

# Ограничение на вариацию $\mu = m_p/m_e$ на больших красных смещениях

С.А. Балашев<sup>1</sup>, Д.А. Варшалович<sup>1,2</sup> и А.В. Иванчик<sup>1,2</sup>, П. Петижан<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Физико-Технический институт им. А.Ф. Иоффе

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет

<sup>3</sup>Institut d'Astrophysique de Paris, Paris, France

10 декабря 2010 г

Исторически (феноменологически):

- Поль Дирак, 1937  $\rightarrow G \sim t^{-1}$ .
- Теллер 1948, Гамов 1967  $\rightarrow \alpha \sim t$



Library of Congress



Современные теории (Суперструны/М-теория и др.) предсказывают возможность изменения констант. Однако, не дают надежно обоснованного масштаба изменения констант.

Открытие “темной энергии”

$\rightarrow$  скалярные поля  $\rightarrow$  изменение констант.

$\rightarrow$  доп. размерности  $\rightarrow$  изменение констант.

## Вариация констант

Наиболее подходящими для оценки являются константы  $\alpha$  и  $\mu = m_p/m_e$ .

Возможные измерения для оценки:

- Лабораторные
- Геофизические (Окло)
- Астрофизические

	z	огр.	refs
BBN	$10^9$	$10^{-1}$	Kolb et al.(1986), Orlov et al., (2000)
CMBR	$10^3$	$10^{-2}$	Landau et al.(2010)
QSO	1-4 ( $\sim 10^{10}$ yrs)	$10^{-5} \div 10^{-6}$	Murphy et al.(2009), Ivanchik et al. (2005)
Galaxy	0 ( $< 10^6$ yrs)	$2 \times 10^{-8}$	Levshakov et al. (2010)
Lab	0 (1-10 yrs)	$10^{-16}$	Rosenband et al. (2008)
Oklo	$2 \times 10^9$ yrs	$10^{-8}$	Onegin et al. (2010)

## Ограничения из спектров квазаров:

	Метод	Огр. ( $10^{-5}$ )	Ссылка
$\alpha$	MMM	$-0.54 \pm 0.12$ < 0.30	Murphy et al. (2003) Srianand et al. (2004)
	FeII	< 0.45	Quast et al. (2004), Levshakov et al. (2005)
	AD (SiIV)	< 1.3	Chand et al. (2005)
	AD ([OIII])	< 42	Bahcall et al. (2004)
$\mu$	H <sub>2</sub>	< 2.1 < 0.6 < 1.5	Ivanchik et al. (2005), Reinhold et al. (2006) King et al. (2008) Thompson (2009)
	HD	< 9	Noterdaeme et al. (2008)
	NH <sub>3</sub>	< 0.27	Flambaum & Kozlov (2007), Murphy et al. (2008)
	$g_p(\alpha^2/\mu)$	21cm OH NH <sub>3</sub> CO, HCO+	< 1.0 < 4.0 < 5.0 < 1.0

## „Австралийский“ диполь

Murphy et al. (2003) KECK:  $\Delta\alpha/\alpha = -0.54 \pm 0.12 \times 10^{-5}$

Murphy et al. (2008) VLT:  $\Delta\alpha/\alpha = -0.64 \pm 0.36 \times 10^{-5}$

→ Webb et al., 2010, arXiv:1008.3907:

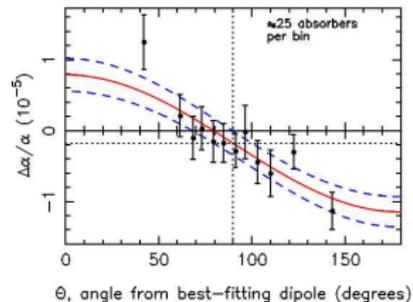
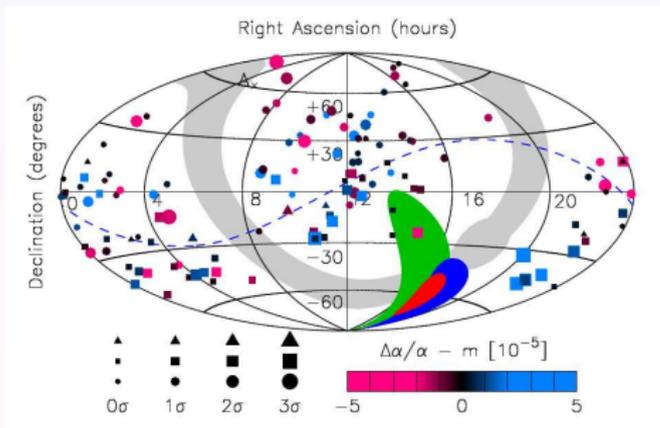
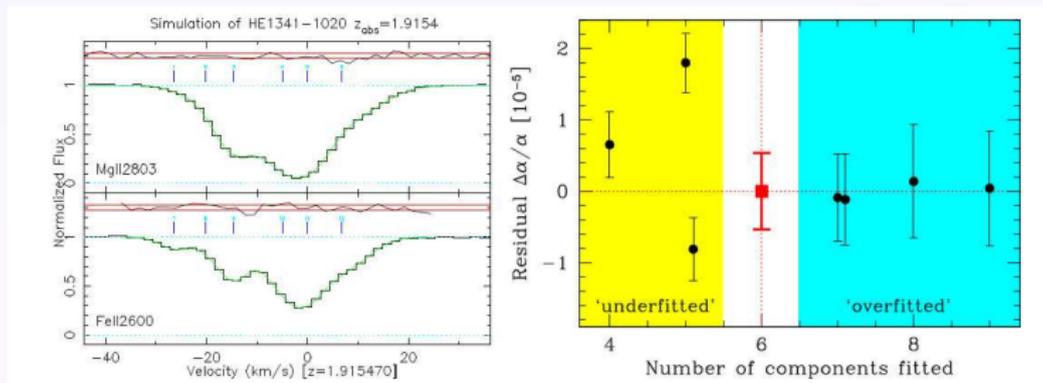


FIG. 2.  $\Delta\alpha/\alpha$  for the combined Keck and VLT data vs angle  $\Theta$  from best-fit dipole,  $\Delta\alpha/\alpha = A \cos\Theta + m$ ,  $A = (0.97 \pm 0.21) \times 10^{-5}$  and  $m = (-0.18 \pm 0.08) \times 10^{-5}$ . Dashed lines illustrate  $\pm 1\sigma$  errors on the dipole fit. The best-fit dipole is at right ascension  $17.3 \pm 0.6$  hours, declination  $-61 \pm 9$  degrees and is statistically preferred over a monopole model at the  $4.1\sigma$  level.

Диполи для Кекк и VLT практически совпадают

Ошибка может скрываться в методе:



Murphy et al. (2008)

- Вписывание в контур большого количества линий.
- Совместное использование различных ионов.
- Изотопические эффекты?

## Облака молекулярного водорода.

Преимущества линий молекулярный водорода ( $\text{H}_2$  и HD) в спектрах квазаров для ограничения вариации констант:

- Простая структура облака – 1-2 компоненты (в разрешении аппаратной функции  $\sim 6 \text{ km/s}$ )
- Абсорбционные системы  $\text{H}_2$ . Холодные компактные облака ( $T \sim 100 \text{ K}$ ,  $l \lesssim 1 \text{ pc}$ ).
- Нет изотопических эффектов.
- Много линий (до 80 на одну абс. систему).

На сегодняшний день известна всего 21 абсорбционная система  $\text{H}_2$  в спектрах квазаров. Только треть их них пригодна для оценки на вариацию  $\mu$ .

Мы использовали 7 абсорбционных систем в спектрах квазаров:

QSO	$z_{\text{abs}}$	Обсерв.	status	Previous
Q 0405-4418	2.595	VLT	reanalysed	$(0.7 \pm 0.8) \times 10^{-5}$
Q 0347-3819	3.025	VLT	reanalysed	$(1.5 \pm 1.5) \times 10^{-5}$
Q 0528-2505	2.811	VLT	reanalysed	$(0.3 \pm 0.3) \times 10^{-5}$
Q 1232+0815	2.338	VLT	new	
Q 0642-5038	2.659	VLT	new	
Q 0027-1836	2.402	VLT	new	
Q 0812+3208	2.626	KECK	new	

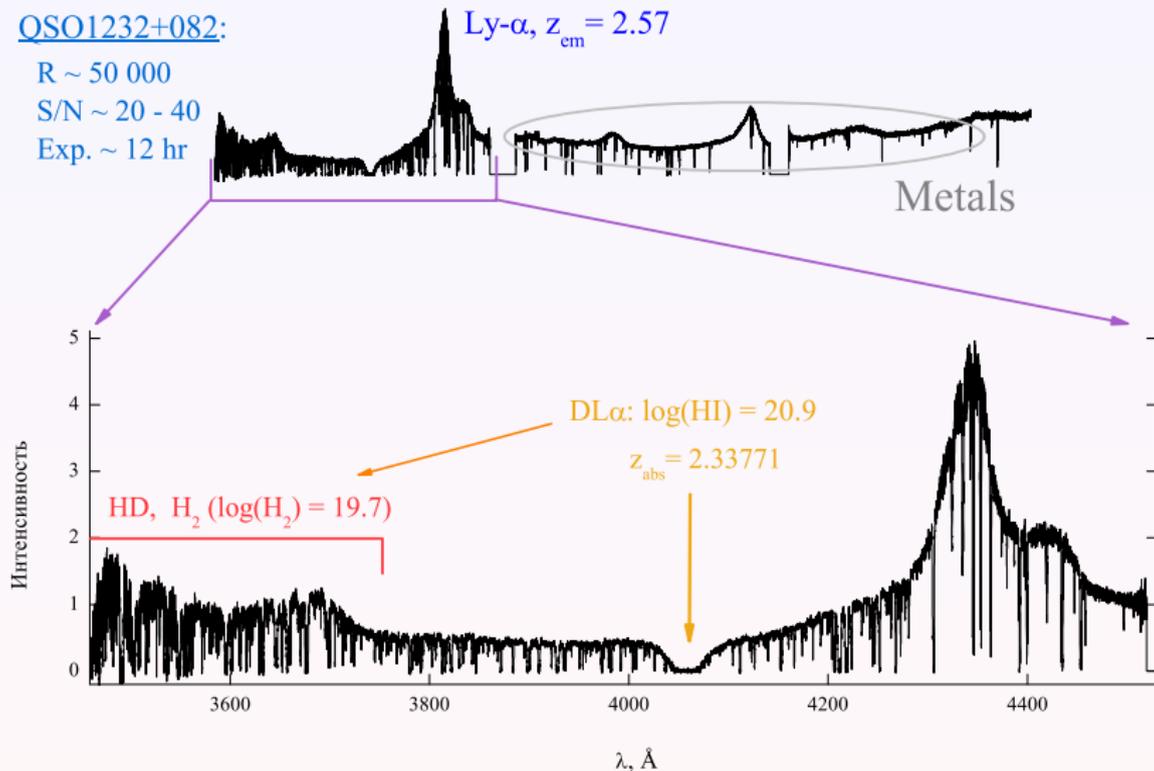
# Абсорбционные системы $H_2$ в спектрах квазаров.

OSO1232+082:

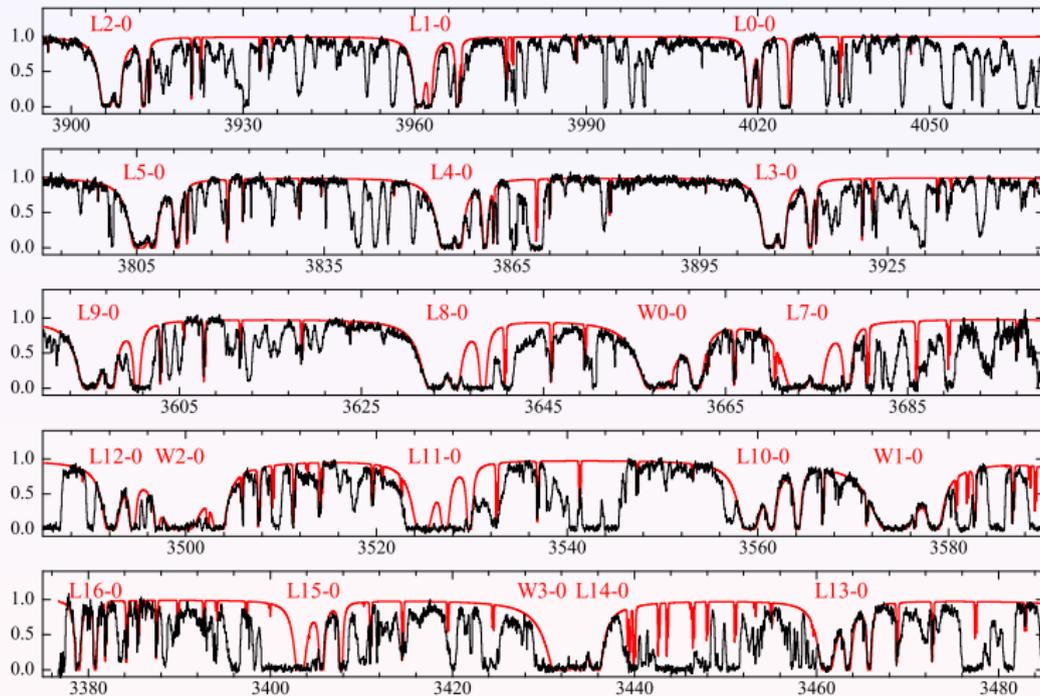
$R \sim 50\,000$

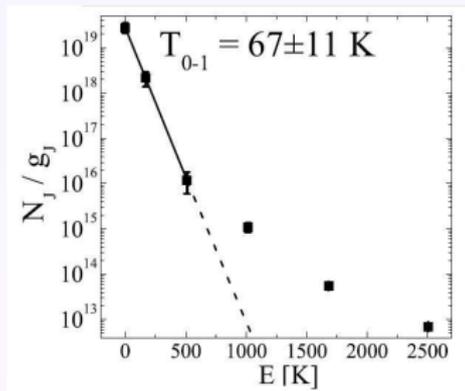
$S/N \sim 20 - 40$

Exp.  $\sim 12$  hr



## Абсорбционные системы $H_2$ в спектрах квазаров.





N<sub>2</sub> детектируется в линиях переходов, идущих с различных вращательных подуровней, вплоть до  $J \leq 5$ .

- Различные уровни заселены преимущественно в различных областях облака.
- Физ. условия в различных областях облака могут различаться.

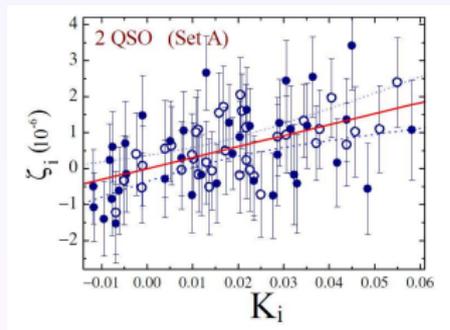


Каждый уровень  $J$  рассматривается отдельно

# Методы определения вариации $\mu$ .

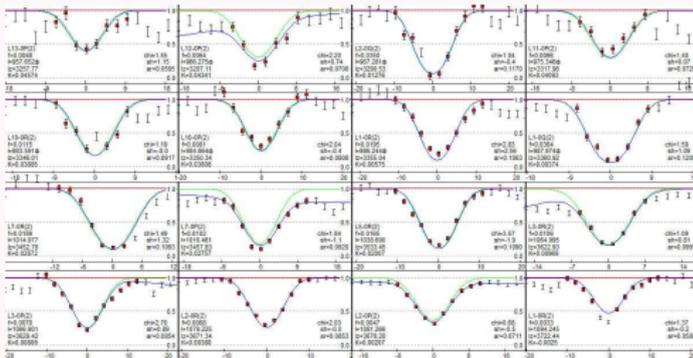
## Методы определения вариации $\mu$ :

- Reduced Redshift -  
Линии фитуруются  
отдельно, Изучается  
корреляция  $\Delta\mu/\mu$  vs  $K_i$ .



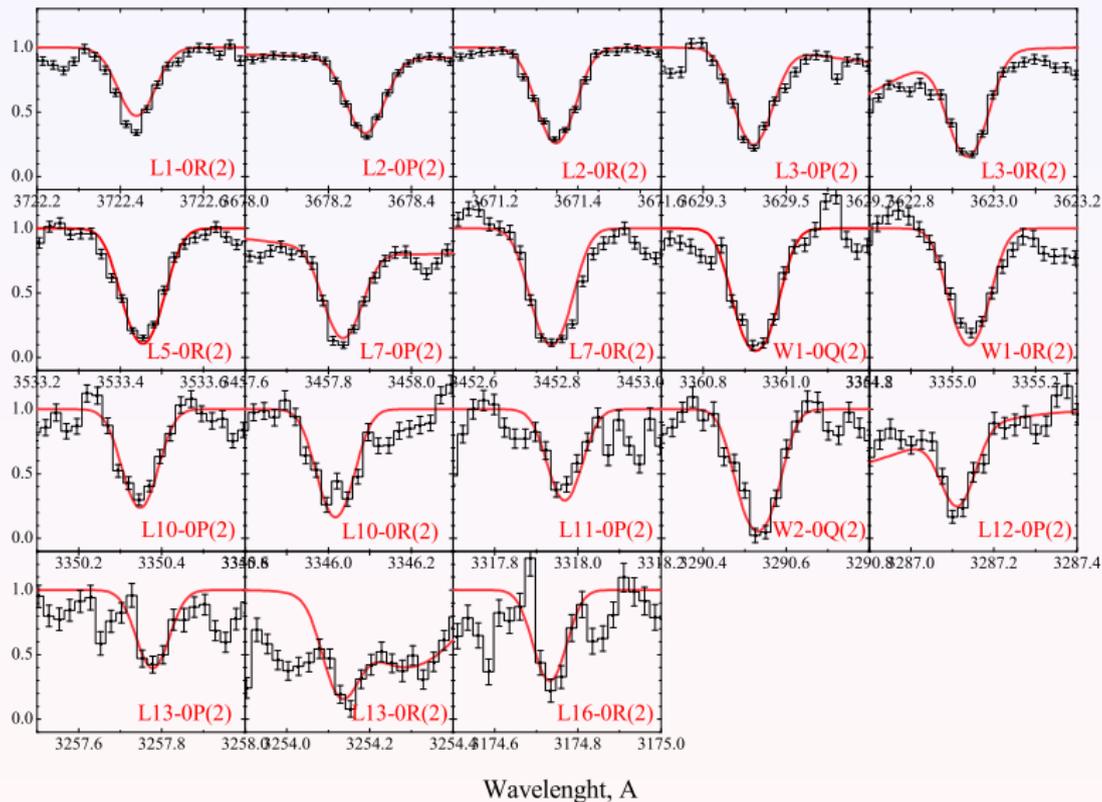
Ivanchik et al. (2005)

- Profile Fitting -  
Абсорбционная система  
фитуруется совместно.  
Можно фитировать 2-3  
компонентные профили.



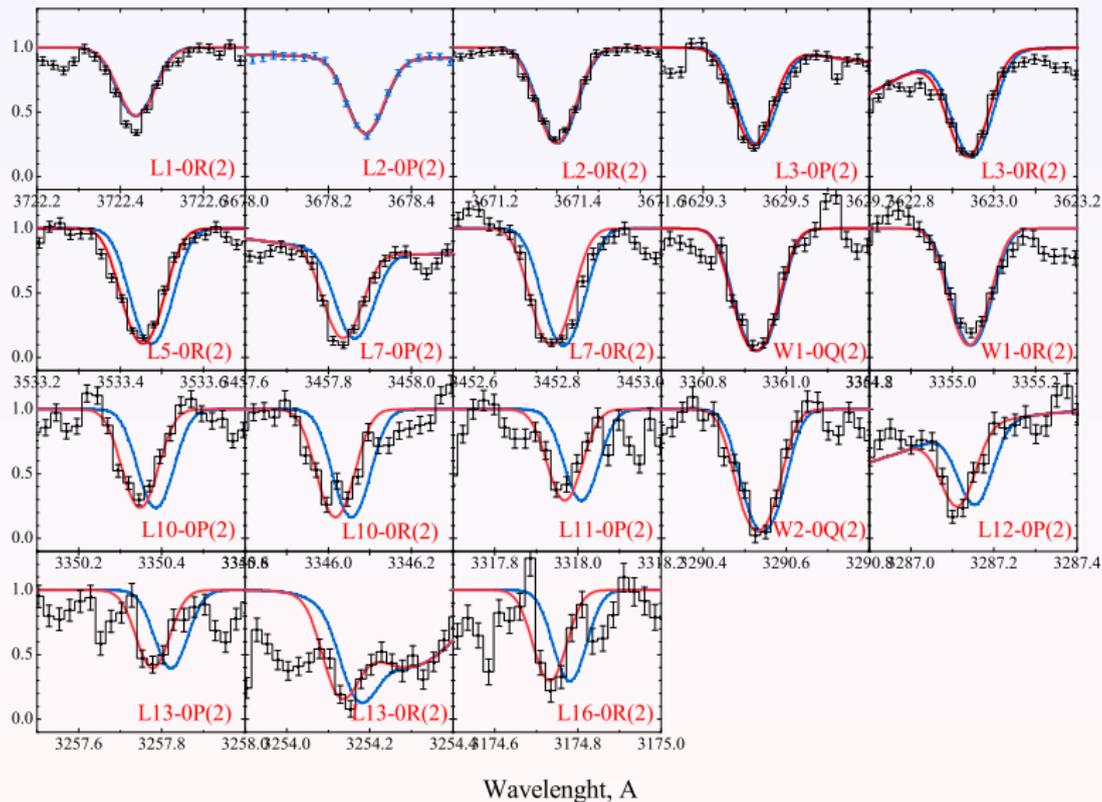
# Обработка спектров. Пример одного уровня

Q 0027-1836, H<sub>2</sub>, J=2:



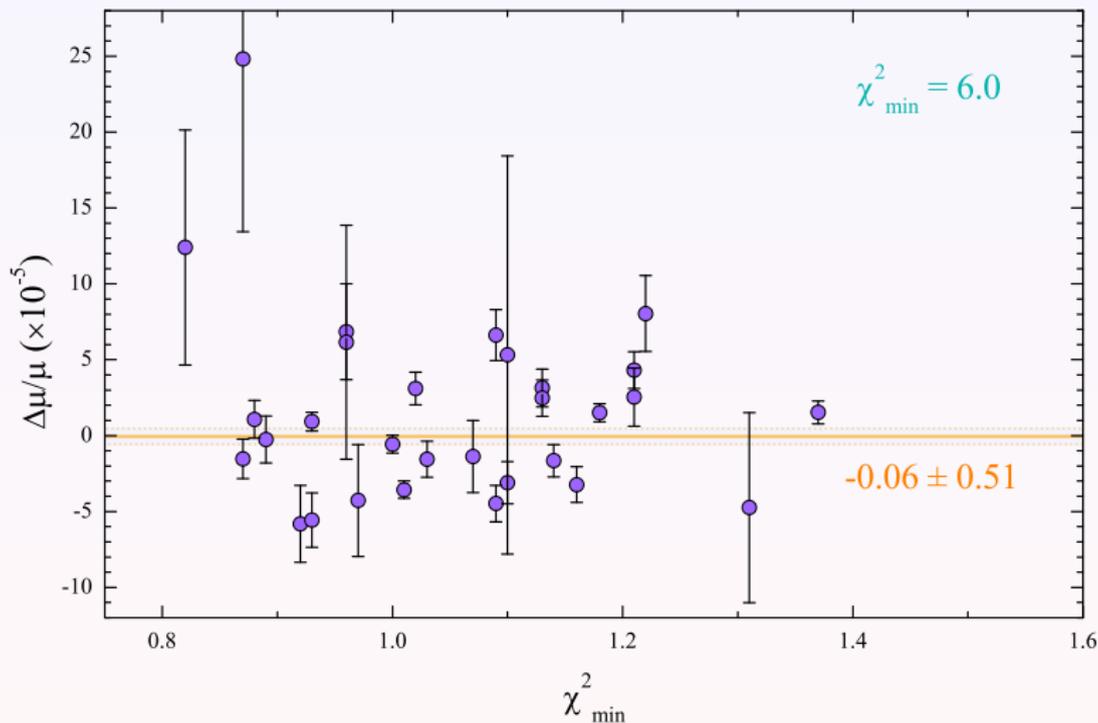
# Обработка спектров. Пример одного уровня

Q 0027-1836, H<sub>2</sub>, J=2:



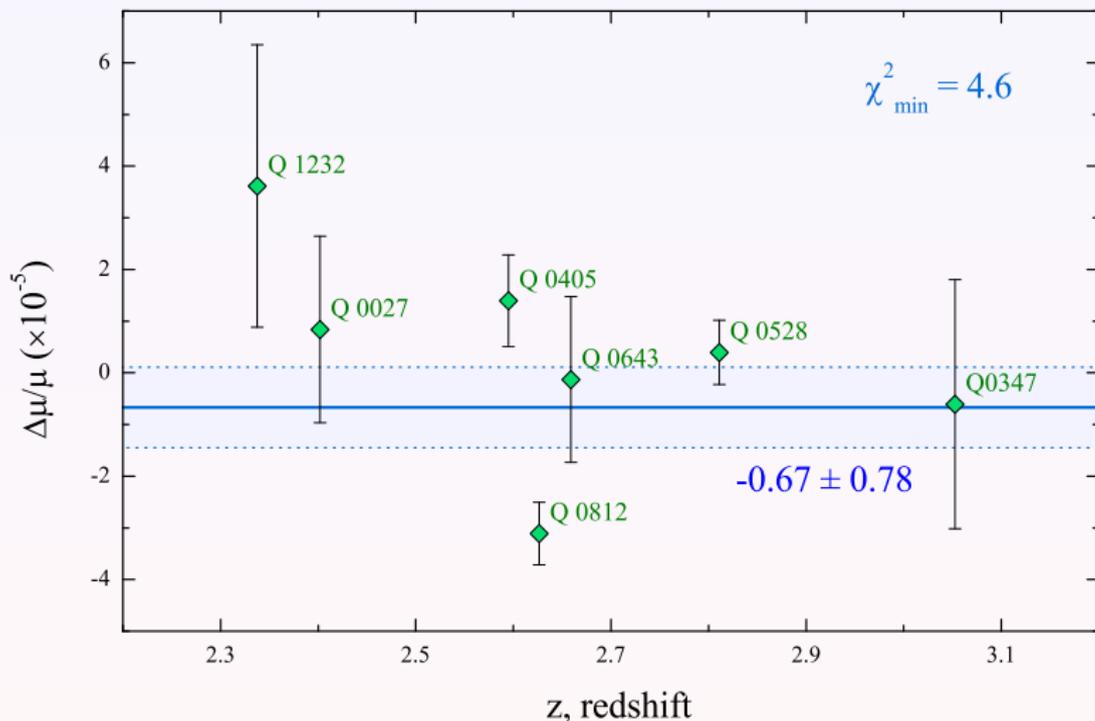
## Результаты. Общие

Таким образом мы имеем 7 абс. систем  $\Rightarrow$  30 точек.



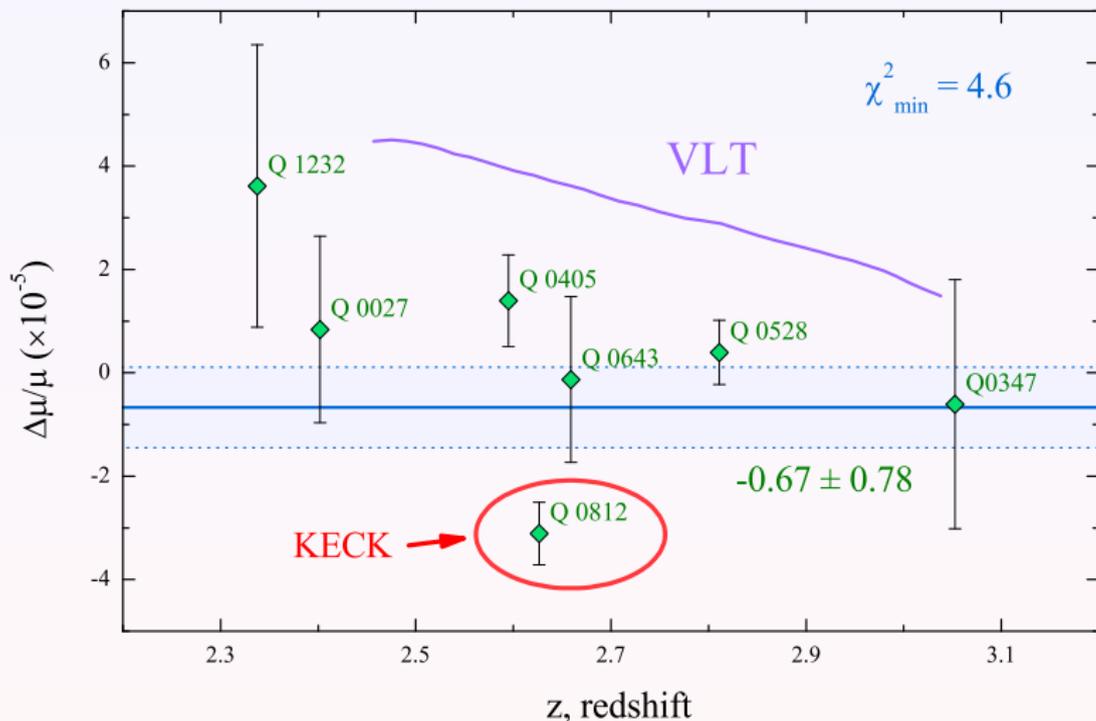
## Результаты. По квазарам

Возможно есть отличие между спектрами **VLT** и **КЕСК**.



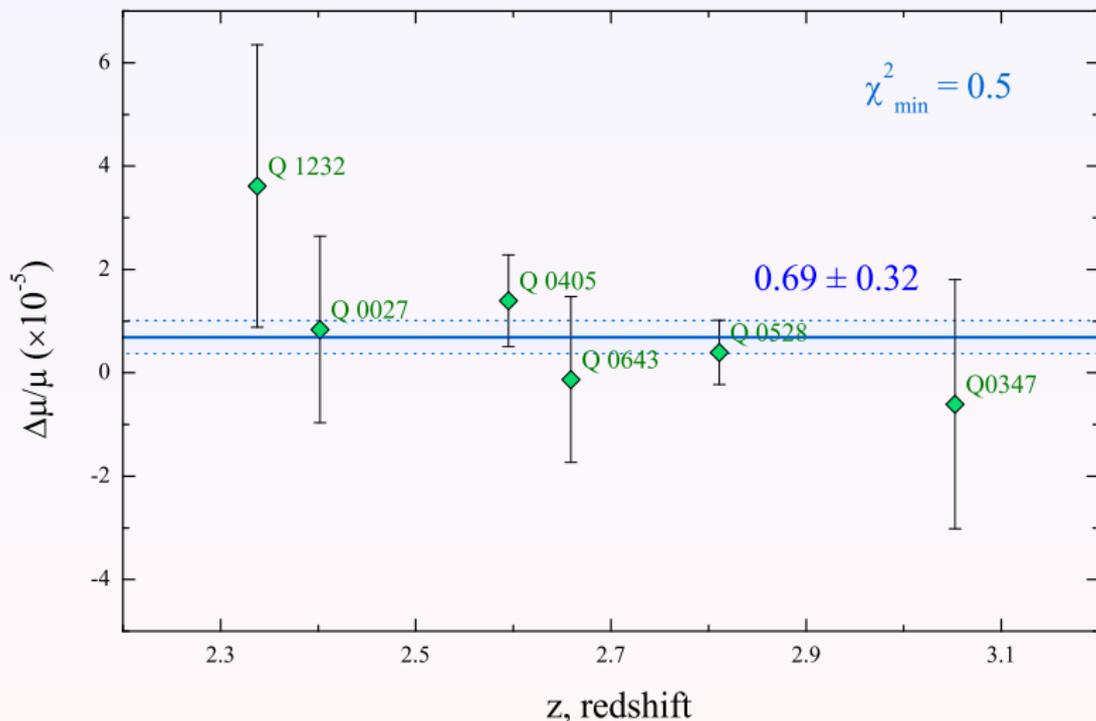
## Результаты. По квазарам

Возможно есть отличие между спектрами **VLT** и **KECK**.



## Результаты. По квазарам

Возможно есть отличие между спектрами **VLT** и **KECK**.

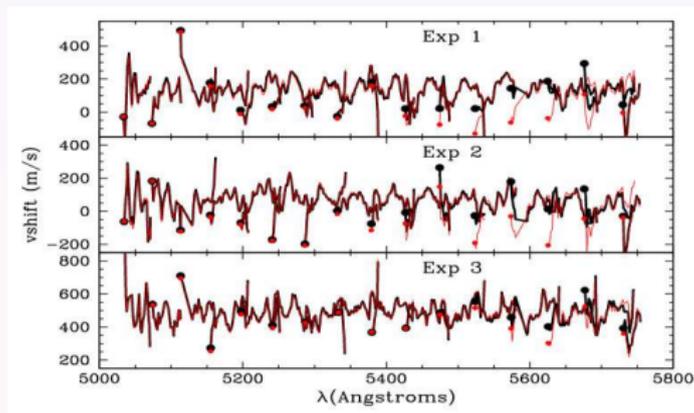


## Систематические ошибки. Калибровка

Оценка на ошибки калибровки для **VLT** и **KECK**.

Keck HIRES:  $\sigma_v = 500$  m/s внутри порядка, Griest K. et al., ApJ, 2010.

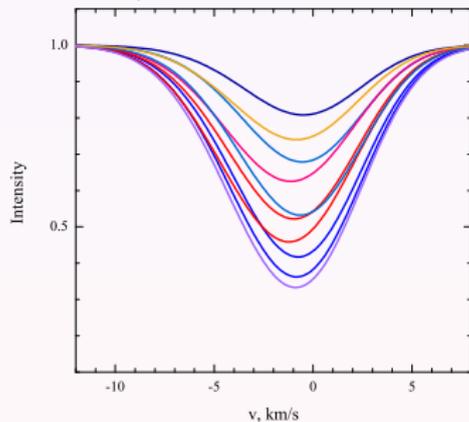
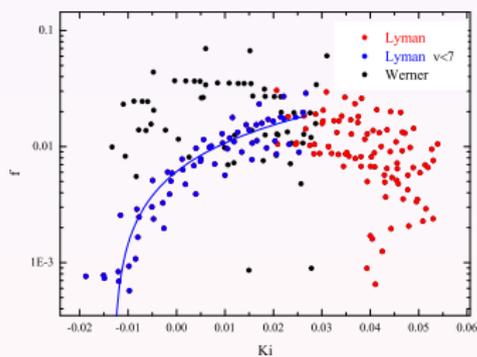
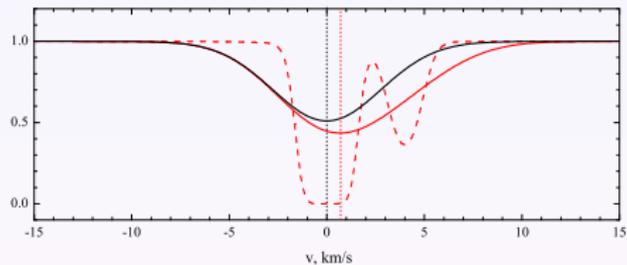
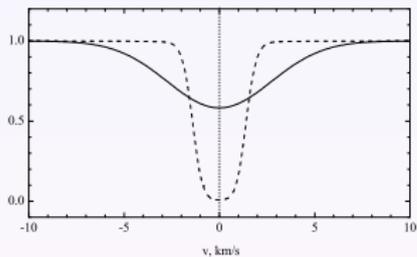
VLT UVES:  $\sigma_v = 200$  m/s внутри порядка, Whitmore J.B. et al., ApJ, 2010.



Whitmore J.B. et al., ApJ, 2010

# Систематические ошибки. Неразрешенный профиль линии

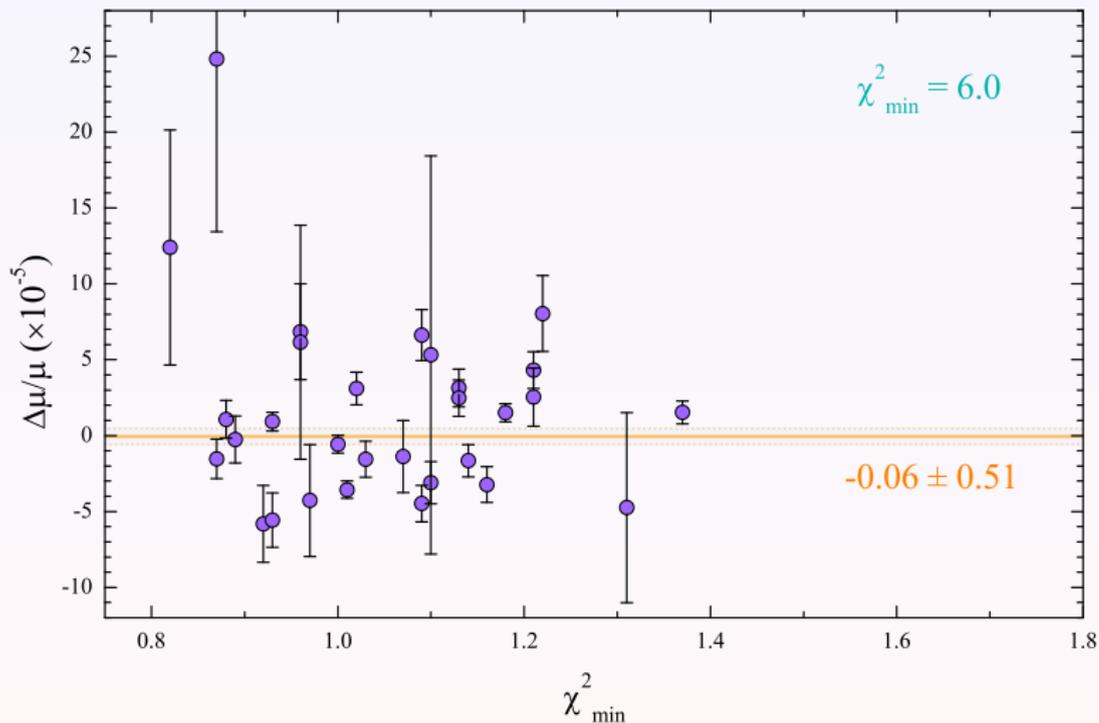
Систематический эффект связанный с конечным разрешением спектра.



Оцененная величина эффекта:  $\Delta\mu/\mu \approx 1 \times 10^{-5}$ .

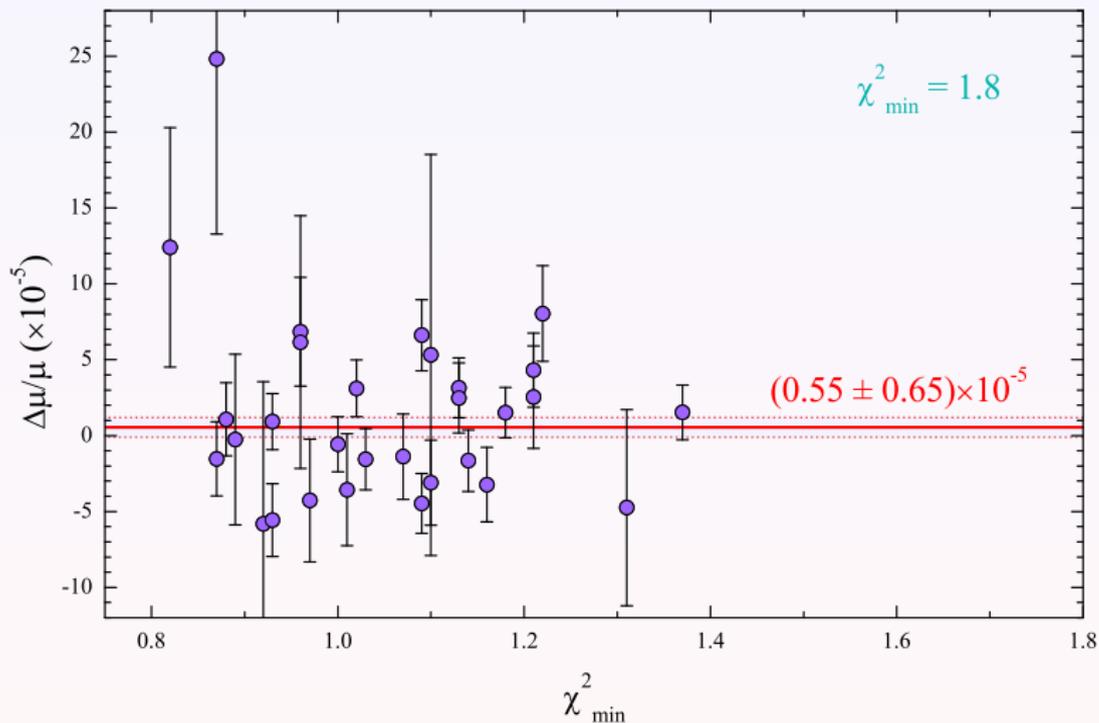
## Результаты. Консервативная оценка.

После коррекции систематических ошибок мы получаем:



## Результаты. Консервативная оценка.

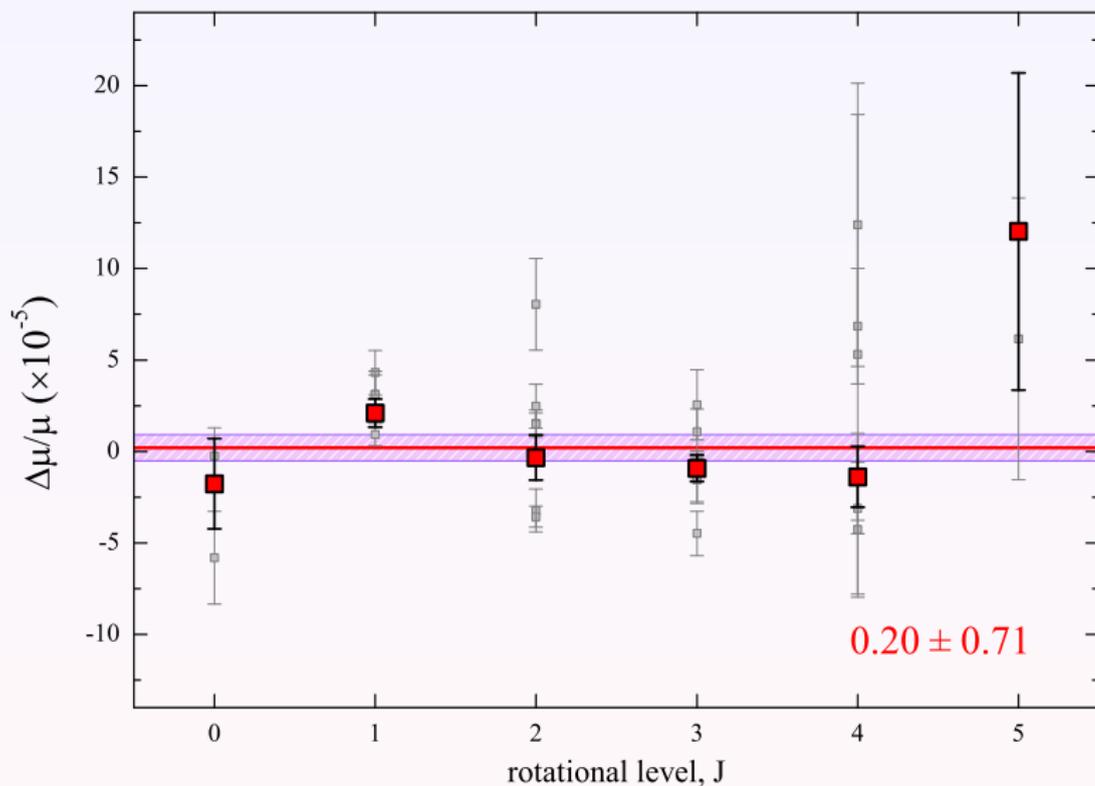
После коррекции систематических ошибок мы получаем:



## Заключение

- Проведен анализ абсорбционных систем молекулярного водорода в 7 спектрах квазаров с целью оценки ограничения возможной космологической вариации  $\mu = m_p/m_e$ . В том числе рассмотрено четыре новых системы. Это наибольшая статистика для ограничения на вариацию  $\mu$  по абсорбционным системам  $\text{H}_2$ .
- Представлен метод для консервативной оценки вариации  $\mu$  методом построения синтетического спектра. Оценены возможные систематические ошибки, связанные с калибровкой спектров и неразрешенным профилем линий.
- Оцененное значение  $\Delta\mu/\mu = (0.55 \pm 0.65) \times 10^{-5}$  наилучшая консервативная оценка на вариацию  $\mu$ , полученная на больших красных смещениях, используя спектры  $\text{H}_2$ .

## Данные по различным вращательным уровням



Данные указывают, что повидимому нет систематических сдвигов, связанных с вращательными уровнями  $\text{H}_2$ .