

AS750 Observational Astronomy

Prof. Sebastian Lopez
Lecture 11

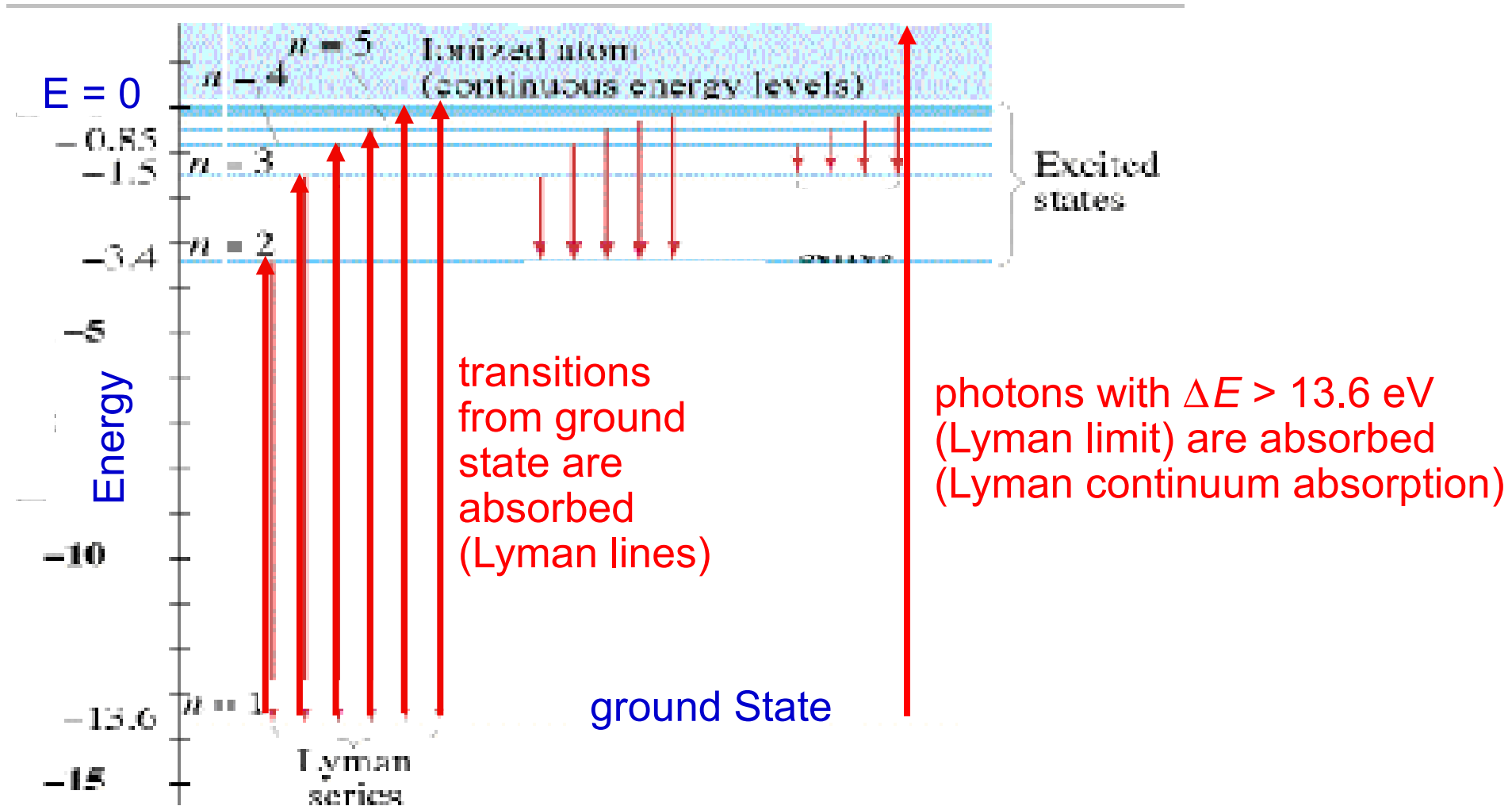
Conceptos de espectroscopía

- Propósitos de la espectroscopía
- Fenomenología, perfil instrumental
- Perfil de Voigt
- Ancho equivalente, Curva de crecimiento
- Espectrógrafos

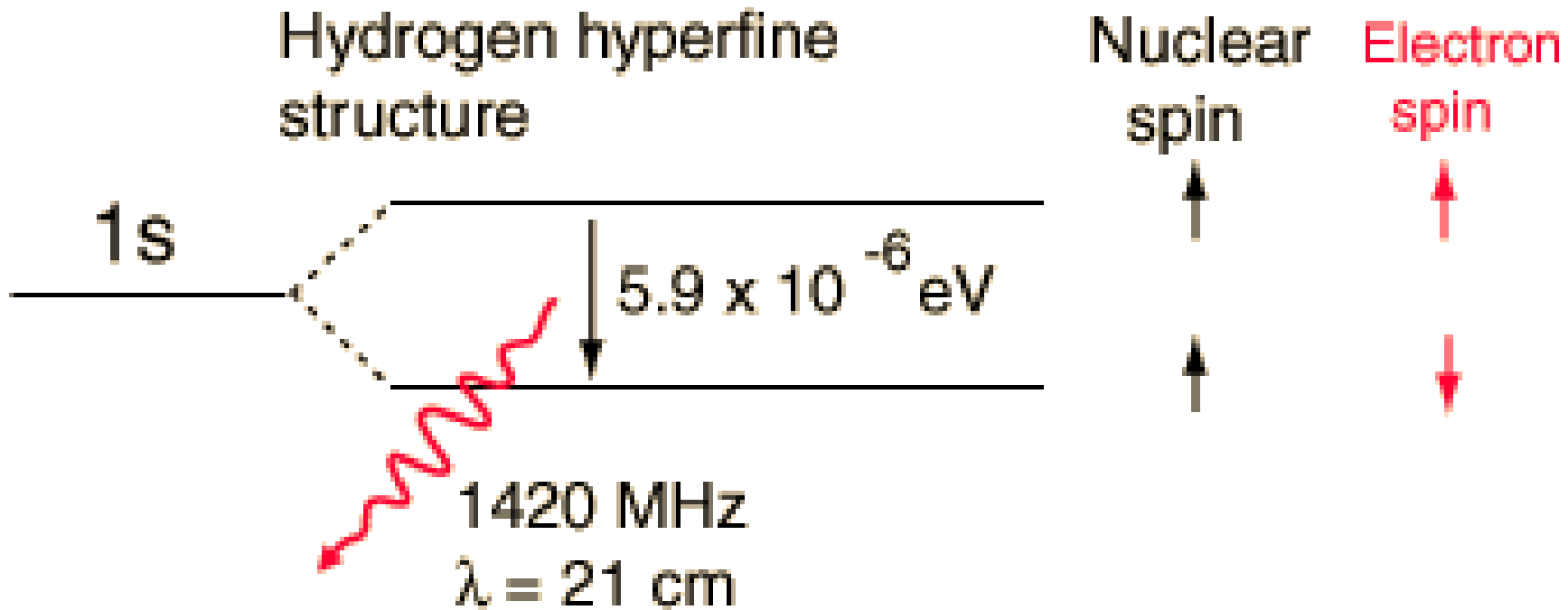
Propósitos de la espectroscopía

- Medir longitudes de onda de líneas de absorción y emisión.
- Medir intensidades relativas de líneas de emisión.
- Medir anchos equivalentes de líneas de absorción.
- Medir distribución de energía del continuo.

Niveles de energía, series: absorción y recombinación



Estructura hiperfina del H I



Líneas prohibidas --> temperatura y densidad del gas

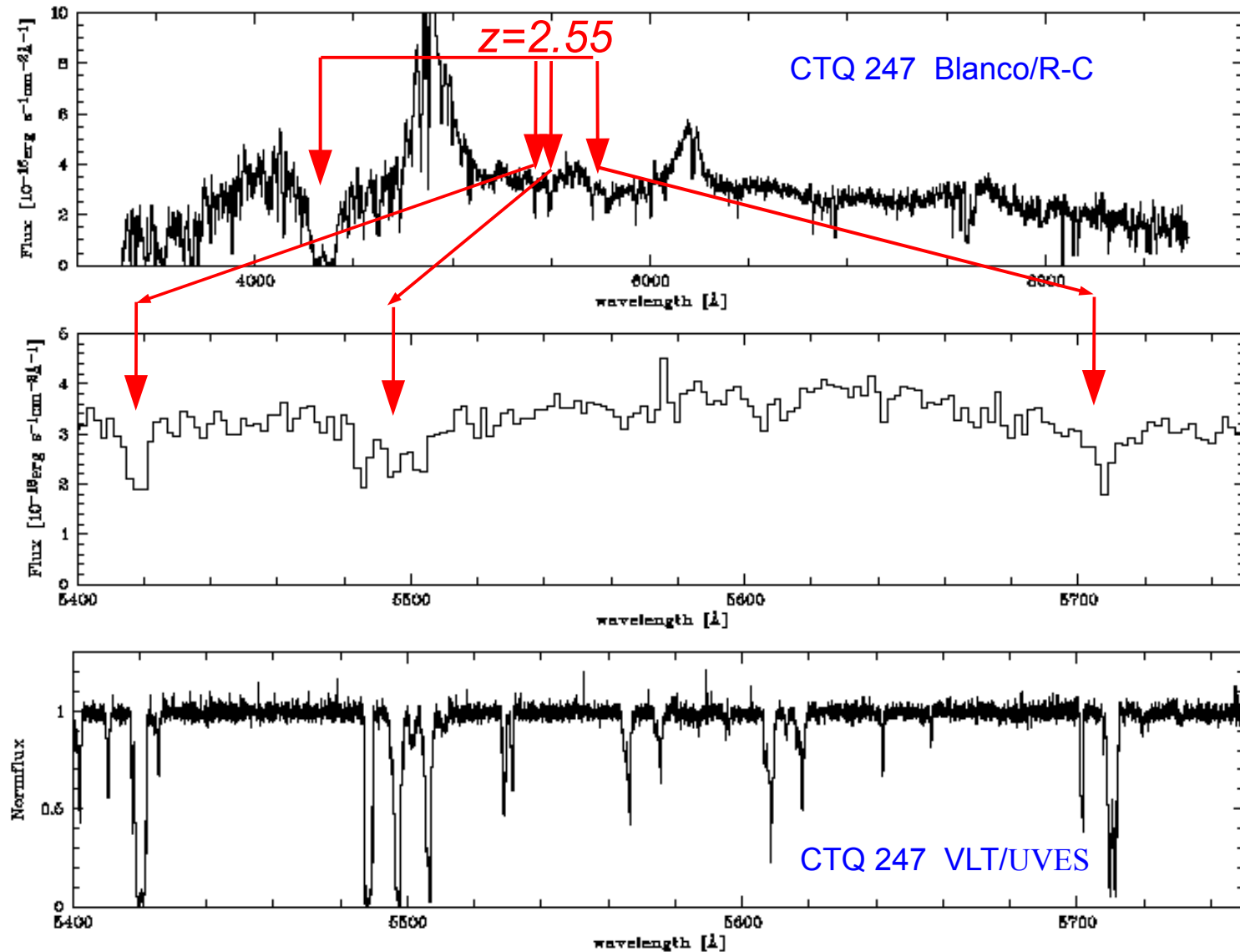


Fig. Sebastian Lopez

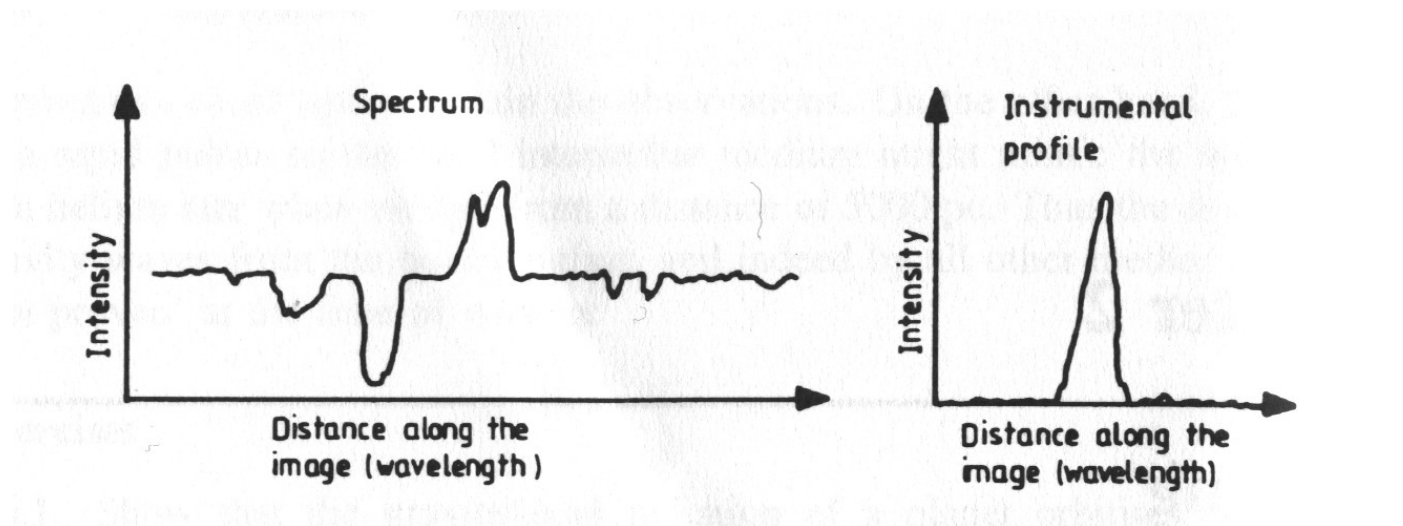
Abundancia en estrellas, ISM y IGM

- Transiciones permitidas por reglas de selección de átomos en diferentes estados de ionización (e.g. Calcio, Sodio, Silicio, Azufre, Oxígeno, Hierro).
- Las abundancias relativas de estos elementos nos dicen acerca del proceso de nucleosíntesis que los creó
- Las abundancias se pueden obtener de los perfiles de las líneas.

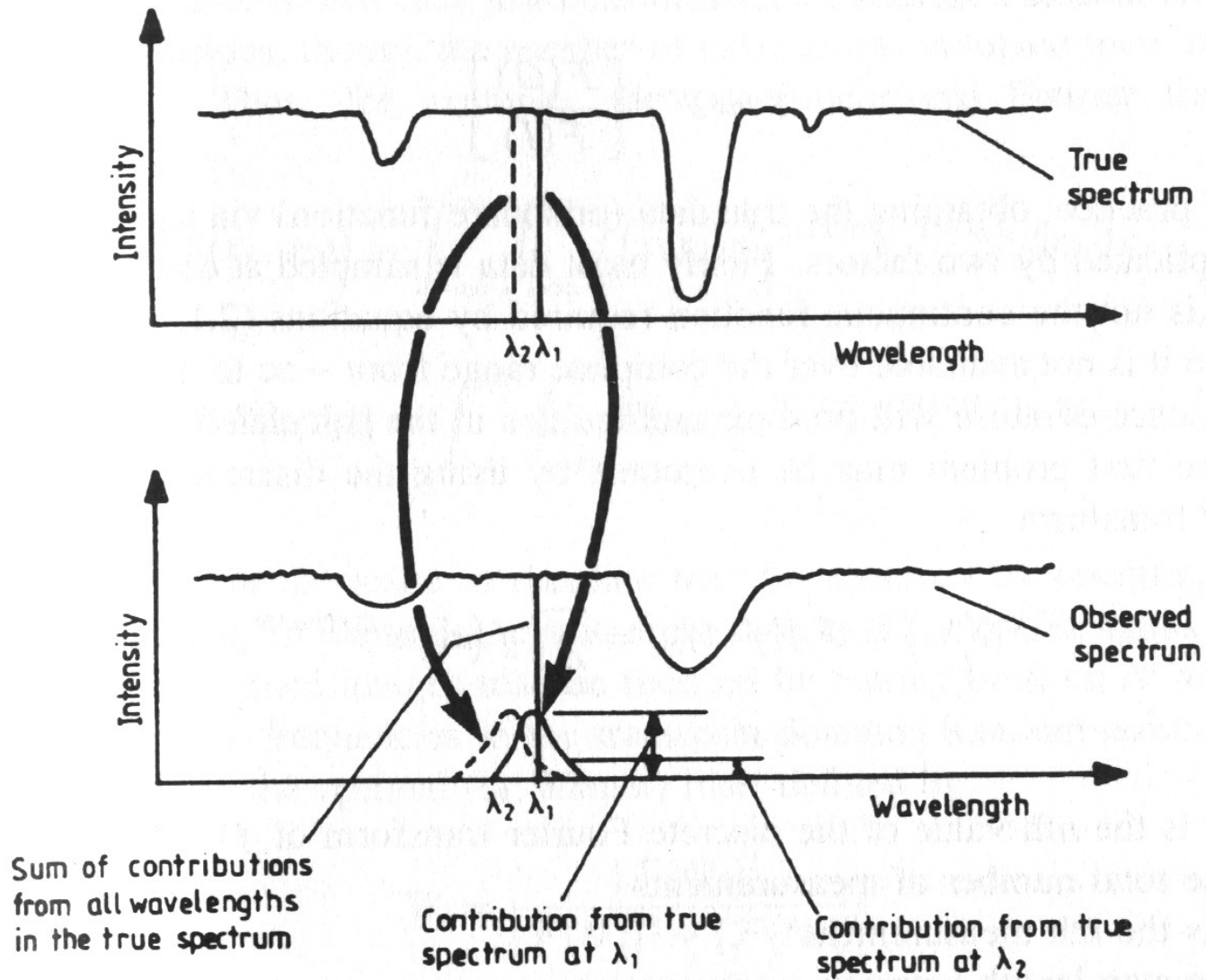
Espectros del cuasar CTQ247 a $z=3.1$



Perfil instrumental



Convolución



$$O(\lambda) = \int_0^{\infty} T(\lambda') I(\lambda - \lambda') d\lambda'$$

$$O = T * I$$

Transformada de Fourier

$$F(O) = F(T * I) = F(I) \times F(T)$$

Señal “verdadera”

$$T = F^{-1} [F(O) / F(I)]$$

3 problemas: datos discretos, ω desconocida en todo el rango, ruido

Usar T. de Fourier discreta. Delta es el “paso” (sampling).

$$F_D(S_n) = \mathcal{F}_D(f(x))_n = \sum_{k=0}^{N-1} f(x_k) e^{-2\pi i k n / N} \Delta$$

$$f(x_k) = \mathcal{F}_D^{-1}(F_D(S_n)) = \sum_{n=0}^{N-1} F_D(S_n) e^{2\pi i k n / N} \frac{1}{N}$$

Teorema de Nyquist: Paso máximo para no perder información en $T = F^{-1} [F(O) / F(I)]$ es

$$\Delta = 1 / (2 \omega_{max})$$

Alternativamente:

$$\omega = 1 / (2 \Delta)$$

Es la frecuencia máxima (“de Nyquist”) que podemos recobrar para un sampleo dado.

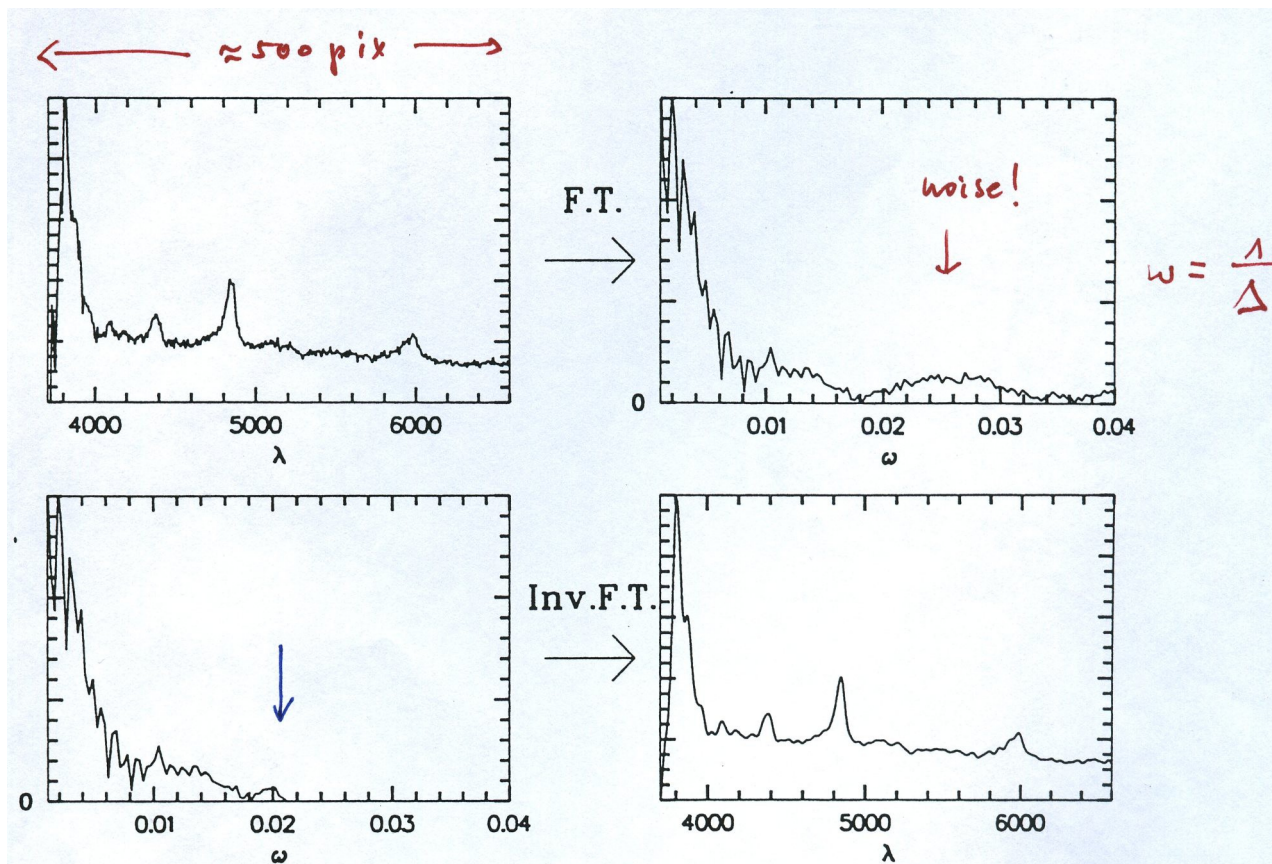
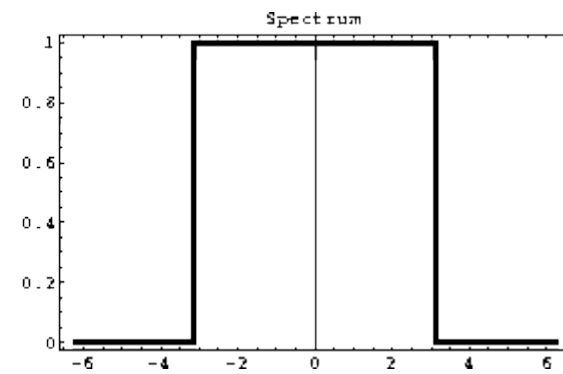
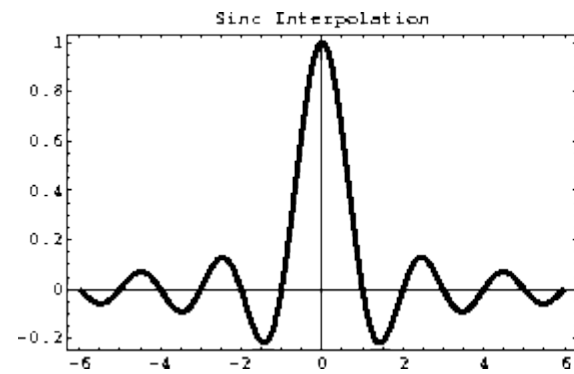


Abbildung 2.3: Oben: Leistungsspektrum $\sqrt{|\mathcal{F}_n|^2 + |\mathcal{F}_{-n}|^2}$ des Quasarspektrums HE0110-2738. Die Frequenzeinheit ist Pixel^{-1} . Unten: Inverse Fourier-Transformation, nachdem die Frequenzen höher als 0.02 Pixel^{-1} abgezogen worden sind. Dieses Verfahren entspricht dem Filtern des Spektrums mit dem Tiefpaßfilter $2\omega_0 \sin(2\pi\omega_0\lambda)/2\pi\omega_0\lambda$, wo ω_0 die Abschnidefrequenz ist. Das Spektrum wurde mit MIDAS-Prozeduren verarbeitet.



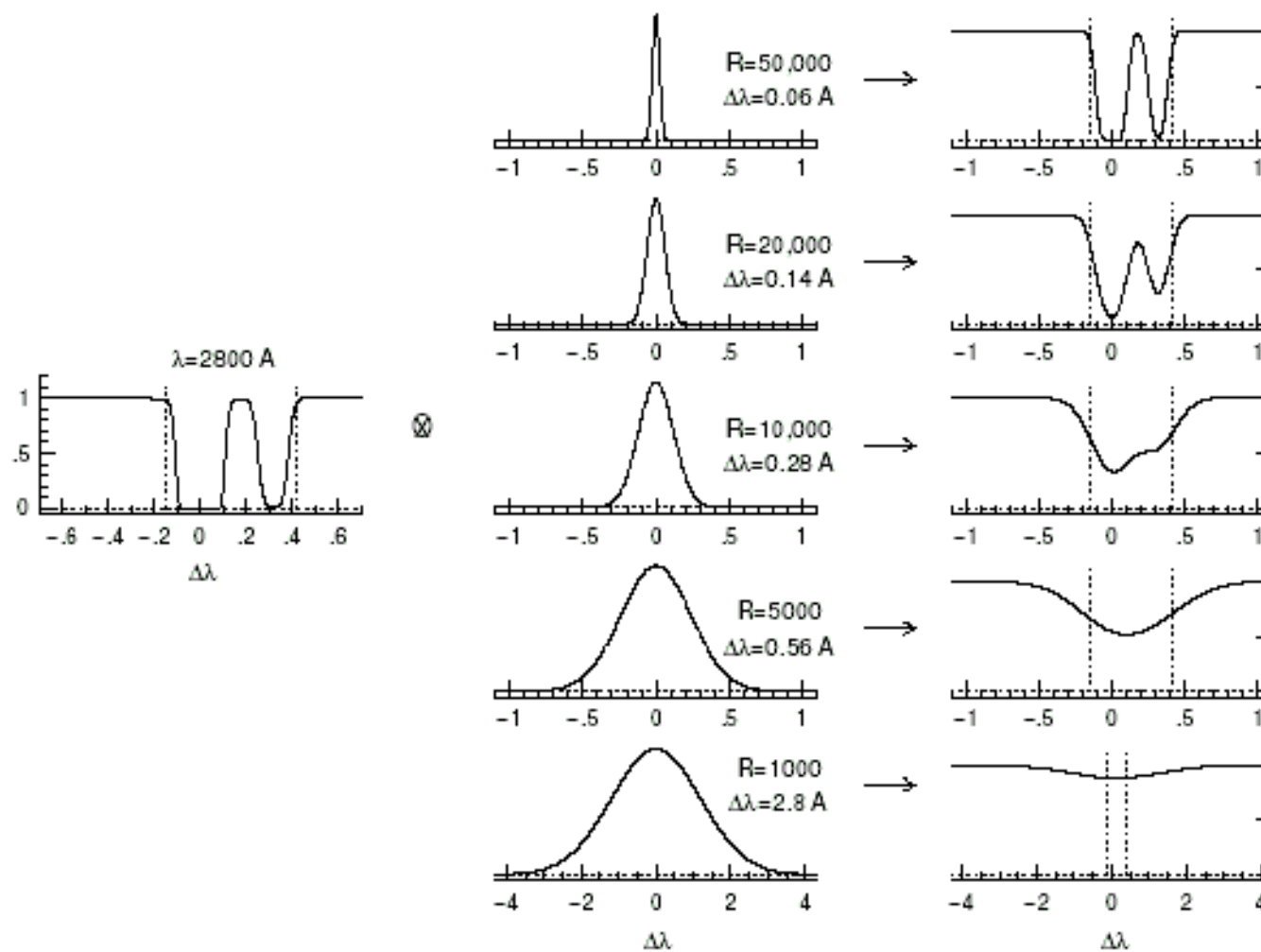
Es importantísimo que los datos estén “sampleados” a frecuencia suficientemente alta para describir el perfil instrumental

- Resolución espectral y ancho instrumental

$$R \equiv \frac{\lambda}{\Delta \lambda}$$

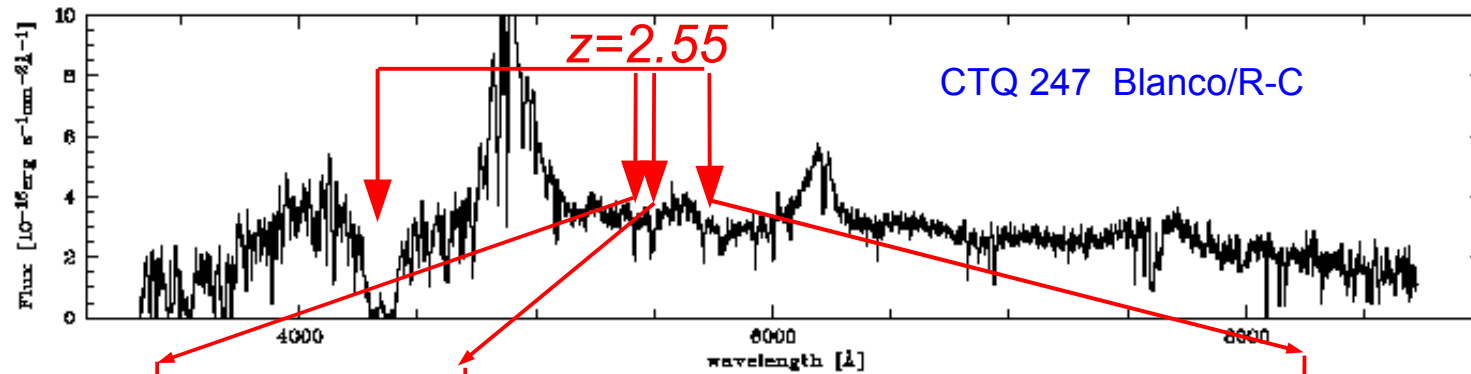
$$\frac{\lambda}{\Delta \lambda} = \frac{c}{\Delta \nu}$$

- Resolución espectral y ancho instrumental

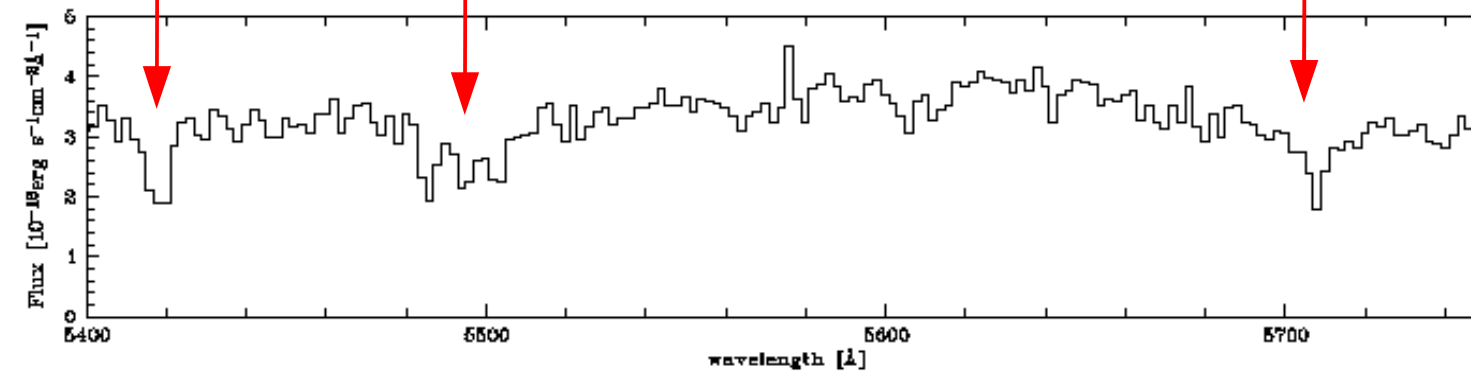


$$\frac{S}{N} = \infty!$$

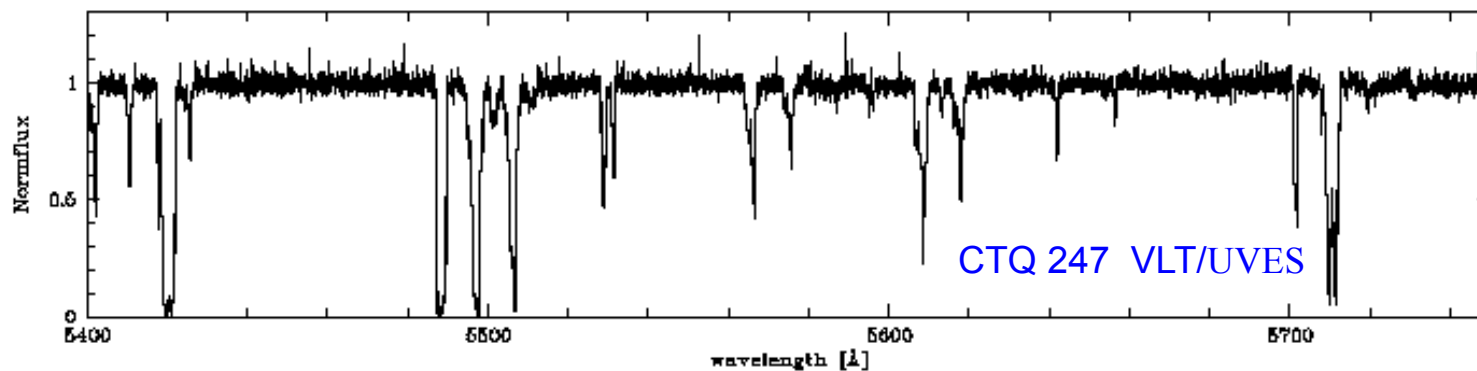
- Resolución espectral y ancho instrumental



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

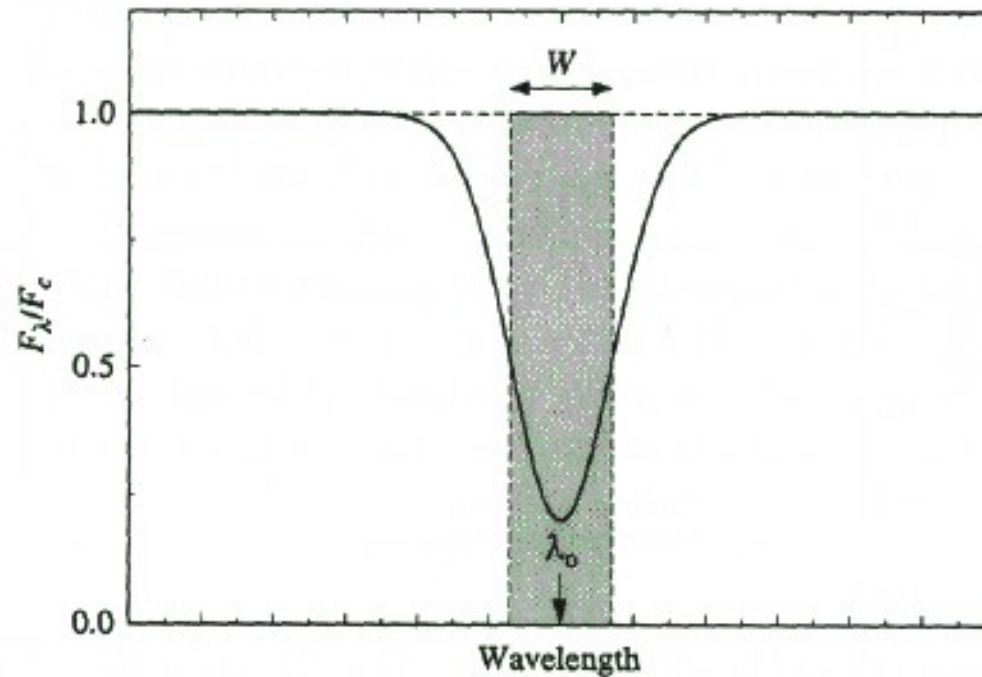


$$\frac{\lambda}{\Delta \lambda} = 45000$$

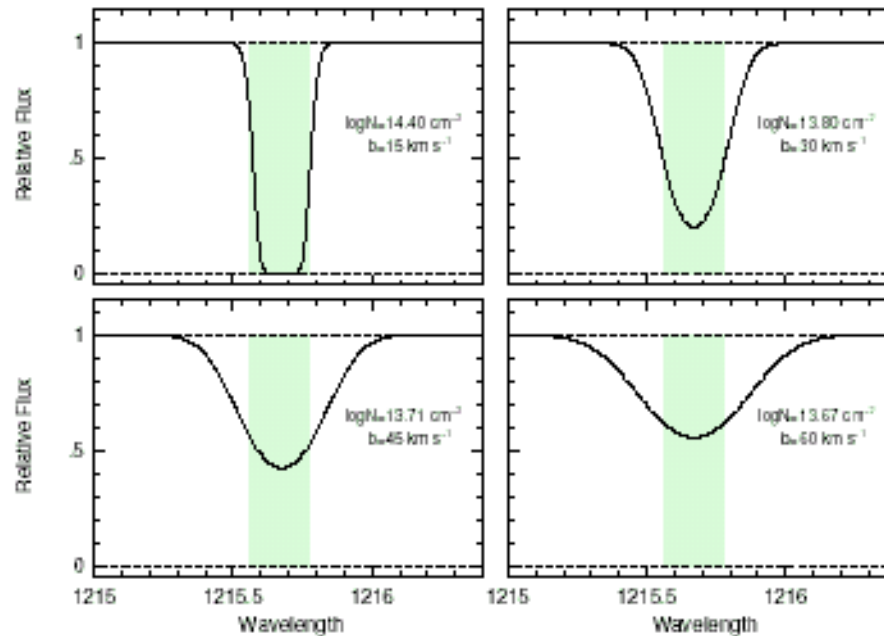


- Líneas de absorción. Ancho equivalente, W

$$W(\lambda_0) = \int \left(\frac{F_c - F_\lambda}{F_c} \right) d\lambda$$



- Líneas de absorción. Ancho equivalente, W
 - Cantidad positiva
 - Unidades de longitud de onda ($\text{\AA}$)
 - No depende de resolución espectral.
 - $W_0 = W_{\lambda} / (1+z)$

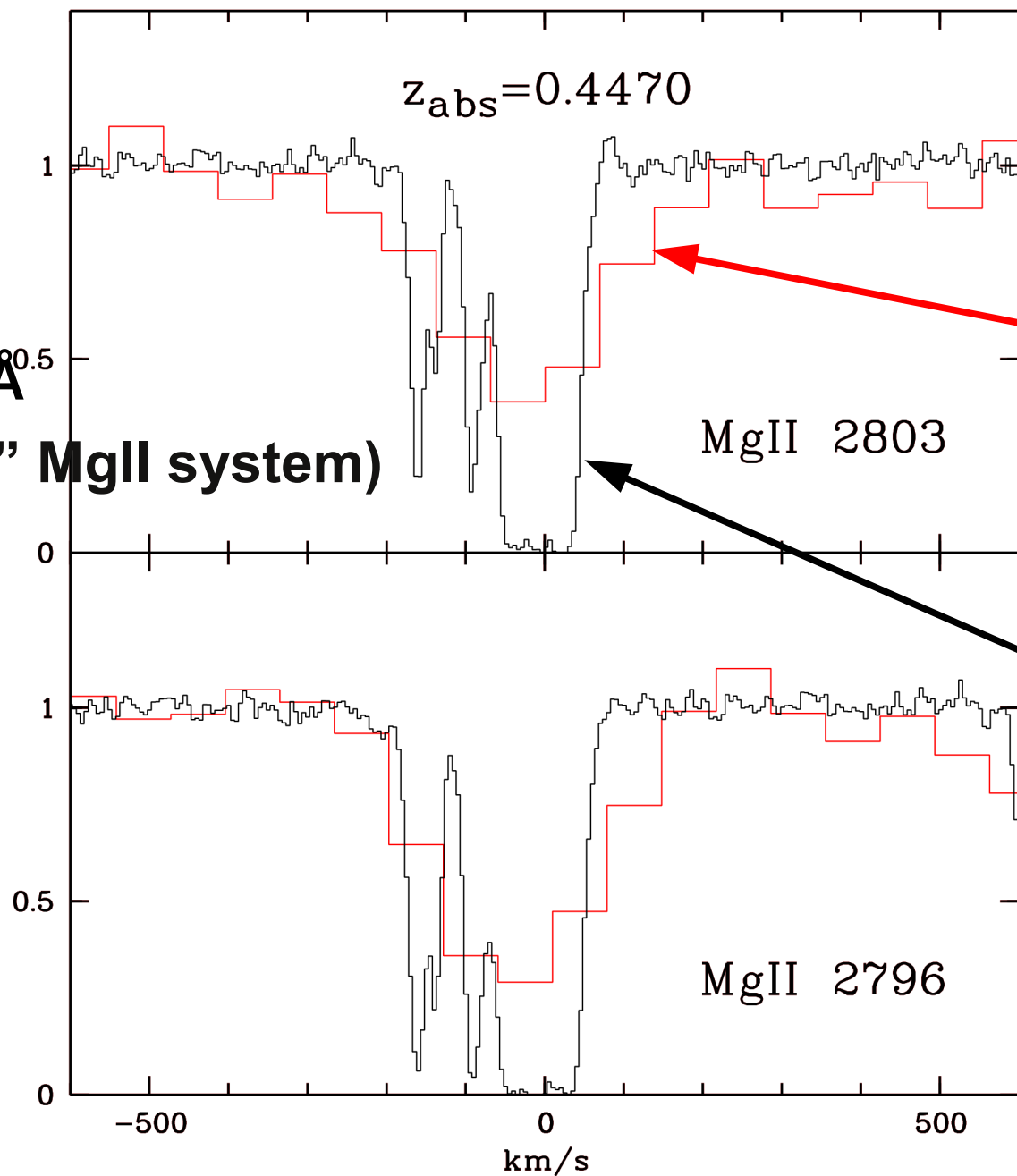


$$W = 0.21 \text{\AA}$$

QSO 231509.34+001026.2

$z_{\text{abs}}=0.4470$

$W_0 = 1.8 \text{ \AA}$
("strong" MgII system)



SDSS

R=2000

FWHM=150 km/s

Magellan/MIKE

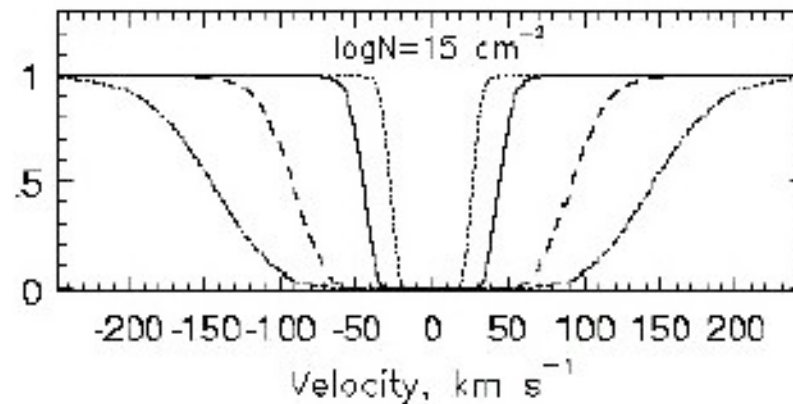
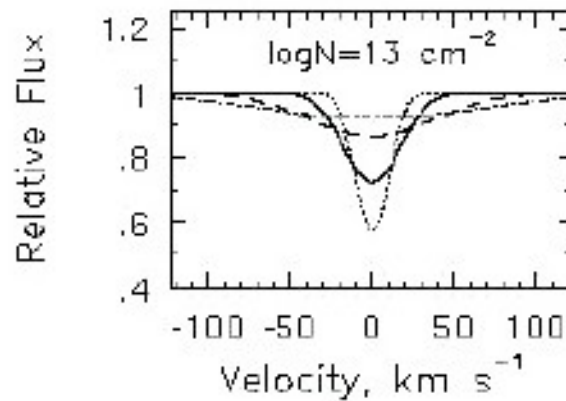
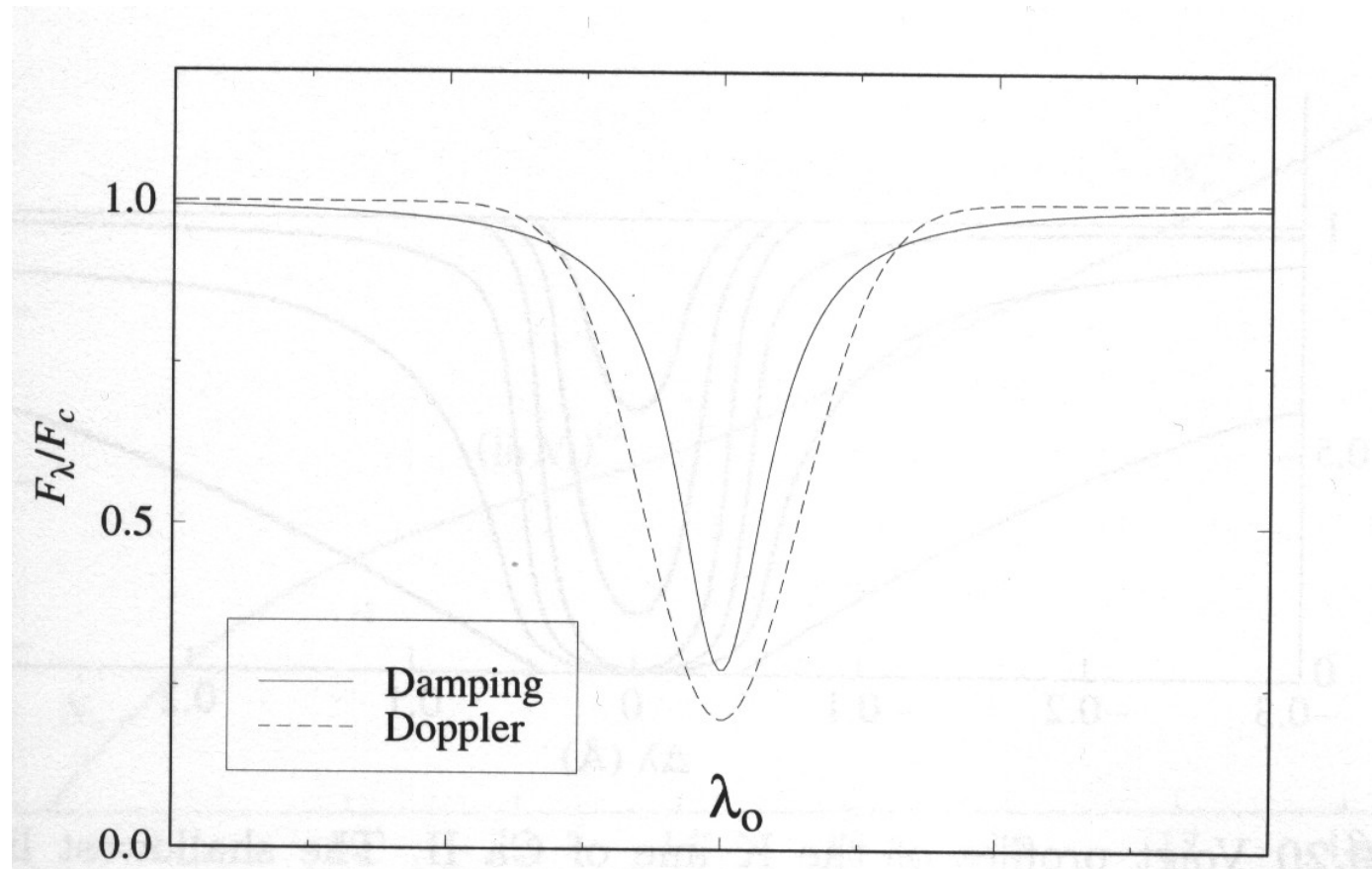
R=25000

FWHM=12 km/s

Formación de una línea absorpción/emisión

- Tres mecanismos de ensanchamiento:
 - Ancho natural (QM) --->> Lorentziana
 - Doppler ----> gaussiana
 - Colisiones ----> Lorentziana

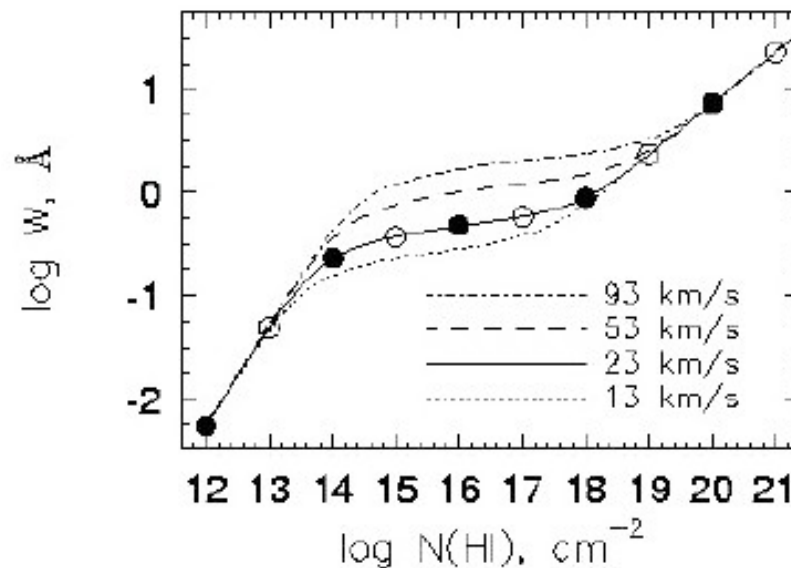
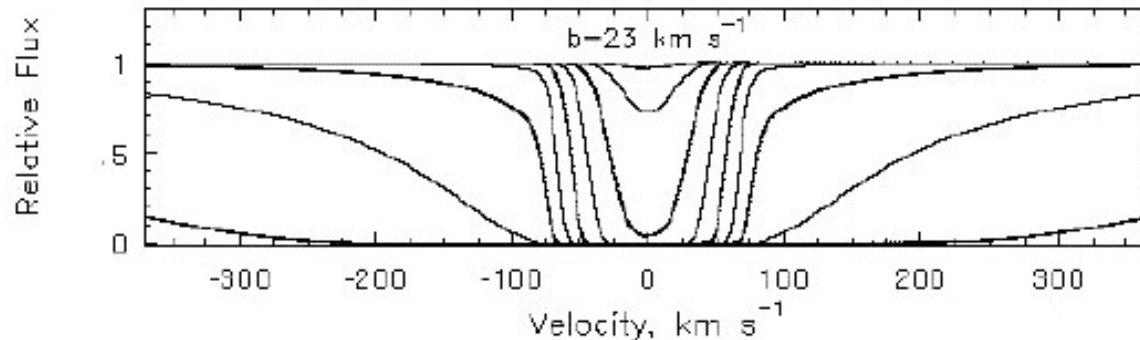
Perfil de Voigt, densidad de columna N, parámetro Doppler, b



- Curva de crecimiento

- Tres regímenes:

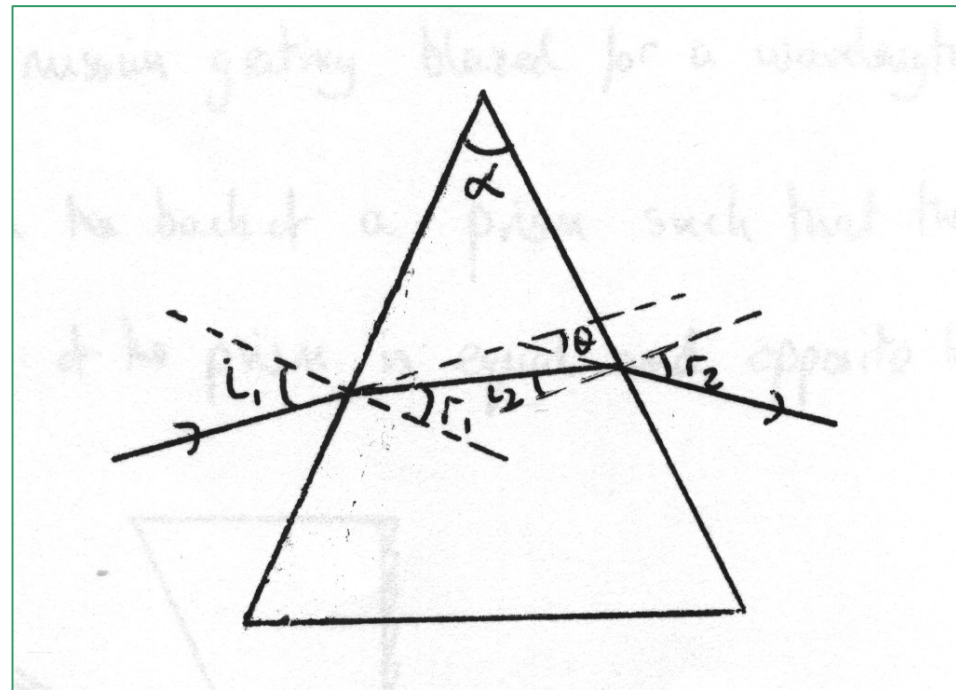
- Línea no saturada (profundidad óptica pequeña) $W(\lambda_0) \propto \tau_0$
- Línea saturada (no se transmiten fotones en la línea) $W \propto \sqrt{\log \tau_0}$.
- Línea extremadamente saturada $W(\lambda_0) \propto \tau_0^{1/2}$.



Dispersión de la luz, dos principios fundamentales:

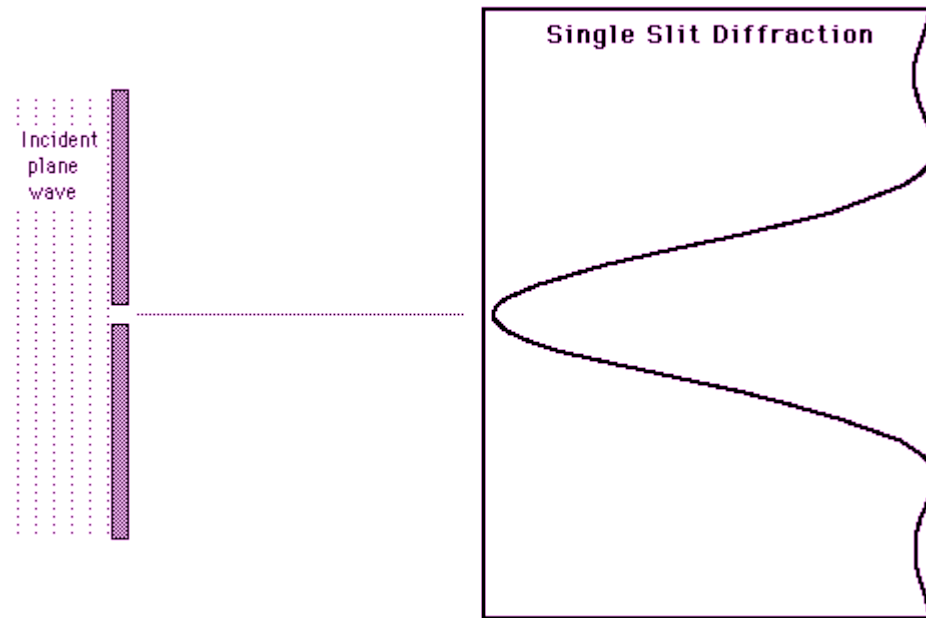
1. refracción diferencial;
2. interferencia

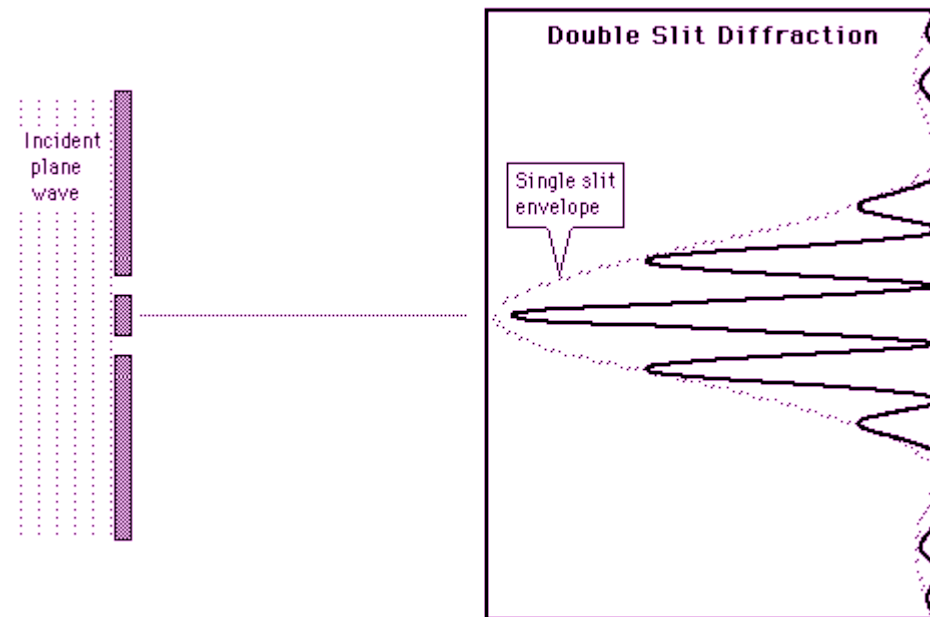
Prismas sólo en algunas aplicaciones

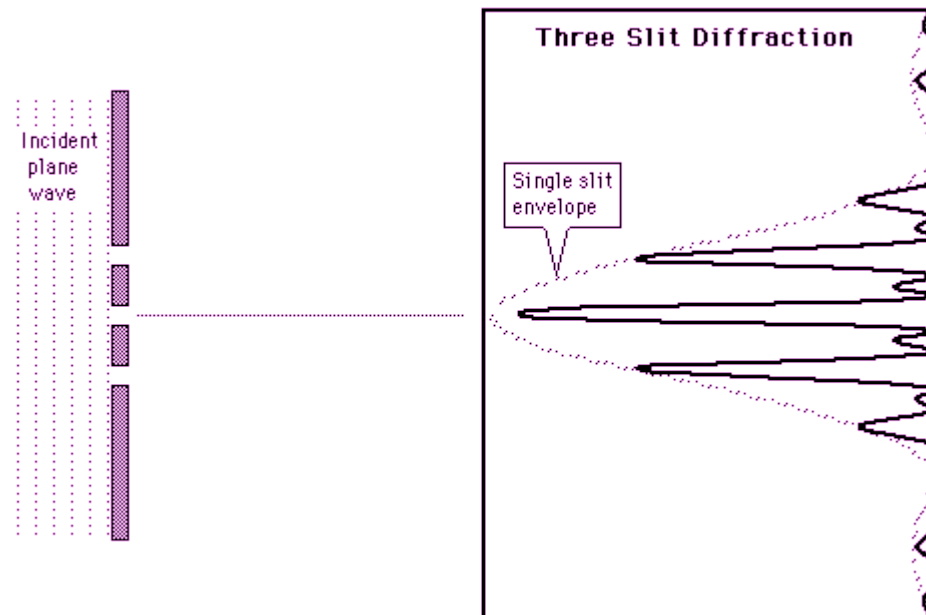


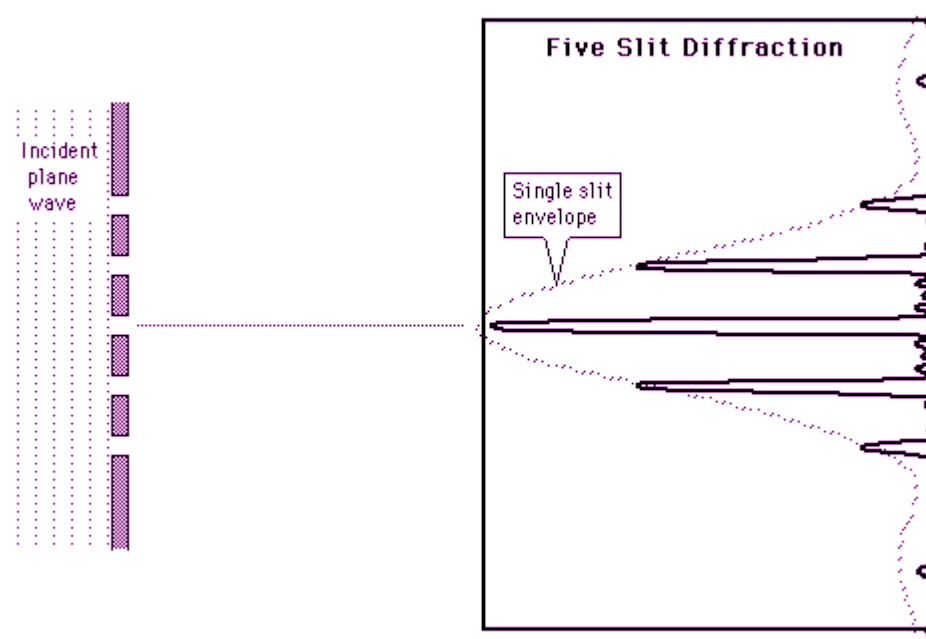
Prof. Sebastian Lopez

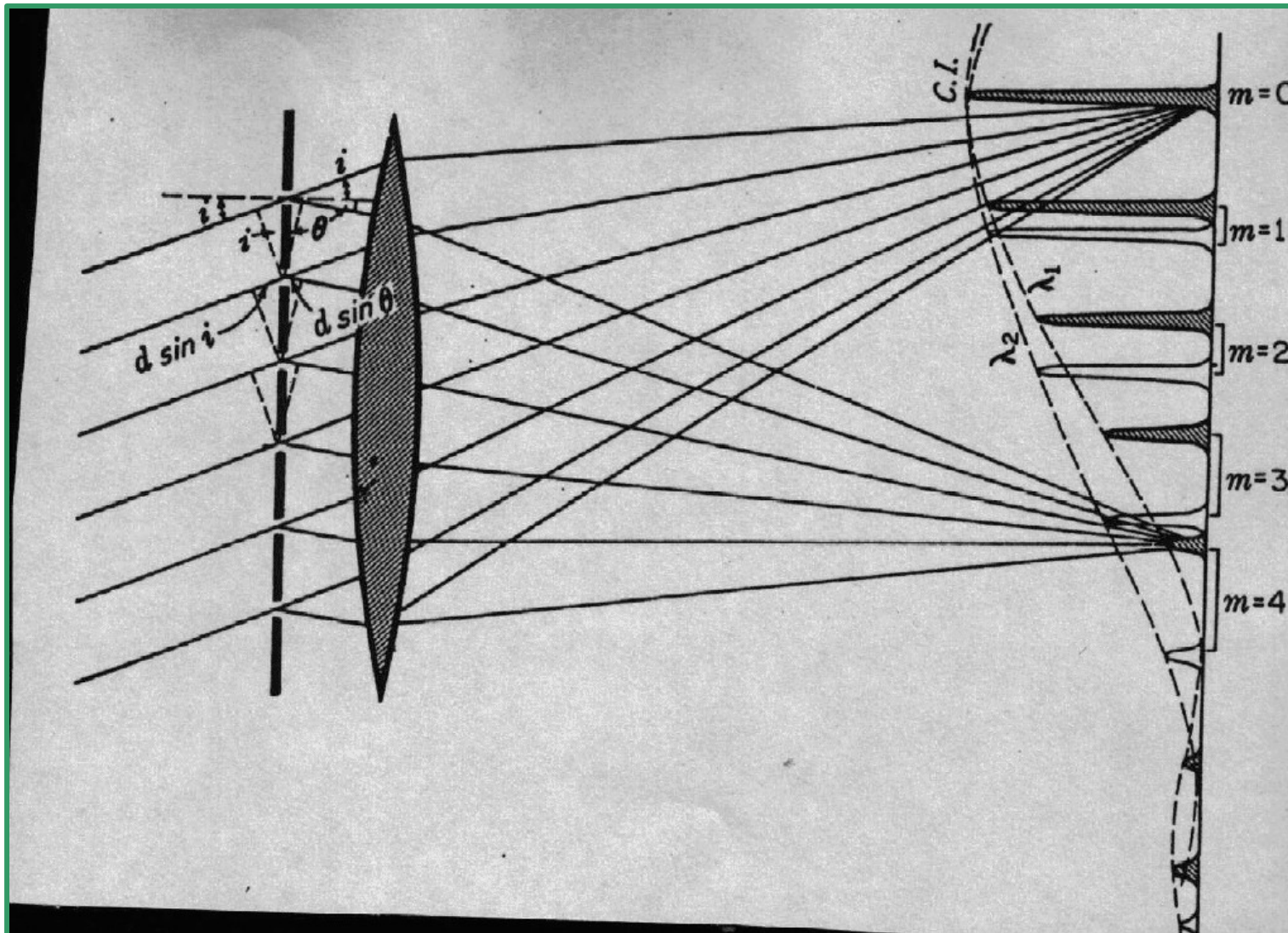
“Gratings” (grillas) de difracción.

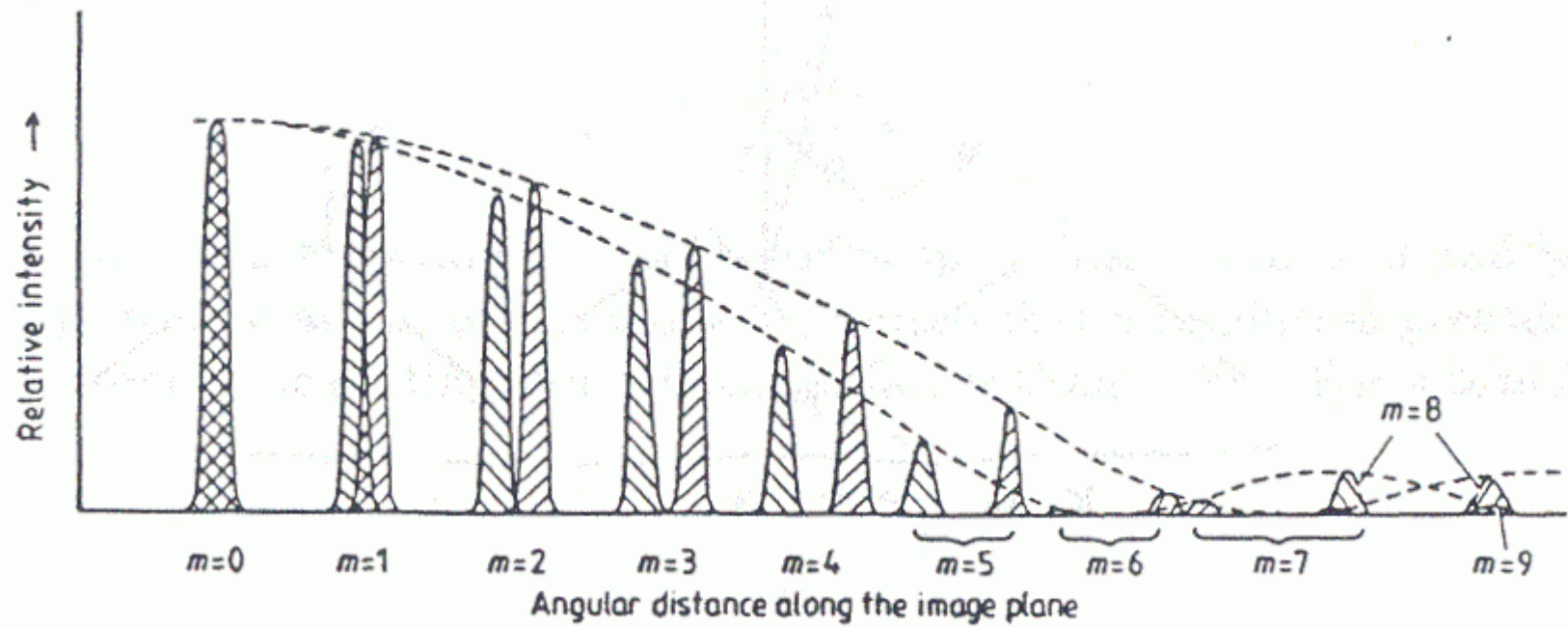












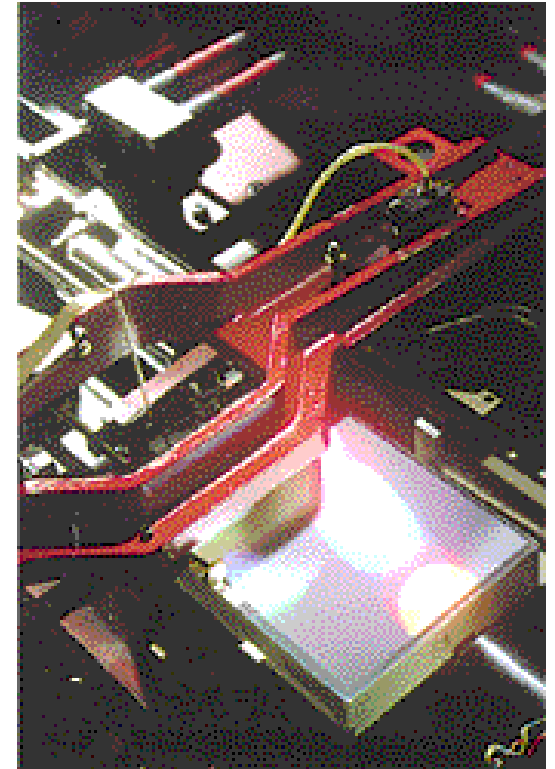
Poder de resolución:

$$R \equiv \lambda / \delta \lambda = N \times m$$

Orden $m=100$ -->
 $R=100.000$

Gratings (“grillas”) normalmente de reflexión (no de transmisión). La descripción del patrón de interferencia es la misma.

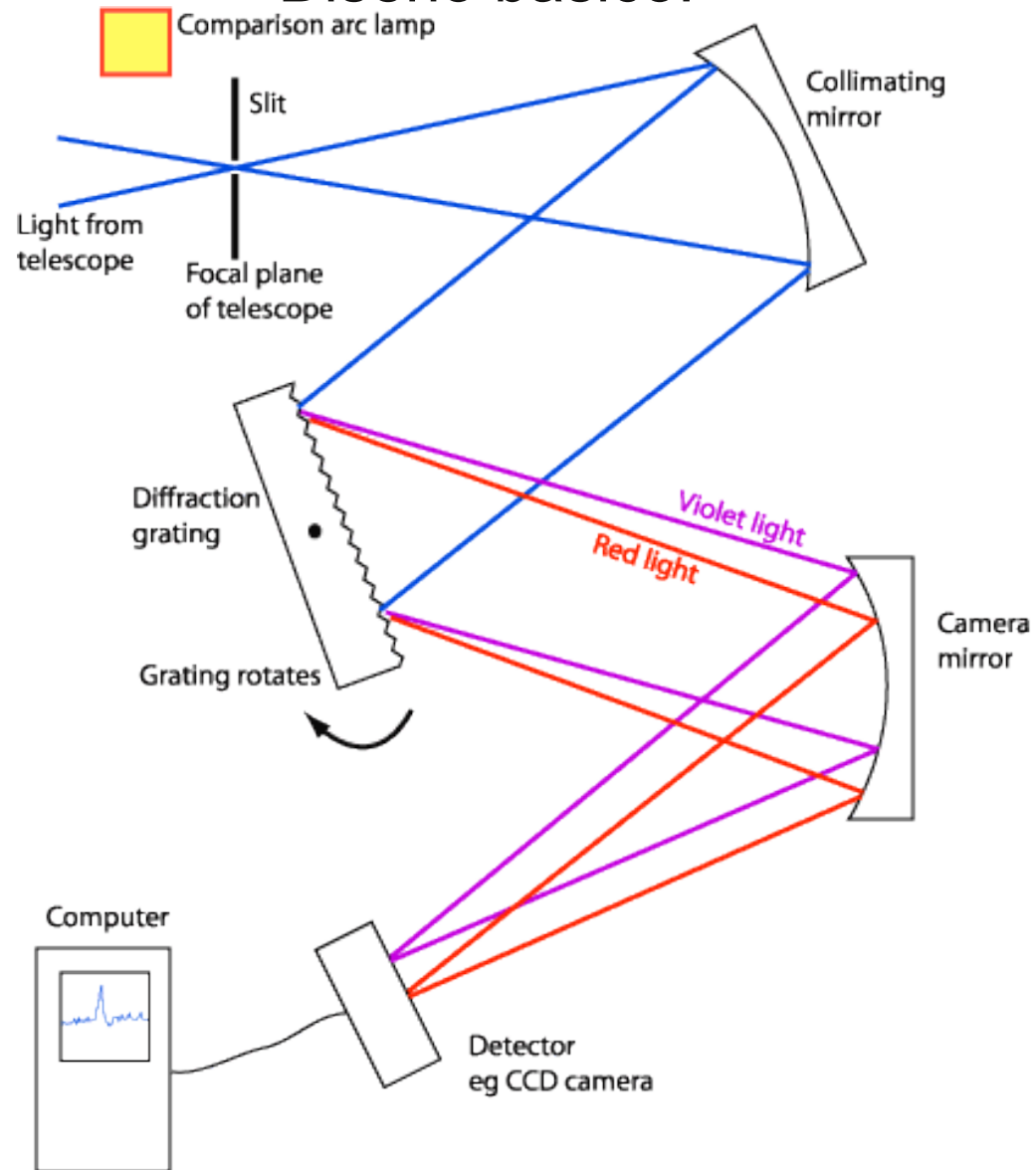
Construcción por métodos holográficos sobre superficie reflectante. Grating “echelle” de alta resolución típicamente 100-1000 surcos/mm



Ruling machine making a 600-line per millimeter diffraction grating.

The metallic master will be used to make copies for wavelength division multiplexers.

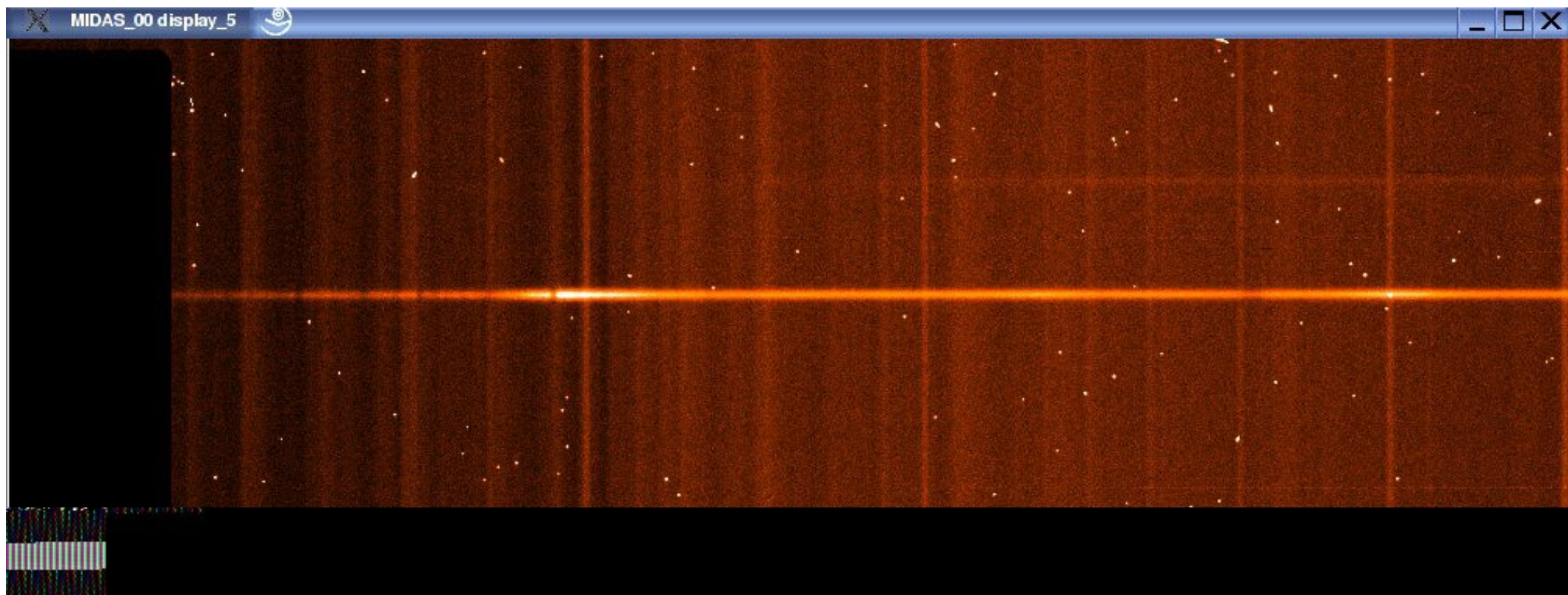
Diseño básico:



A Schematic Diagram of a Slit Spectrograph

Ejemplos

Espectro “long-slit”

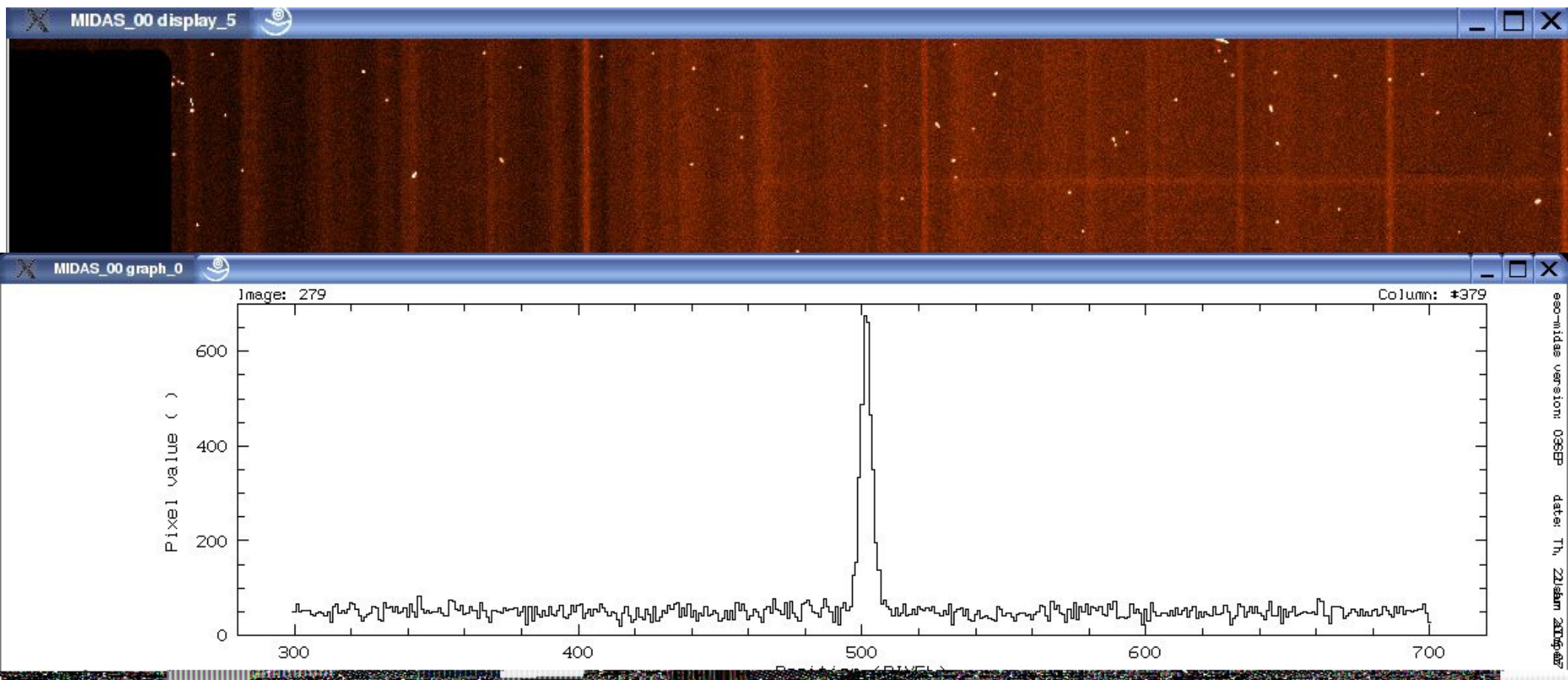


arcsec

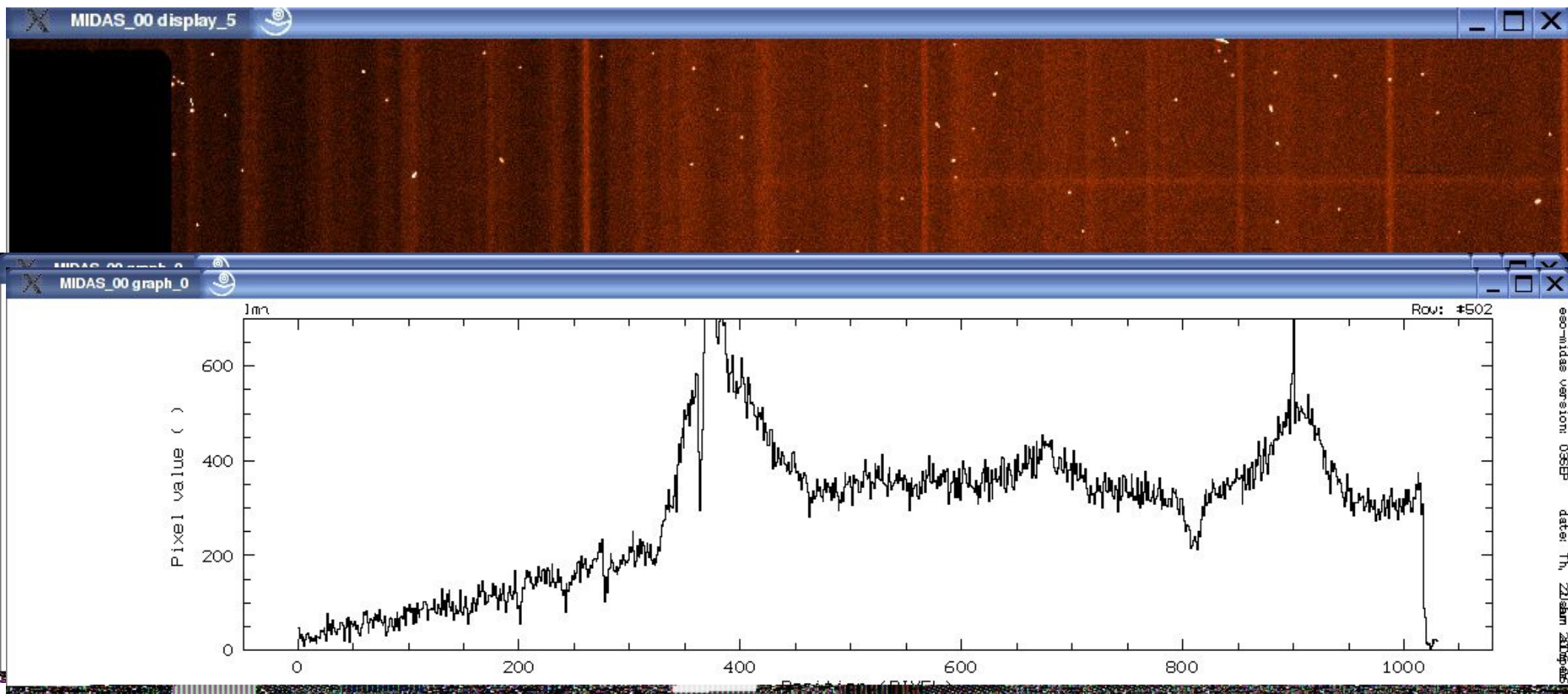


λ

Espectro “long-slit”



Espectro “long-slit”

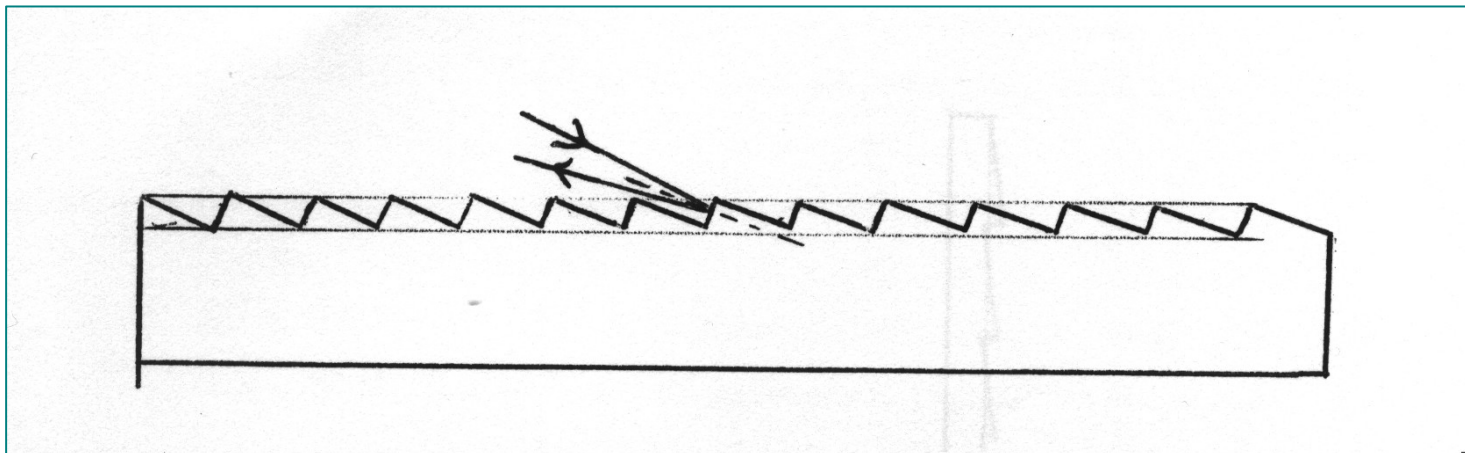


AS750 Observational Astronomy
Prof. Sebastian Lopez

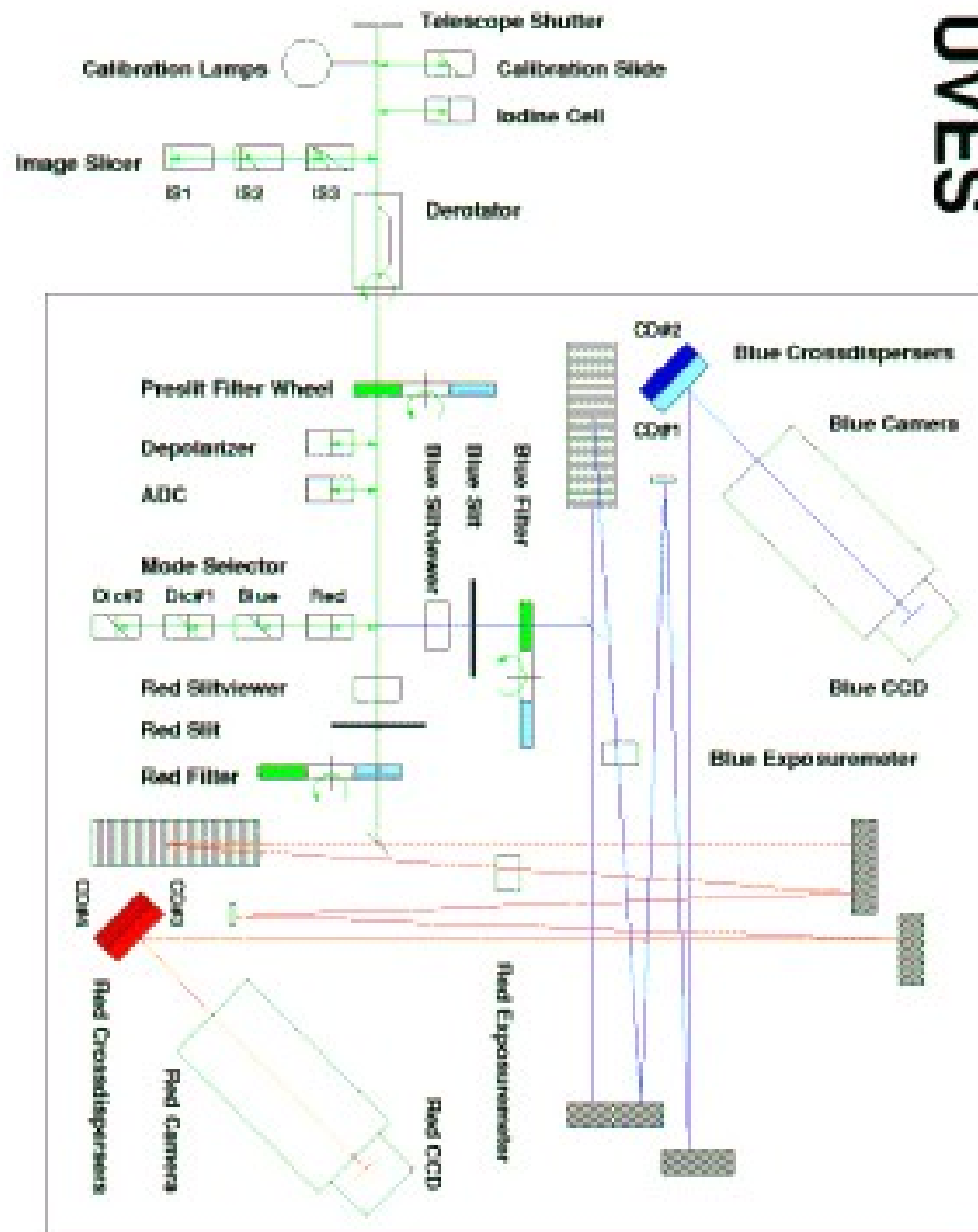
→
Pixeles (nm)

Gratings “echelle”

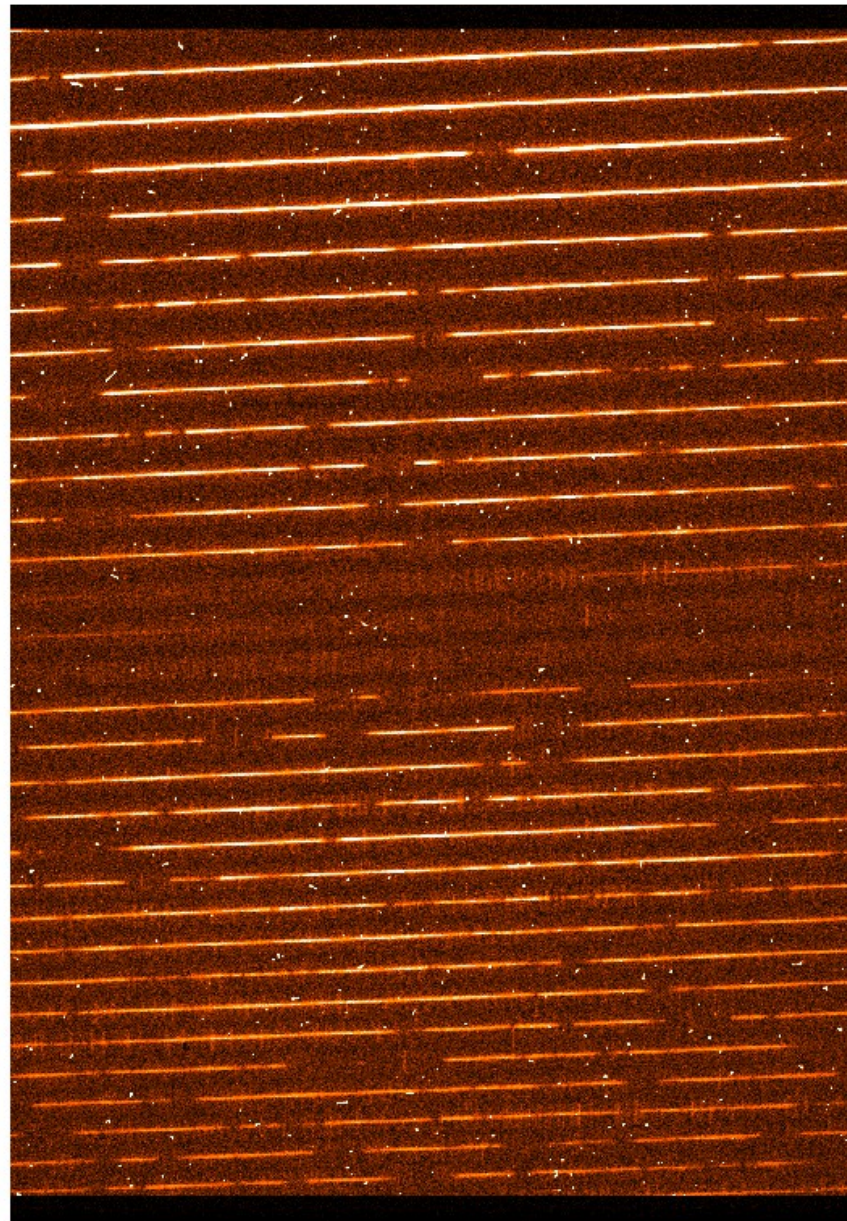
- extremadamente “blazed” a ángulos grandes --> órdenes altos
- Desventaja: confusión entre los órdenes. Órdenes se separan usando “dispersión cruzada” (prisma a 90 grados de dispersión del grating).
- Desventaja: “short-slit” --> fuentes puntuales.



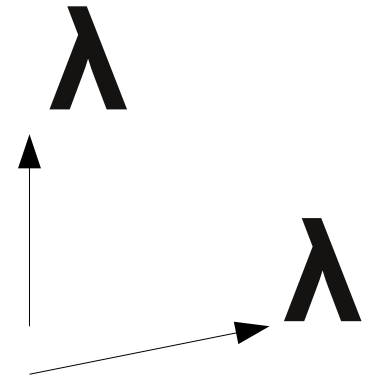
UVES



Espectro “echelle”

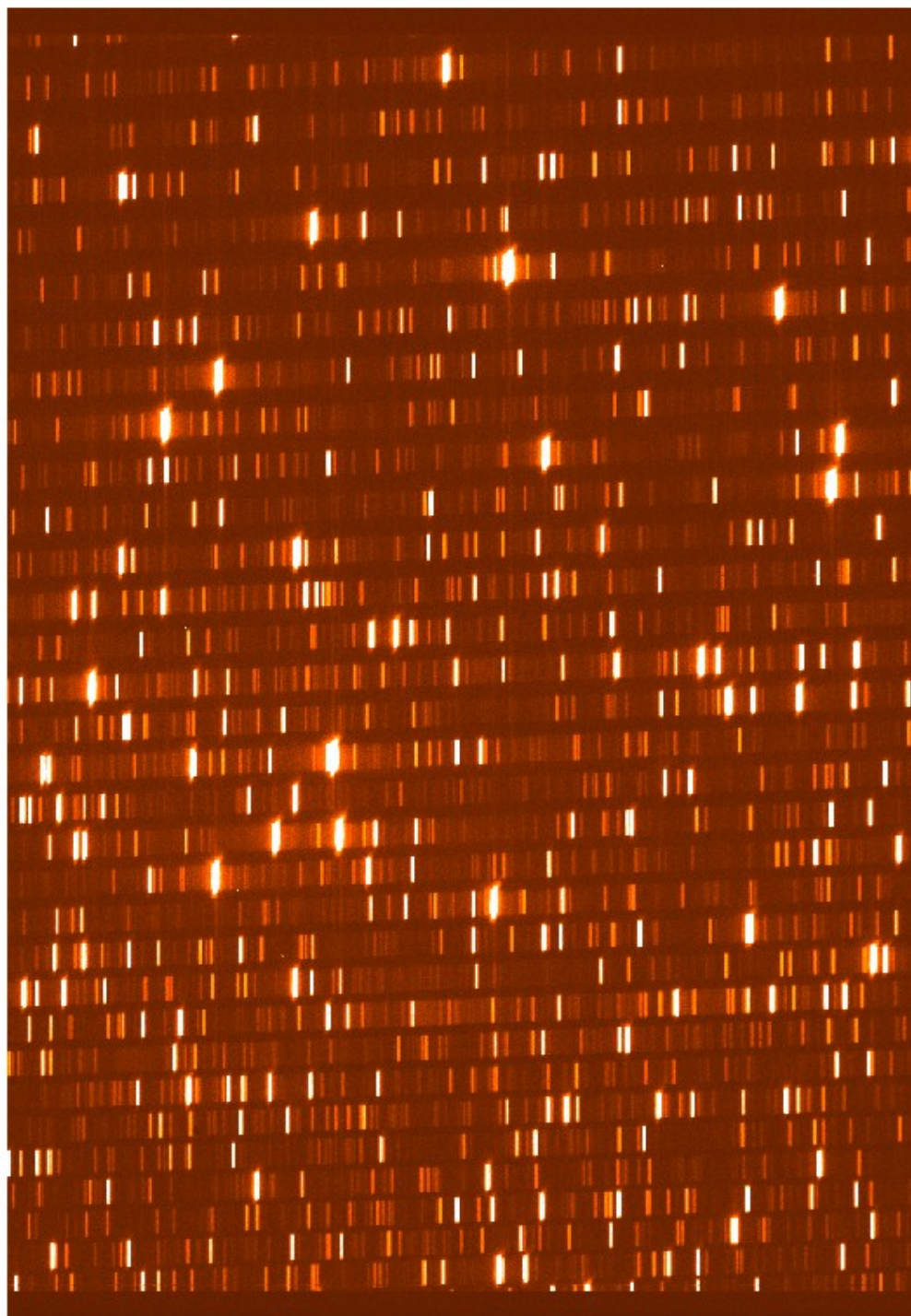


OBJECT
ESO-MEIQ TEL. DE APT. 2000 - 100.000"



Calibración en longitud de onda.

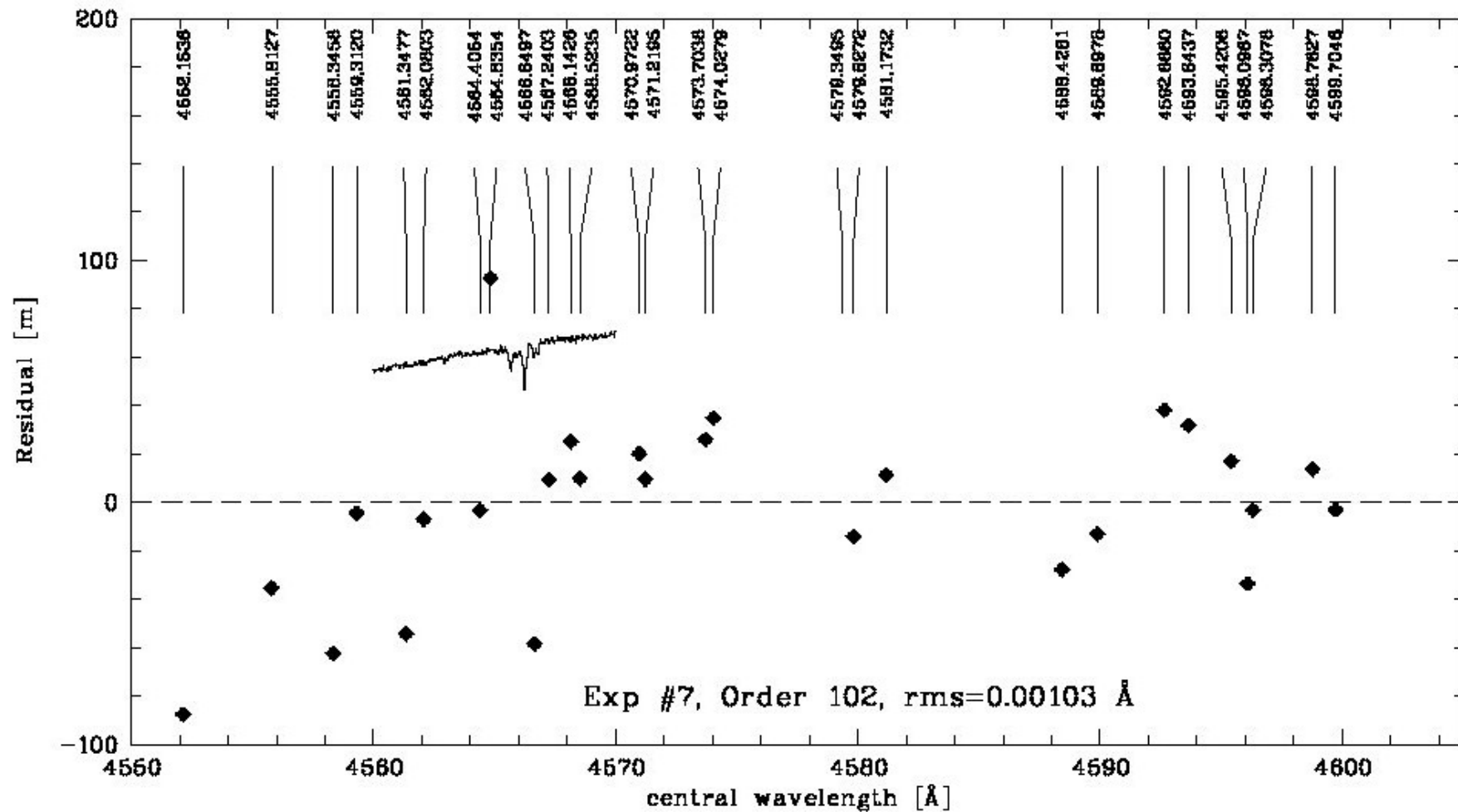
- Obtener espectro de comparación (mismo “setup”) de lámpara. Usualmente descarga de un cátodo en gas noble (He, Th, Ar).
- Usando atlas de líneas medidas en laboratorio, mapear “x” en “lambda”



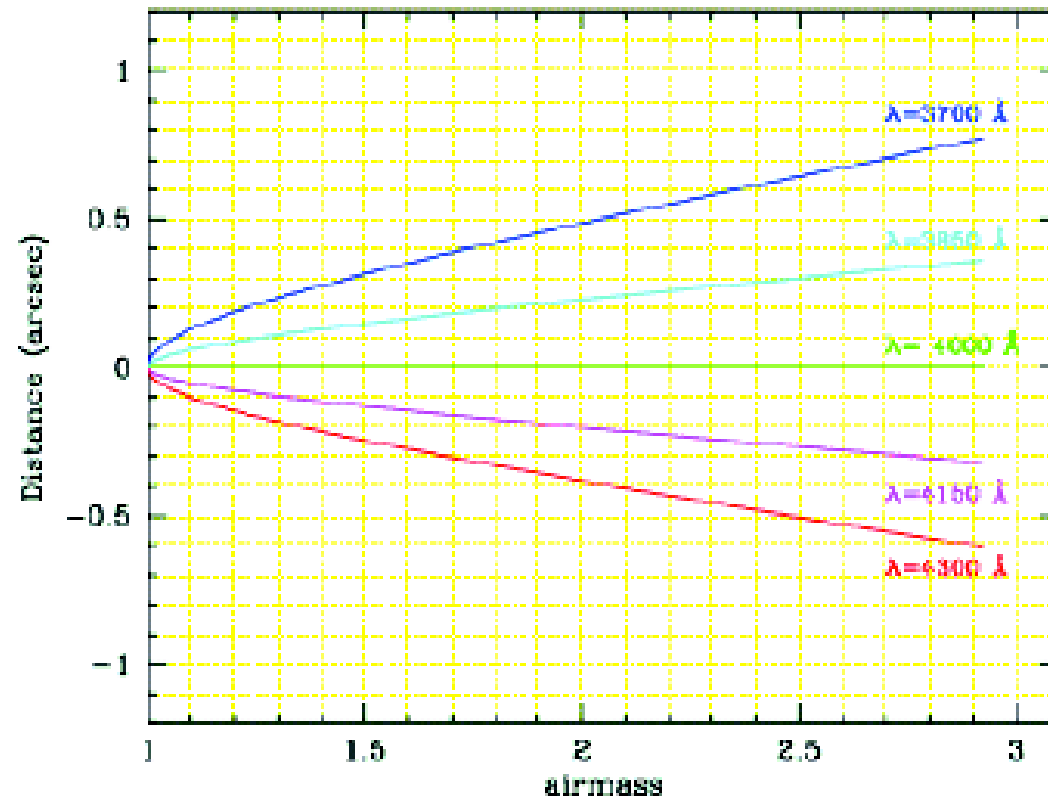
LAMP.WAVE

©SONIMAG, T.U. 18. April 2020 - 100x110

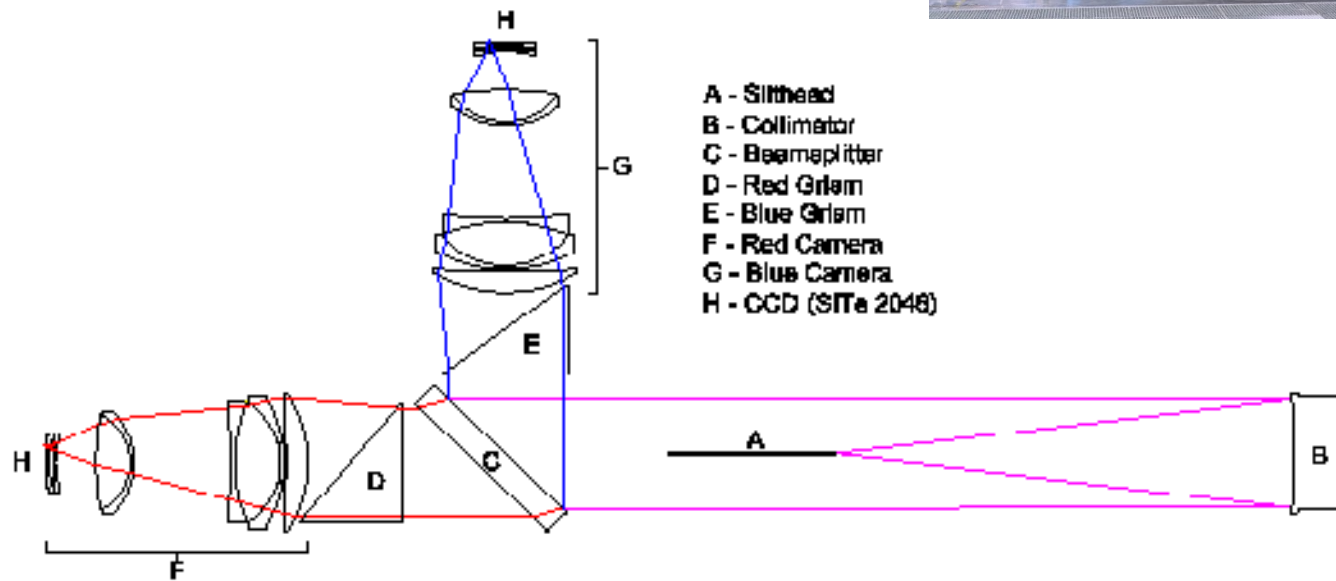
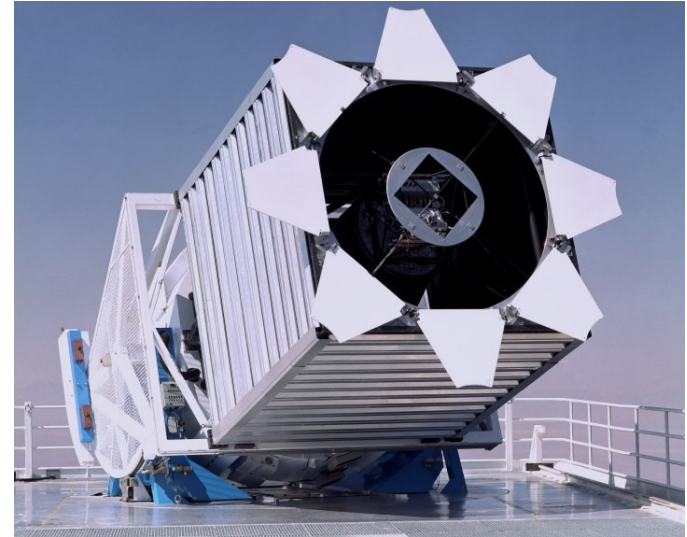
Precisión de ~ 10 m/s: constantes físicas, planetas.



Refracción atmosférica:

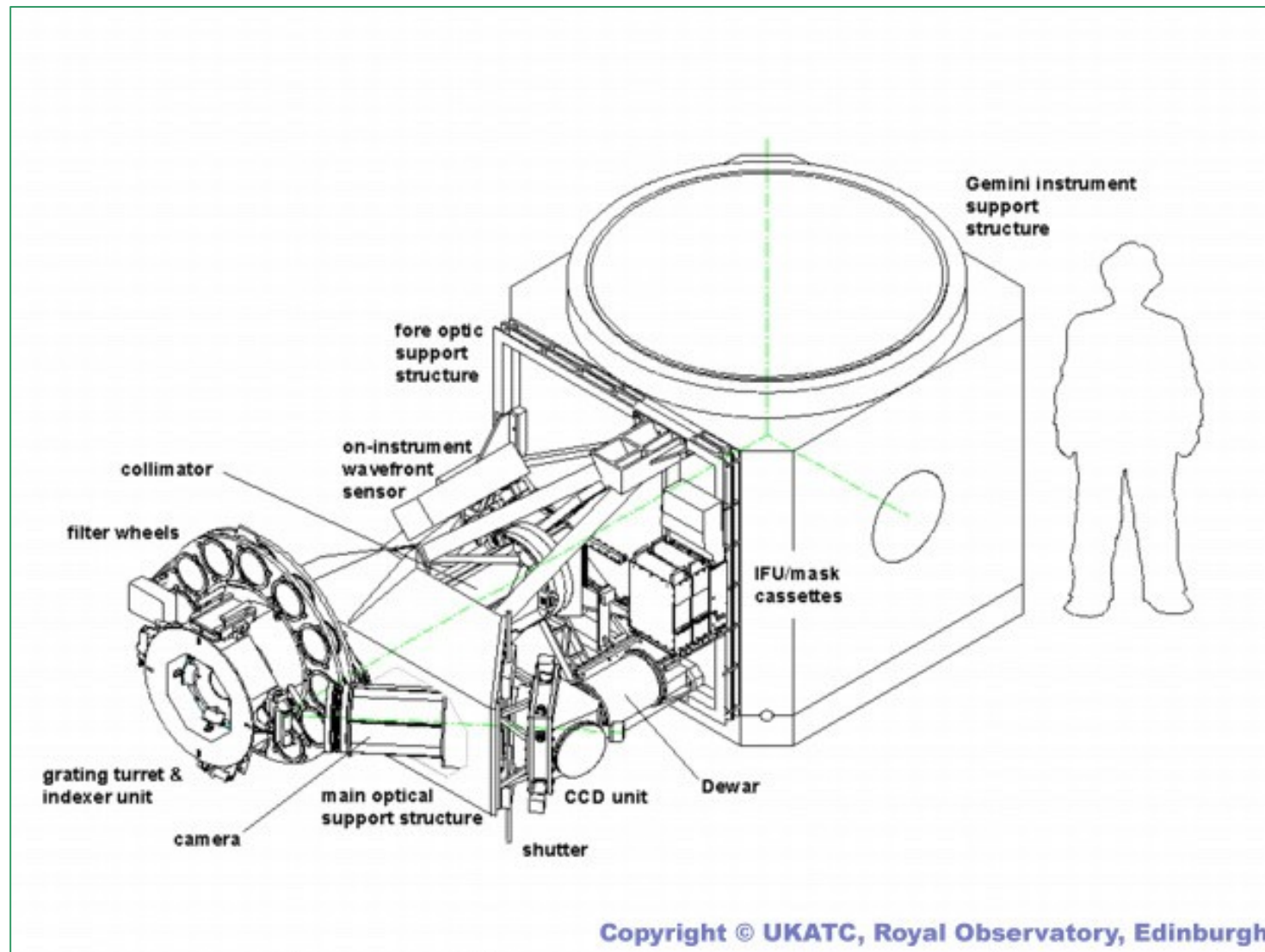


“Surveys:” SDSS



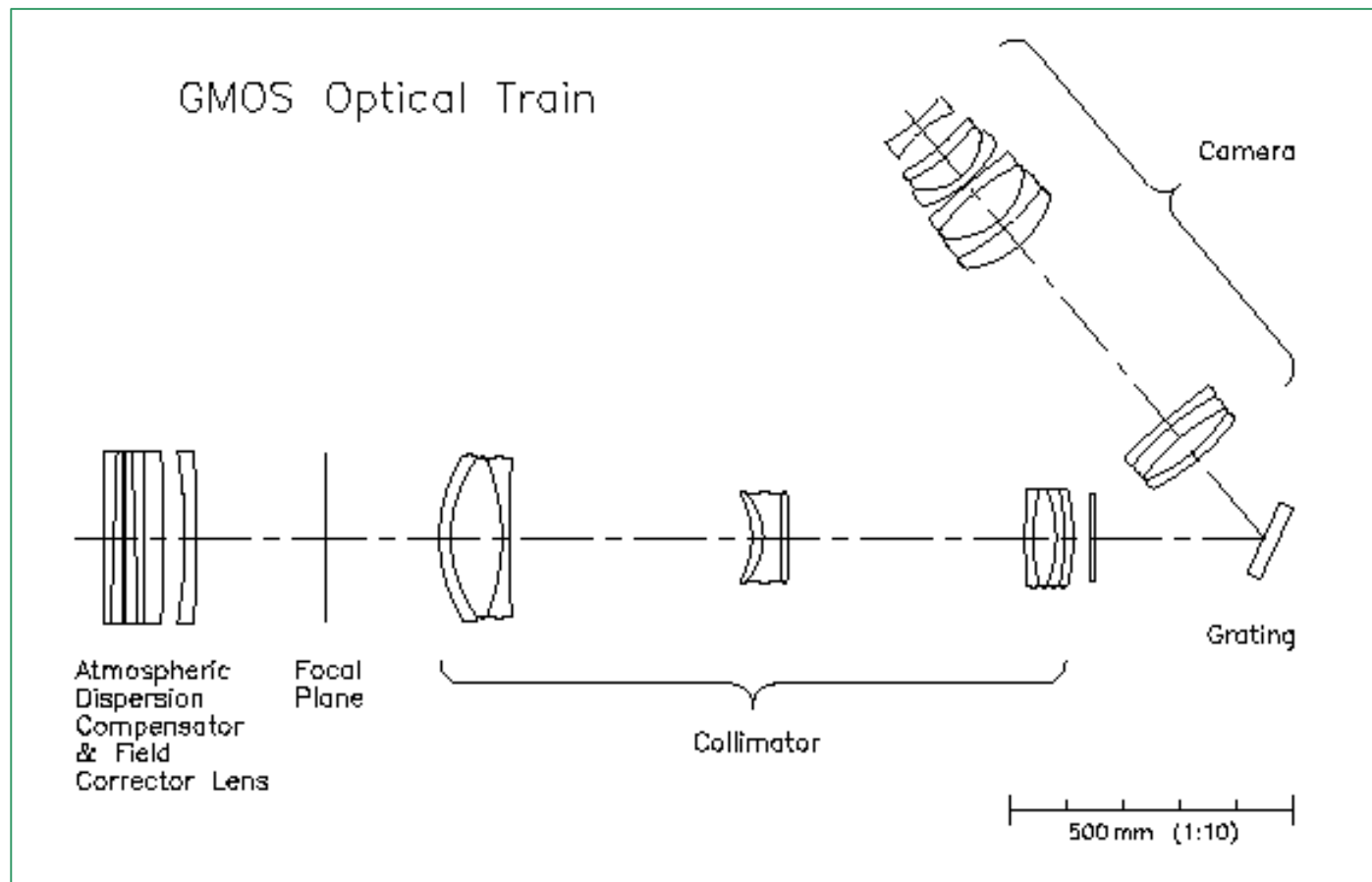
SDSS Spectrograph

Espectroscopía Multi-objeto: máscaras con multi-slits, también fibras

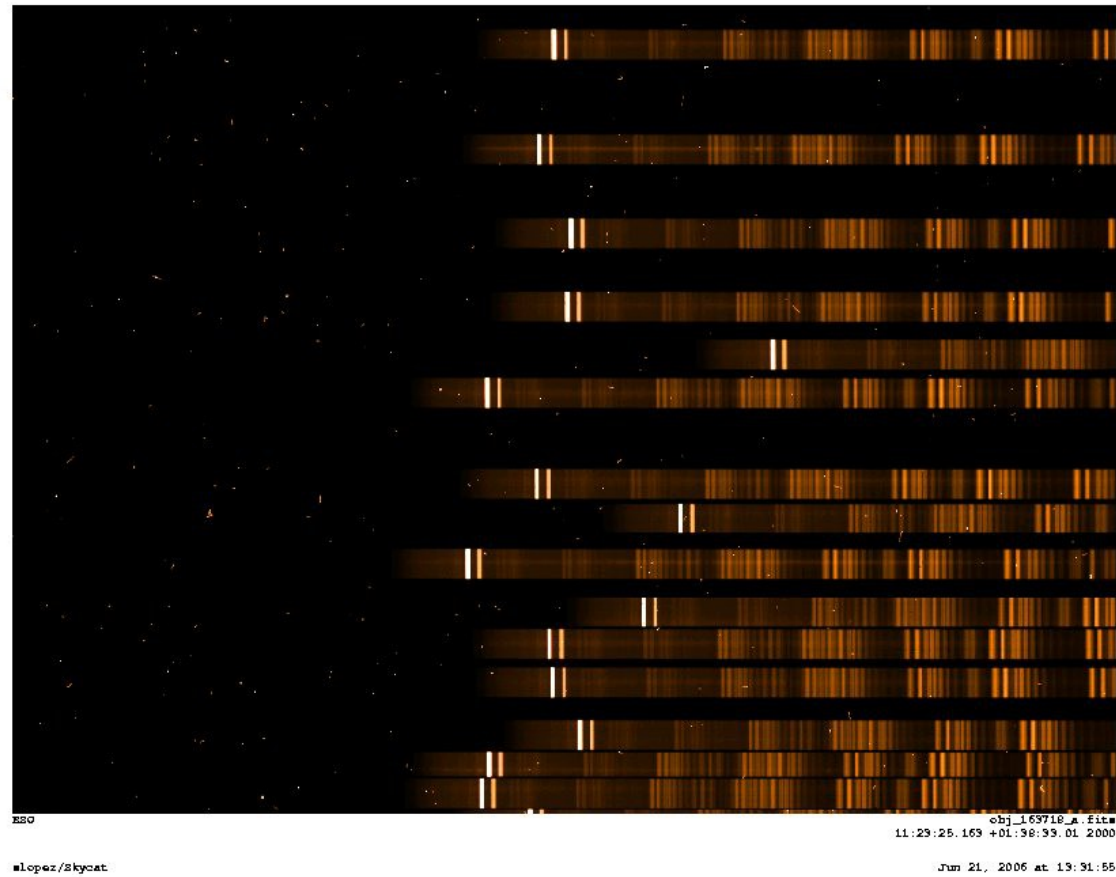


GMOS
@
Gemini

Espectroscopía Multi-objeto: máscaras con multi-slits, también fibras



fibras

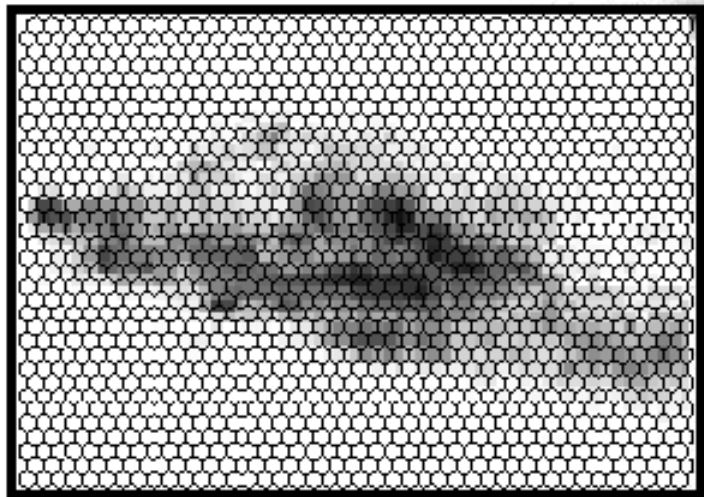


Galaxias
c/ FORS1

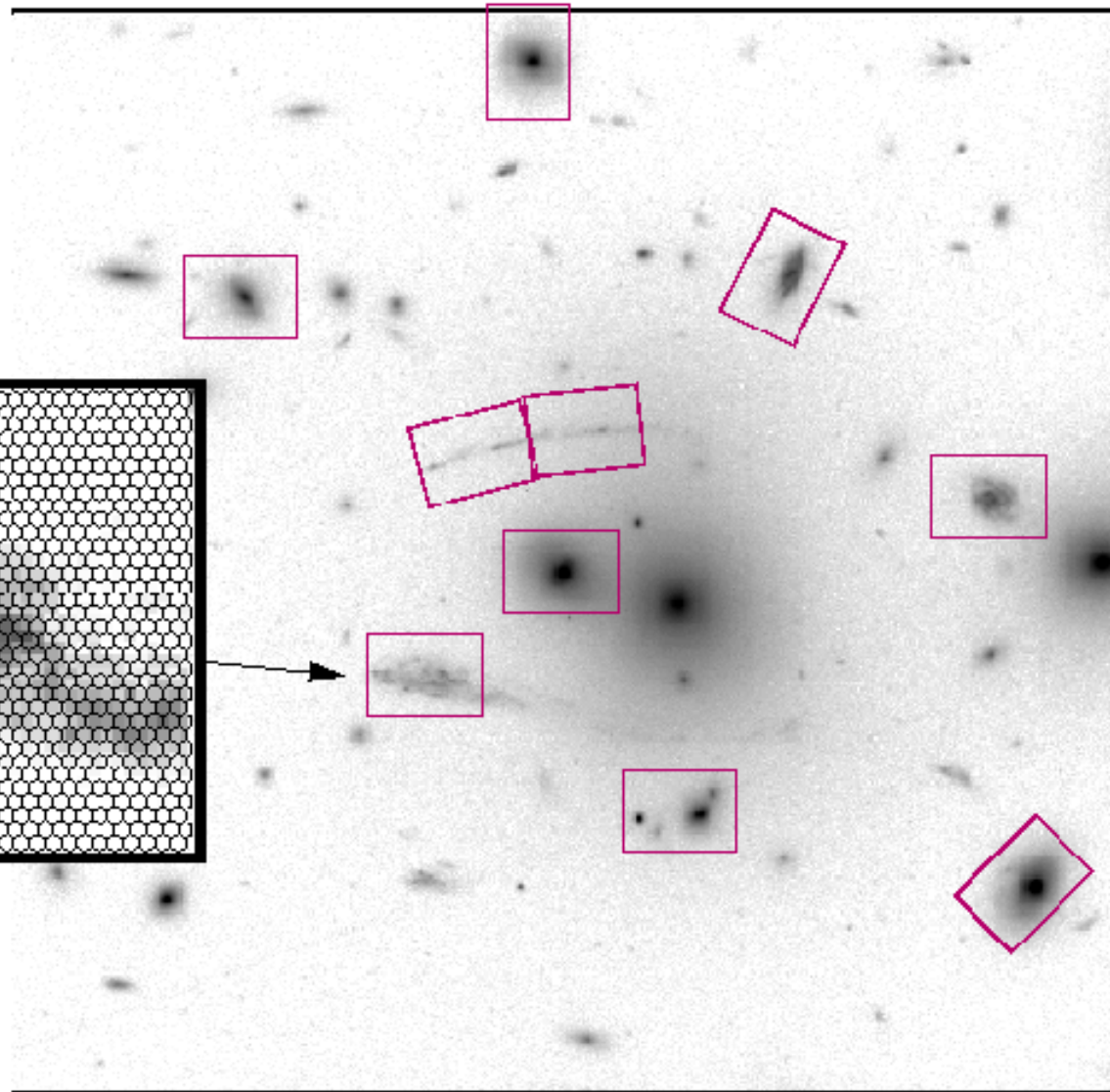
Otras técnicas. “Integral Field Units”

*Integral Field
Spectroscopy:
example targets*

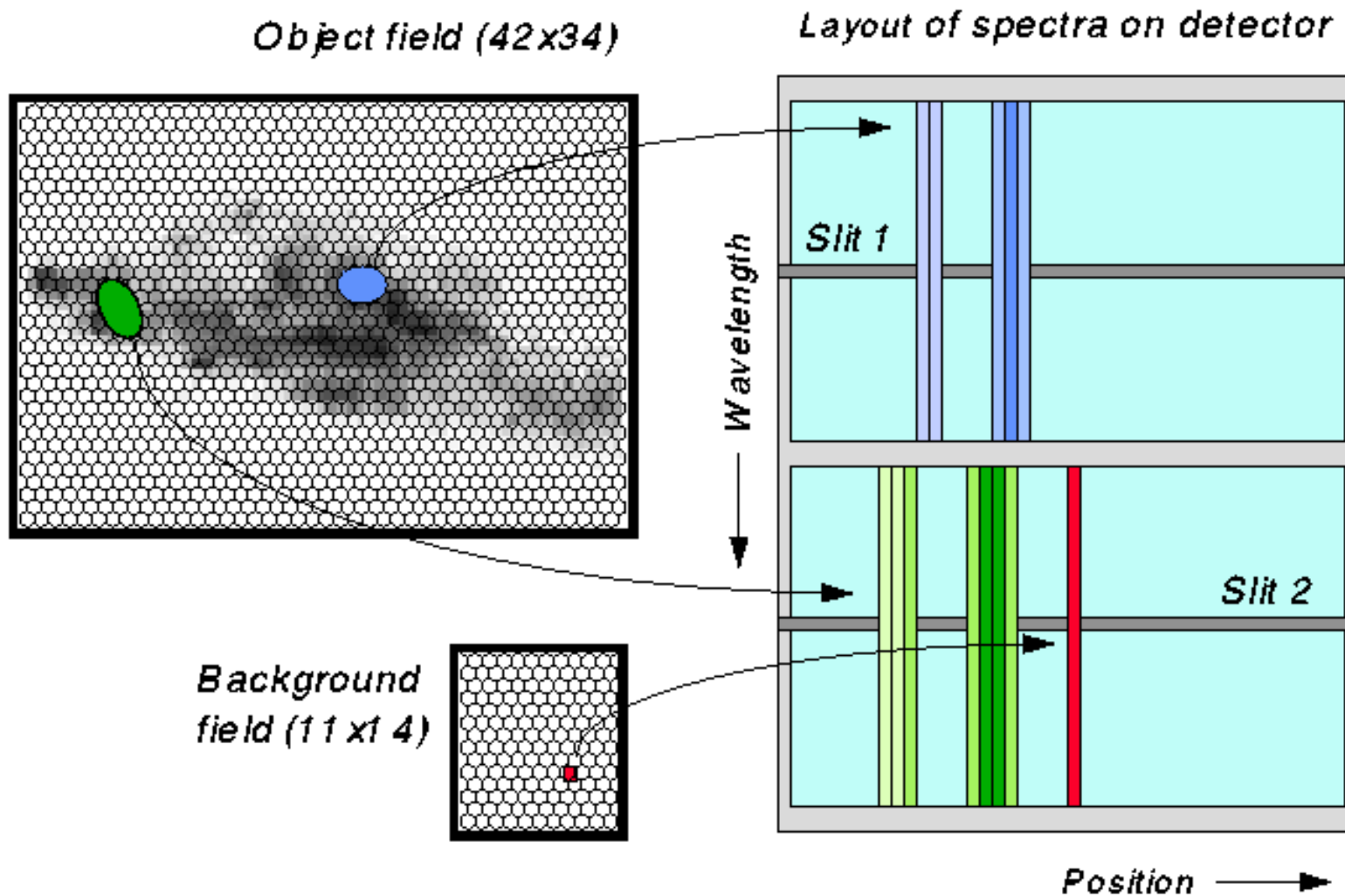
8.4"x5.9" @ 0.2"



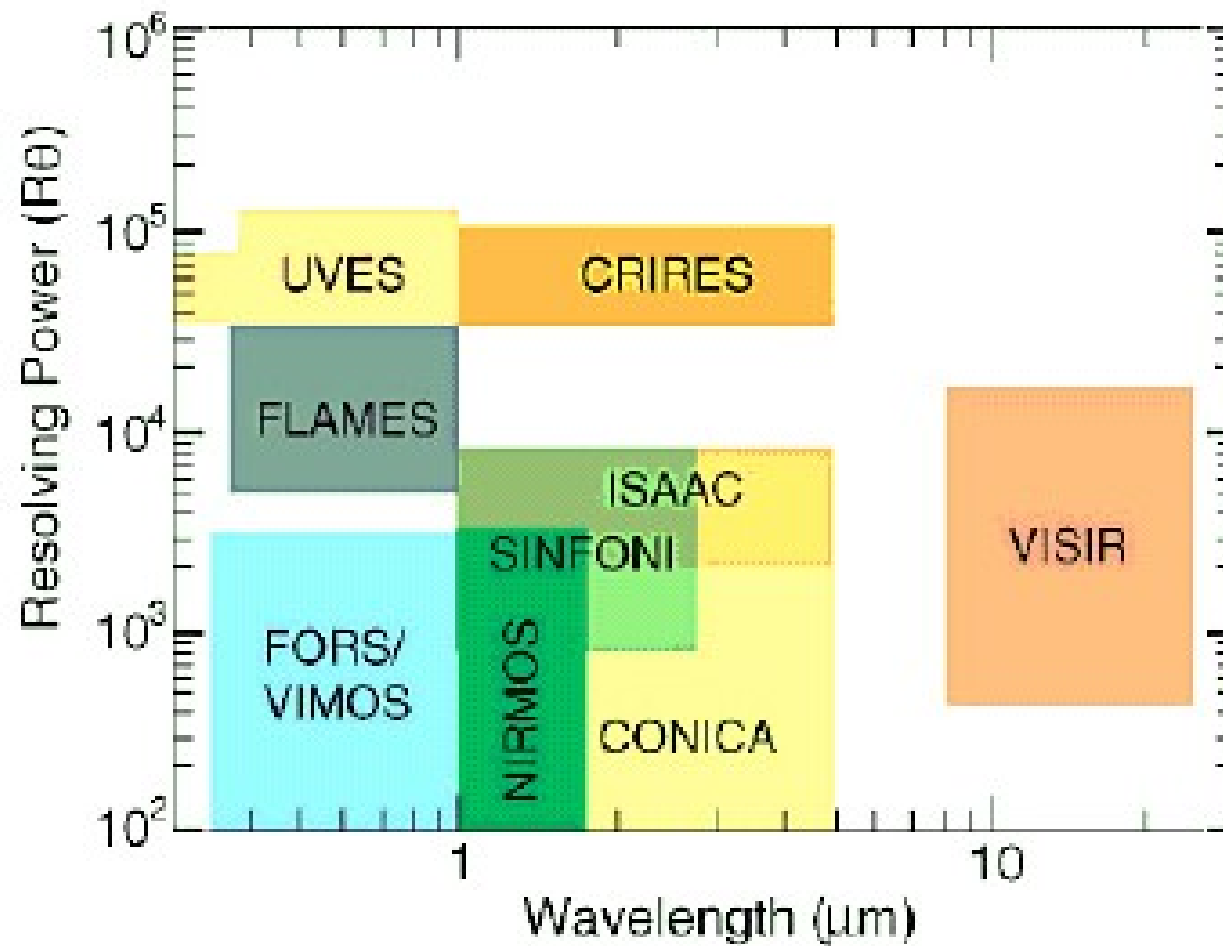
Part of HST image
of Abell 2218
galaxy cluster



Integral Field Spectroscopy: reformatting



Espectrógrafos en telescopios ESO (Gráfico de Claudio Melo)



Futuro: laser combs

Precisión ~cm/s

