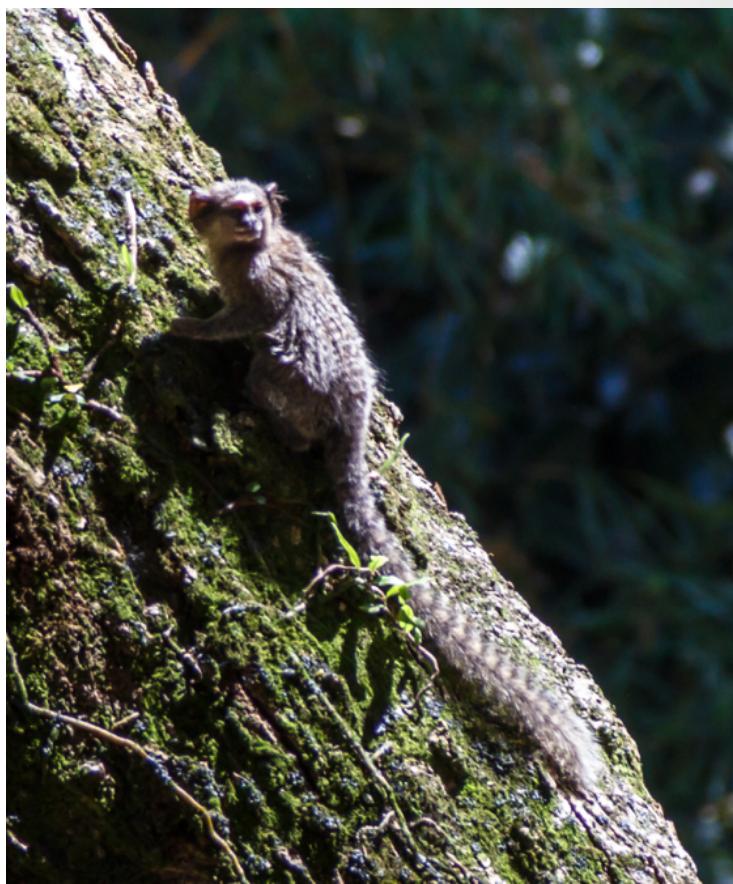


Егоров О.В.

Новости с конференции  
«Chemical Abundances in gaseous nebulae»

+ дополнения к новостям с конференции  
«The galaxy life-cycle»







# WORKSHOP CHEMICAL ABUNDANCES IN GASEOUS NEBULAE



REGISTRATION PROCESS FINISHED

CAMPOS DO JORDÃO  
SÃO PAULO, BRAZIL

FROM 2<sup>ND</sup> TO 5<sup>TH</sup>  
OF NOVEMBER, 2016

ABUNDANCES@UNIVAP.BR

APOIO:



## Основные вопросы:

1. Каким методом оценивать металличность?
2. Новые методы оценки металличности
3. Градиент металличности в галактиках
4. Металличность на больших  $z$
5. И т.д.

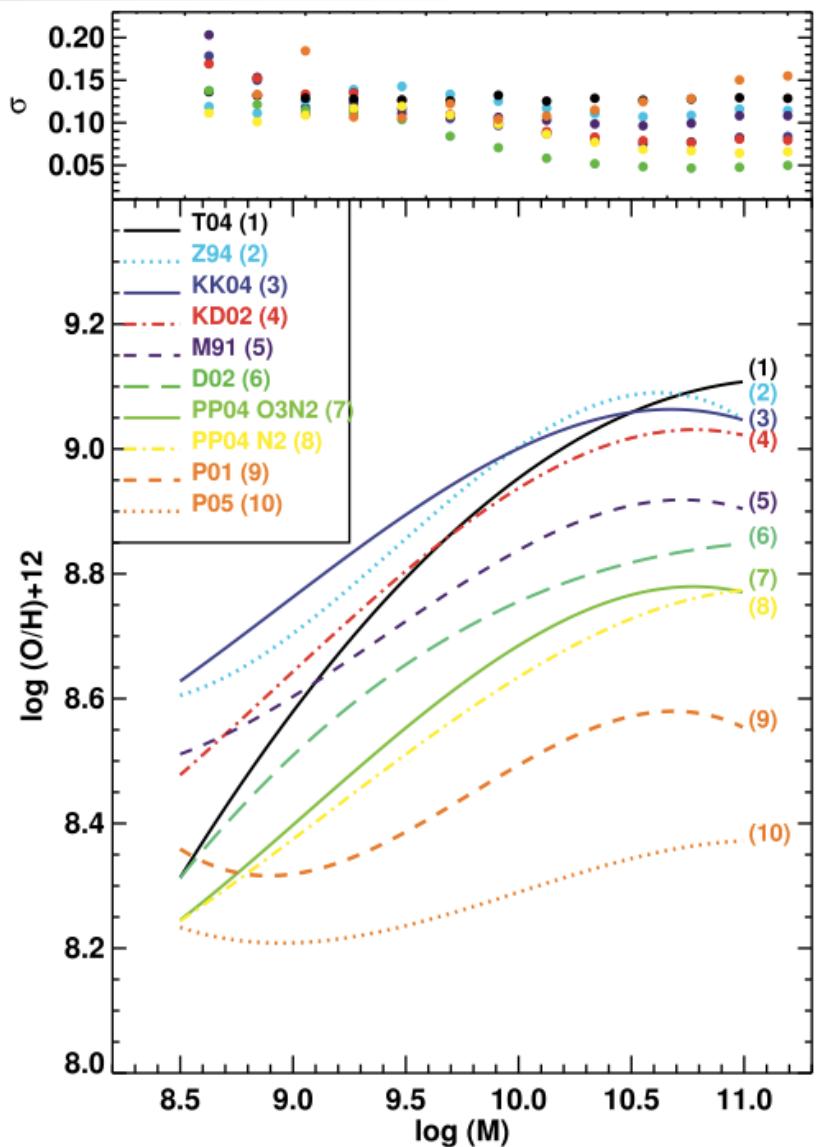
# 1. Каким методом оценивать металличность?

# Типы методов оценки металличности

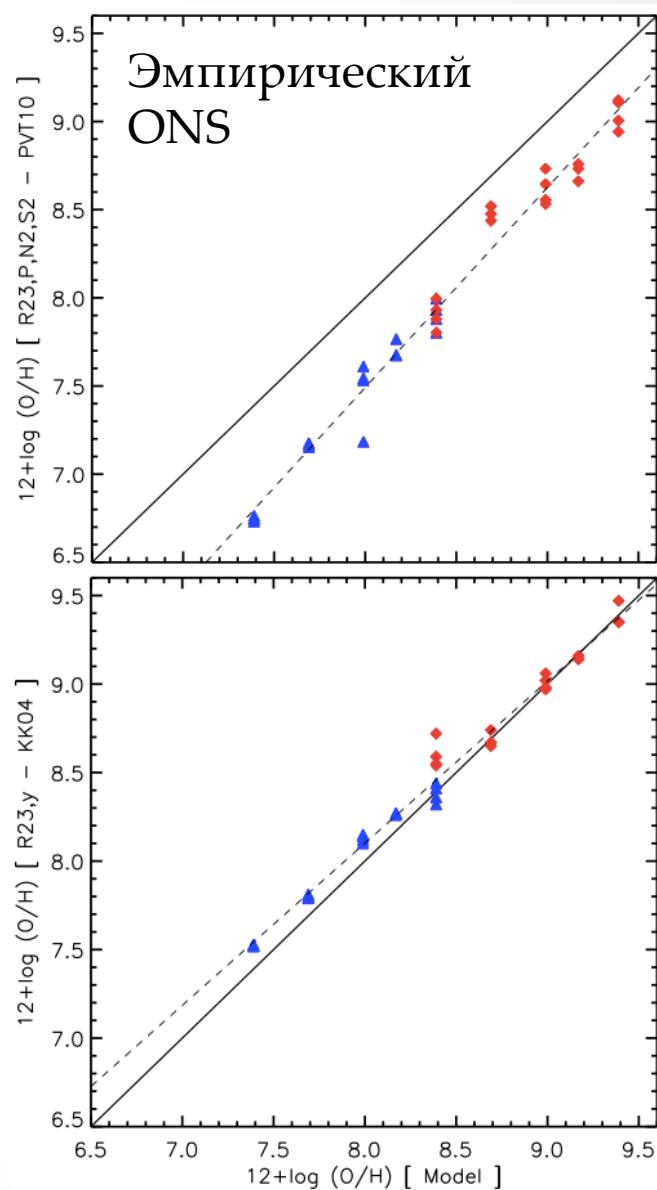
Три наиболее используемых типа методов:

- Прямой ( $T_e$ -метод): нужно знать поток в слабых авроральных линиях ([OIII]4363, [NII]5755) для оценки температуры
- Эмпирические: калиброваны по HII-областям с надежными оценками  $12 + \log(O/H)$ , полученными прямым методом
- Теоретические: калиброваны по фотоионизационным моделям с заданным хим. составом.

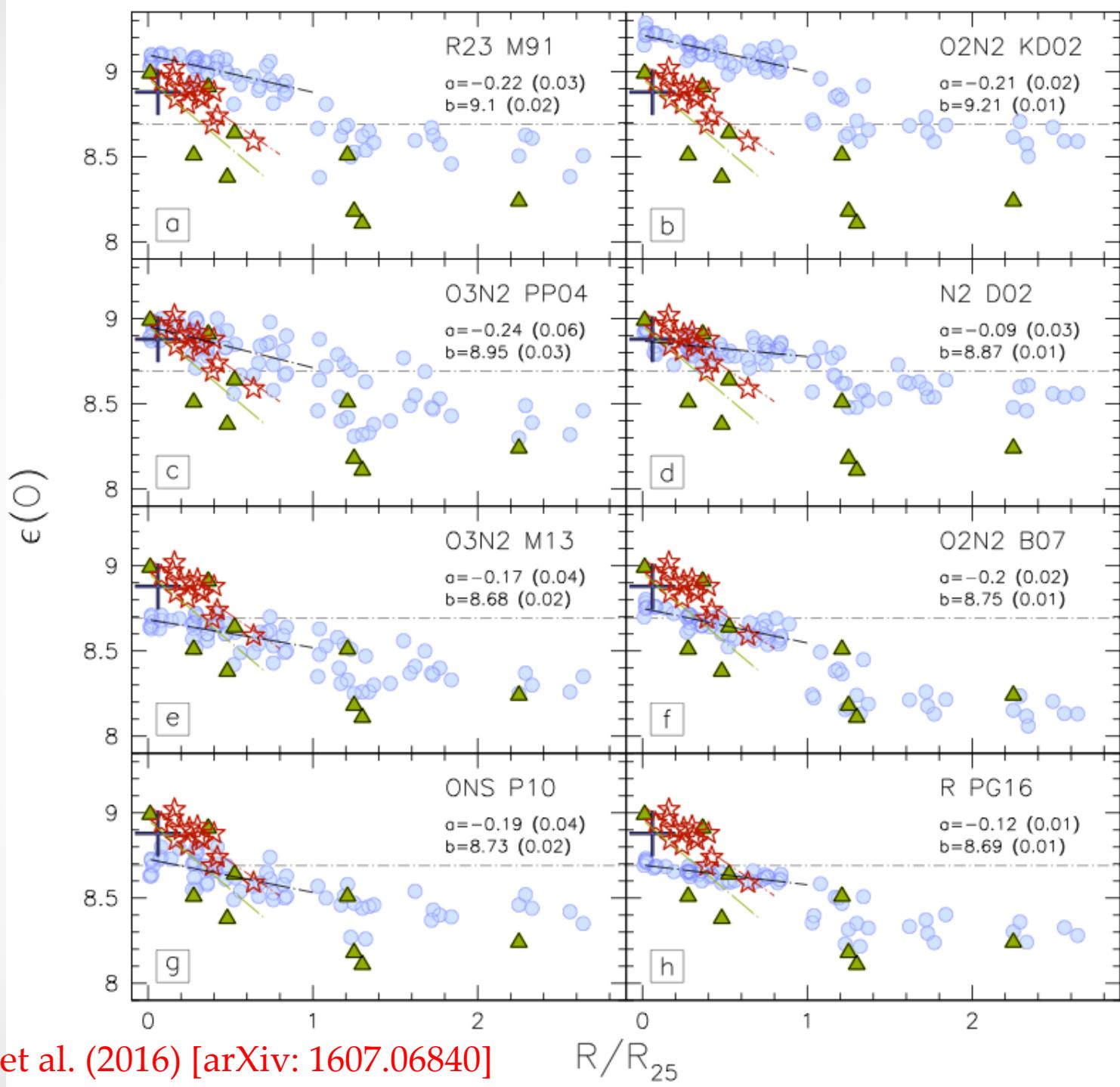
# Проблема рассогласования методов



Kewley & Ellison (2008)



Lopez-Sanchez et al. (2012)



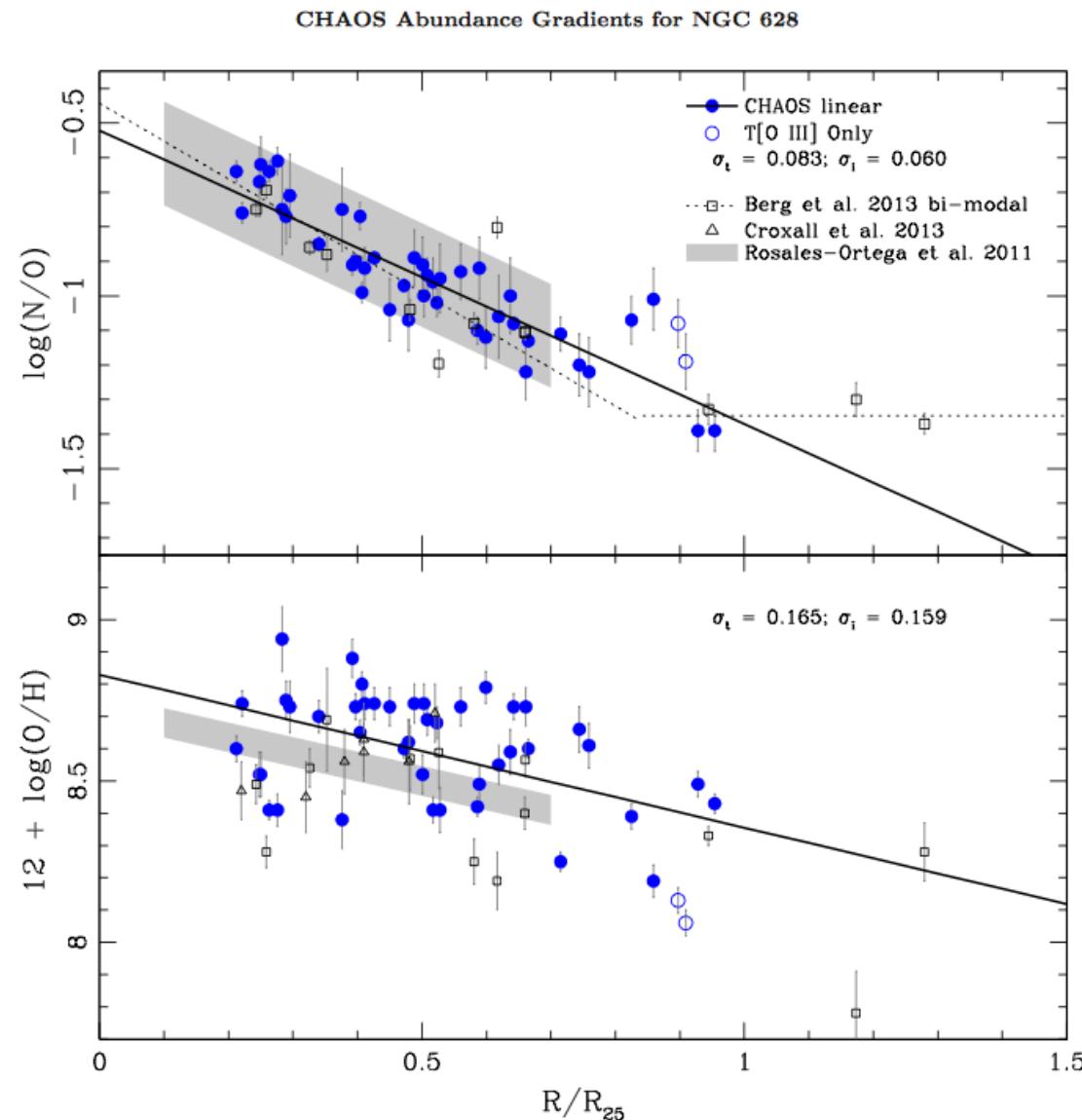
# Проблемы прямого и эмпирических методов

- Авроральные линии – слабые. Нужны длинные экспозиции для их измерения. Часто ошибки измерений в зашумленных спектрах приводят к некорректным результатам
- Часто принимается во внимание корреляция между  $T_2$  и  $T_3$ . Однако, большой разброс имеет место, природа которого не ясна (**доклад K. Cordoba** – посмотрели по 123 областям НП, как использование эмпирической зависимости влияет на результат)
- Чем выше металличность – тем слабее авроральные линии. На данный момент практически отсутствуют оценки, полученные прямым методом для высокой металличности. В связи с этим при металличности выше солнечной эмпирические методы не работают

# CHAOS – CHemical Abundances Of Spirals

Цель проекта – получить на LBT к концу 2017 года измерения металличности прямым методом для нескольких сотен областей HII, в том числе высокометалличных.

Сейчас есть данные для 650 областей из 11 галактик.

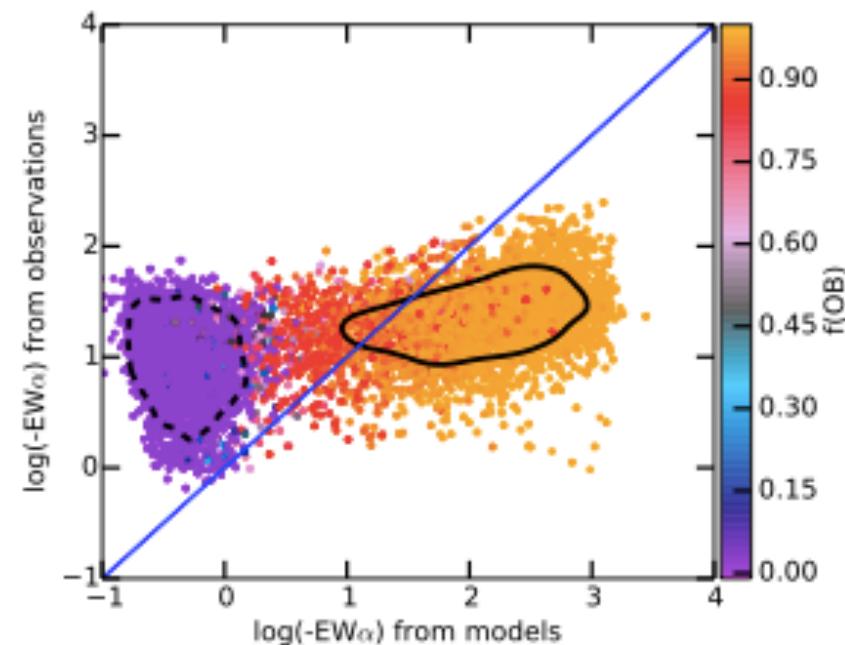
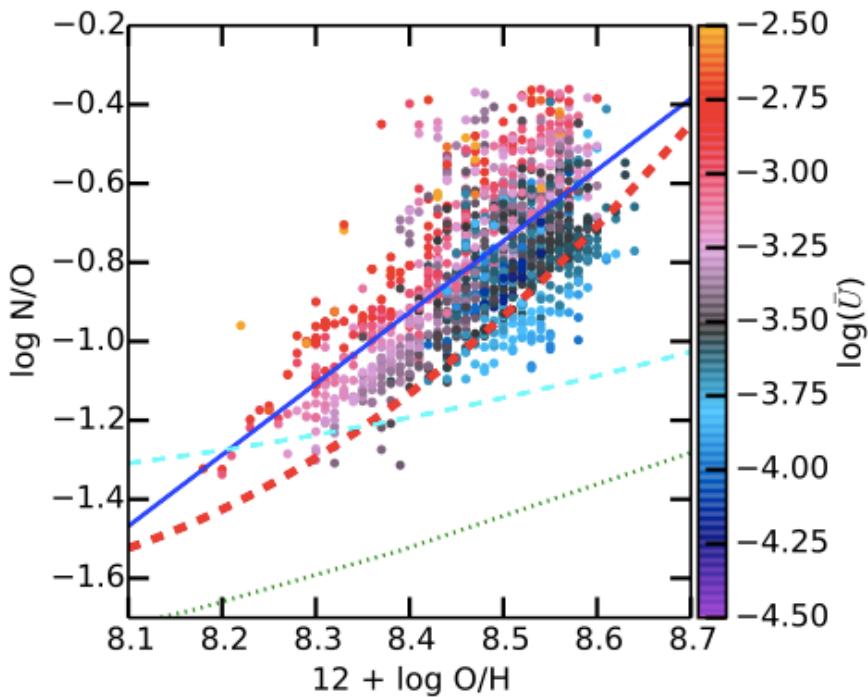


# Проблемы теоретических методов

- Они моделезависимы. Насколько хороши существующие модели? Насколько верна заложенная в них физика?
- Для корректных оценок нужно учитывать очень много параметров: SED (особенно влияет жесткость излучения), скорости газа, геометрию и т.д. Все это сглаживается на галактических масштабах, но может вызывать ту же проблему с флуктуациями, что и в прямом методе

*Стасинская (со слов Пилюгина): «существующие модели очень точные, если принять что ... Вот когда мы докажем, что все эти «если» верны – тогда можно будет смело их использовать.»*

# Согласование эмпирических и теоретических методов; HOLMES



Morisset et al. (2016), A&A, 594, 37

HOLMES = HOt Low Mass Evolved STars

Даже в группе Стасинской считают, что идея об ионизации газа HOLMES не выдерживает критики.

# Вероятные причины расхождения методов

До сих пор не ясно, в чем причина разногласия методов и какие из них более верны.

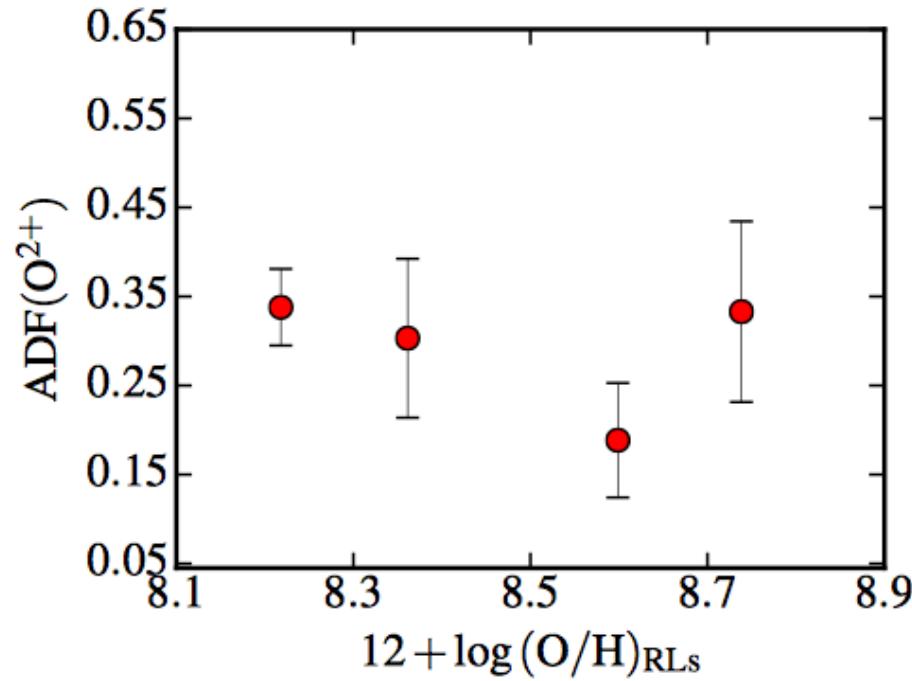
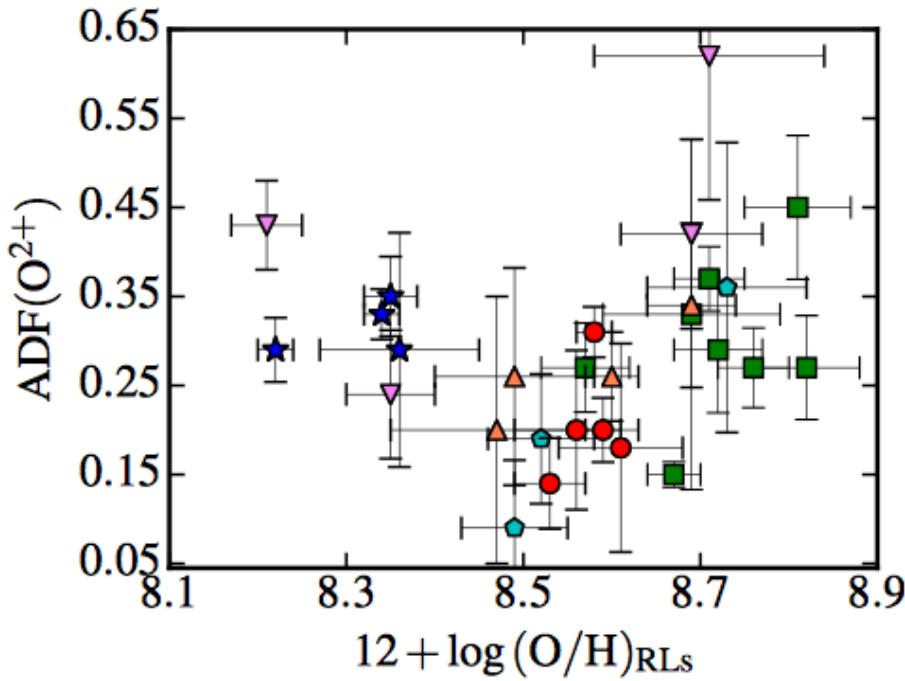
- Флуктуации электронной температуры (Peimbert 1980)
- Химическая неоднородность (Stasinska 2007)
- Неточности в атомных данных (Rodriguez & Garcia-Rojas 2010)
  - **Доклад L.J.D. Tomas:** исследовали влияние различных наборов атомных данных на результаты оценки содержания различных ионов. Разногласия для низких плотностей в пределах 0.2 dex, для высоких – в 3-25 раз! Статья Tomas et al. (in prep.). См. также **доклад D. Berg:** значительная разница оценки  $T_e[\text{OIII}]$  и  $T_e[\text{SIII}]$
- Каппа-распределение электронов, а не Максвелловское (Nichols 2012)
  - *Допита (со слов Пилюгина): «Странно, везде Максвелл работает, а в астрофизике – нет?»*
- Учет oxygen depletion на пыли
  - *Пилюгин (в дискуссии): может дать до 0.15 dex при корректном учете*

Нужен независимый индикатор. Звезды? Рекомбинационные линии?

# Оценка металличности по рекомбинационным линиям (RLs)

- RLs металлов чрезвычайно слабы – есть всего несколько объектов в нашей Галактике, для которых получены достаточно качественные спектры для их измерения.
- Зависимость интенсивности RLs кислорода от температуры такая же, как и у H<sub>b</sub>, а значит их отношение напрямую коррелирует с содержанием кислорода.

# Оценка металличности по рекомбинационным линиям (RLs)



Toribio San Cipriano et al. (2017, in prep)

$$\text{ADF}(X^{i+}) \equiv \log(X^{i+}/\text{H}^+)_{\text{RLs}} - \log(X^{i+}/\text{H}^+)_{\text{CELS}}$$

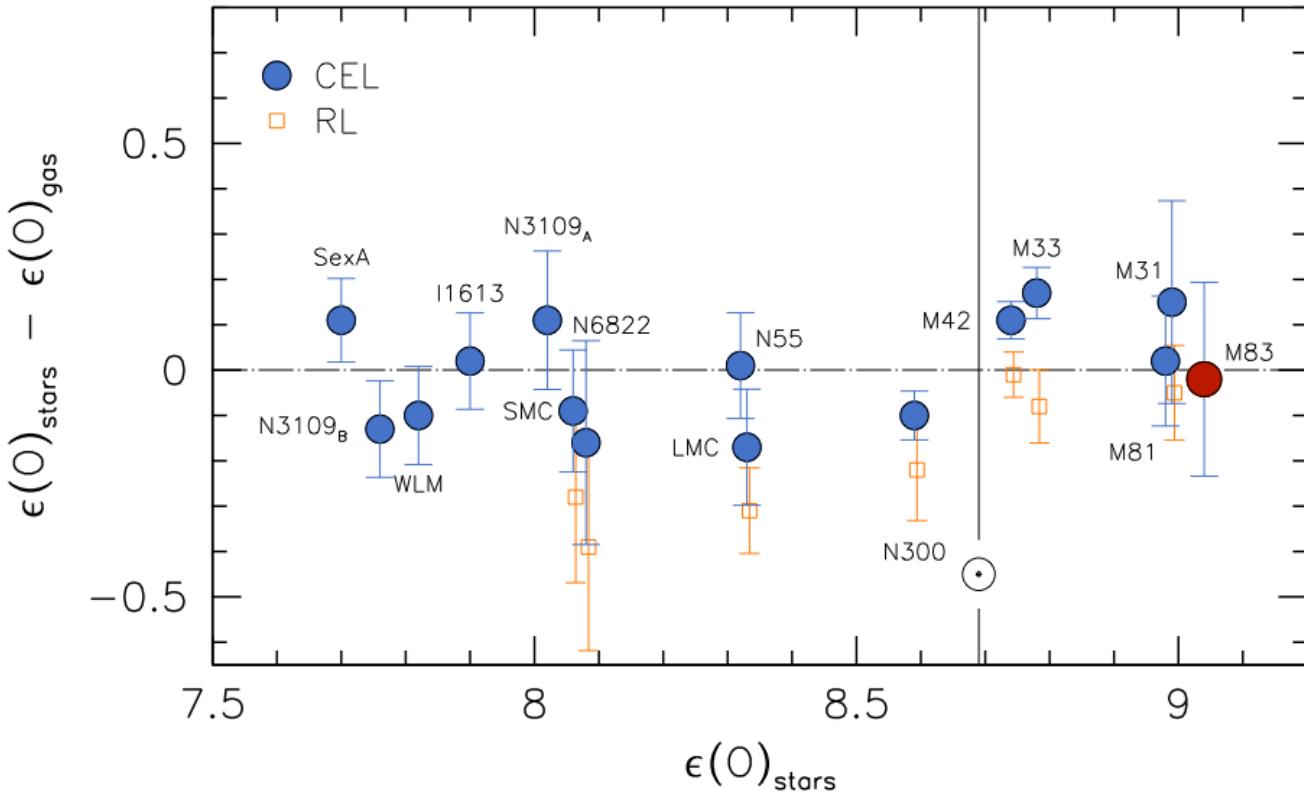
Логично было бы предположить корреляцию с электронной температурой, но ее не видят

Доклады

L. Toribio San Cipriano;  
C. Esteban;

# Оценка металличности по рекомбинационным линиям (RLs)

Металличность, определенная по рекомбинационным линиям хорошо согласуется со звездной при высоких  $Z$  и с эмпирическими методами при низких  $Z$ .



Bresolin et al. (2016) [arXiv: 1607.06840]

Доклады

L. Toribio San Cipriano;  
C. Esteban;  
F. Bresolin

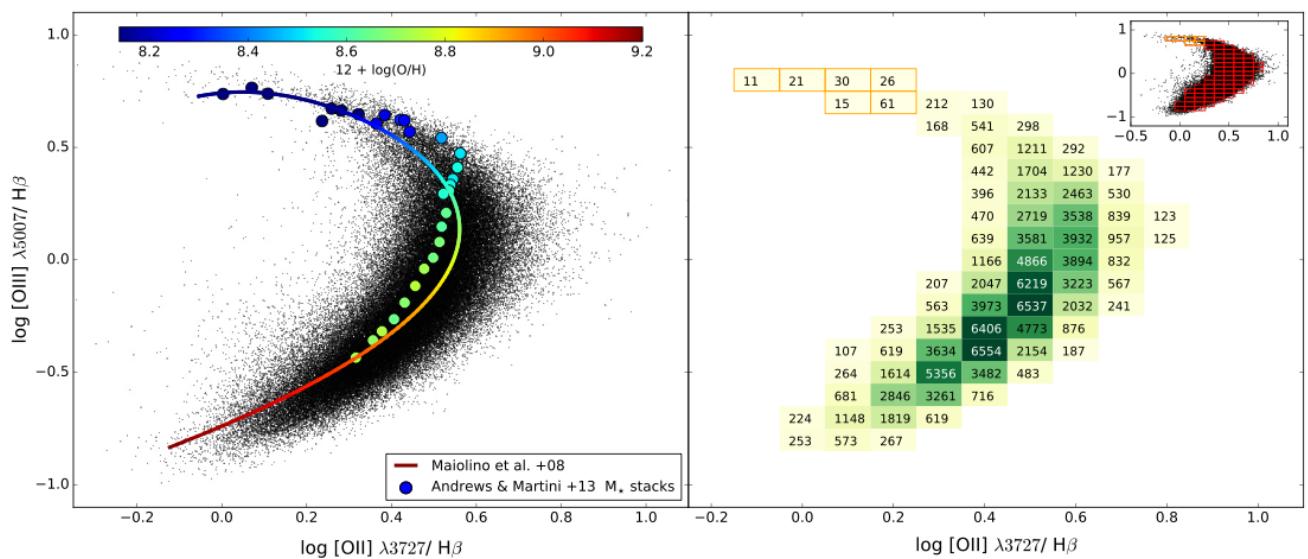
## 2. Новые методы оценки металличности

# Новые методы оценки металличности

1. Доклад F. Mannucci в Венеции => новый эмпирический метод, калибранный не по областям HII, а по интегральным спектрам галактик.

Curti et al. (2016); arXiv: 1610.06939

- Составлена опорная выборка ~1000 галактик, спектры которых суммированы в бинах по  $[\text{OIII}]/\text{H}\beta$  и  $[\text{OII}]/\text{H}\beta$
- Не использует предположений об N/O



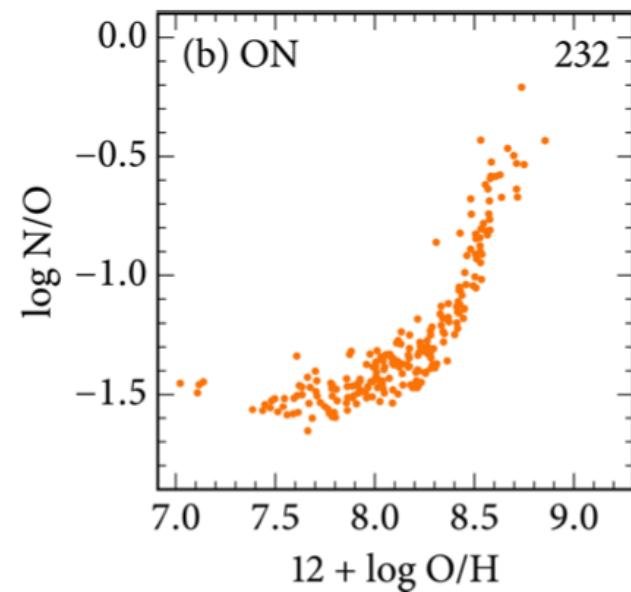
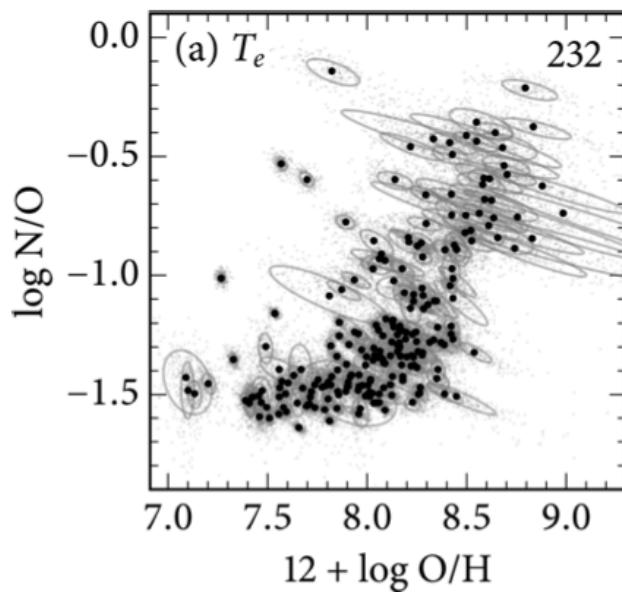
Онлайн калькулятор: [www.arcetri.astro.it/metallicity](http://www.arcetri.astro.it/metallicity)

# Новые методы оценки металличности

## 2. Доклад N. Vale Asari => BOND: Bayesian Oxygen and Nitrogen abundance Determinations in giant H II regions using strong and semistrong lines

- Не фиксируют N/O (в отличие от izi)
- Не ограничиваются SSP
- Есть 12 сценариев для разной геометрии и SED
- Модели – PopStar
- На входе:
  - яркие линии [OIII]/Hb, [OIII]/Hb, [NII]/Hb
  - полу-яркие линии [ArIII]/Hb; [NeIII]/Hb; HeI5876/Hb
  - Верхние лимиты: [OIII]4363/Hb; [NII]5755/Hb

Vale Asari et al. (2016), MNRAS, 460, 1739



# Новые методы оценки металличности

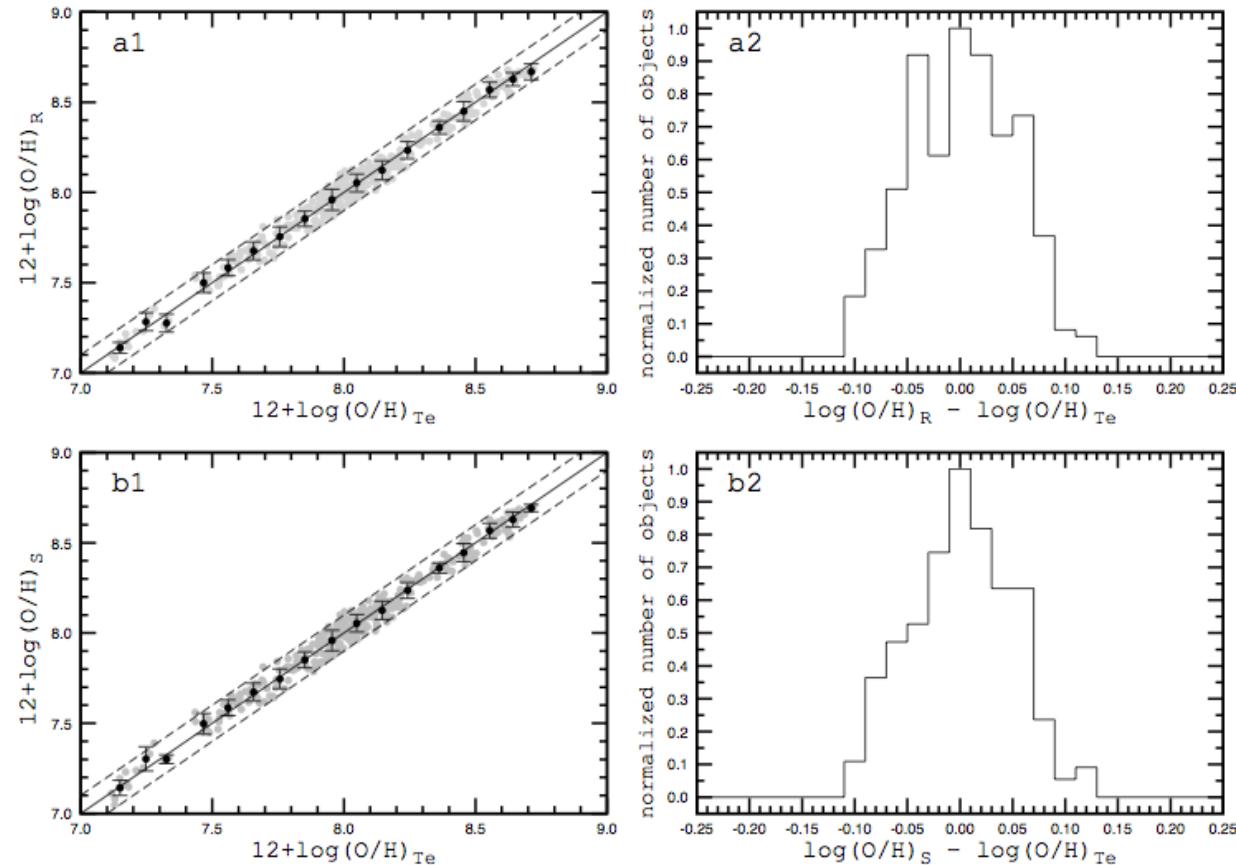
3. Доклад Пилюгина => эмпирические R и S калибровки, развитие Counterpart-метода

Pilyugin, Grebel (2016), MNRAS, 457, 3687

Для использования нужно знать три отношения:  $[\text{OII}]/\text{H}\beta$  (или  $[\text{SII}]/\text{H}\alpha$ ),  $[\text{OIII}]/\text{H}\beta$  и  $[\text{NII}]/\text{H}\alpha$ .

Работает хорошо для широкого диапазона металличностей.

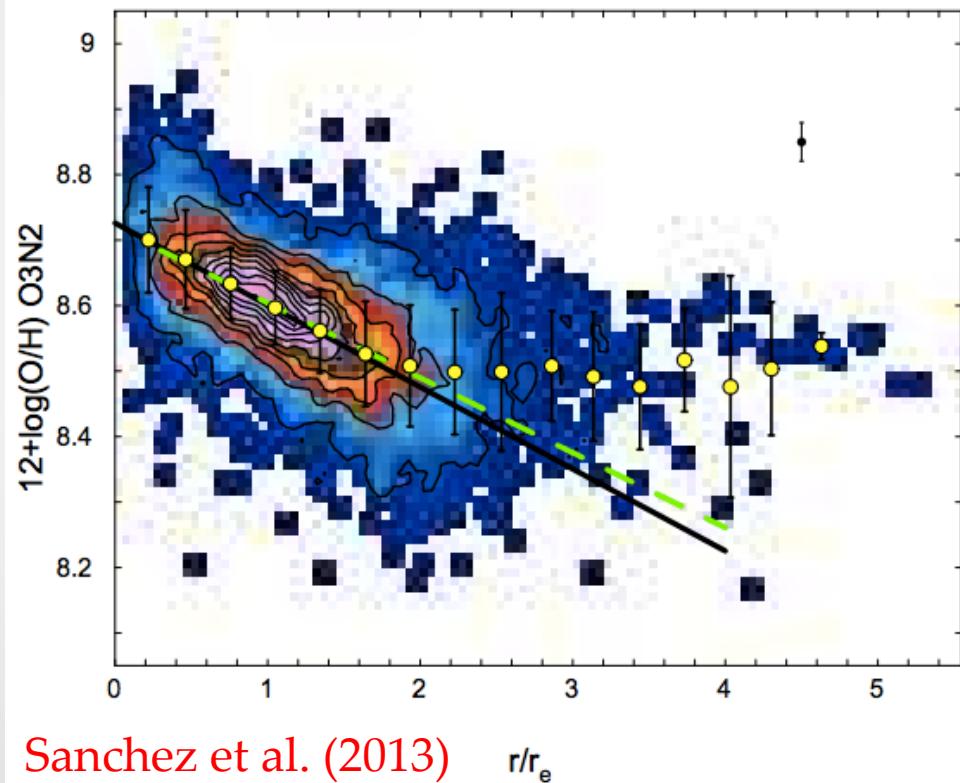
Пилюгин рекомендует использовать этот метод вместо всех **своих** предыдущих



### 3. Градиенты металличности в галактиках

# Градиент металличности в галактиках

Действительно ли универсальный градиент в галактиках, как показали данные CALIFA? Дискуссии ведутся.

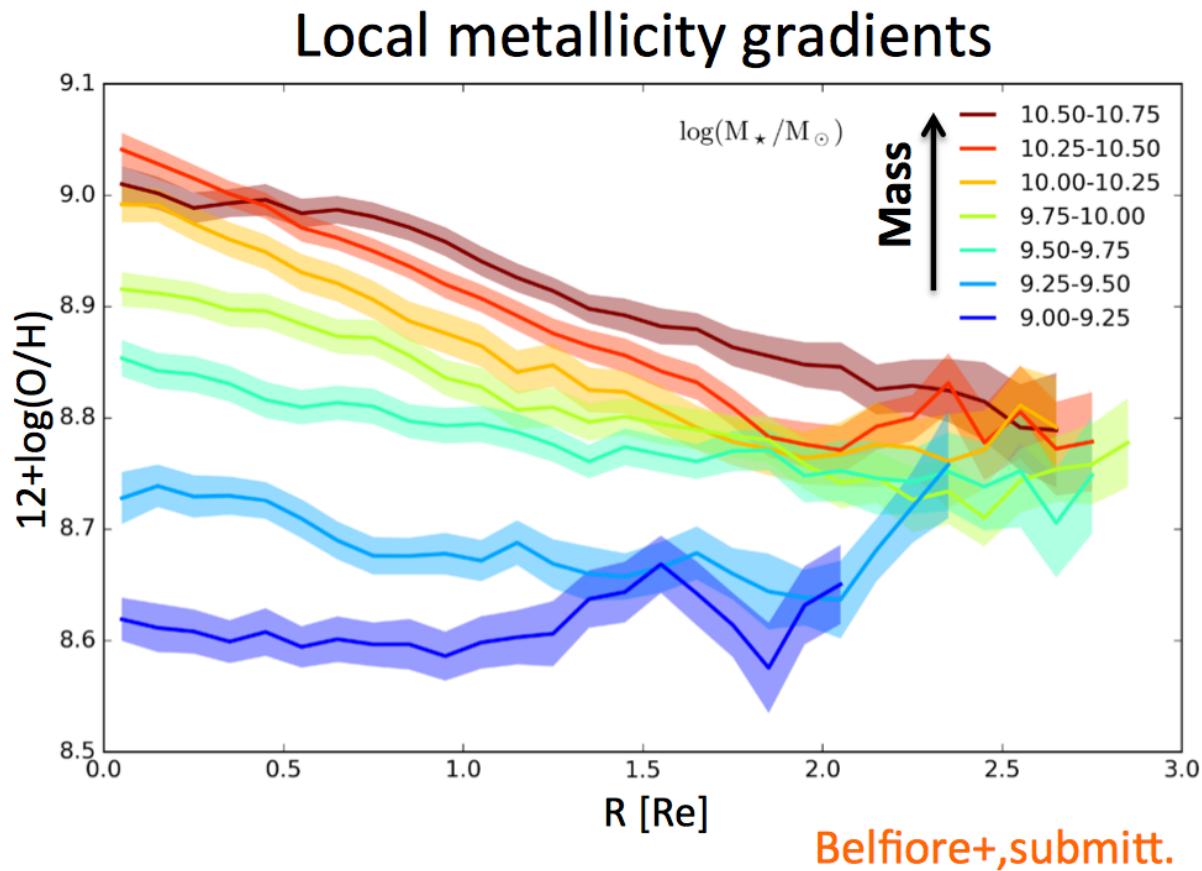


- **Доклад И. Зинченко:** по данным CALIFA искали азимутальный градиент в галактиках. Не нашли.
- **Дискуссия:**
  - **Bresolin** - Наблюдаемый азимутальный градиент может быть следствие некачественных данных. Был показательный пример с M33
  - **Berg** – в одном из объектов CHAOS видят азимутальный градиент
  - **Пилигин** – в CALIFA на масштабах  $< 1$  кпк информация очень замылена из-за наложения соседних пикселей. Здесь и могут «прятаться» неоднородности

# Зависимость градиента от массы звезд

По данным MANGA:

Градиент  
металличности  
растет со звездной  
массой галактик



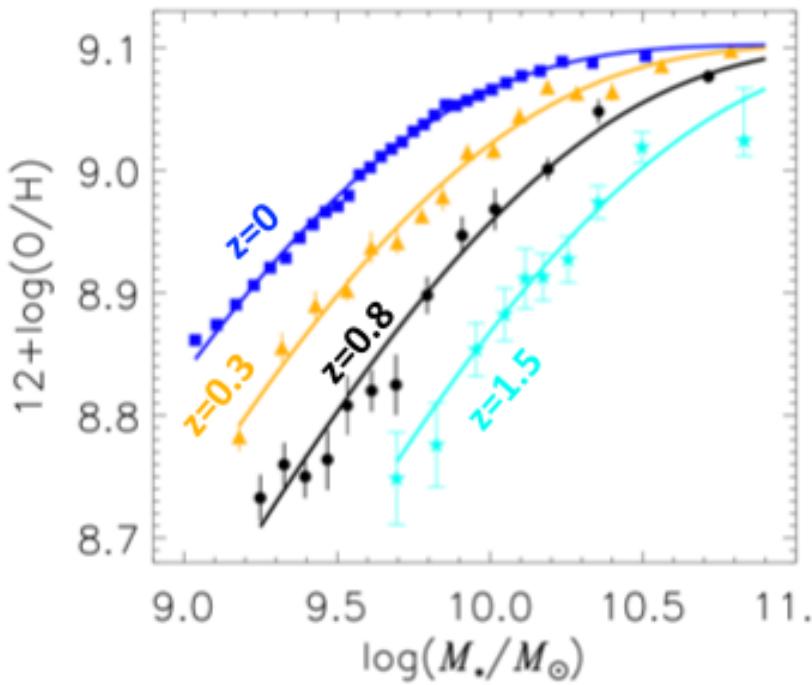
## 4. Металличность на больших z

# Проблемы оценки металличности на больших z

- Насколько применимы эмпирические методы, калиброванные по выборке близких НП областей?
  - **Дискуссия:** плохо применимы. Как минимум нельзя использовать калибровки, основанные на локальном отношении N/O. Если калибровка не завязана на азот – то все ОК.
- Практически отсутствуют оценки металличности на больших z, полученные прямым методом
  - **Доклад R.Sanders в Венеции:** Измерили обилие элементов прямым методом на  $z=3.1$  в рамках обзора MOSDEF на Keck (1500 галактик)
- **Доклад R.Sanders в Венеции:**  
До половины потока в бальмеровских линиях может приходить от DIG, имеющего другое отношение линий. Это обычно не учитывается. Хотят промоделировать, насколько существенным будет этот эффект.

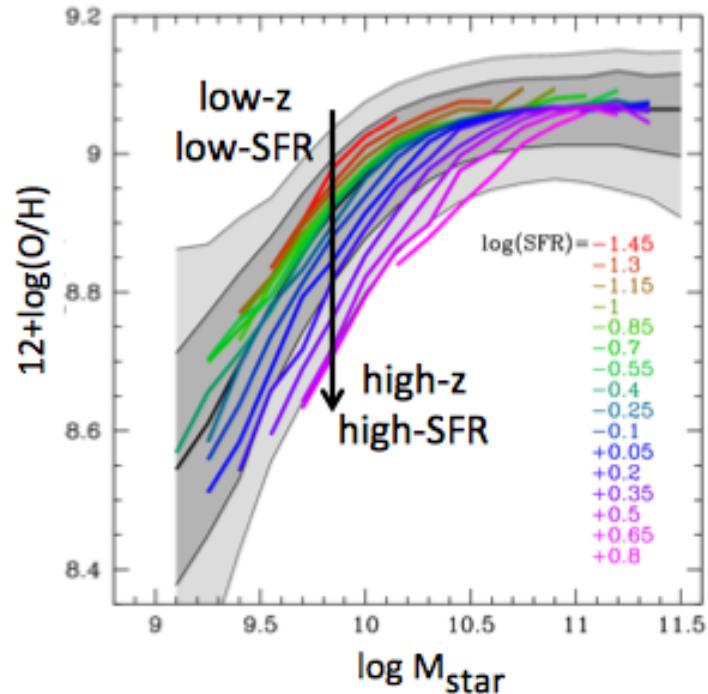
# Fundamental Metallicity Relation

Redshift evolution of the M-Z relation



Zahid+14, Savaglio+05, Erb+06, Maiolino+08,  
Ly+16, Steidel+14, Troncoso+14  
Wuyts+14, ... many others

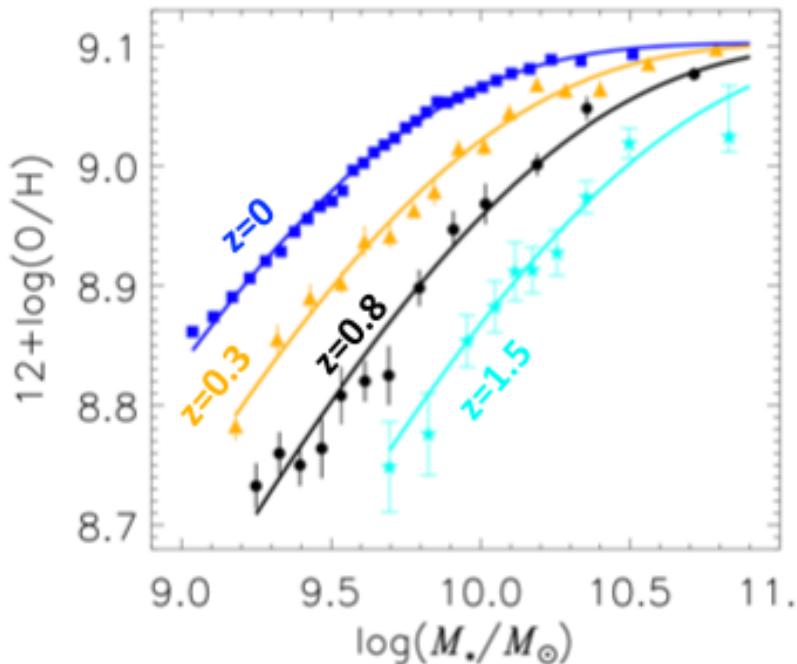
The M-Z-SFR relation (FMR)  
does *not* evolve



Evolution of M-Z simply  
a consequence of galaxies “surfing”  
over the (same) FMR surface  
across the cosmic epochs

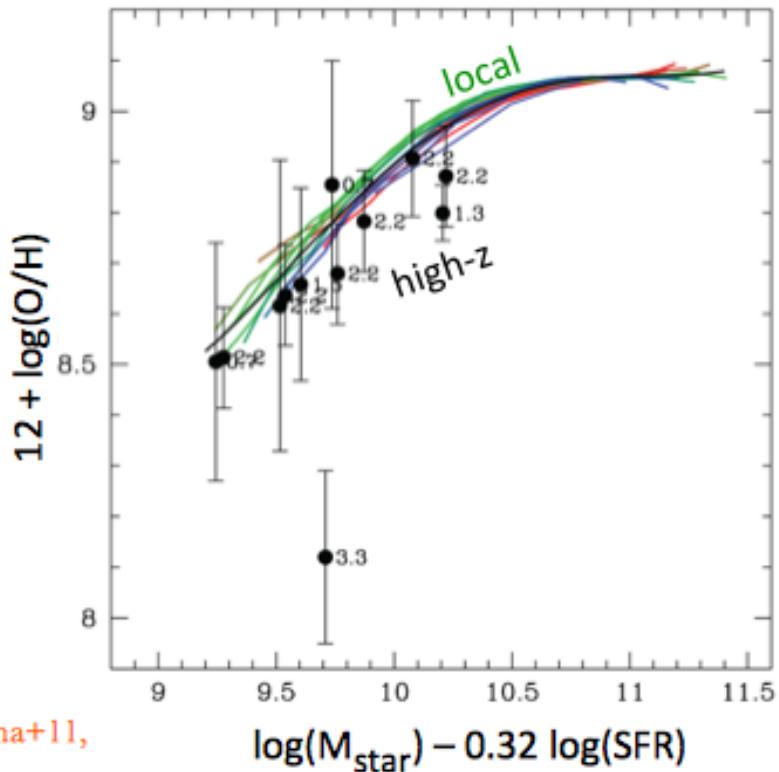
# Fundamental Metallicity Relation

Redshift evolution of the M-Z relation



Mannucci+10, Lara-Lopez+10, Atek+11, Richard+10, Nakajina+11,  
Erb+10, Contini+11, Sanders+11, Dessauges+11, Cresci+12,  
Wuyts+12, Roseboom+12, Cullen+13, Pilyugin+13, Ly+13, Belli+13,  
Henry+13a, 13b, Yabe+13, Maier+14, Stott+14, Lian+15

The M-Z-SFR relation (FMR)  
does *not* evolve



Projection of the FMR

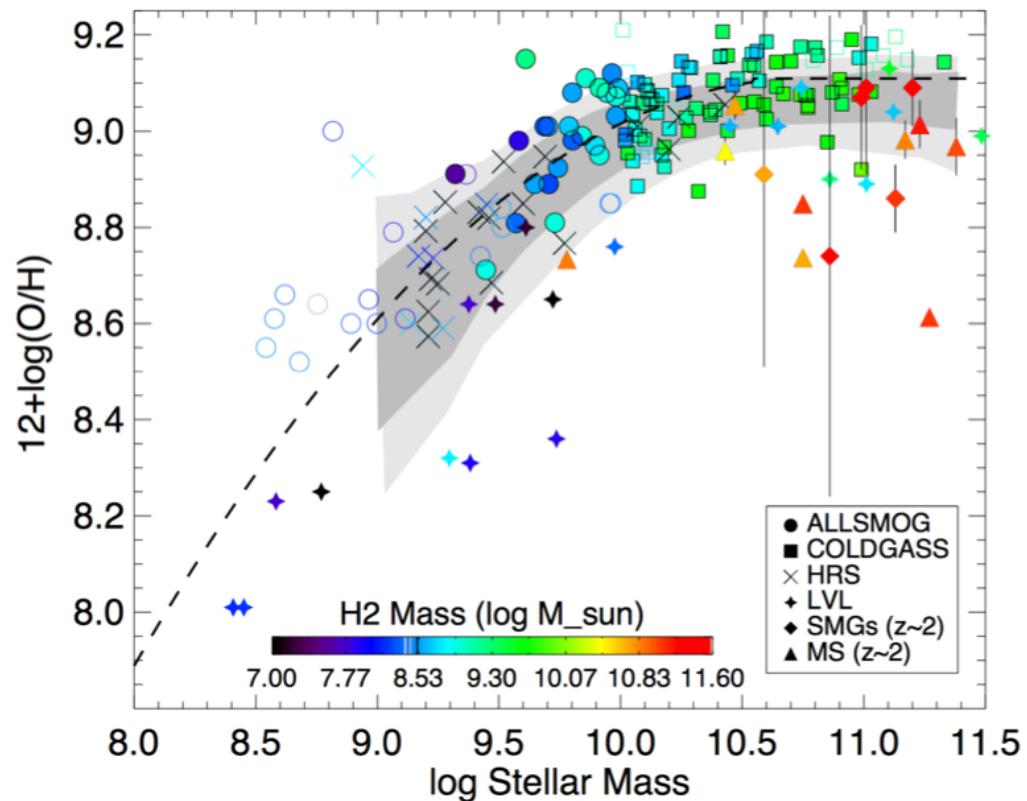
# Fundamental Metallicity Relation

Поиск корреляции металличности с другими характеристиками галактик ( $M_{\text{star}}$ ,  $M_{\text{HI}}$ ,  $M_{\text{H}_2}$ , SFR, ....):

Основная зависимость от массы звезд, вторичная – от массы молекулярного газа. Все остальное – побочные следствия.

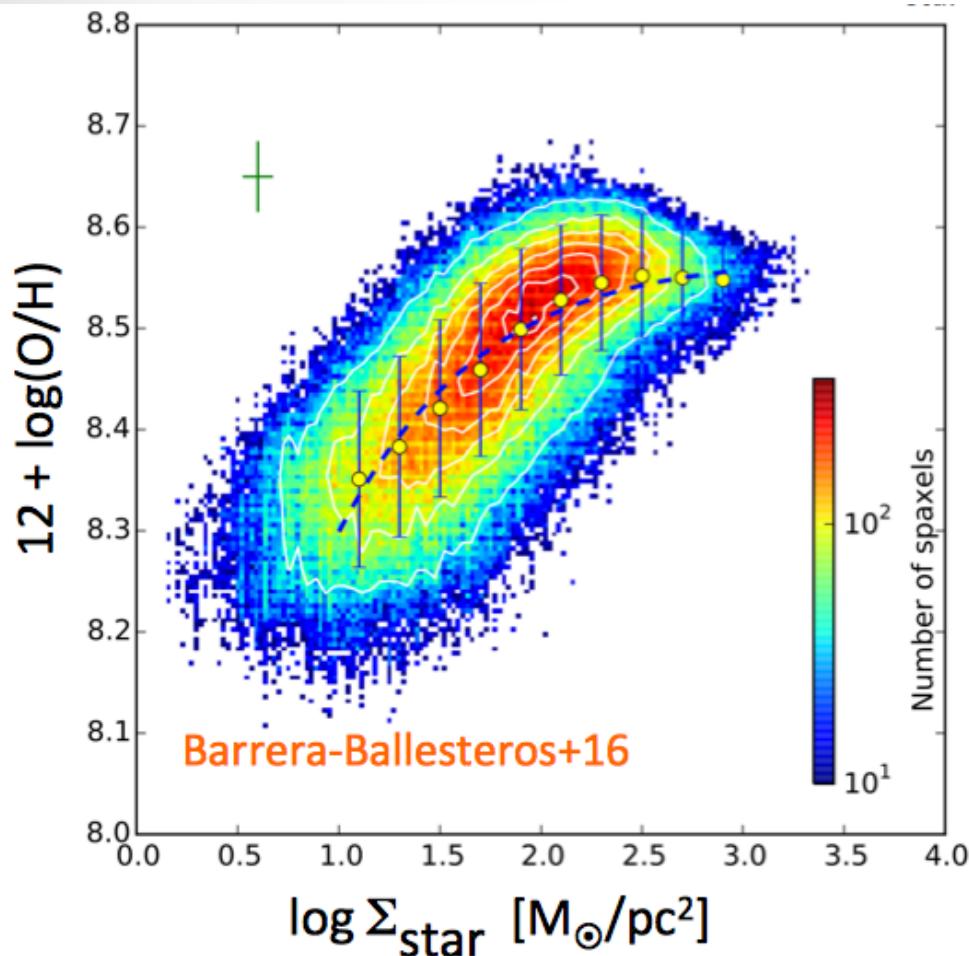
Зависимость  $M_{\text{H}_2}$  объясняет и FMR.

Но нужны дополнительные наблюдения (ALMA) – недостаток информации о молекулярном газе.



Bothwell et al. (2016)

# Фундаментальная зависимость от поверхностной плотности звездной массы



Would imply that, at least recently,  
the local metallicity is mostly driven  
by **local evolution**

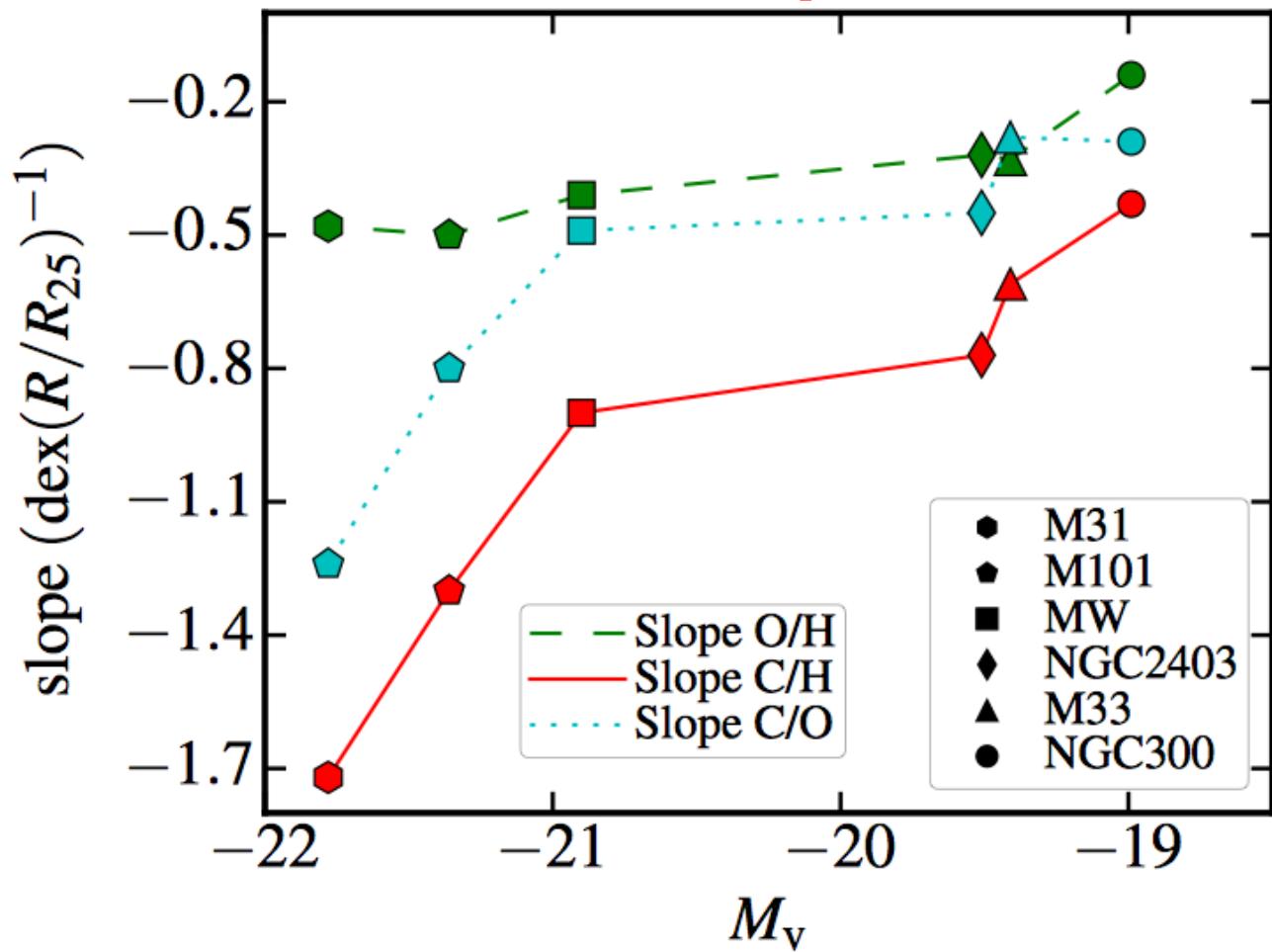
Есть мысли насчет того, что  
более фундаментальной  
является зависимость от  
локальных характеристик

5. И т.д.

# Углерод – тоже важен

- Обилие углерода сложно измерить, ибо нет ярких оптических линий, связанных с ним. Измеряют по рекомбинационным линиям в УФ
- Модели C/O vs O/H рассматриваются как важный инструмент диагностики химической эволюции галактик

Toribio San Cipriano et al. (2016)



Доклады

L. Toribio San Cipriano;  
C. Esteban;

# Диагностика ударных волн и металличность AGN

- Как измерить металличность в случае наличия ударных?
  - **C. Esteban** – ударные волны проявляются как нагрев, то есть увеличивают поток в [OIII]4363. При слабых ударных волнах калибровки по ярким линиям должны работать.
  - **Доклад S. Akras** – в статье Akras & Goncalves 2016 предлагают модель, позволяющую оценить вклад ударных волн в полный поток в эмиссионных линиях. Утверждают, что метод хорошо работает даже для низкоскоростных ударных волн (они увеличивают отношения [NII]/Ha, [OI]/Ha и почти не влияют на [NIII]/Ha, [SII]/Ha)

- Как измерить металличность в AGN?

**Доклад O. Dors** - Нельзя использовать прямой метод. Расхождение с калибровками по ярким линиям почти на 2 dex!

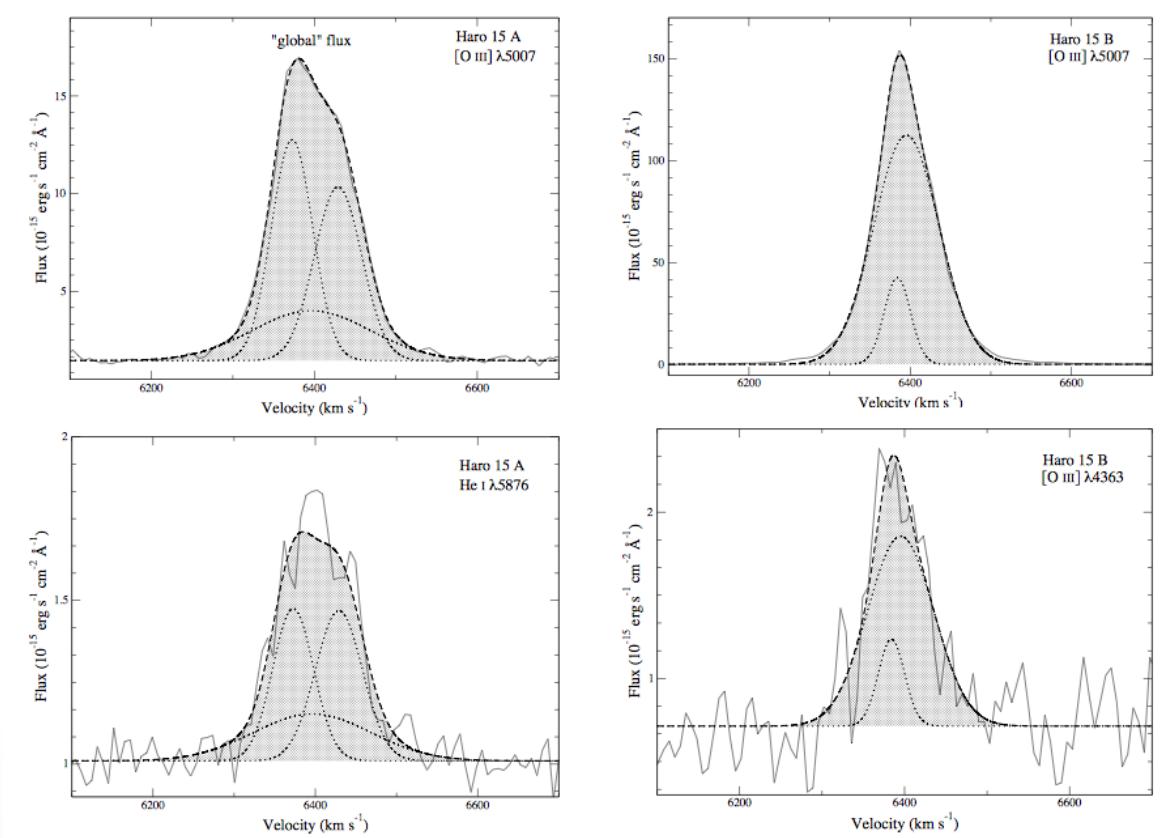
Рассуждения на эту тему есть в статье Dors et al. (2015), предлагают использовать метод из работы Storchi-Bergmann (1998) AJ, 115, 909.

**Доклад M. Cardaci** – измеряют металличность в центральных областях звездообразования по линиям в рентгене

# Хемодинамика

- Наблюдают с эшелле R~25000
- Раскладывают эмиссионные линии в областях звездообразования BCD-галактик и взаимодействующих систем на 2-3 компоненты и анализируют хим. состав в каждой из них в отдельности
- На данный момент никаких значимых отличий между компонентами не выделяют

Hagele et al. (2012), MNRAS,  
422, 3475



# Обилия тяжелых элементов?

- Наблюдают планетарные туманности с высоким разрешением ( $R \sim 40000$ ). Видят много рекомбинационных линий металлов, благодаря чему определяют содержание даже s-элементов (рубидий, криптон и тд.)
- 8 часов экспозиции (вроде бы на VLT) планетарной туманности NGC6778 – получили изображения в рекомбинационной линии OII. Картинки в [OIII] и OII очень отличаются. Почему – не ясно. Работа в процессе.

