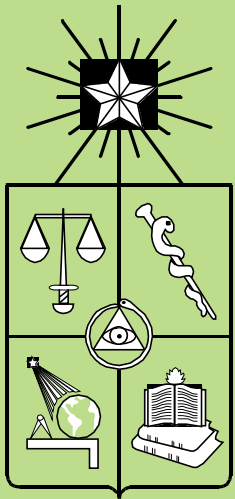


El Medio Intergaláctico

Clase I

www.das.uchile.cl/~slopez/QAL

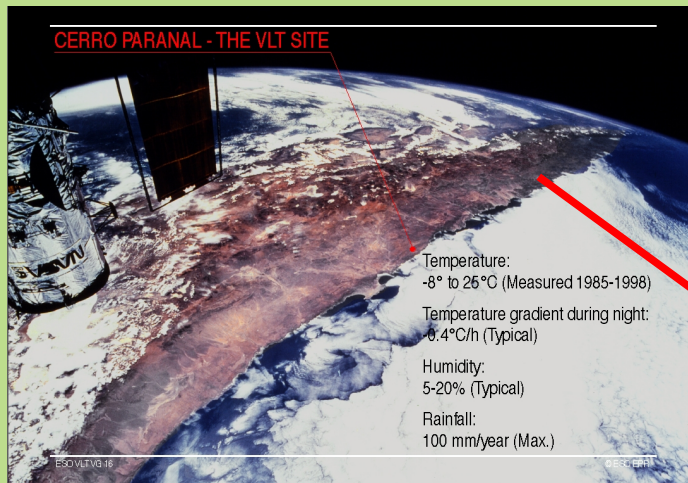


Sebastian Lopez
Departamento de Astronomía
Universidad de Chile

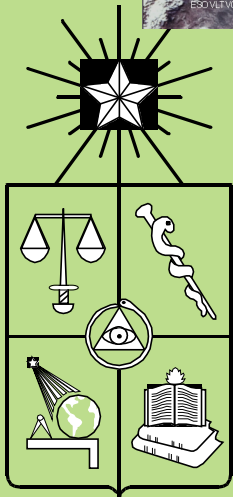


El Medio Intergaláctico

Clase I



l/~slopez/QAL



Sebastian Lopez
Departamento de Astronomía
Universidad de Chile



◆ Contenidos

- ◆ Historia y Propiedades básicas de los observables
- ◆ Propiedades básicas de los cuasares
- ◆ Principios de cosmología (ver también curso Prof. M. Hamuy!)
- ◆ Física de líneas de absorción
- ◆ Clasificación de los absorbentes
- ◆ "Ly-alpha" forest"
- ◆ "damped systems" y "Lyman-limit systems"
- ◆ Estadística de los absorbentes
- ◆ Modelos de fotoionización
- ◆ Abundancia químicas, abundancia primordial del Deuterio
- ◆ Comparación con el Medio Interestelar
- ◆ Reionización del Universo y efecto Gunn-Peterson
- ◆ Uso de lentes gravitacionales
- ◆ Simulaciones del medio intergaláctico

◆ Bibliografía

- ◆ MS Longair Galaxy Formation, Ch. 19
- ◆ M Rauch, ARAA 36 267 1998
- ◆ A Loeb & R Barkana, ARAA 39 19
- ◆ 2001 J Miralda-Escudé', Science 300 1904 2003
- ◆ V Bromm & RB Larson, ARAA 42 79 2004
- ◆ Wolfe et al. (2005) ARA&A, 43, 861
- ◆ Padmanabhan Theoretical Astrophysics Vol III, Ch. 9

◆ Historia

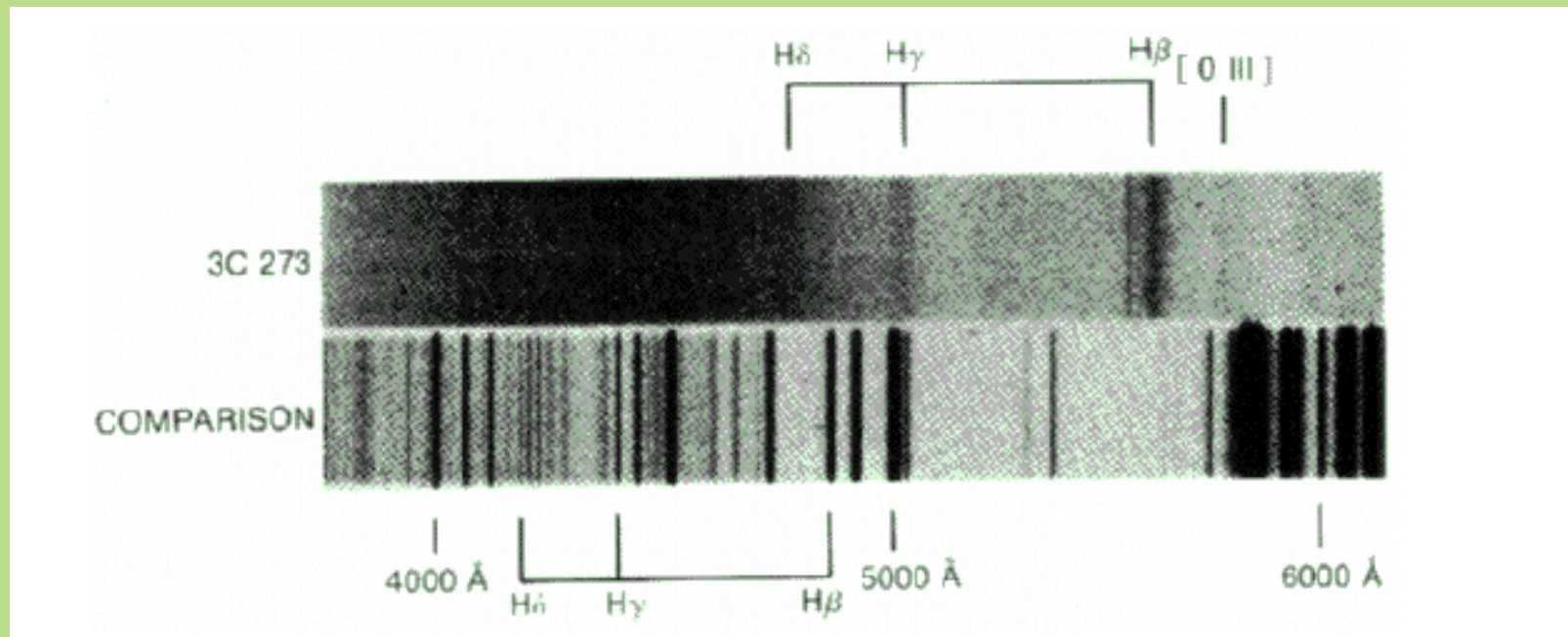
- ◆ Los “objetos cuasi-estelares” (QSOs) fueron descubiertos por Martin Schmidt en 1963 usando el telescopio de 5m de Monte Palomar.



◆ Historia

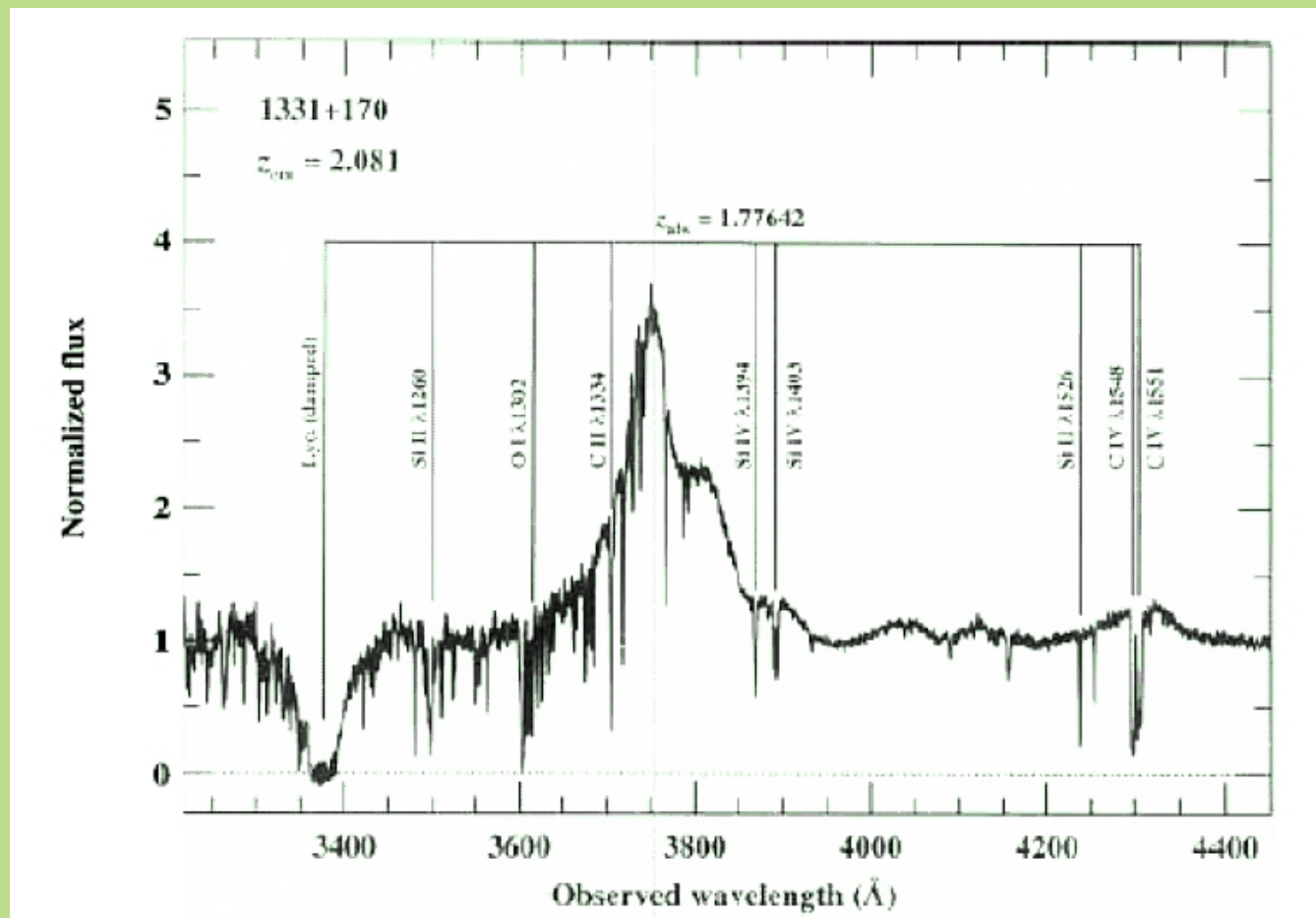
- ◆ El primer espectro de un cuasar (3C273) reveló un *redshift* de $z=0.15$ y una *distribucion de energia distinta a un cuerpo negro*.

$$5600/4861.3=1.15=1+z$$



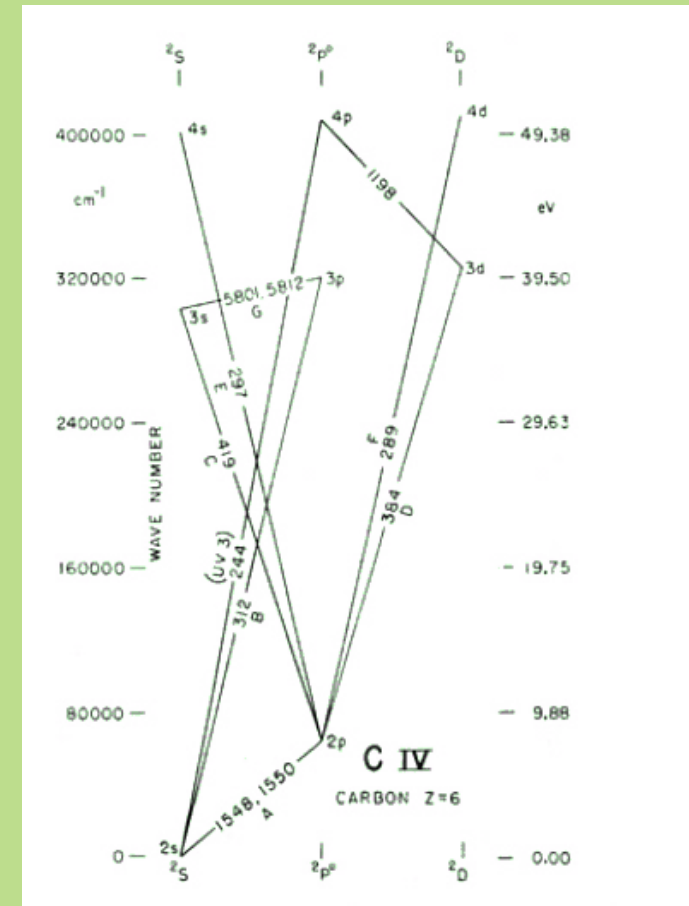
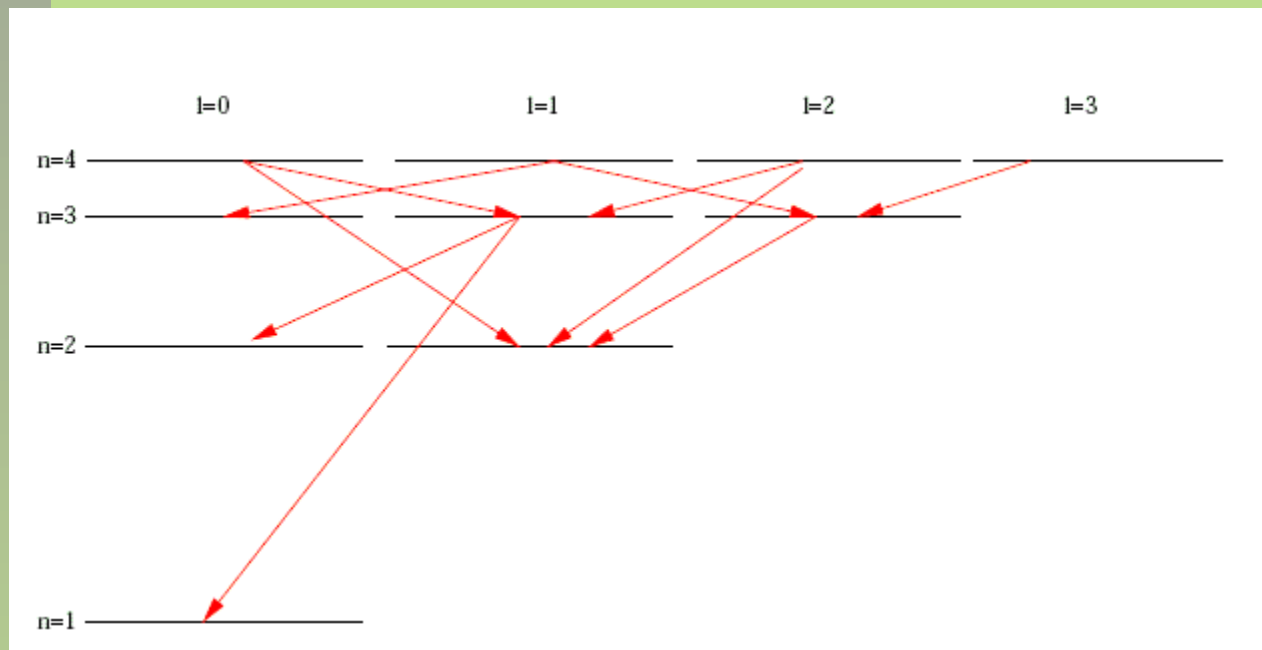
◆ Historia

- ◆ El primer espectro de un cuasar (3C273) reveló un *redshift* de $z=0.15$.
- ◆ Algunos años después de esta identificación se descubrieron **lineas de absorción** en los espectros de QSOs.



◆ Historia

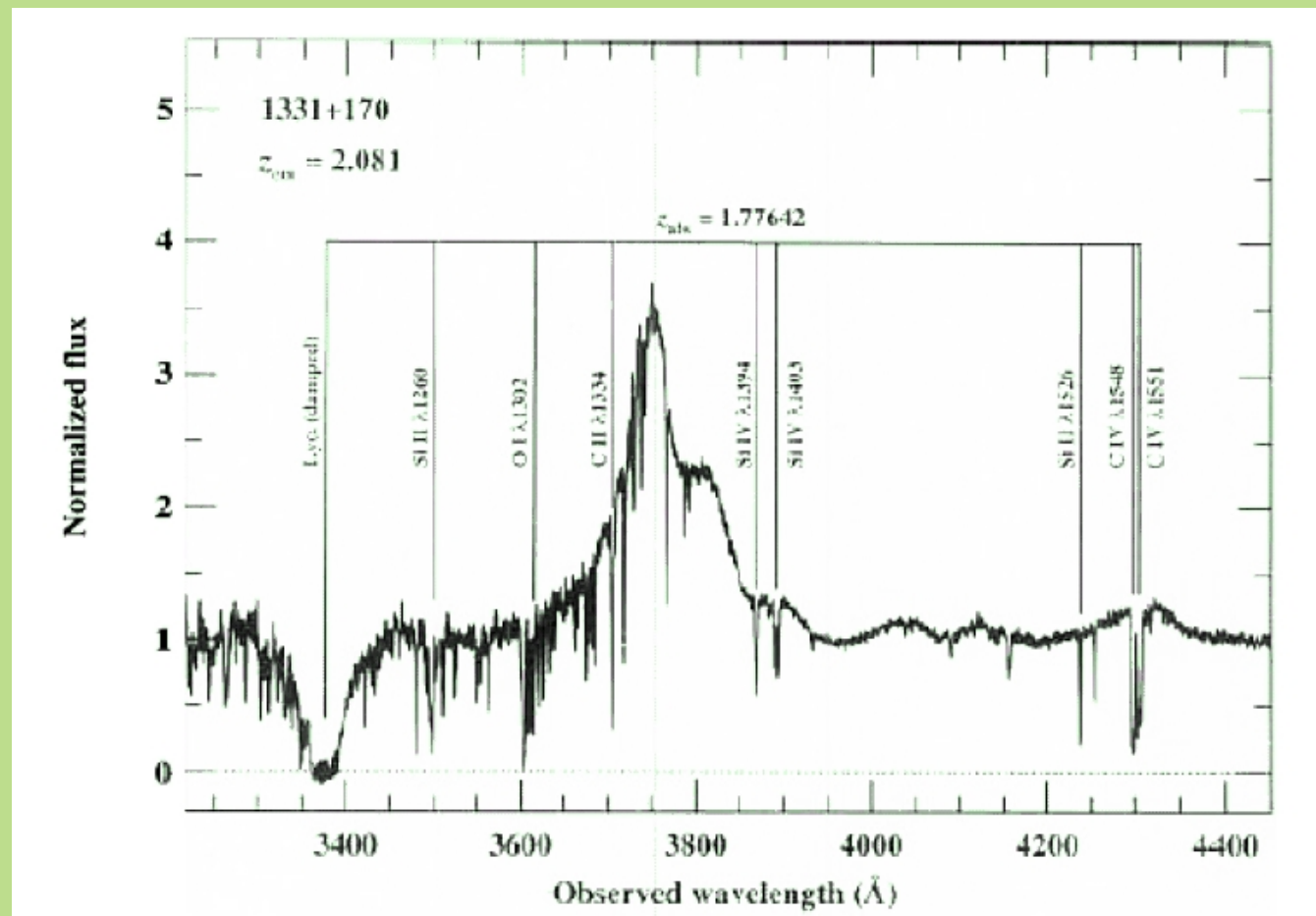
- ◆ Era claro que las líneas eran producidas por transiciones atómicas permitidas (“de resonancia”).



◆ Historia

- ◆ Se especulo que las líneas de absorcion eran producidas por material entre el cuasar y la Tierra, mayoritariamente hidrogeno neutral (HI).
- ◆ Tambien podrian ser intrinsecas al cuasar.

$$\lambda_{\text{obs}}/\lambda_0 = 1+z$$



◆ Historia

- ◆ El primer trabajo teórico para explicar tal absorcion fue el de Gunn & Peterson (1965) ApJ 142 1633.
- ◆ Estos autores consideraron el flujo al azul de la emisión de Ly-alpha del cuasar 3C9 ($z=2.01$) (tambien observado por Schmidt).
- ◆ Derivaron un límite a la cantidad de HI que podría estar presente en el medio intergaláctico.

◆ Historia

- ◆ Gunn & Peterson (1965) ApJ 142 1633

NOTES

ON THE DENSITY OF NEUTRAL HYDROGEN IN INTERGALACTIC SPACE

Recent spectroscopic observations by Schmidt (1965) of the quasi-stellar source 3C 9, which is reported by him to have a redshift of 2.01, and for which Lyman- α is in the visible spectrum, make possible the determination of a new very low value for the density of neutral hydrogen in intergalactic space. It is observed that the continuum of the source continues (though perhaps somewhat weakened) to the blue of Ly- α ; the line as seen on the plates has some structure but no obvious asymmetry. Consider, however, the fate of photons emitted to the blue of Ly- α . As we move away from the source along the line of sight, the source becomes redshifted to observers locally at rest in the expansion, and for one such observer, the frequency of any such photon coincides with the rest frequency of Ly- α in his frame and can be scattered by neutral hydrogen in his vicinity. The calculation of the size of the effect is very easily performed as follows:

◆ Historia

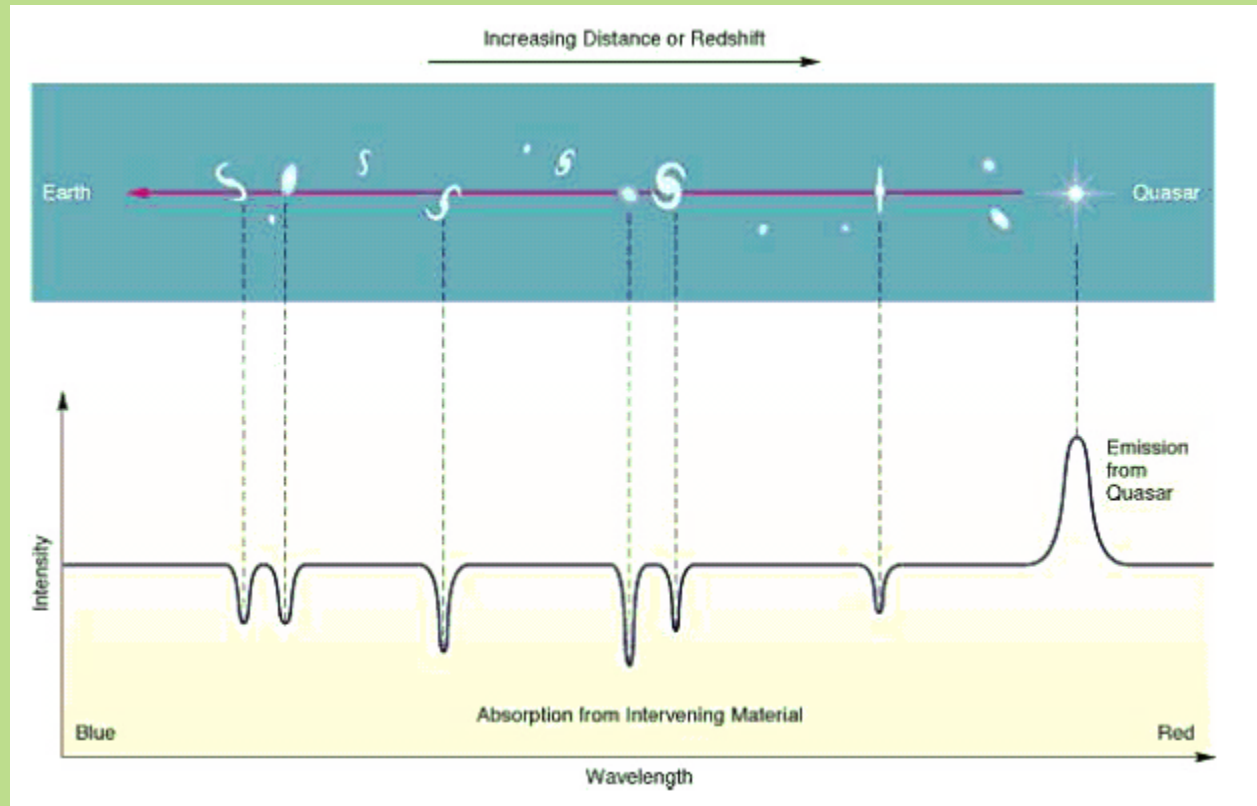
- ◆ Un segundo trabajo por Bahcall & Salpeter (1966) ApJ 144 847, predice que el material “interviniente” debería producir líneas discretas, detectadas posteriormente por varios investigadores (e.g., Greenstaein & Schmidt 1967 ApJL 148 13)

◆ Historia

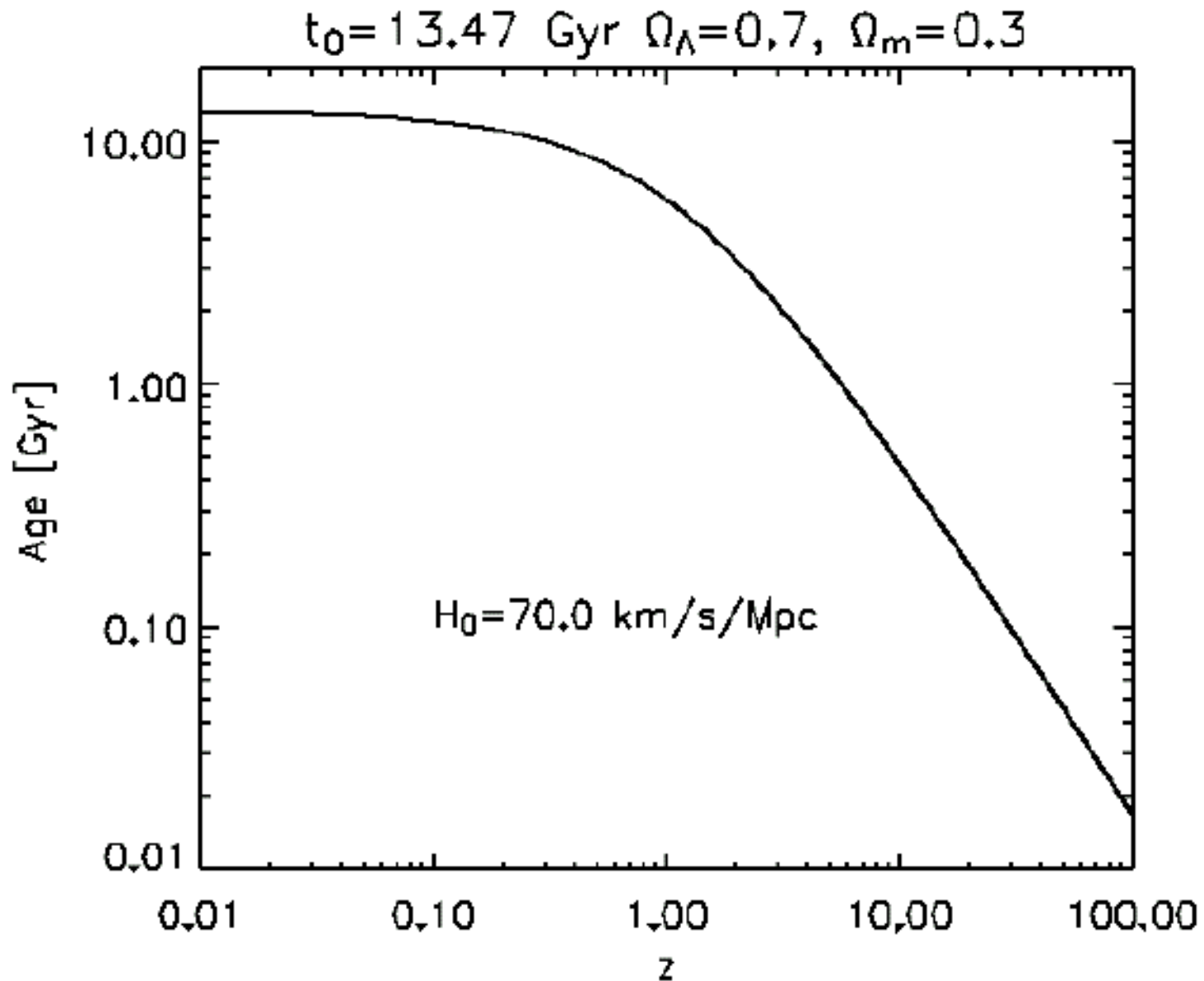
- ◆ En unos pocos años varios “sistemas de absorción” habían sido descubiertos.
- ◆ Bahcall & Spitzer (1969 ApJL 156 63) proponen que tales sistemas de absorción con metales deberían producirse en halos de galaxias normales (a alto redshift!).
- ◆ Al acumularse más y más datos, pronto fue evidente que los sistemas de absorción tenían que producirse entre el QSO y el observador (“intervening”) en material galáctico e intergaláctico, y no en el QSO mismo.

◆ Historia

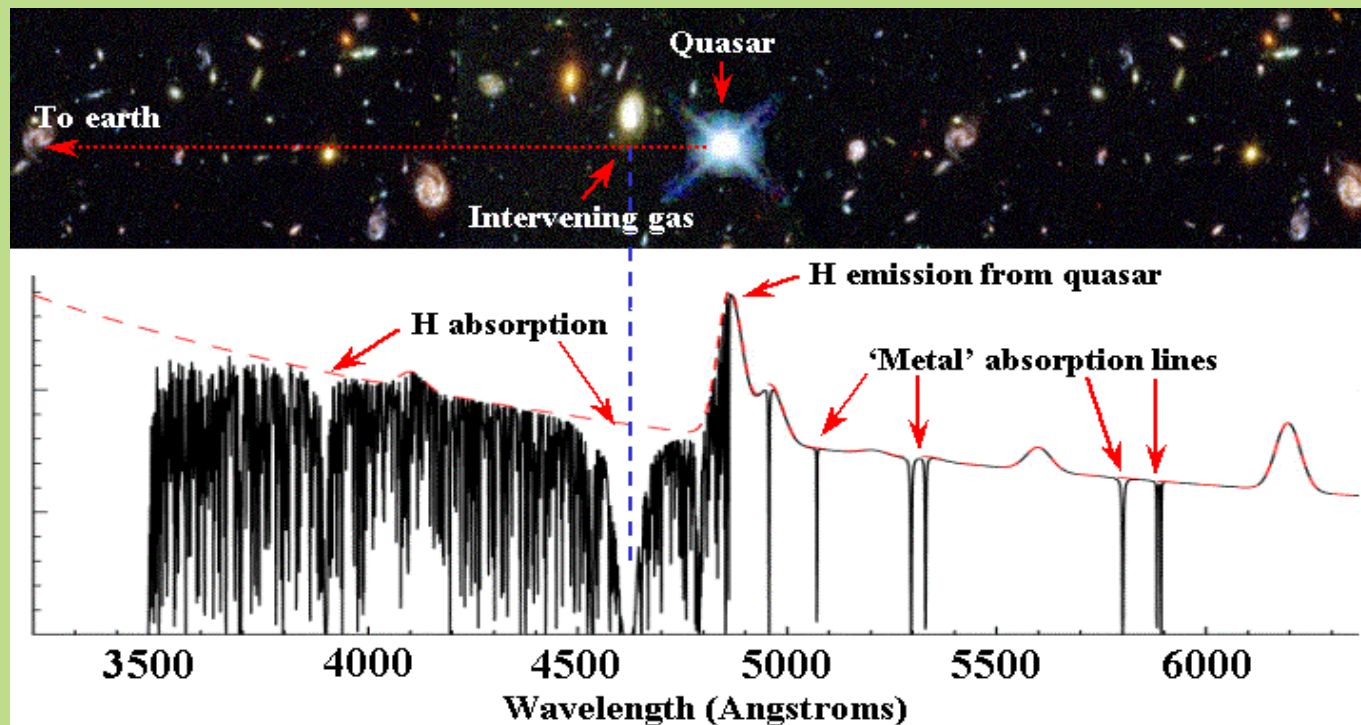
- ◆ Hoy en día está claro que son sistemas a distancias cosmológicas y no relacionados con el cuasar, aunque algunos sistemas sí están asociados al cuasar.



- ◆ Sistemas de absorcion hacia QSO
 - ◆ “Look-back” time y Edad del Universo

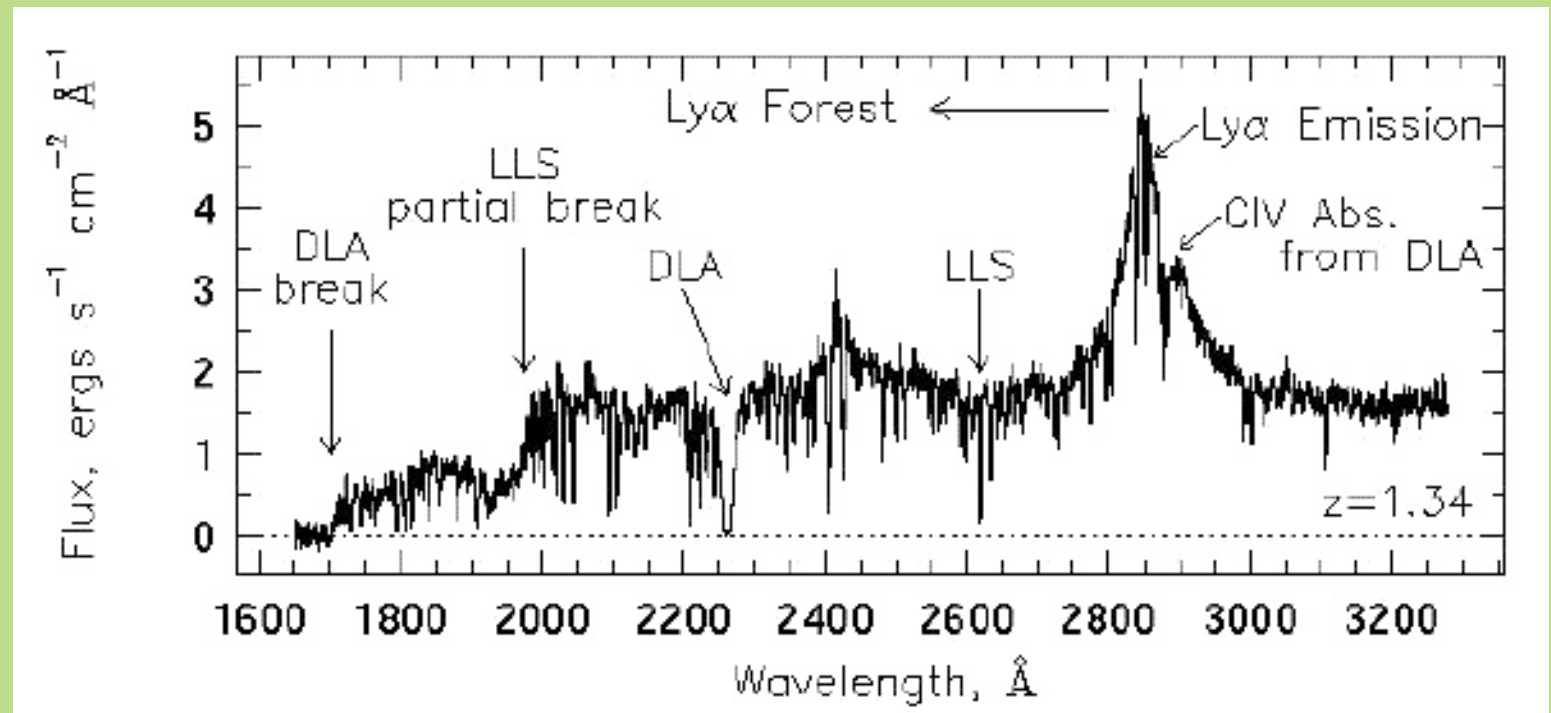


- ◆ Sistemas de absorción hacia QSOs
 - ◆ $z_{\text{abs}} = \lambda_{\text{obs}} / \lambda_0 - 1$
 - ◆ z_{abs} mapea distancia y look-back time
 - ◆ El espectro de un QSO muestra muchos sistemas con $z_{\text{abs}} < z_{\text{em}}$ (pero algunos con $z_{\text{abs}} \sim z_{\text{em}}$).

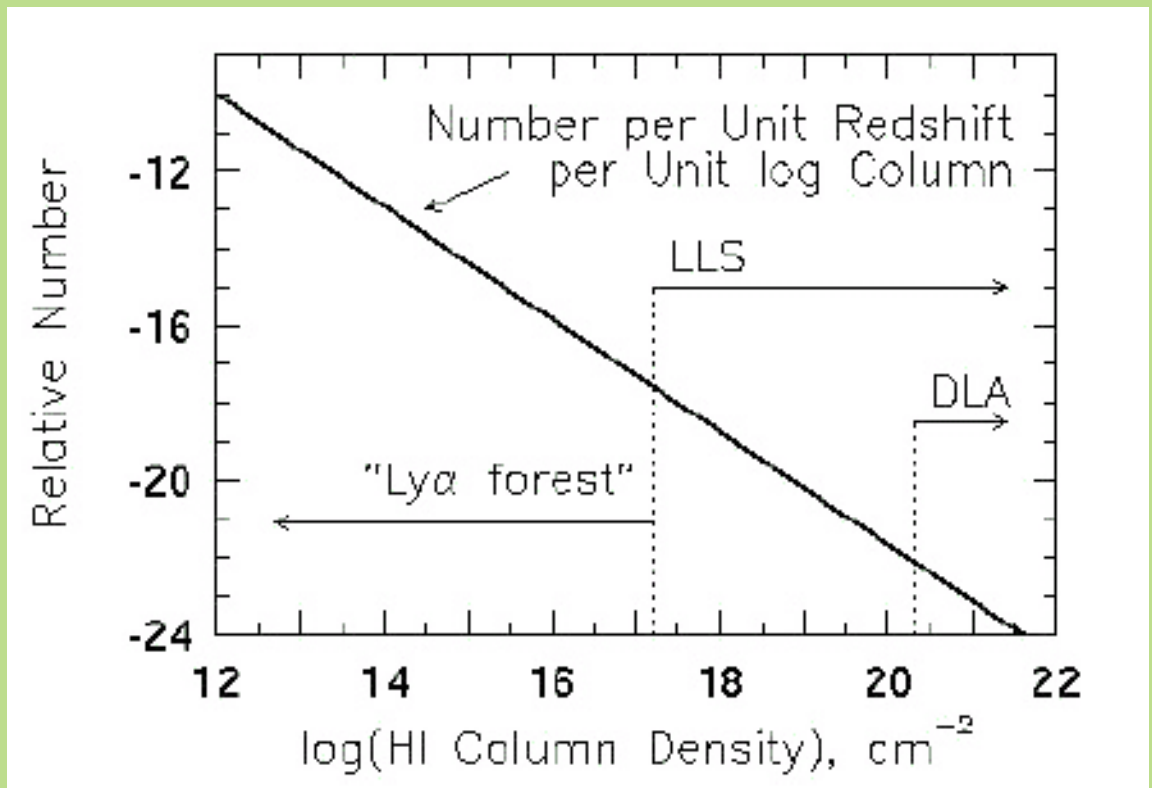


© M. T.
Murphy

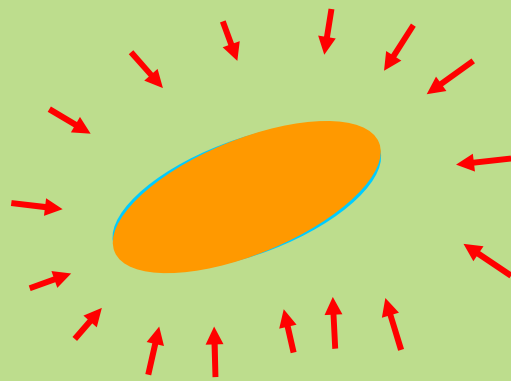
- ◆ Clasificación de los absorbentes por densidad de columna:
 - ◆ **DLAs** (“damped” Ly-a systems):
 $N_{\text{HI}} > 10^{20.3} \text{ cm}^{-2}$
 - ◆ **LLSs** (Lyman-limit systems):
 $N_{\text{HI}} > 10^{17} \text{ cm}^{-2}$
 - ◆ **Ly-a forest**: $N_{\text{HI}} < 17 \text{ cm}^{-2}$



- ◆ Clasificación de los absorbentes por densidad de columna:
 - ◆ **DLAs** (“damped” Ly-a systems):
 $N_{\text{HI}} > 10^{20.3} \text{ cm}^{-2}$
 - ◆ **LLSs** (Lyman-limit systems):
 $N_{\text{HI}} > 10^{17} \text{ cm}^{-2}$
 - ◆ **Ly-a forest**: $N_{\text{HI}} < 10^{17} \text{ cm}^{-2}$

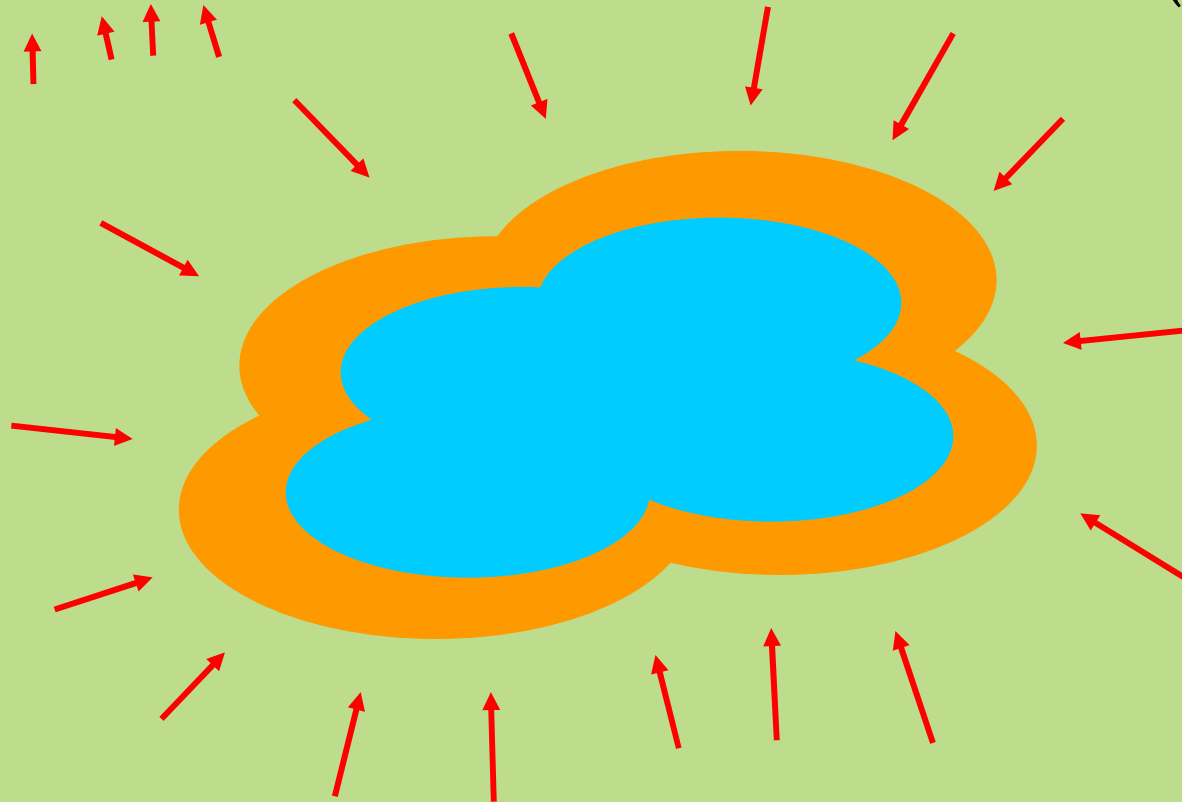


◆ Cuándo permanece neutral una nube



Profundidad óptica $\tau > 1$
para fotones con $E \sim 13.6 \text{ eV}$:

$$N(\text{HI}) > 3 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-2}$$



◆ Más historia

- ◆ En los años 80 se obtuvieron muchos espectros de QSOs usando grandes surveys

- ◆ LBQS

- ◆ HE/ESO



~1000

- ◆ Calán/Tololo

- ◆ Otros recientes (2dF, CLASS, SDSS, etc)



~50000

◆ Mas historia

- ◆ Énfasis de los surveys fue caracterizar el número de líneas por unidad de redshift dN/dz como función de z .
- ◆ Con telescopios de clase 4m fue posible hacer surveys con resolución $R = \lambda/d_\lambda = 1000$ (300 km/s) o 5 Å a (5000 Å)
- ◆ Los surveys se concentraron en distintas transiciones por distintas especies: MgII, CIV, LLS.

◆ Líneas UV más comúnmente observadas

Notar:

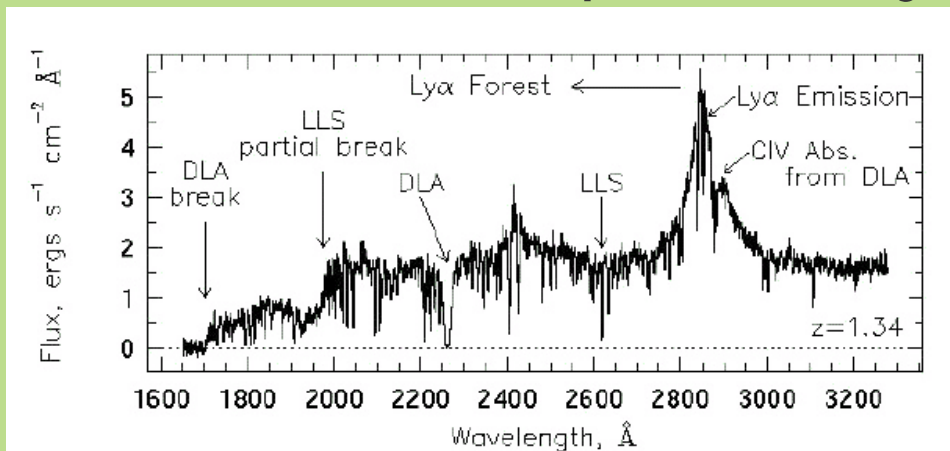
1. Absorción por línea de 21cm observada hacia algunas radiofuentes cercanas.

2. Forest de Helio II observada hacia ciertos cuasares “limpios”.

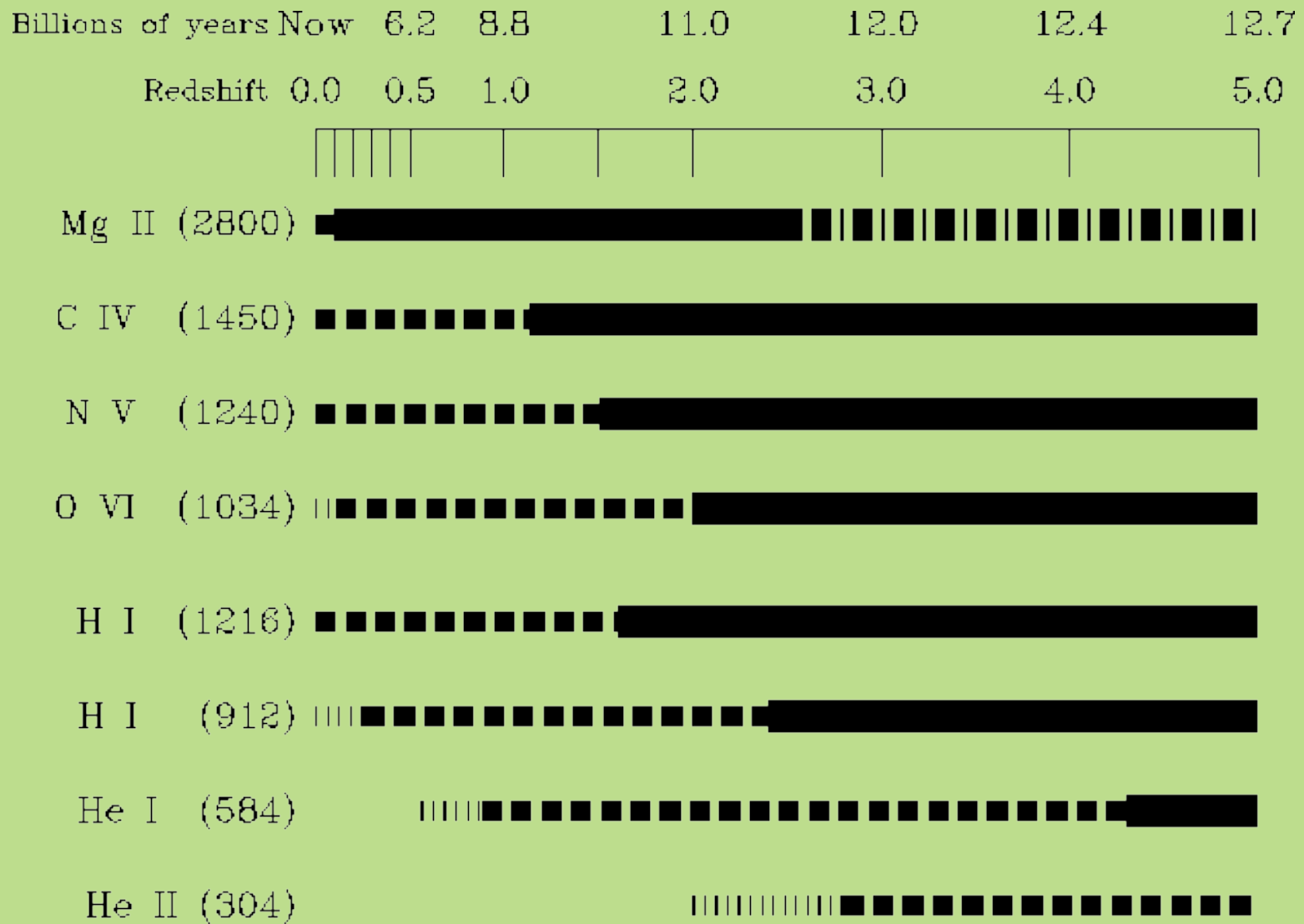
QSO Absorption Lines	
Transition	Vacuum Wavelength (Å)
Lyman limit	911.753
Ly γ	972.537
Ly β	1025.722
Ly α	1215.67
Si IV 1393	1393.755
Si IV 1402	1402.770
C IV 1548	1548.187
C IV 1550	1550.772
Fe II 2382	2382.765
Fe II 2600	2600.173
Mg II 2796	2796.352
Mg II 2803	2803.531

◆ Fenomenología

- ◆ Ly-alpha $1215 \text{ \AA}$ se puede observar en el óptico desde $z=1.6$
- ◆ MgII $2796, 2803 \text{ \AA}$ se puede observar desde $z=0.2$
- ◆ CIV $1548, 1550 \text{ \AA}$ desde $z=1.1$
- ◆ Lyman-limit “breaks” $912 \text{ \AA}$ desde $z=2.6$
- ◆ Y redshifts menores en el UV (HST)
- ◆ Cada una de estas especies revela gas con condiciones físicas particulares de abundancia, densidad, temperatura, y nivel de ionización)



◆ Fenomenologia



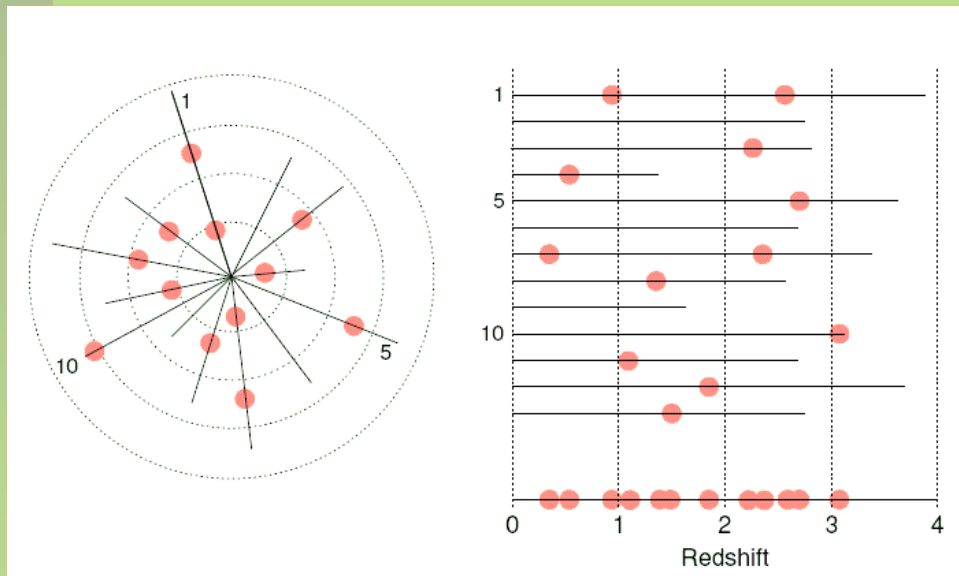
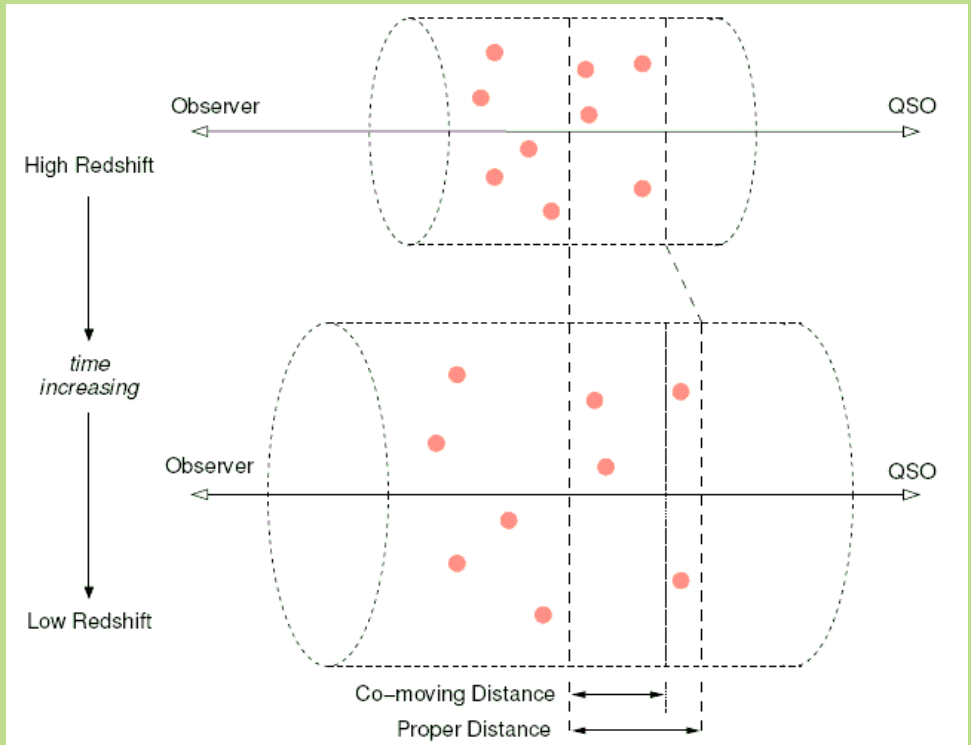
◆ Fenomenología

- ◆ Para considerar la “cross-section” de las diferentes clases de absorbentes, se asumió que la línea de visión (LOS) que intercepta a una galaxia luminosa ($>0.05L^*$) a cierto radio R producía un sistema de absorción.

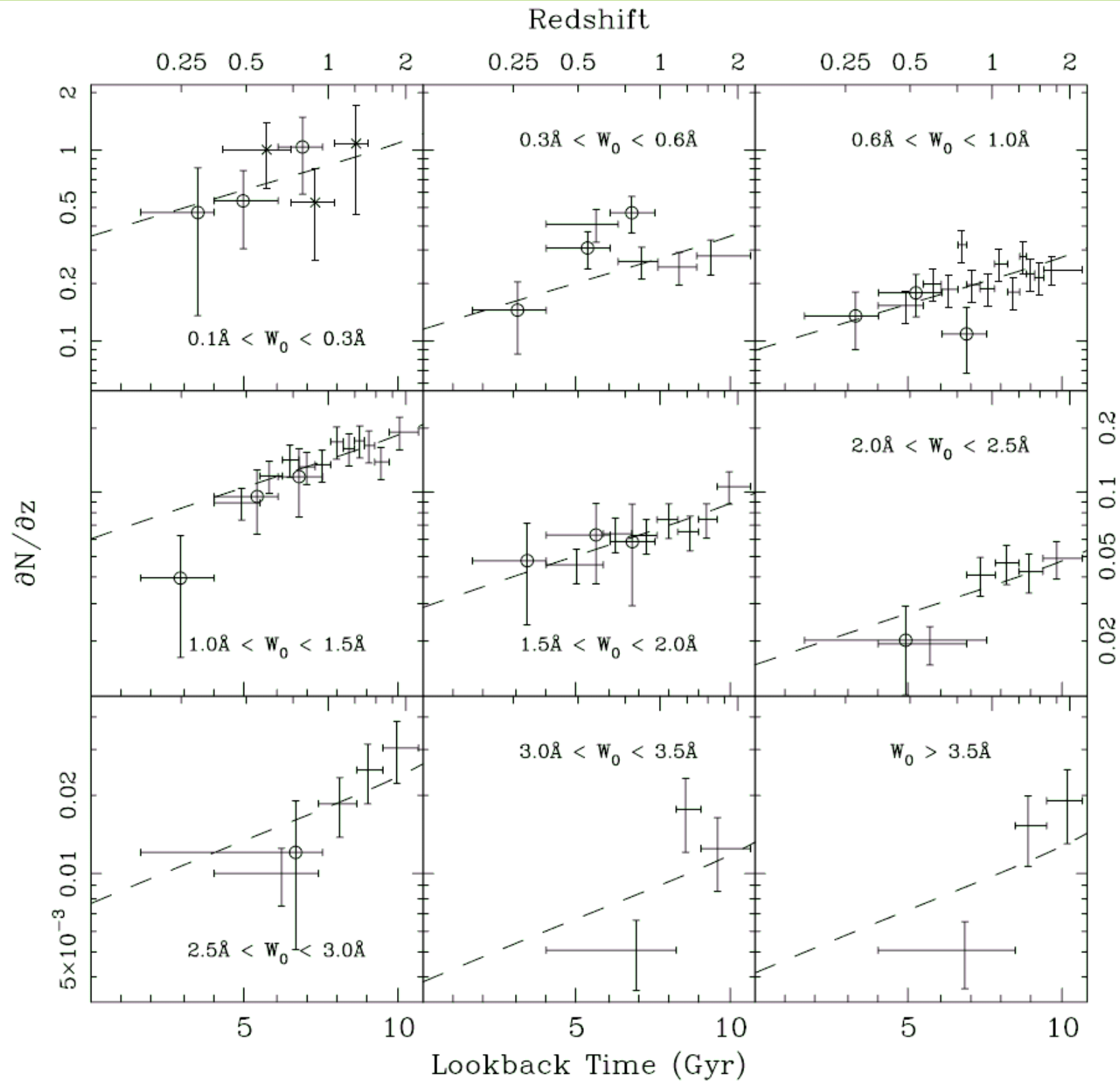
Surveys of Absorption Line Systems

$$\frac{dN}{dz} = N(z) \frac{(1+z)^2}{\sqrt{\Omega_m(1+z)^3 + \Omega_\Lambda}}$$

$$N(z) = \frac{c}{H_o} n(z) \sigma(z).$$

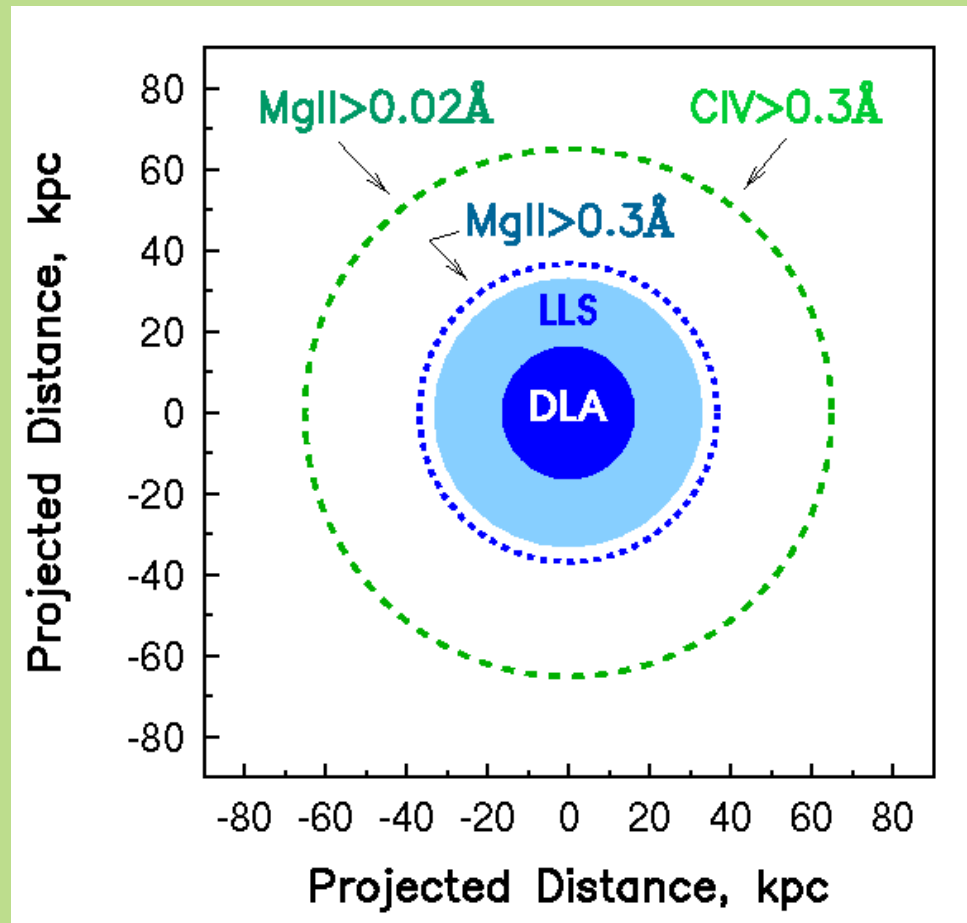


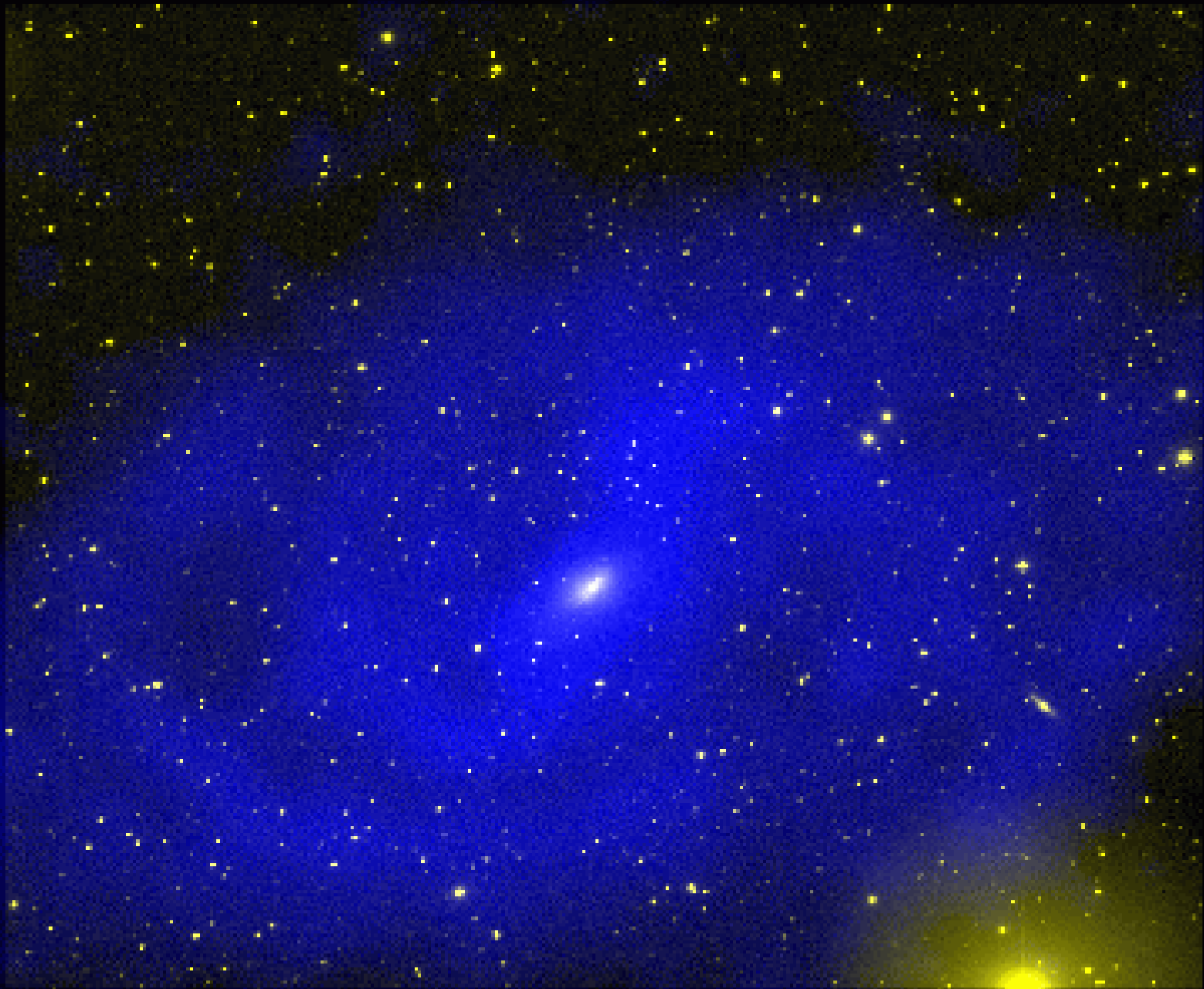
$$\mathcal{N}(\langle z \rangle) \equiv \frac{dN(\langle z \rangle)}{dz} = \frac{N_{abs}}{\Delta Z(W_{min})}$$



◆ Fenomenología

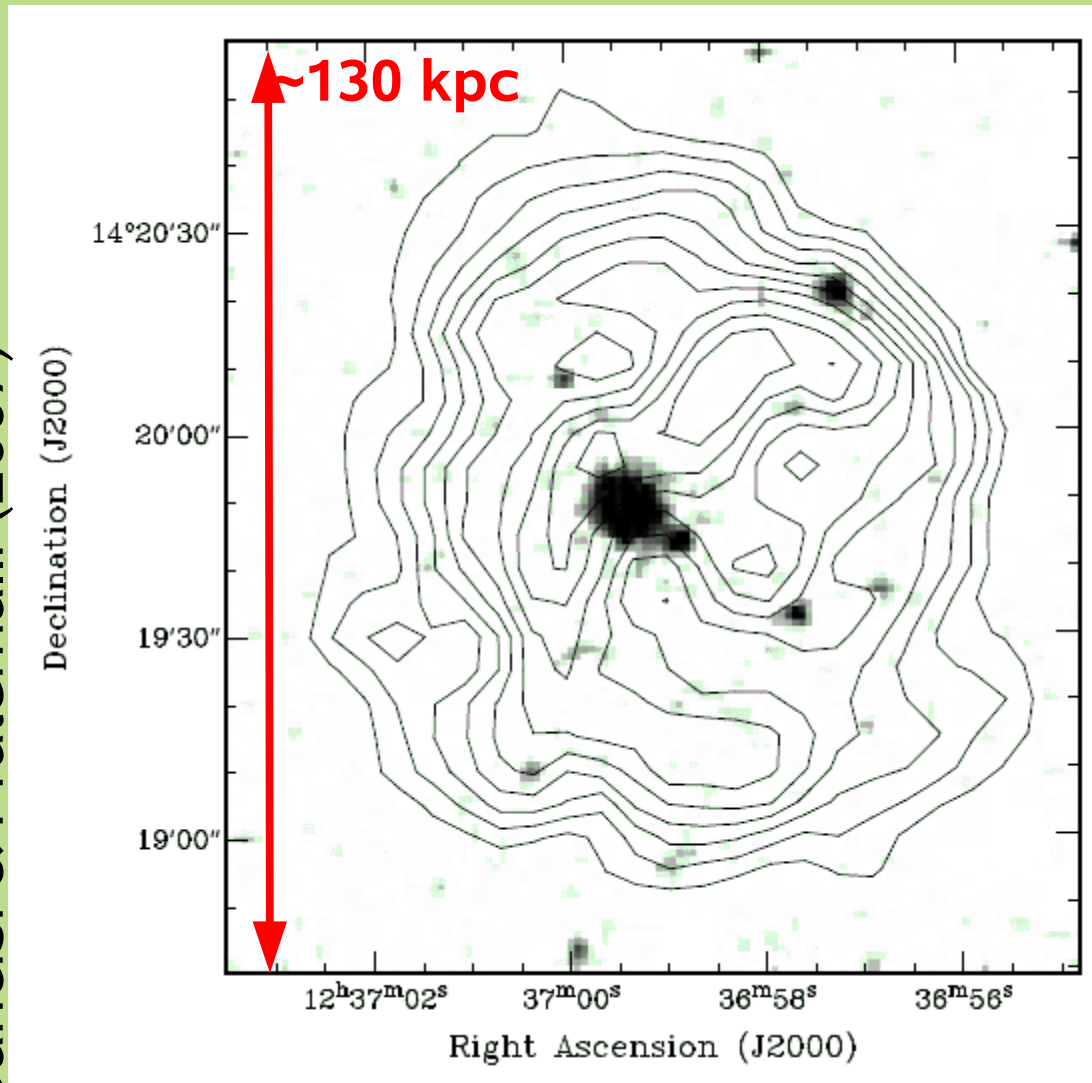
- ◆ Para considerar la “cross-section” de las diferentes clases de absorbentes, se asumió que la línea de visión (LOS) que intersepta a una galaxia luminosa ($>0.05L^*$) a cierto radio R producía un sistema de absorción.





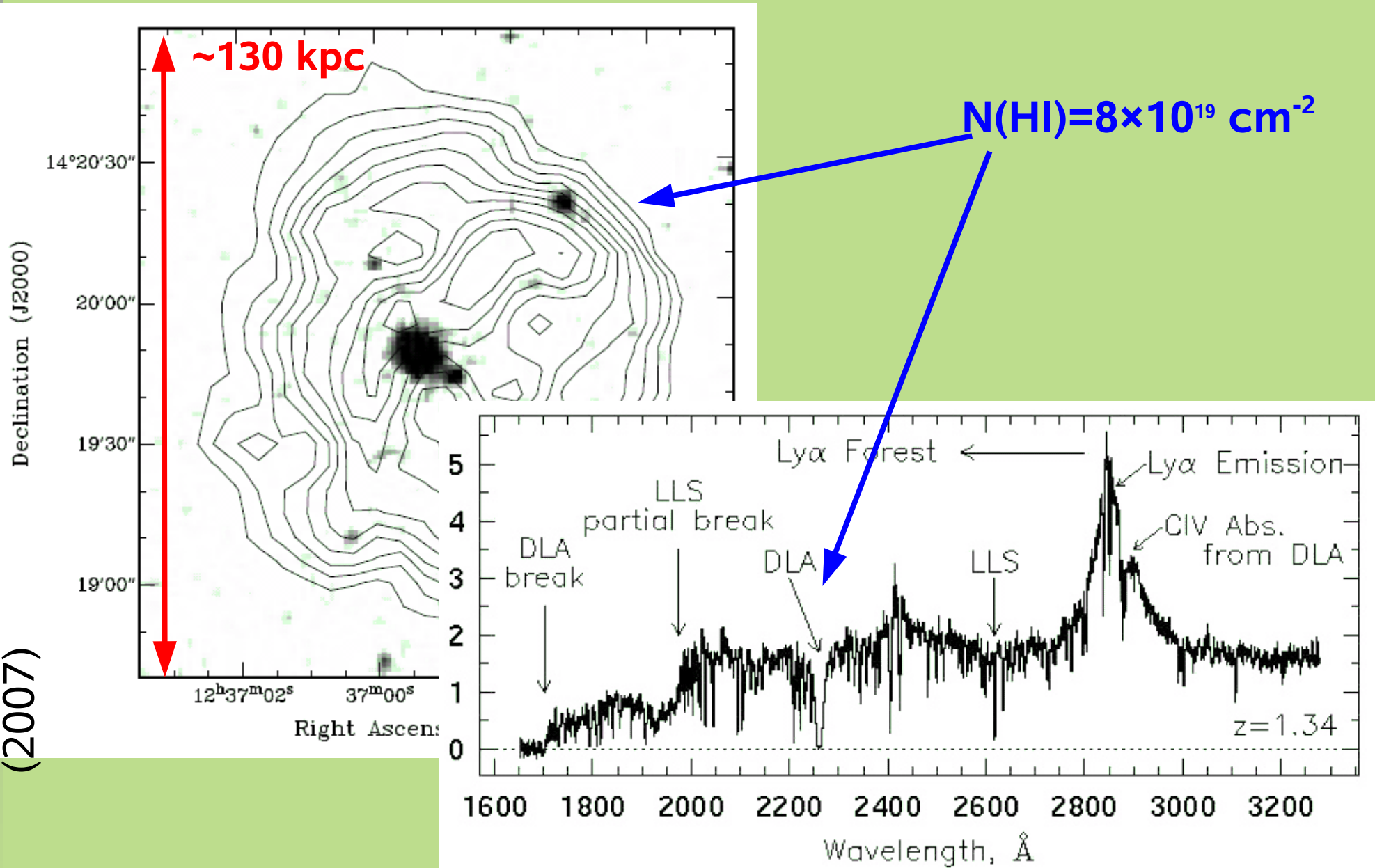
Universo local

Sancisi & Fraternali (2007)



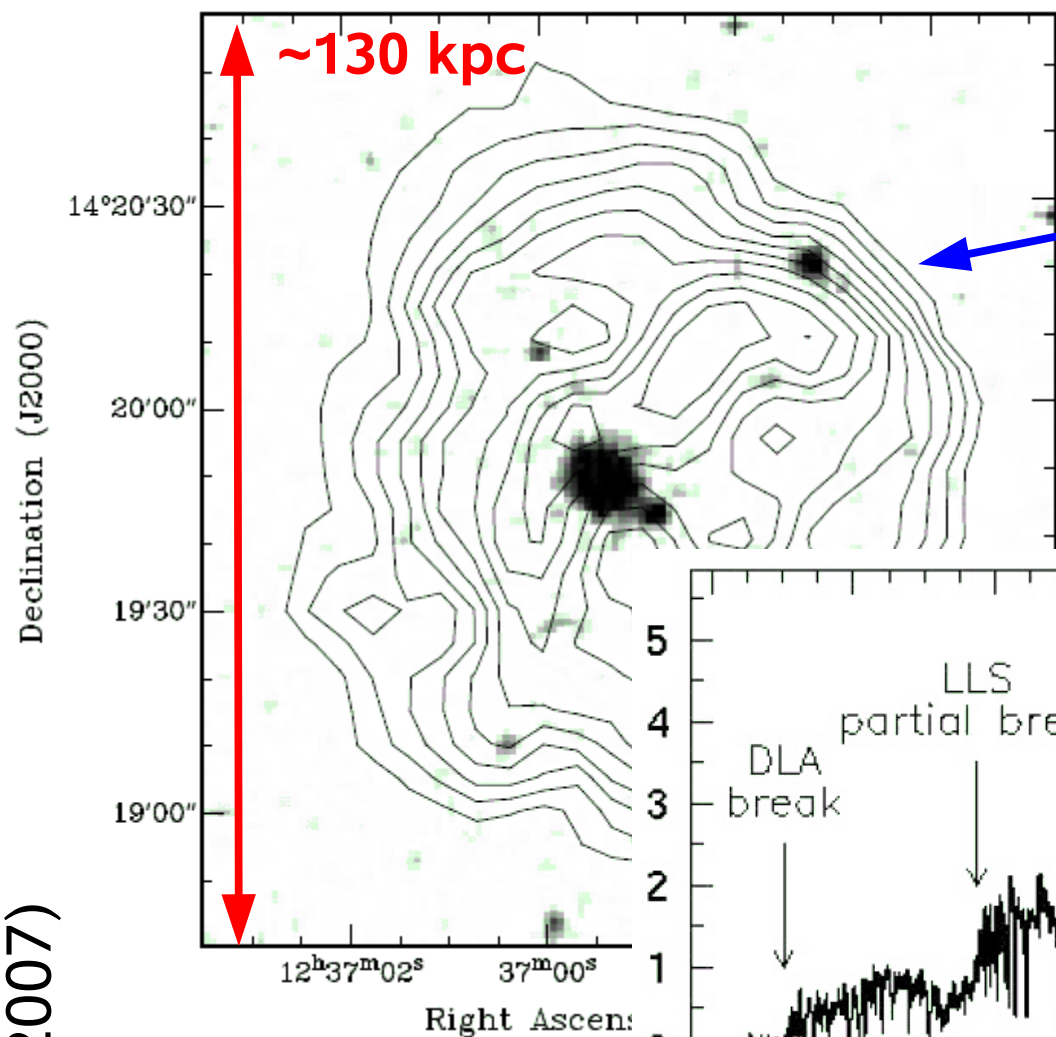
Universo local

Sancisi & Fraternali
(2007)



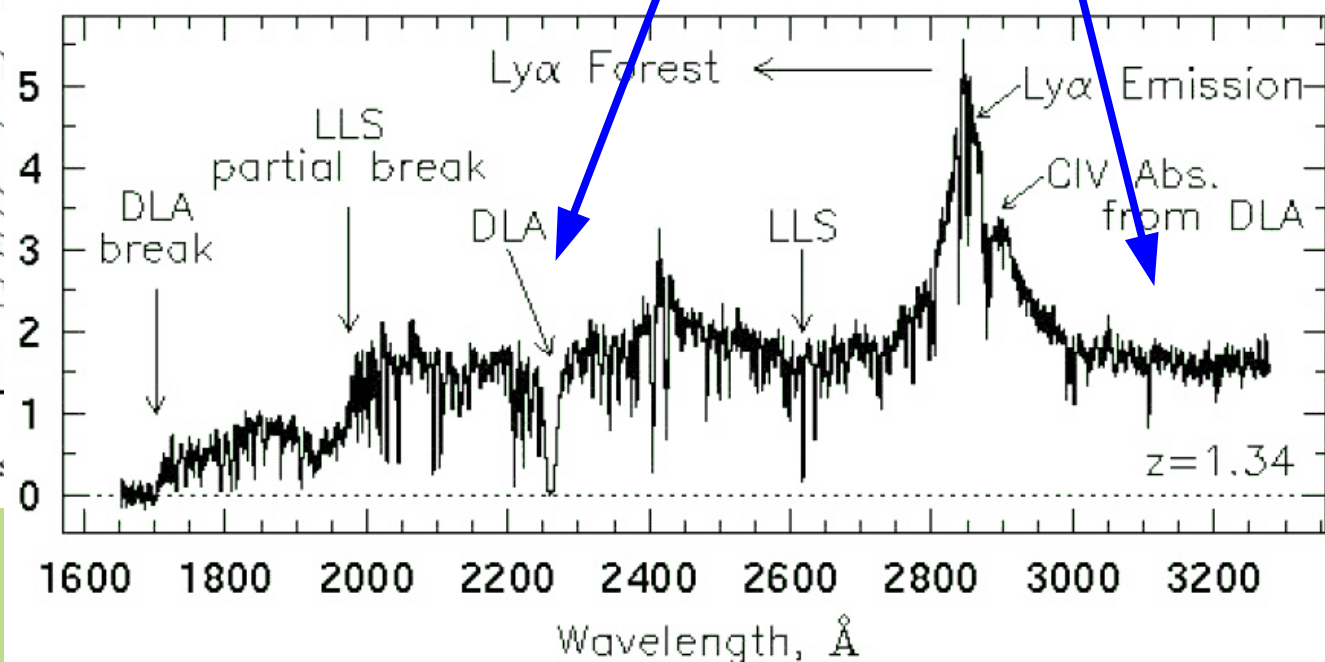
Universo local

Sancisi & Fraternali
(2007)



$$N(\text{HI}) = 8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-2}$$

Redshifted Metal Line

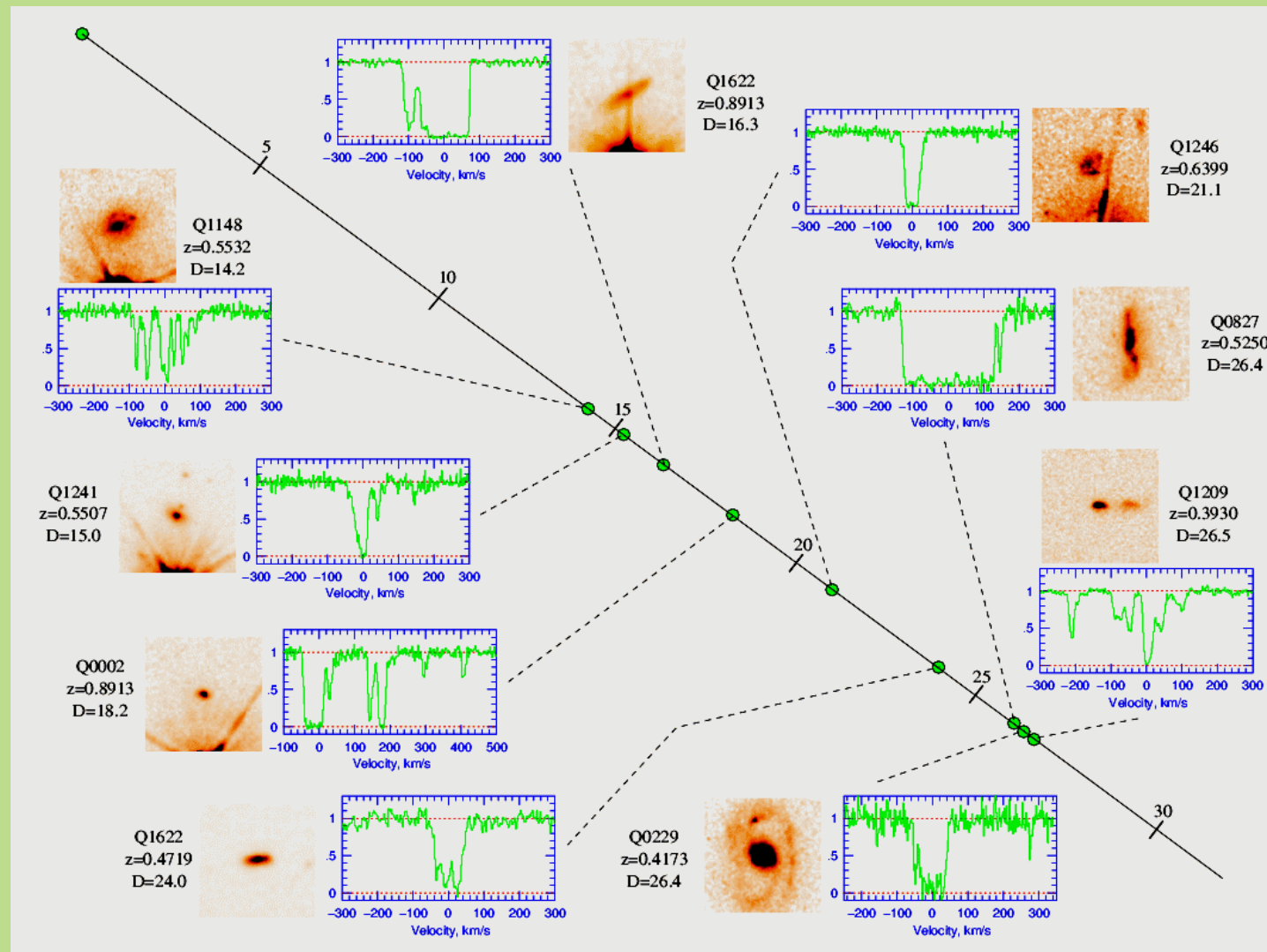


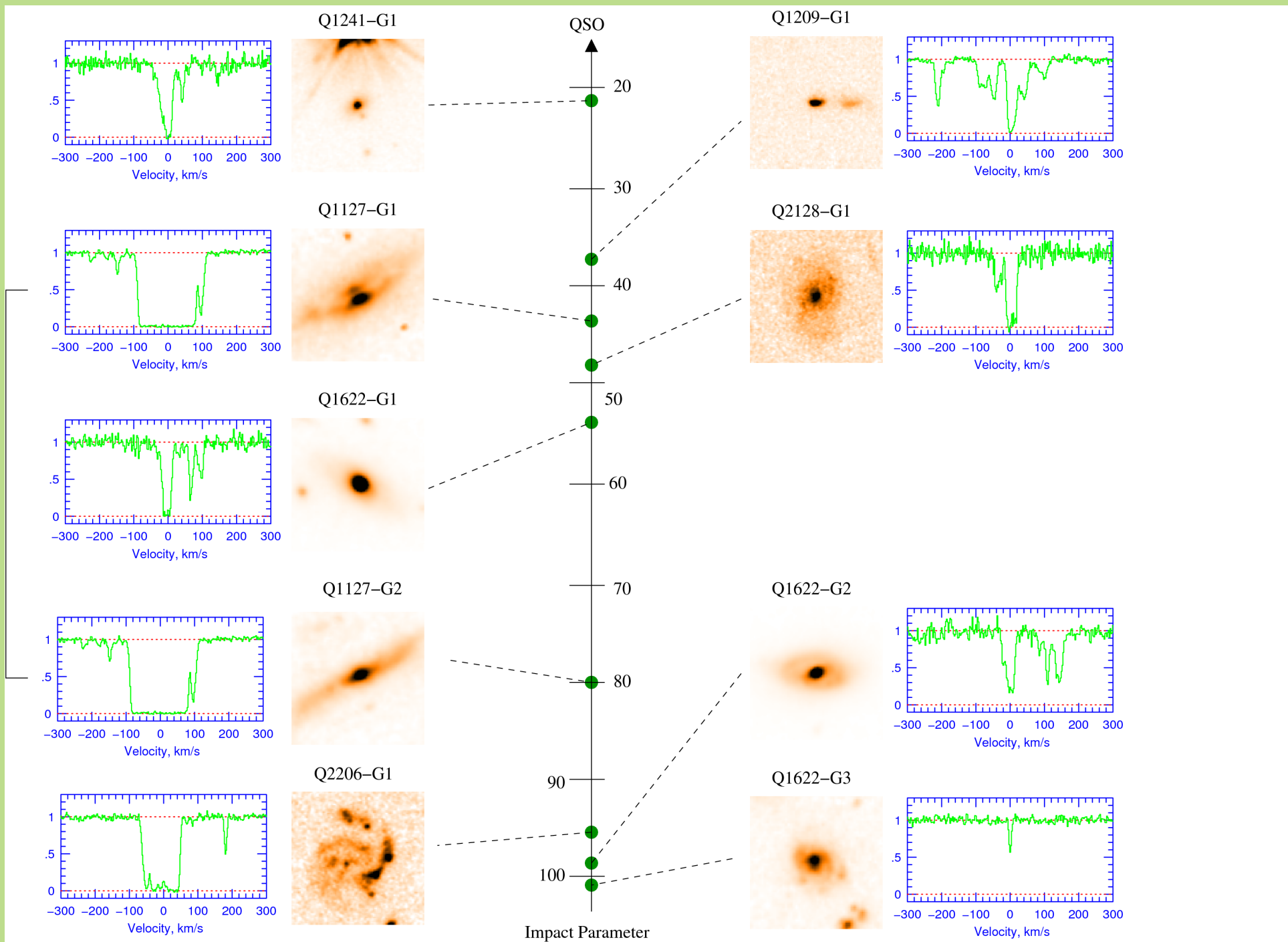
◆ Historia reciente

- ◆ En los años 90, hubo 4 grandes avances:
 - ◆ 1. Imágenes profundas en campos de QSOs con sistemas conocidos y espectroscopía de baja resolución de las galaxias permitieron la Identificación de sistemas de absorción con galaxias (Bergeron et al. 1991 A&A 243, 344; Steidel et al. 1994, ApJL 437, 75)

◆ Historia

- ◆ En los años 90, hubo 4 grandes avances:
 - ◆ Imágenes profundas (HST) en campos de QSOs con sistemas conocidos.



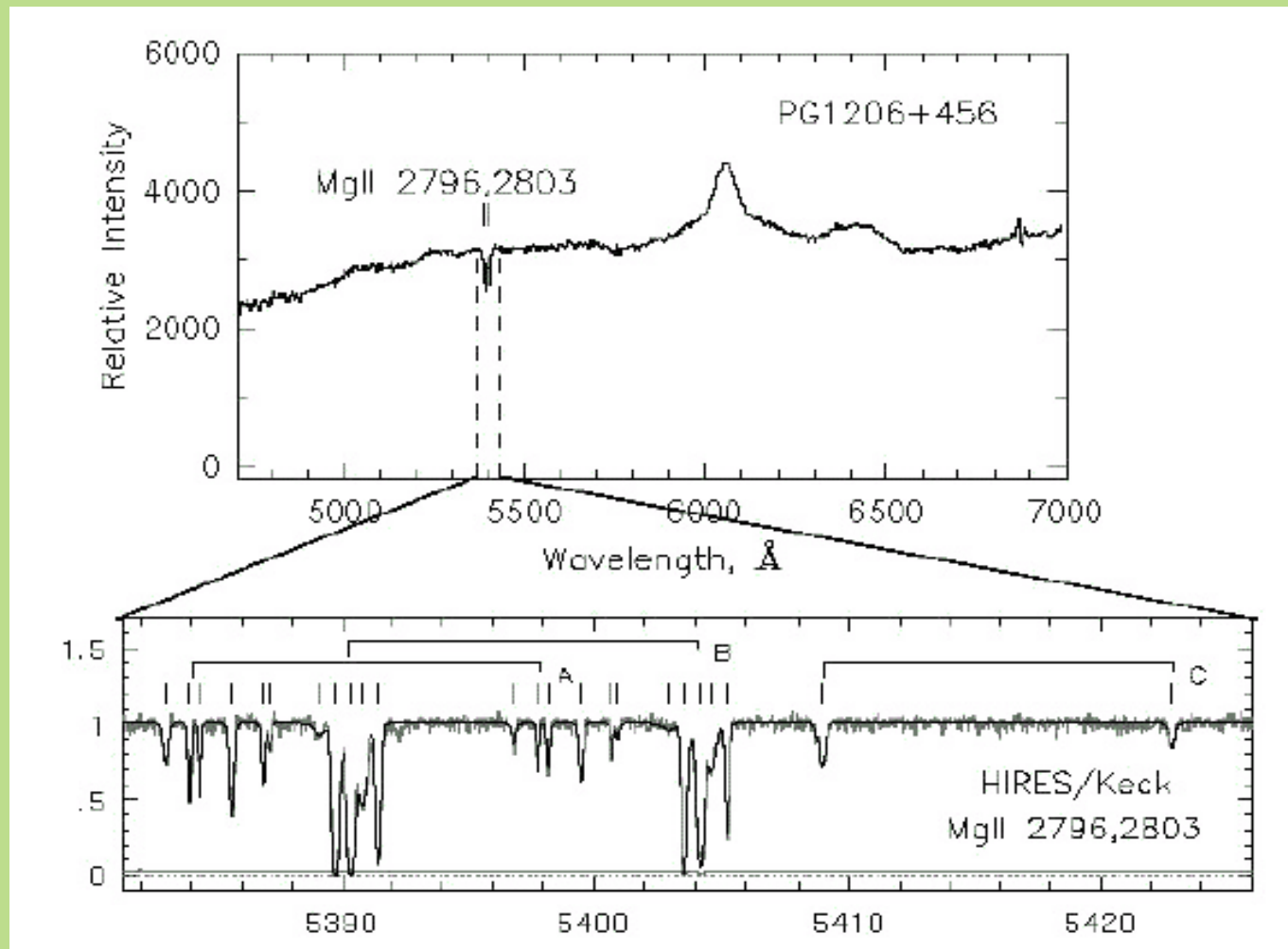


◆ Historia

- ◆ En los años 90, hubo 4 grandes avances:
 - ◆ 2. Keck HIRES (luego VLT UVES) permitió espectroscopía a $R=45000$ (6 km/s). Se resolvió la estructura cinemática alrededor de galaxias.
 - ◆ Nubes en los halos
 - ◆ ISM de los discos
 - ◆ Metales en el Ly-alpha forest!!!

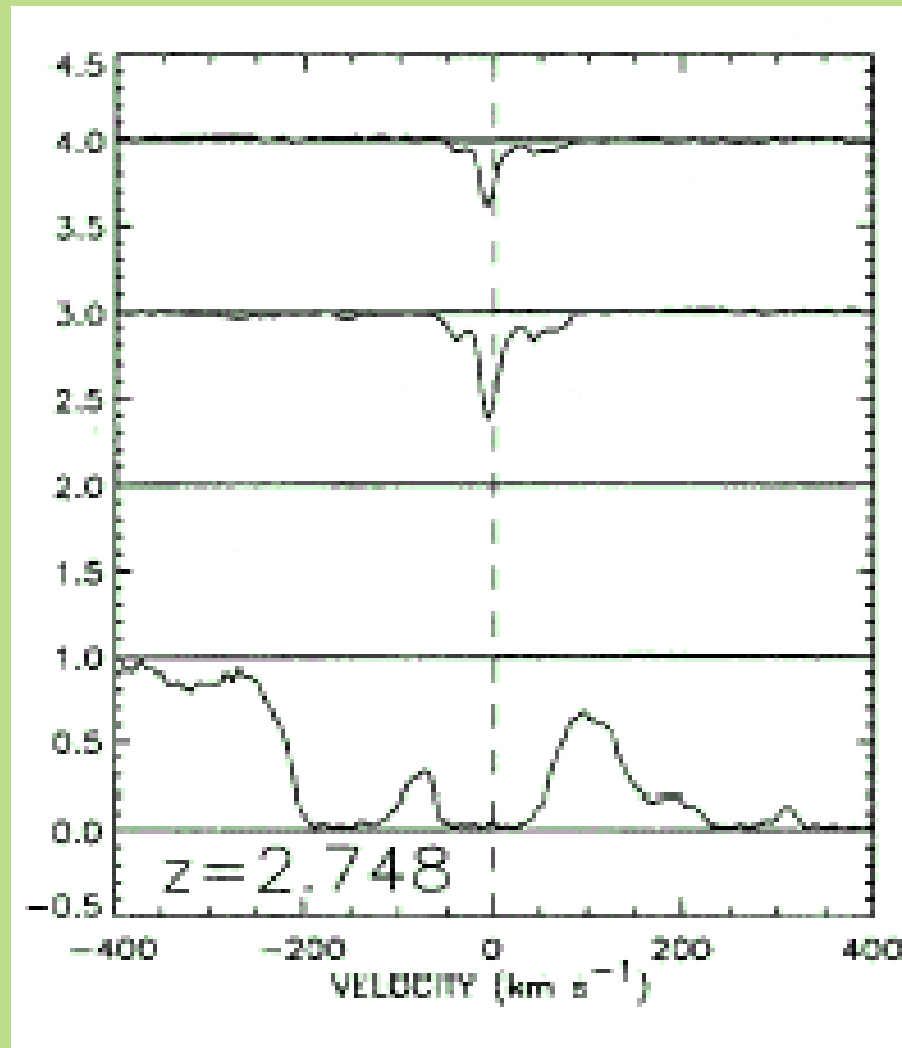
◆ Historia

- ◆ En los años 90, hubo 4 grandes avances:
 - ◆ Keck HIRES permitió espectroscopía a $R=45000$ (6 km/s). Se resolvió la estructura cinemática alrededor de galaxias



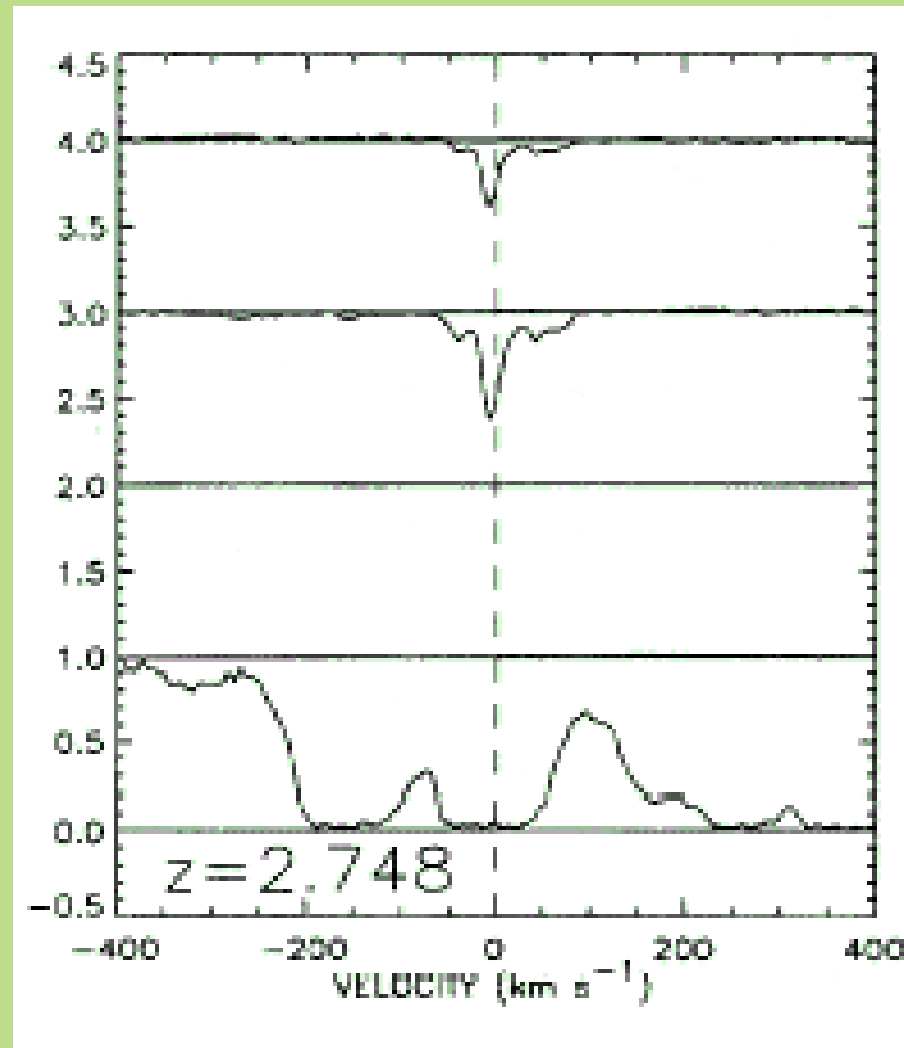
◆ Historia

- ◆ En los años 90, hubo 4 grandes avances:
 - ◆ Keck HIRES permitió espectroscopía a $R=45000$ (6 km/s). Metales en la Ly-alpha forest!



◆ Historia

- ◆ En los años 90, hubo 4 grandes avances:
 - ◆ Un sistema de absorción tiene una o más componentes de velocidad (“nubes”)



◆ Historia

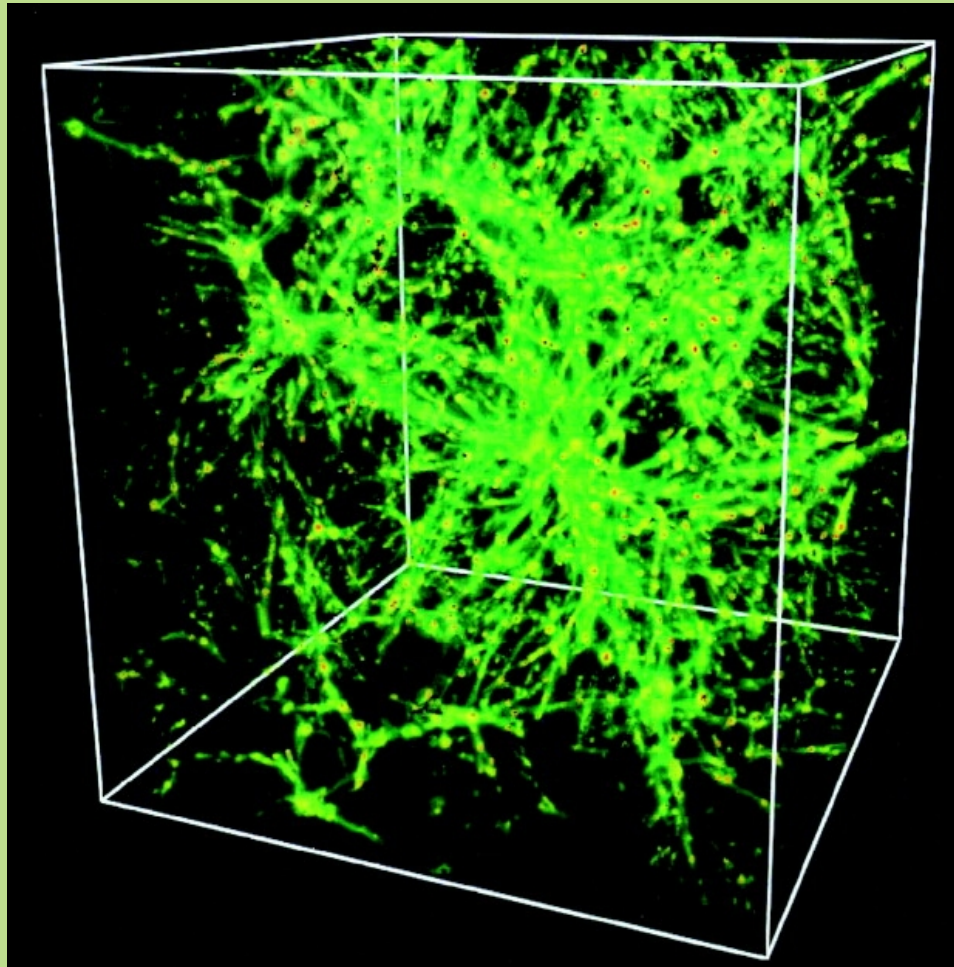
- ◆ En los años 90, hubo 4 grandes avances:
 - ◆ 3. HST FOS permitió observaciones en el UV (menor redshift) a resolución $R=1000$
 - ◆ dN/dz de nubes Ly-alpha hasta $z=0$
 - ◆ CIV asociado a MgII en el óptico
 - ◆ Condiciones de fotoionización y agente fotoionizante (normalización y forma).
 - ◆ Imagen de alta resolución.

◆ Historia

- ◆ En los años 90, hubo 4 grandes avances:
 - ◆ 4. Surveys exitosos descubrieron muchos QSOs hasta $z > 6$!

◆ Historia

- ◆ Pero hay otra fuente de conocimiento:
 - ◆ Simulaciones!



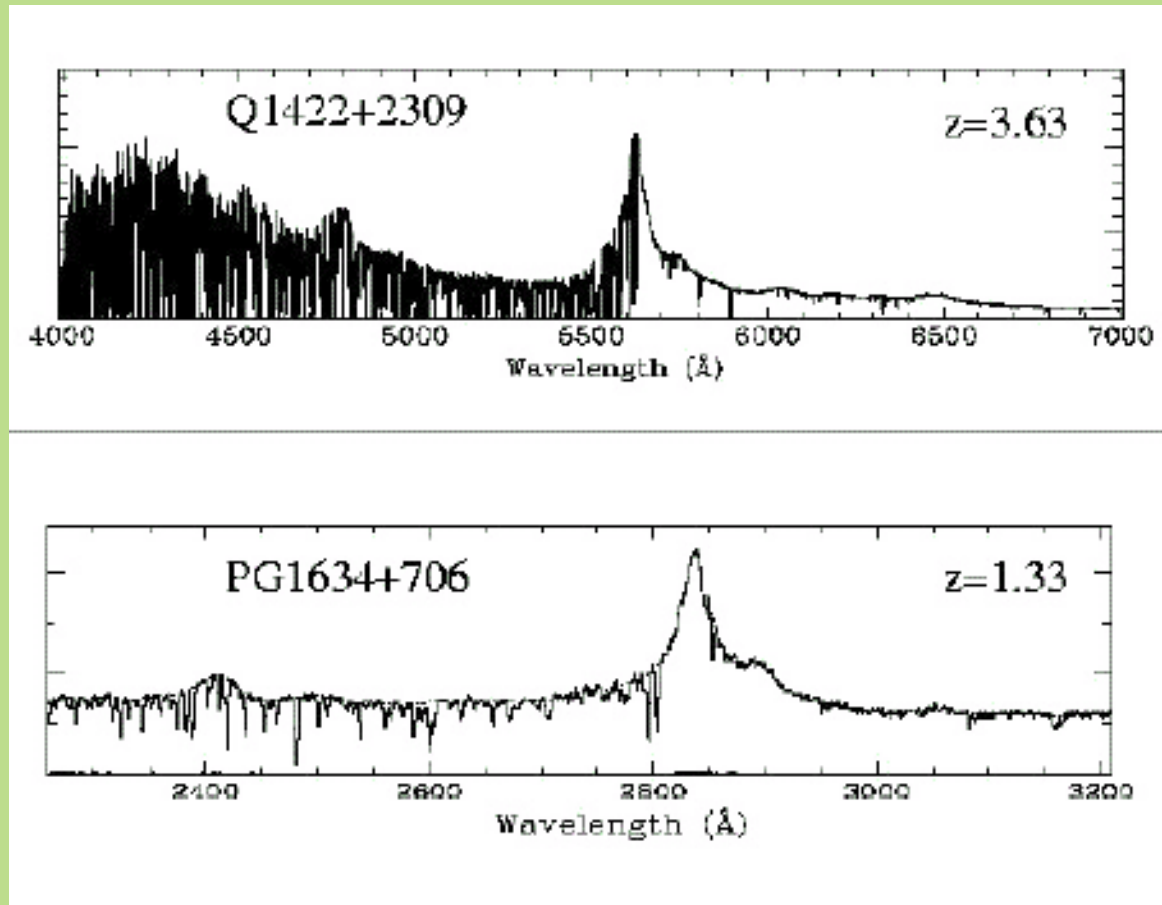
Cen & Ostriker (1999)

◆ Presente

- ◆ Hoy sistemas de absorción es una herramienta muy potente para el estudio de la evolución del Universo (LSS, galaxias, formación estelar)
 - ◆ Densidades bajo densidad crítica son detectadas
 - ◆ El número de absorbentes es independiente de las propiedades del QSO (“unbiased”)
 - ◆ Resolución espectral alta permite resolver anchos de las líneas (Temperatura)
 - ◆ QSO hasta redshift >6 han sido detectados (90% look-back time)

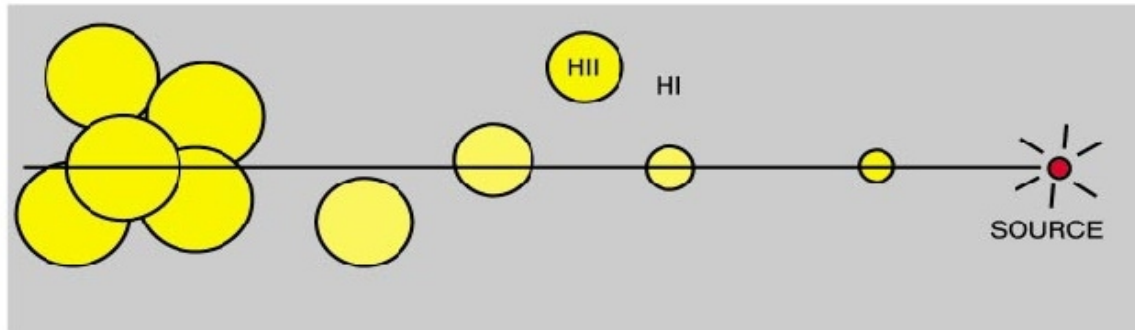
◆ Presente

- ◆ QSO hasta redshift >6 han sido detectados (90% look-back time). Epoca de la reionización...

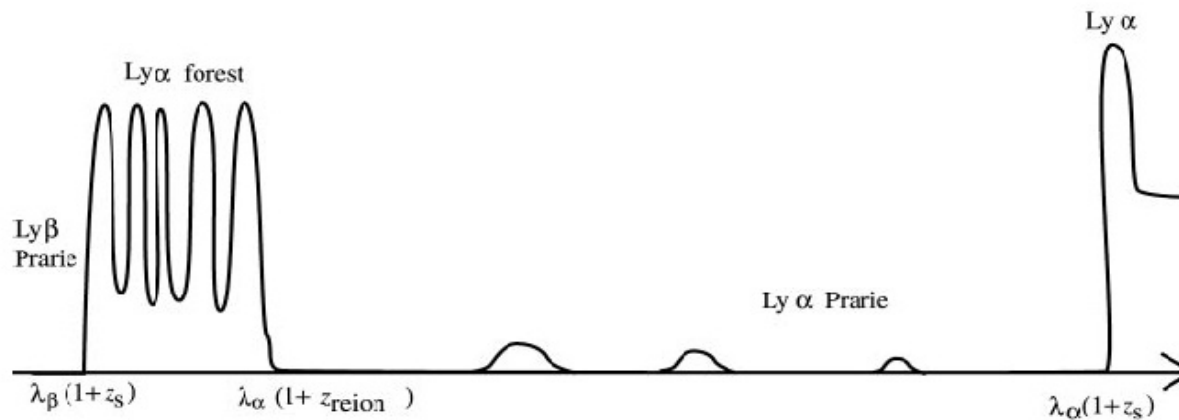


◆ Presente

- ◆ QSO hasta redshift >6 han sido detectados (90% look-back time). Epoca de la reionizacion...

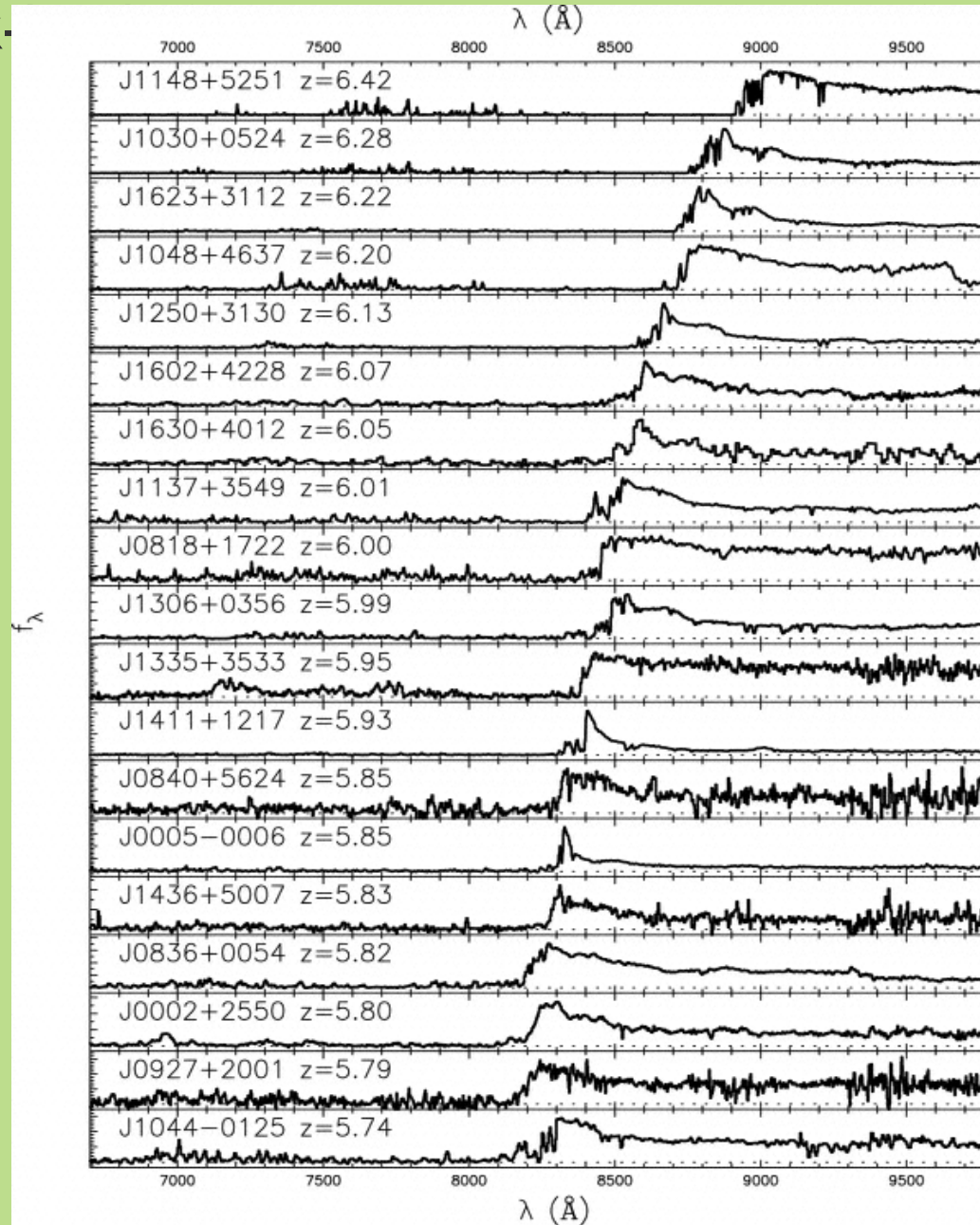


Spectrum



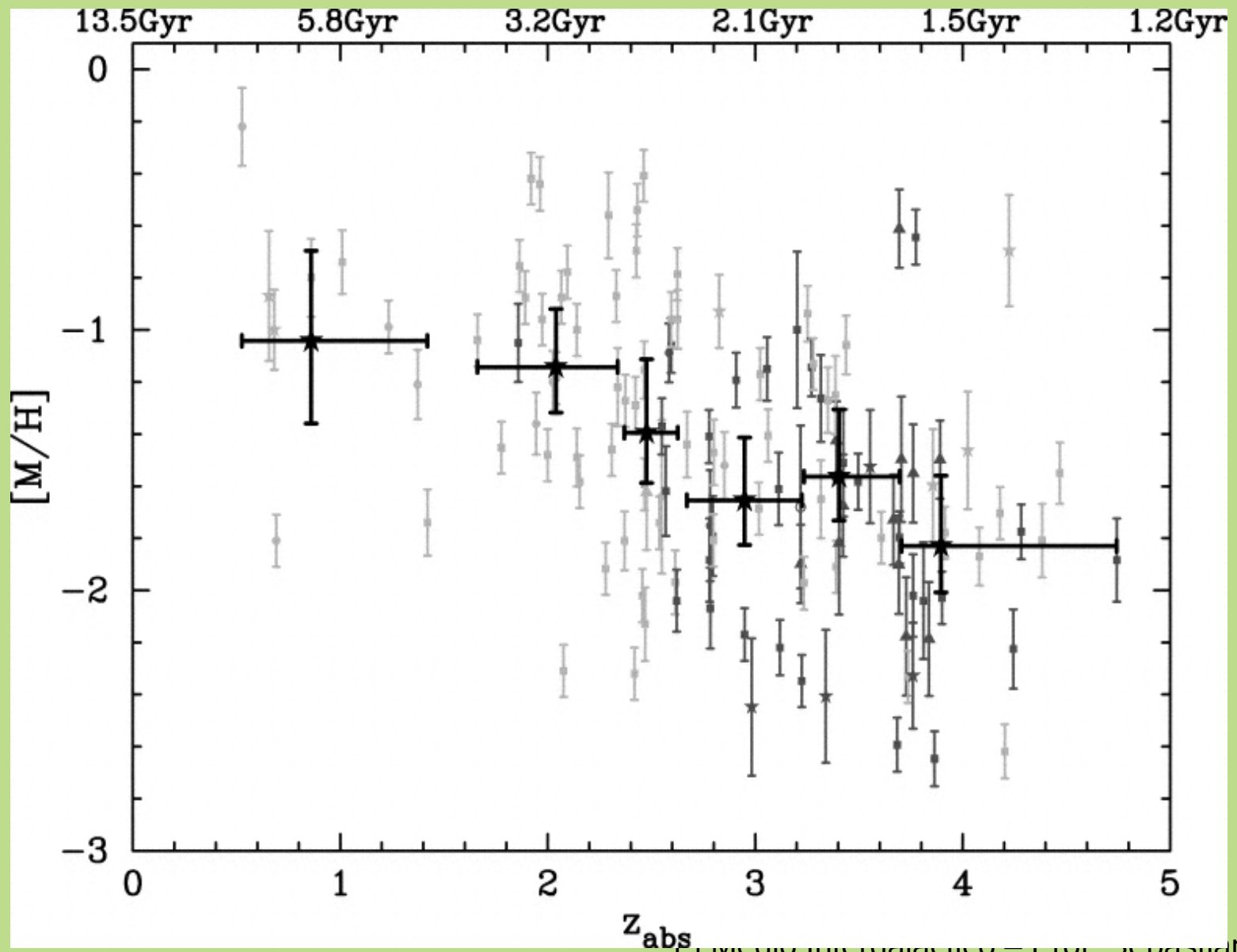
◆ Presente

- ◆ QSO hasta redshift >6 han sido detectados (90% look-



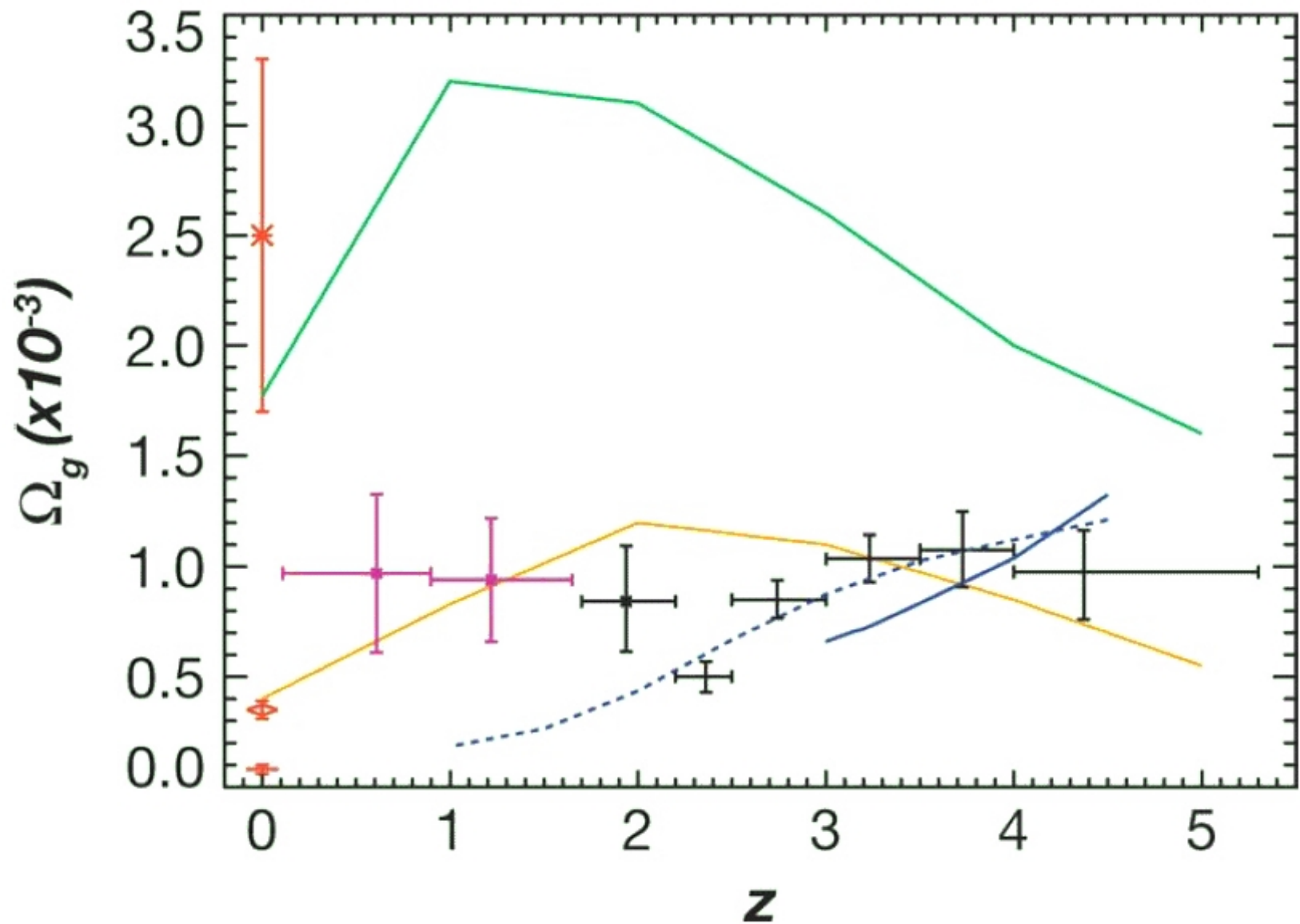
◆ Presente

- ◆ Mediciones de metalicidad del gas.



◆ Presente

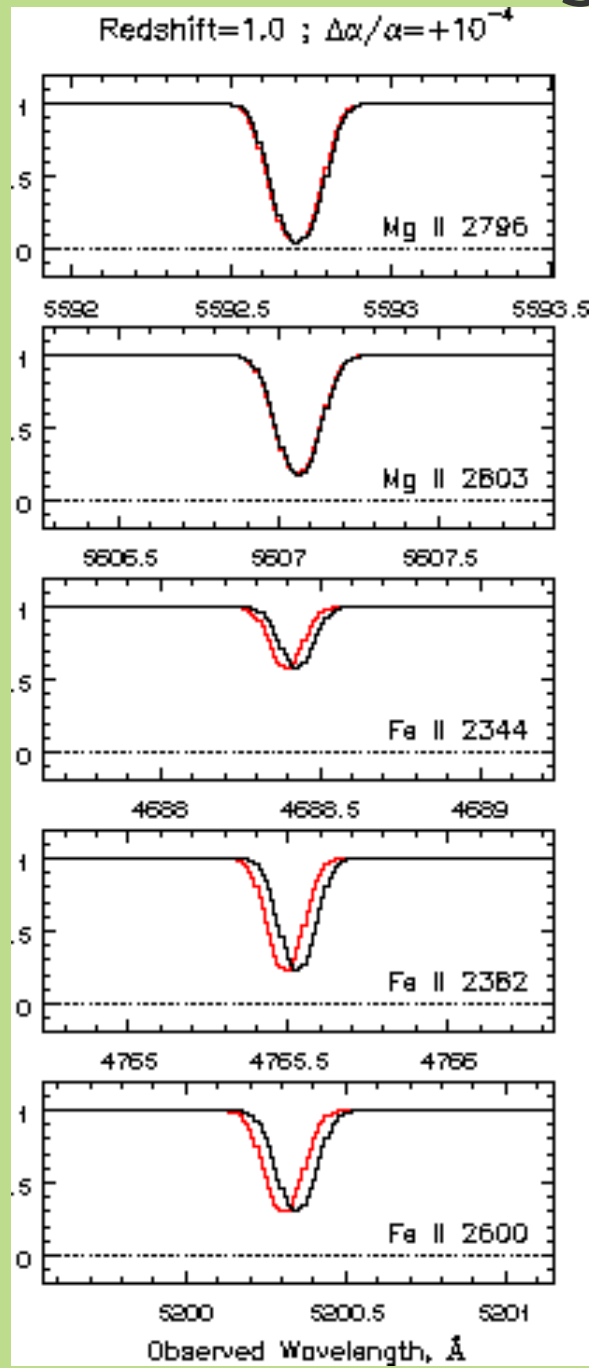
- ◆ Mediciones de la densidad cosmologica de HI



◆ Posible variación cosmológica de alpha

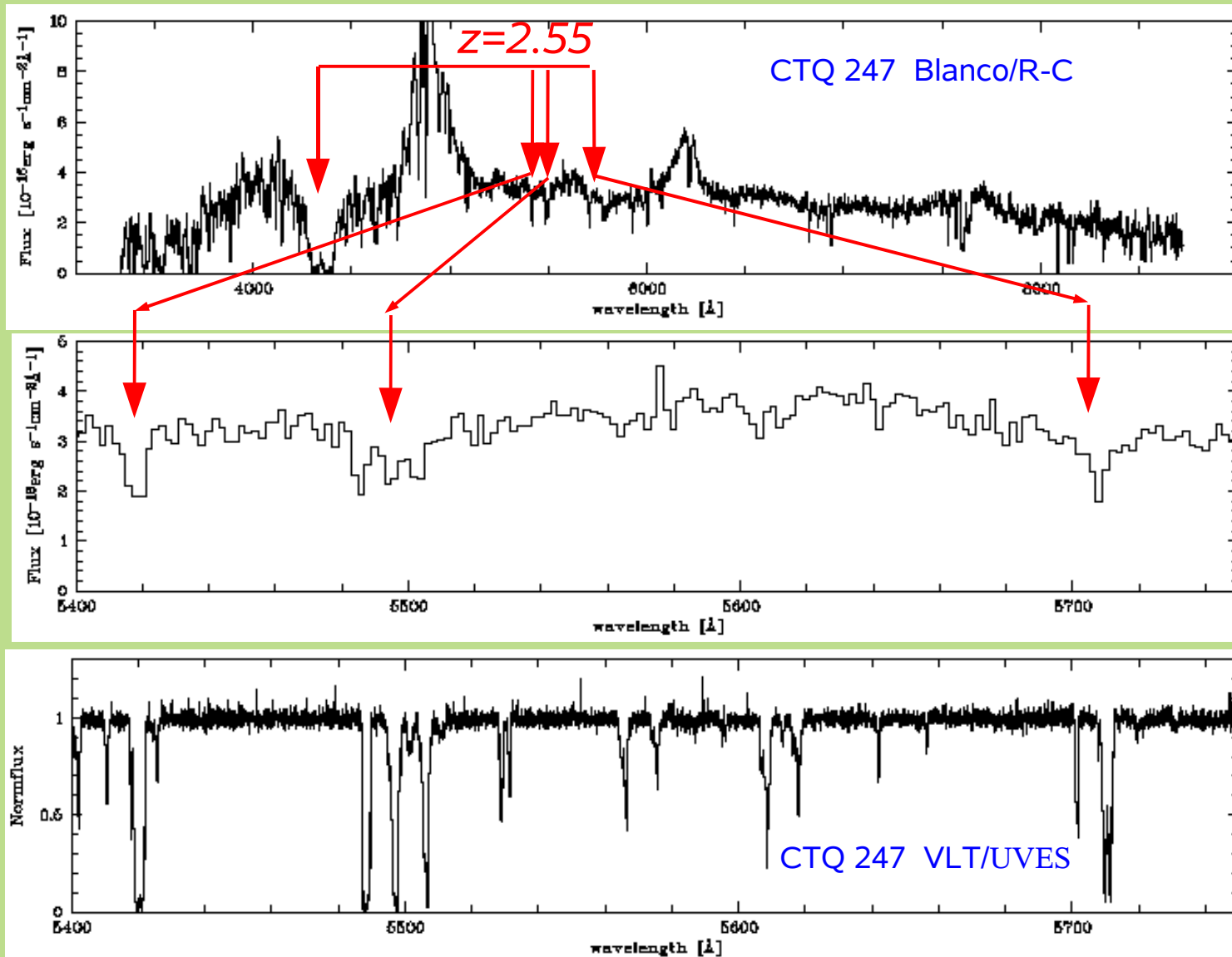
$$\alpha = \frac{1}{2\epsilon_0} \frac{e^2}{hc} = \frac{1}{137.03599958(52)}$$

◆ Posible variación cosmológica de alpha



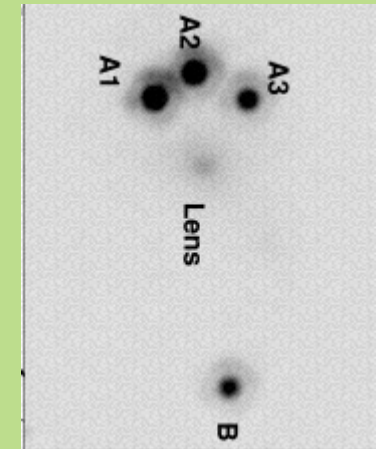
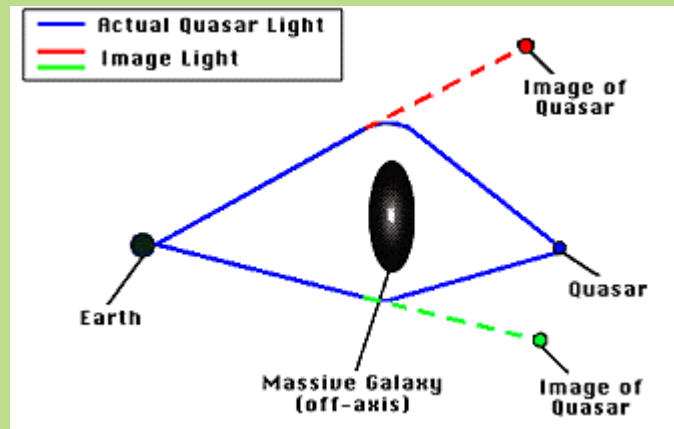
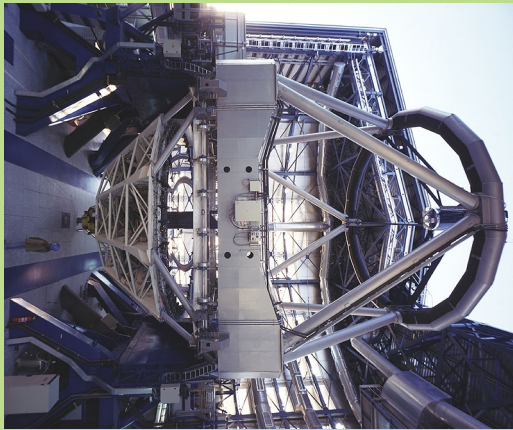
◆ Alta resolución spectral es crucial

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = 800$$



$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = 45000$$

◆ Alta resolución spectral es crucial



◆ Alta resolución spectral es crucial

