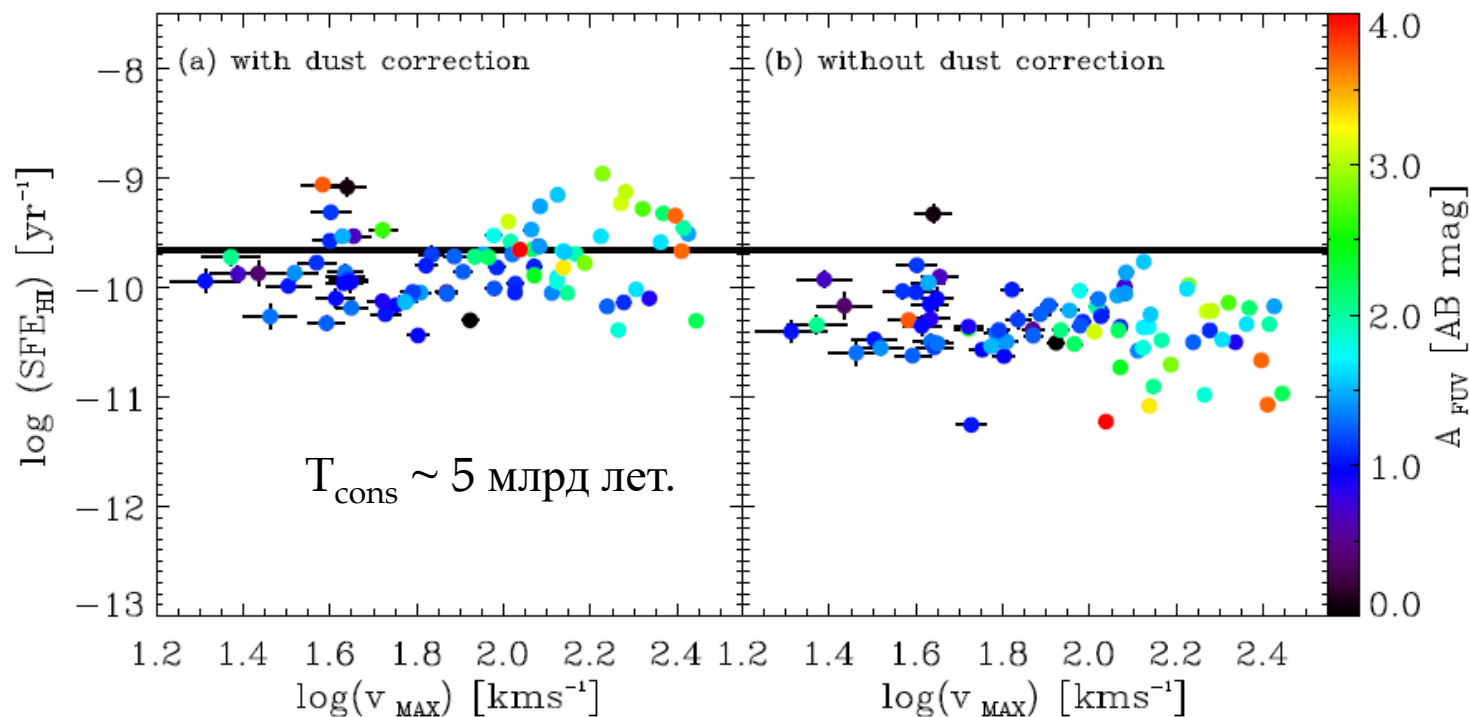


Figure 8. Effect of internal dust extinction on the measured SFE_{HI} in our sample. Panel (a) shows the integrated SFE_{HI} with internal dust correction as a function of v_{MAX} and panel (b) shows the integrated SFE_{HI}

- ▣ Depletion time меняется вдоль последовательности масс т-ко для H2:
- ▣ $T_{\text{H2}} = 0.5 \text{ Gyr}$ for $M^*=10^{10}$ и 3Gyr for $M^*=\text{several } 10^{11}$
- ▣ $T_{\text{HI}} = 3\text{Gyr}$ на всем этом интервале масс. Saintonge et al, 2016 (по обзорам ALFALFA, GASS, COLDGASS).

$T_{\text{HI}} = 3\text{Gyr}$ по 190 г-кам (beam-average). Schiminovich et al., 2010.

Но:

- ▣ Depletion time меняется вдоль последовательности масс т-ко для H₂:
 - ▣ $T_{\text{H2}} = 0.5 \text{ Gyr}$ for $M^*=10^{10}$ и 3Gyr for $M^*= \text{several } 10^{11} M_{\text{sun}}$
 - ▣ $T_{\text{HI}} = 3\text{Gyr}$ на всем этом интервале масс.
- Saintonge et al, 2016 (по обзорам ALFALFA, GASS, COLDGASS).

$T_{\text{HI}} = 3\text{Gyr}$ по 190 г-кам (beam-average).
Schiminovich et al., 2010.

Но: SFE для HI на периферии галактик $>10^{10}$ лет!

Главные выводы

- ▣ В галактиках edge-on оценка массы HI ненадежна и по видимому сильно преувеличена
- ▣ Зависимость между MHI и удельным моментом для активных галактик может быть объяснена с учетом условия маргинальной устойчивости газового слоя.
- ▣ При этом критическое значение параметра устойчивости Q_c либо в 2-3 раза выше теоретических оценок, либо (что вероятнее) отражает ситуацию на $z \sim 0.5-1$, когда газа было в 2-3 раза больше, чем в настоящее время.
- ▣ Газовые диски галактик с наиболее высокой массой HI Находятся в состоянии маргинальной устойчивости. Вероятна роль аккреции.
- ▣ Внутренние области галактик (в пределах радиальной шкалы) отличаются большим разнообразием по содержанию HI, и имеют свою, более разнообразную историю звездообразования (молекуляризация газа, аккреция, радиальное перемешивание).

Странная работа:

- ▣ - также рассмотрена связь содержания газа с условием устойчивости газового диска.
- ▣ Заведомо нереалистичная модель, однако, согласуется с наблюдениями

ANGULAR MOMENTUM REGULATES ATOMIC GAS FRACTIONS OF GALACTIC DISKS

D. OBRESCHKOW¹, K. GLAZEBROOK², V. KILBORN², AND K. LUTZ²

¹International Centre for Radio Astronomy Research (ICRAR), M468, University of Western Australia, WA 6009, Australia and
²Centre for Astrophysics and Supercomputing, Swinburne University of Technology, P.O. Box 218, Hawthorn, VIC 3122, Australia

ApJ, accepted 28/05/2016

ABSTRACT

We show that the mass fraction $f_{\text{atm}} = 1.35M_{\text{HI}}/M$ of neutral atomic gas (H I and He) in isolated local disk galaxies of baryonic mass M is well described by a straightforward stability model for flat exponential disks. In the outer disk parts, where gas at the characteristic dispersion of the warm neutral medium is stable in the sense of Toomre (1964), the disk consists of neutral atomic gas; conversely the inner part where this medium would be Toomre-unstable, is dominated by stars and molecules. Within this model, f_{atm} only depends on a global stability parameter $q \equiv j\sigma/(GM)$, where j is the baryonic specific angular momentum of the disk and σ the velocity dispersion of the atomic gas. The analytically derived first-order solution $f_{\text{atm}} = \min\{1, 2.5q^{1.12}\}$ provides a good fit to all plausible rotation curves. This model, with no free parameters, agrees remarkably well (± 0.2 dex) with measurements of f_{atm} in isolated local disk galaxies, even with galaxies that are extremely H I-rich or H I-poor for their mass. The finding that f_{atm} increases monotonically with q for pure stability reasons offers a powerful intuitive explanation for the mean variation of f_{atm} with M : in a cold dark matter universe galaxies are expected to follow $j \propto M^{2/3}$, which implies the average scaling $q \propto M^{-1/3}$ and hence $f_{\text{atm}} \propto M^{-0.37}$, in agreement with observations.

Работа с нереалистичной моделью и реалистичными выводами об относительном содержании газа становится понятной, если отнести модельные параметры распределения газа и звезд к той эпохе, когда на долю газа приходилась существенная часть массы диска.

Выводы согласуются с нашими.
Согласен обсудить подробнее.

Пока всё...