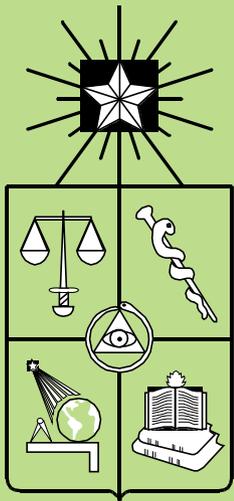


El Medio Intergaláctico



Sebastian Lopez
Departamento de Astronomía
Universidad de Chile



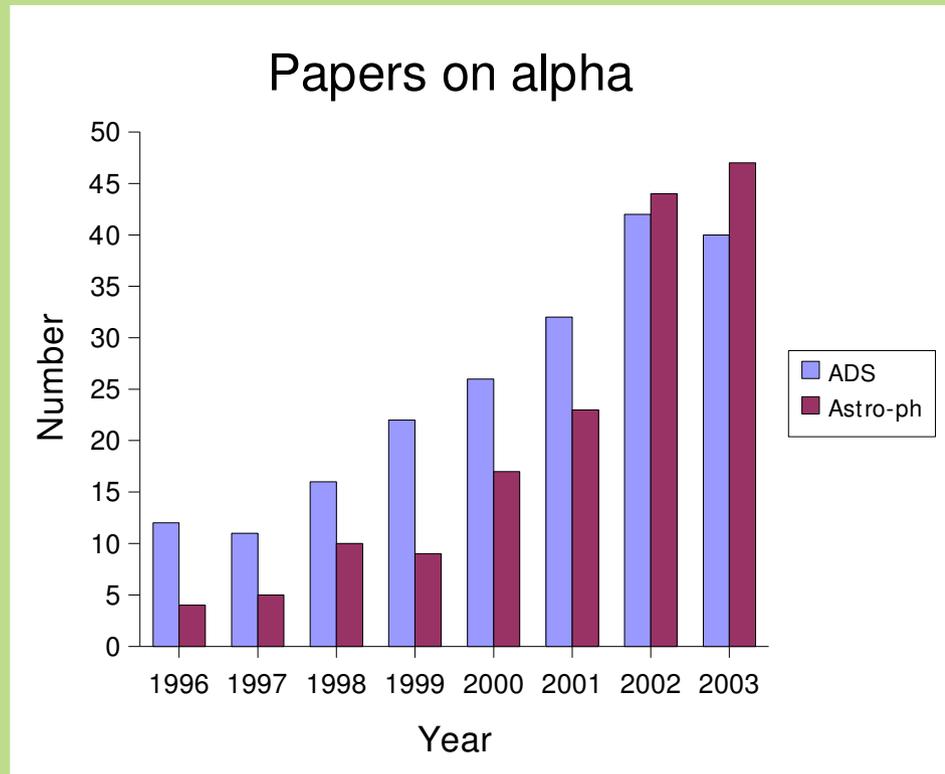
◆ Posible variación cosmológica de alpha

$$\alpha = \frac{1}{2\epsilon_0} \frac{e^2}{hc} = \frac{1}{137.03599958(52)}$$

◆ Posible variación cosmológica de alpha

- Variation of fundamental constants
 - Dirac, P. A. M. (1937) *Nature*, **139**, 323
 - Bekenstein (1982) *Phys. Rev. D*, **25**, 1527
 - Damour & Polyakov (1994) *Nucl. Phys. B* **423**, 53
- Other astrophysical experiments
 - Uzan J. (2003) *Rev. Mod. Phys.*, **75**, 403
- Experiments using QSO absorption lines
 - Dzuba et al. (1999) *Phys. Rev. Lett*, **82**, 888
 - Murphy et al. (2003) *MNRAS* **345**, 609
- Systematics
 - Murphy et al. (2001) *MNRAS* **327**, 1223
- QSO absorption lines
 - Rauch, M. (1998) *ARA&A*, **36**, 267
 - Prochaska & Wolfe (2002) *ApJ*, **566** 68

◆ Posible variación cosmológica de alpha



◆ Posible variación cosmológica de alpha

$$\frac{\lambda_{obs}}{\lambda_0} = \sqrt{\frac{1+v_r/c}{1-v_r/c}}$$

Efecto Doppler

$$1+z \equiv \frac{\lambda_{obs}}{\lambda_0}$$

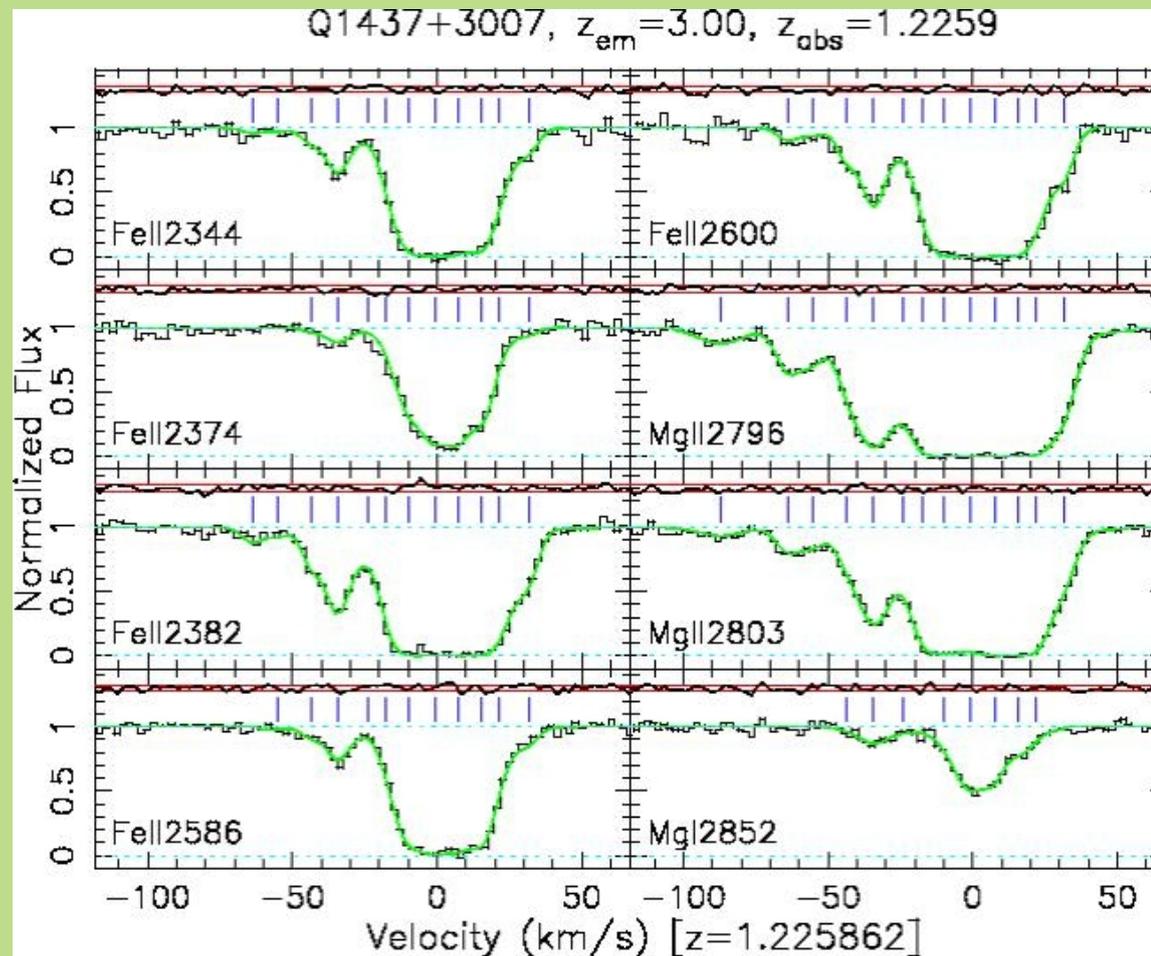
Redshift cosmológico

$$t_L = \frac{1}{H_0} \int_0^z \frac{dz}{(1+z) \sqrt{\Omega_M (1+z)^3 + \Omega_k (1+z)^2 + \Omega_\Lambda}}$$

Look-back time

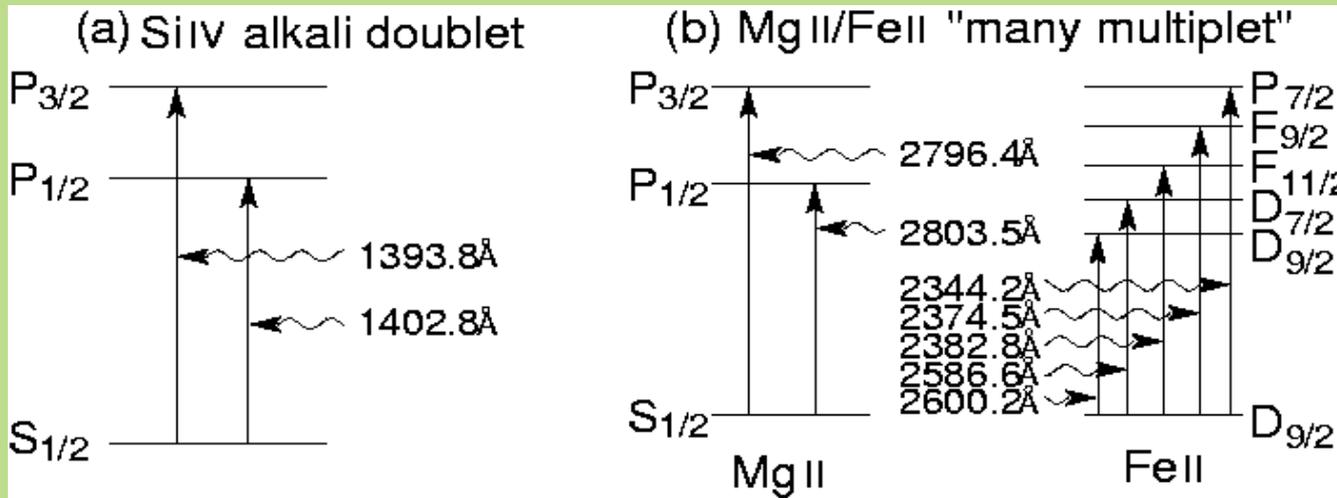
=0

◆ Posible variación cosmológica de alpha



◆ Posible variación cosmológica de alpha

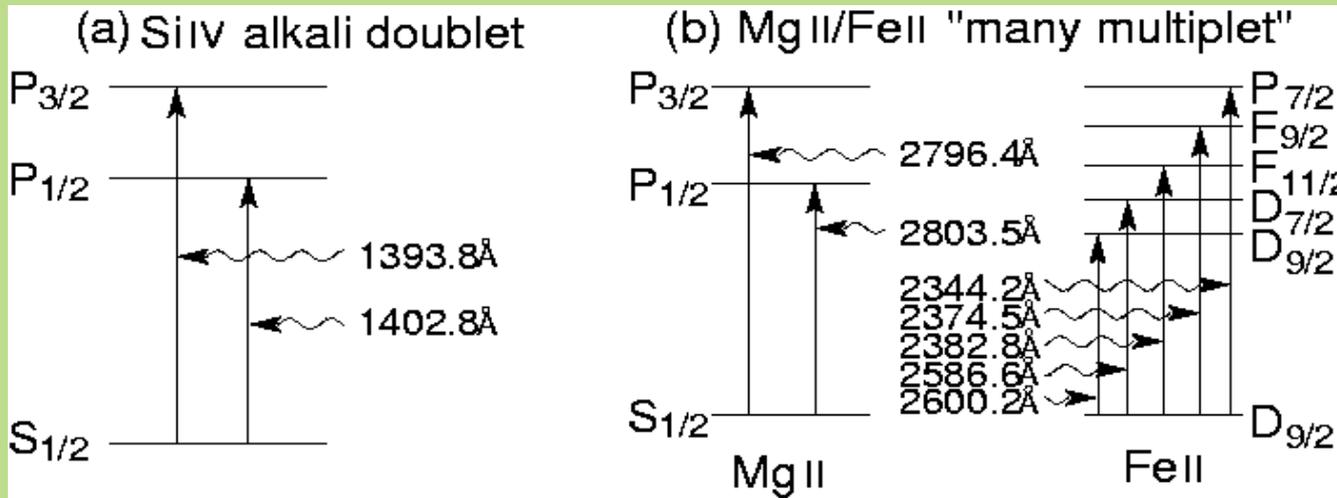
$$\Delta \propto (Z \alpha)^2 E^{3/2} \left[\frac{1}{j+1/2} - C(j, l) \right]$$



$$\omega_z = \omega_0 + q \left[\left(\frac{\alpha_z}{\alpha} \right)^2 - 1 \right] + O(\alpha^4)$$

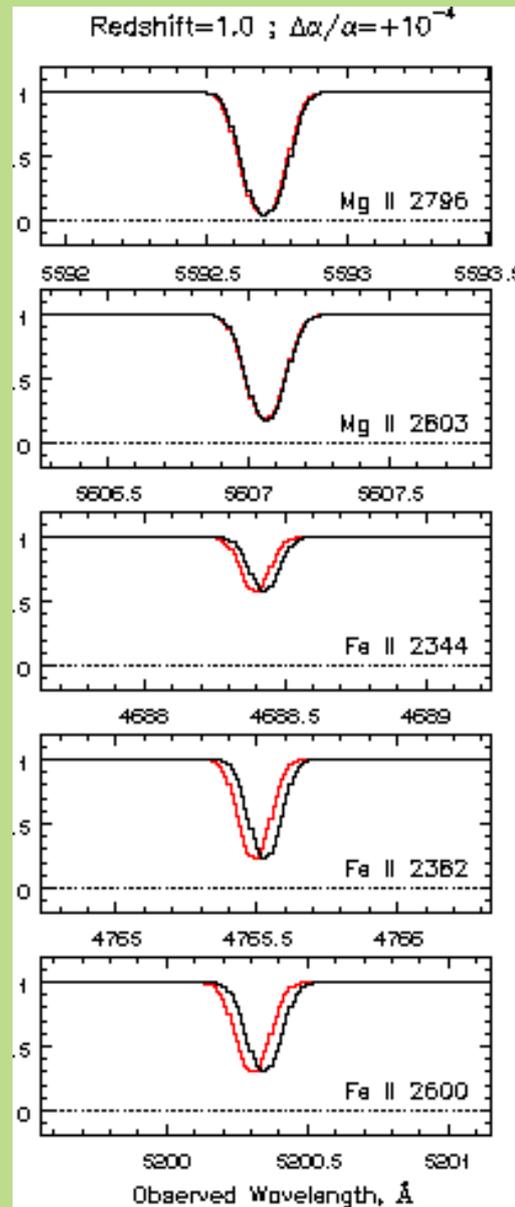
◆ Posible variación cosmológica de alpha

$$\Delta \alpha (Z \alpha)^2 E^{3/2} \left[\frac{1}{j+1/2} - C(j, l) \right]$$



$$\omega_z = \omega_0 + q \left[\left(\frac{\alpha_z}{\alpha} \right)^r - 1 \right] \approx \omega_0 + r q (\Delta \alpha / \alpha)$$

◆ Posible variación cosmológica de alpha



◆ Posible variación cosmológica de alpha

◆ Valores q:

- ◆ Contienen todas las correcciones relativistas
- ◆ Miden la sensibilidad de cada transición a cambios en alpha
- ◆ Han sido calculados (Dirac-Hartree-Fock, many-body) con precisión <10%.

DLAs se caracterizan por presencia de FeII, MgII, ZnII, CrII

◆ Posible variación cosmológica de alpha

Ion	λ_0 (Å)	ν_0 (cm ⁻¹)	Ground state	Upper state	ID	IP (eV)	f	q_1 (cm ⁻¹)	q_2 (cm ⁻¹)
Mg I	2852.96310(8)	35051.277(1) ^b	3s ² 1S ₀	3s3p ¹ P ₁	a	-	1.810 ⁻¹	106	-10
Mg II	2796.3543(2)	35760.848(2) ^b	3s ² S _{1/2}	3p ² P _{3/2}	b	7.7	0.6295 ⁹	211	0

$\sigma_q = 10 \text{ cm}^{-1}$

Fe II	1608.45085(8)	62171.625(3) ^l	3d ⁶ 4s a ⁶ D _{5/2}	3d ⁶ 4p y ⁶ P _{7/2}	l	7.9	0.0619 ⁱ	1002	141
	1611.20034(8)	62055.528(3) ^l		3d ⁶ 4p y ⁴ F _{7/2}	m		0.00102 ⁱ	1110	48
	2344.2130(1)	42558.2404(2) ^e		3d ⁶ 4p z ⁶ P _{7/2}	n		0.110 ⁱ	1325	47
	2374.4603(1)	42114.8329(2) ^e		3d ⁶ 4p z ⁶ F _{5/2}	o		0.0325 ⁱ	1730	26

$\sigma_q = 300 \text{ cm}^{-1}$

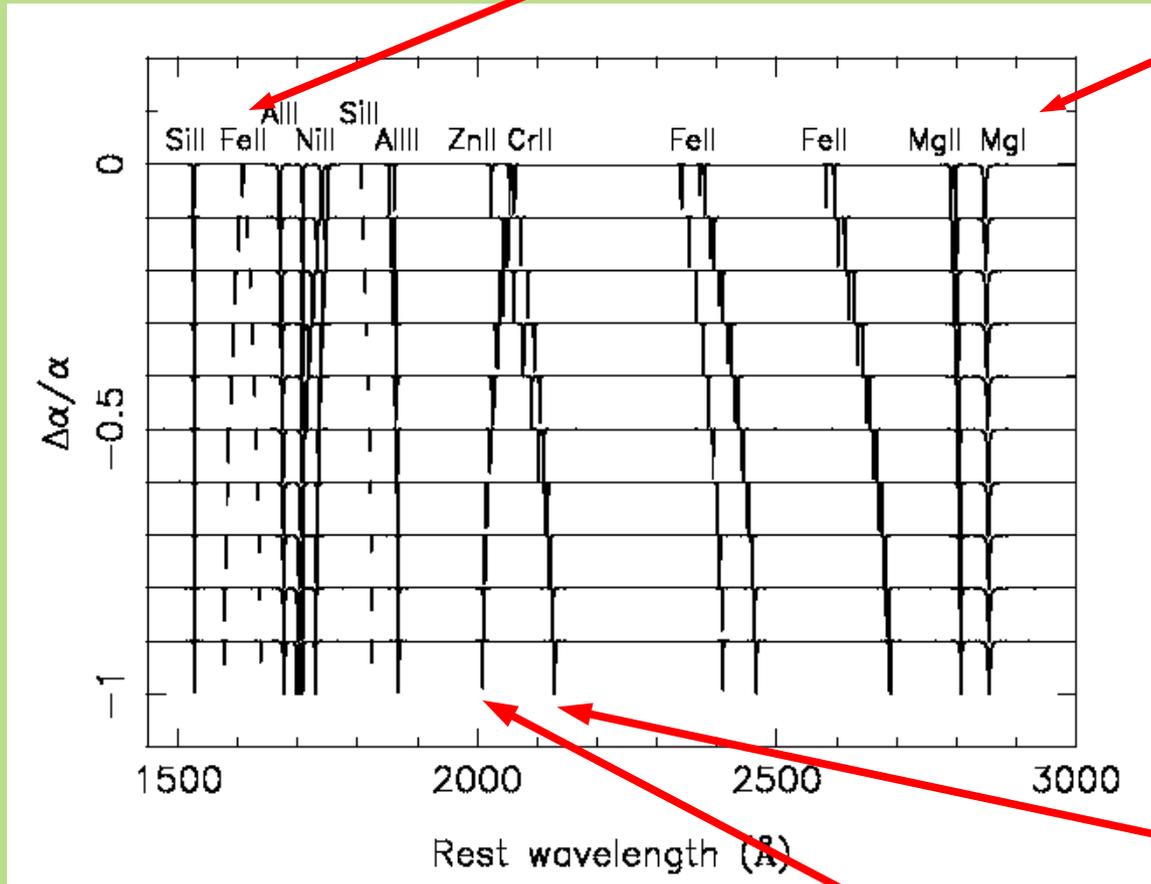
Zn II	2026.13709(8)	49355.002(2) ^d	3d ¹⁰ 4s ² S _{1/2}	3d ¹⁰ 4p ² P _{3/2}	v	9.4	0.489 ^l	2291	94
	2052.66045(9)	48481.077(2) ^d		3d ¹⁰ 4p ² P _{3/2}	w		0.255 ^l	1445	66

$\sigma_q = 25 \text{ cm}^{-1}$

◆ Posible variación cosmológica de alpha

Fell λ 1608: $\Delta\alpha = -0.66 m\text{Å}$

MgII λ 2853: $\Delta\alpha = -0.14 m\text{Å}$

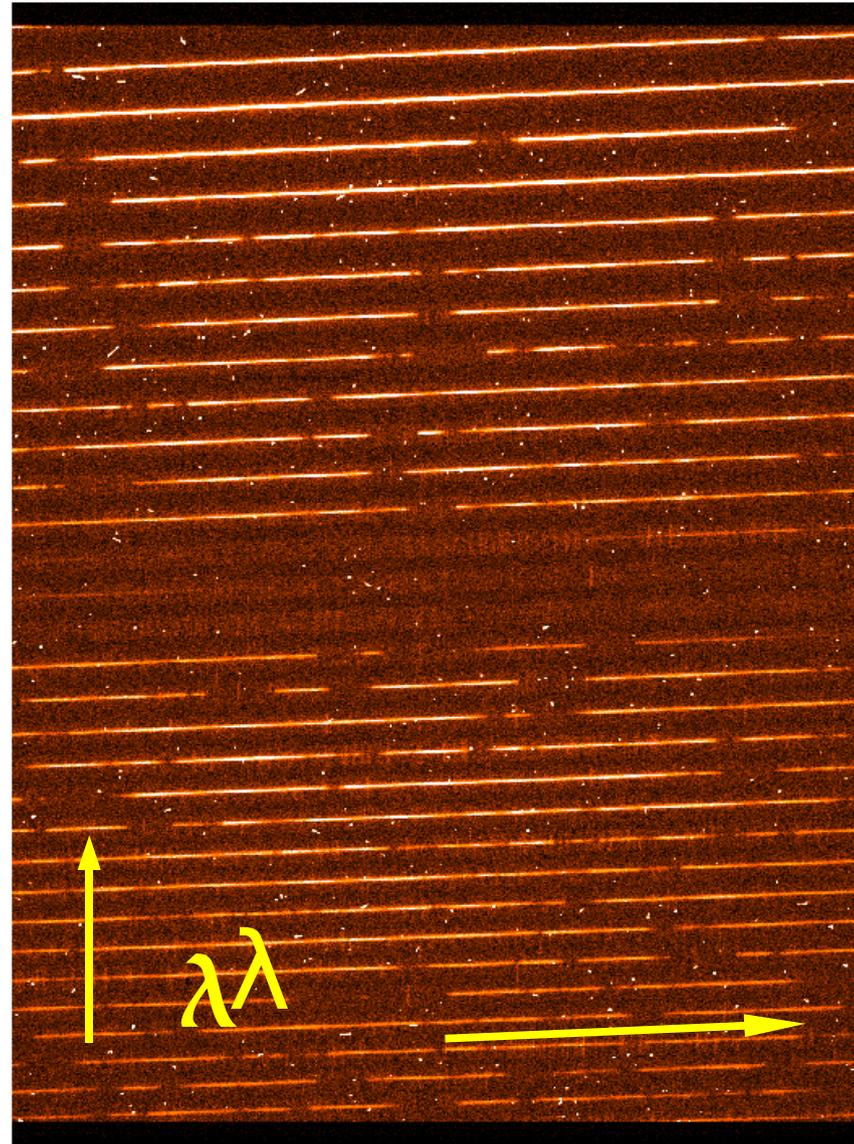


CrII λ 2062: $\Delta\alpha = +1.02 m\text{Å}$

ZnII λ 2026: $\Delta\alpha = -2.04 m\text{Å}$

◆ Posible variación cosmológica de α

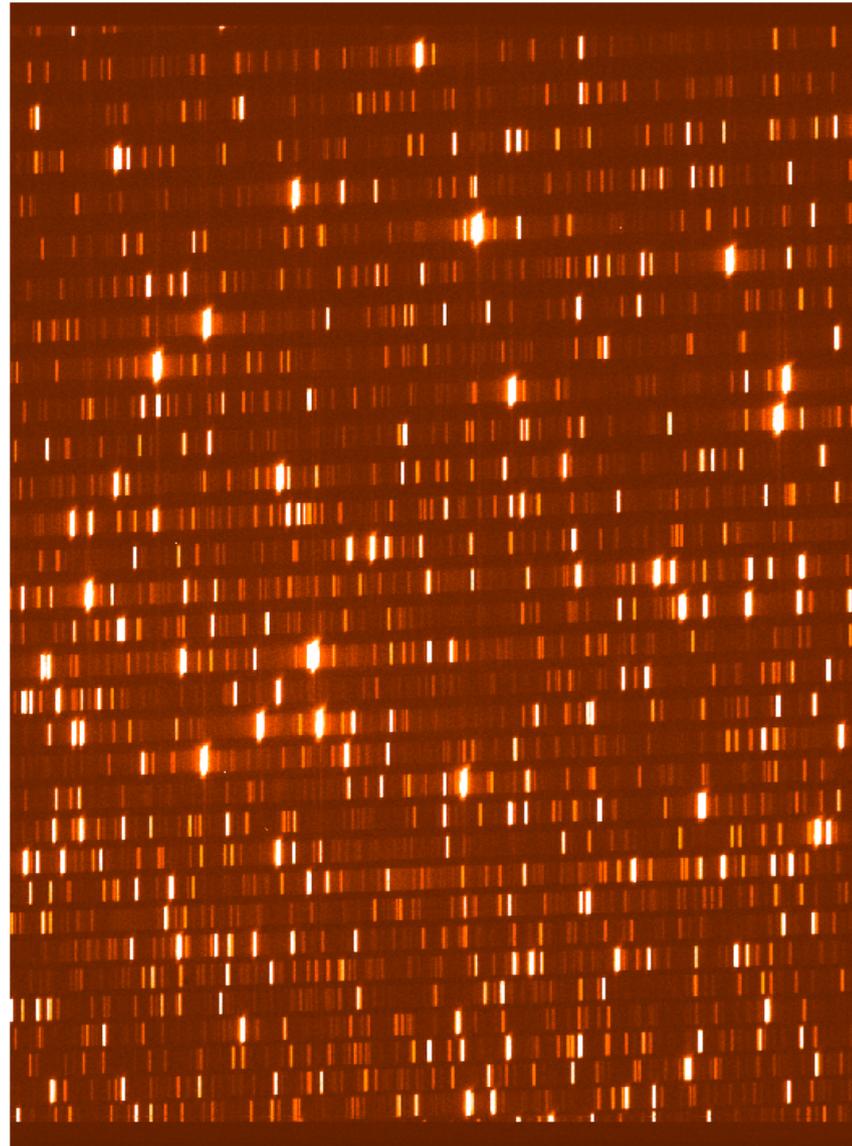
- Espectro *Echelle*
- CTQ247, B~17.5
- VLT UVES, R~45000
- t=1h, S/N~20



OBJECT
ESO/MEMO/TU de Agosto 1999/01/01/01/01

◆ Posible variación cosmológica de α

- Espectro *Echelle*
- *Th-Ar*
- λ con precisión $\sim 1-3 \text{ m\AA}$ (rms)



LAMP,WAVE
©2010 ESO, Telescopio Nacional de Chile, IN2EP, IAC

◆ Posible variación cosmológica de alpha

Precisión esperada

$$\omega_z = \omega_\bullet + q \left[\left(\frac{\alpha_z}{\alpha} \right)^r - 1 \right] \approx \omega_\bullet + r q \Delta \alpha / \alpha$$

$\dots \dots 2 \text{ cm}^{-1}$
 $\dots \dots 4 \text{ cm}^{-1}$

$$1 \text{ pix} = \dots \dots 4 \text{ \AA} \Rightarrow 1 \text{ pix} = 3 \text{ km/s} \Rightarrow \sigma_\lambda(1) \approx \dots \dots 3 \text{ km/s} \Rightarrow \sigma_\lambda(4) \approx \dots \dots 12 \text{ km/s}$$

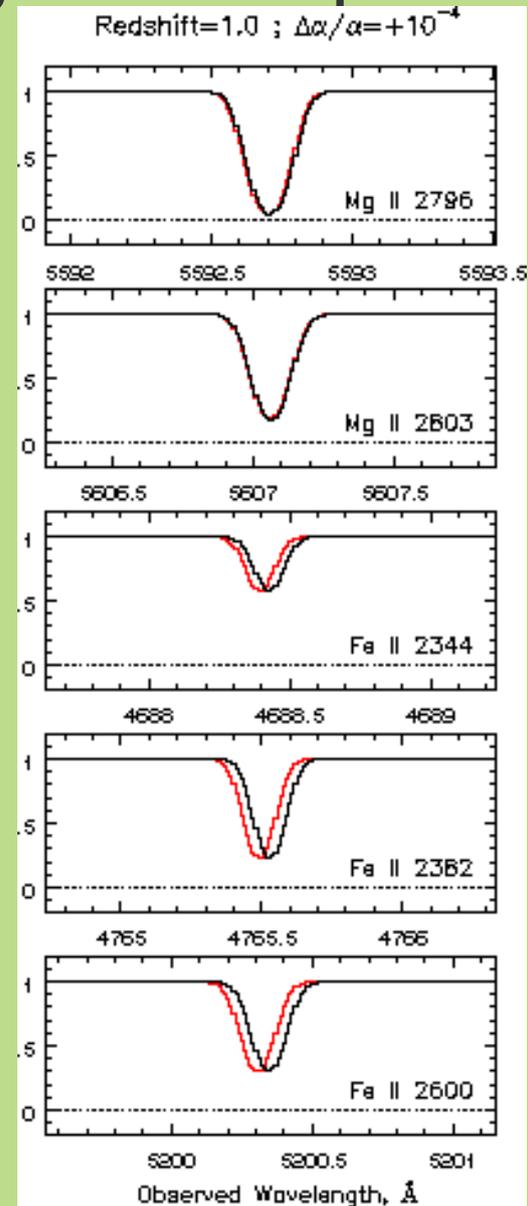
$$\Delta q(\text{ZnII} - \text{CrII}) \approx 3 \dots \dots \text{ cm}^{-1} \Rightarrow \sigma(1) = \dots \dots 3 \times 10^{-5} \Rightarrow \sigma(10) = \dots \dots 1 \times 10^{-5}$$

◆ Posible variación cosmológica de alpha

Simultaneous fit of many transitions in one absorption system:

- *Input:* (λ, f, Γ, A)
- *Output:* (z, N, b)

$\lambda = \lambda(\alpha)$

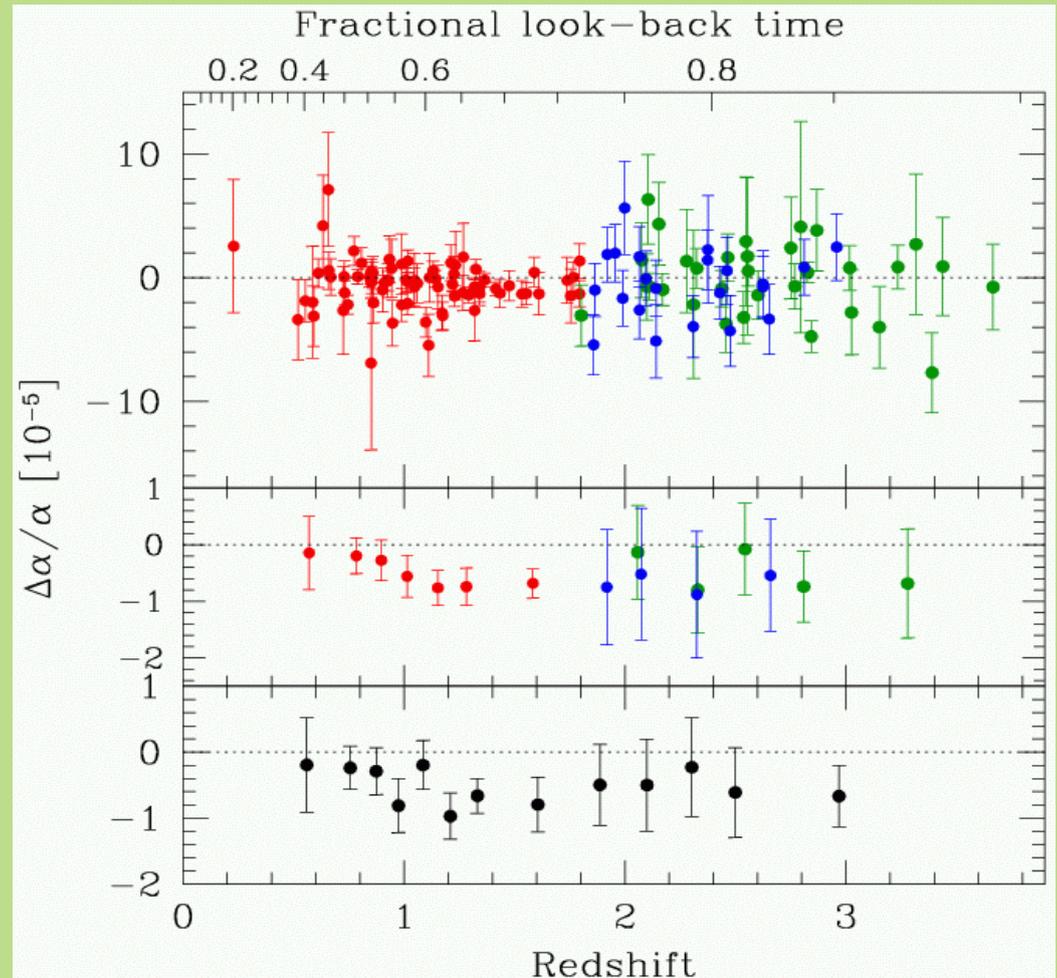


© C. W. Churchill

◆ Posible variación cosmológica de alpha

$$\frac{(\alpha_z - \alpha)}{\alpha}$$

128 sistemas de absorción

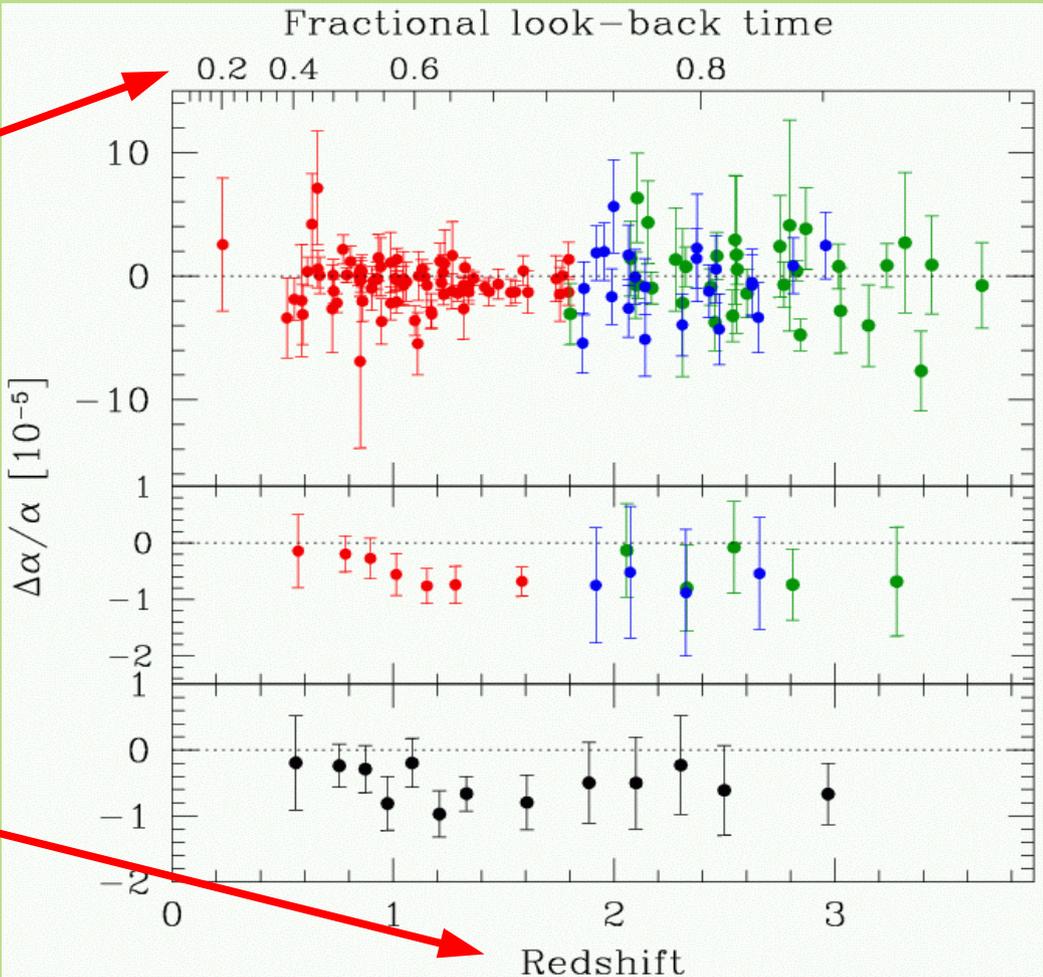


◆ Posible variación cosmológica de alpha

$$H_0 = 68 \text{ km/s/Mpc}$$

$$(\Omega_M, \Omega_\Lambda) = (0.3, 0.7)$$

$$z = \frac{\lambda_{obs}}{\lambda_0} - 1$$



Murphy et al. (2003) MNRAS 345, 609

◆ Posible variación cosmológica de alpha

Críticas y Posibles errores sistemáticos

- Teoría
- ¿Escala absoluta o relativa?
- Precisión de la muestra
- Radios isotópicos
- Líneas mal identificadas y/o *blends*
- Estructura en componente radial

◆ Posible variación cosmológica de alpha

Críticas y Posibles errores sistemáticos

- Teoría
- ¿Escala absoluta o relativa?
- Precisión de la muestra
- Radios isotópicos
- Líneas mal identificadas y/o *blends*
- Estructura en componente radial

Coeficientes q calculados a partir de teoría (Dirac-Hartree-Fock, teoría de muchos cuerpos) para cada configuración atómica.
Precisión ~ 10 %

◆ Posible variación cosmológica de alpha

Críticas y Posibles errores sistemáticos

- Teoría
- ¿Escala absoluta o relativa?
- Precisión de la muestra
- Radios isotópicos
- Líneas mal identificadas y/o *blends*
- Estructura en componente radial

Redshift y $\Delta\alpha/\alpha$ parámetros independientes en el modelamiento de las líneas.

◆ Posible variación cosmológica de alpha

Críticas y Posibles errores sistemáticos

- Teoría
- ¿Escala absoluta o relativa?
- Precisión de la muestra
- Radios isotópicos
- Líneas mal identificadas y/o *blends*
- Estructura en componente radial

Incremento de muestras ha mejorado errores pero ha mantenido significancia estadística

◆ Posible variación cosmológica de alpha

Críticas y Posibles errores sistemáticos

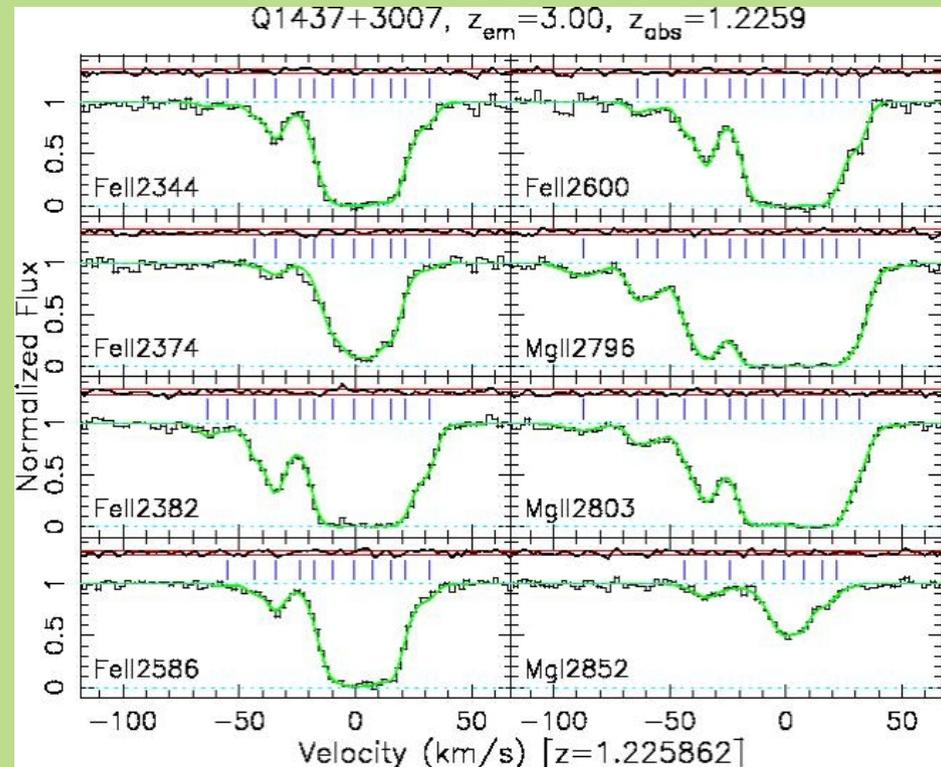
- Teoría
- ¿Escala absoluta o relativa?
- Precisión de la muestra
- Radios isotópicos
- Líneas mal identificadas y/o *blends*
- Estructura en componente radial

Longitudes de onda de laboratorio medidas con precisión ~ 0.1 mA, pero razones isotópicas a alto *redshift* no necesariamente terrestres (Mg y Si especialmente inseguros).

◆ Posible variación cosmológica de alpha

Críticas y Posibles errores sistemáticos

- Teoría
- ¿Escala absoluta o relativa?
- Precisión de la muestra
- Radios isotópicos
- Lineas mal identificadas y/o blends
- Estructura en componente radial



◆ Posible variación cosmológica de alpha

Salidas:

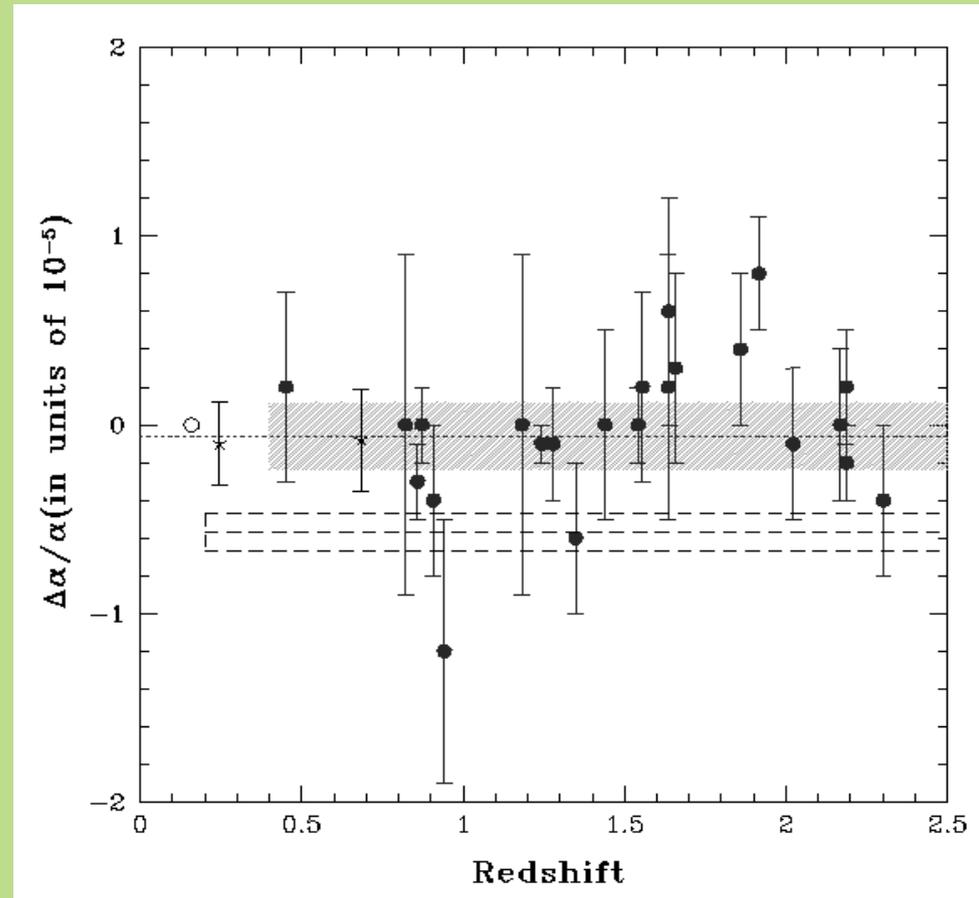
- ~~Incrementar muestra~~
- Mejorar muestra (sistemas con poca estructura en velocidad, ZnII y CrII)
- Repetir experimento con otro instrumento:
 - *UltraViolet Echelle Spectrograph* (UVES) en el VLT
 - *Magellan Inamori Kyocera Echelle* (MIKE) en Magallanes
 - HARPS en 3.6m? bHROS en Gemini-S ? ...

◆ Posible variación cosmológica de alpha

Chand et al. (2004)

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = (-0.06 \pm 0.06) \times 10^{-5}$$

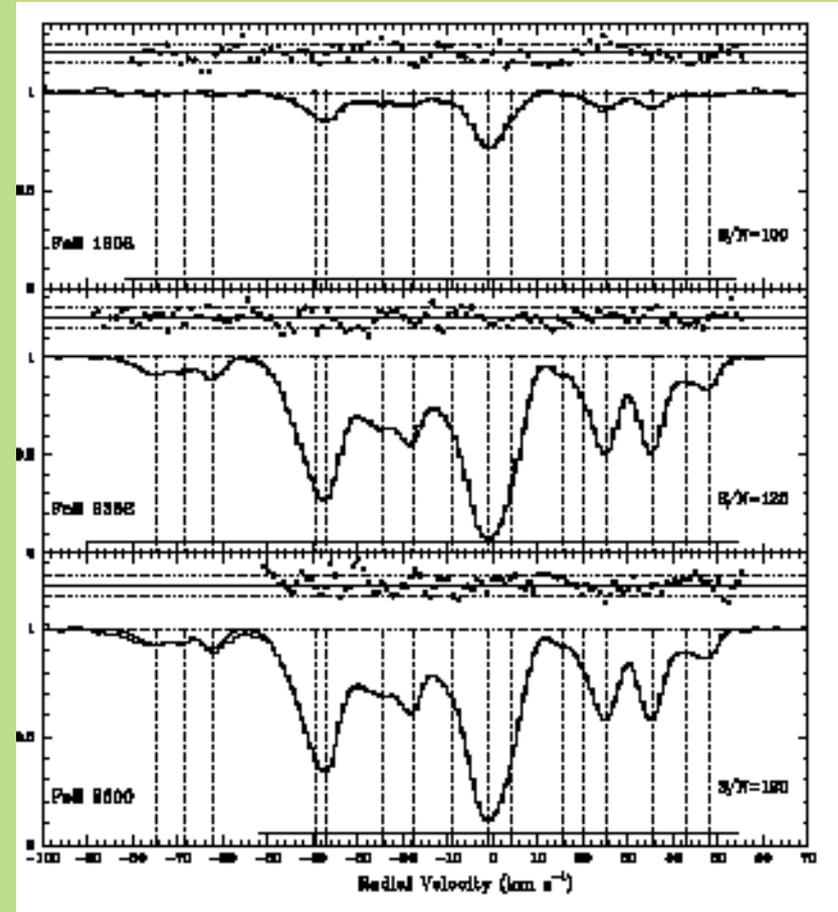
23 sistemas de absorción
MgII/FeII
UVES
S/N~70



◆ Posible variación cosmológica de alpha

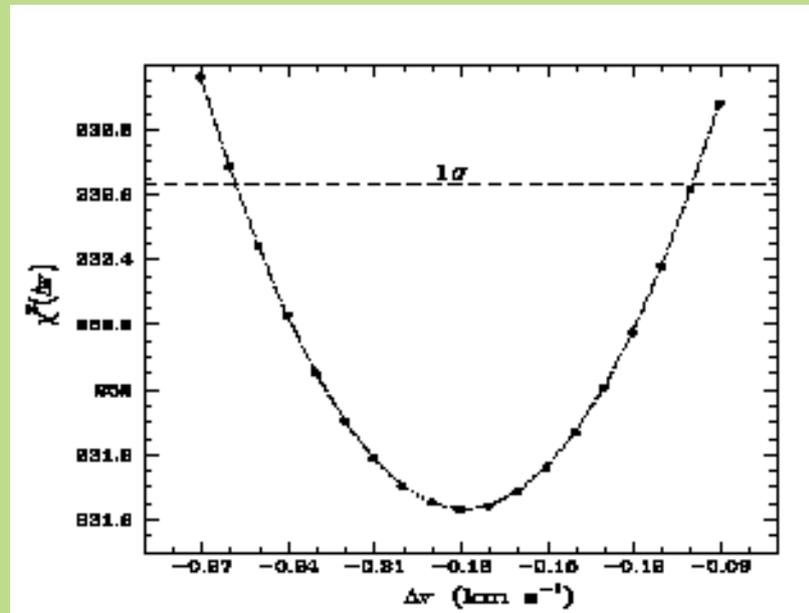
$$\frac{\Delta \alpha}{\alpha} = (0.54 \pm 0.25) \times 10^{-5}$$

$z_{\text{abs}} = 1.84$



Levshakov, Molaro, Lopez et al. (2006)

◆ Posible variación cosmológica de alpha



Levshakov, Molaro, Lopez et al. (2006)

◆ Posible variación cosmológica de alpha

◆ Posible variación cosmológica de alpha