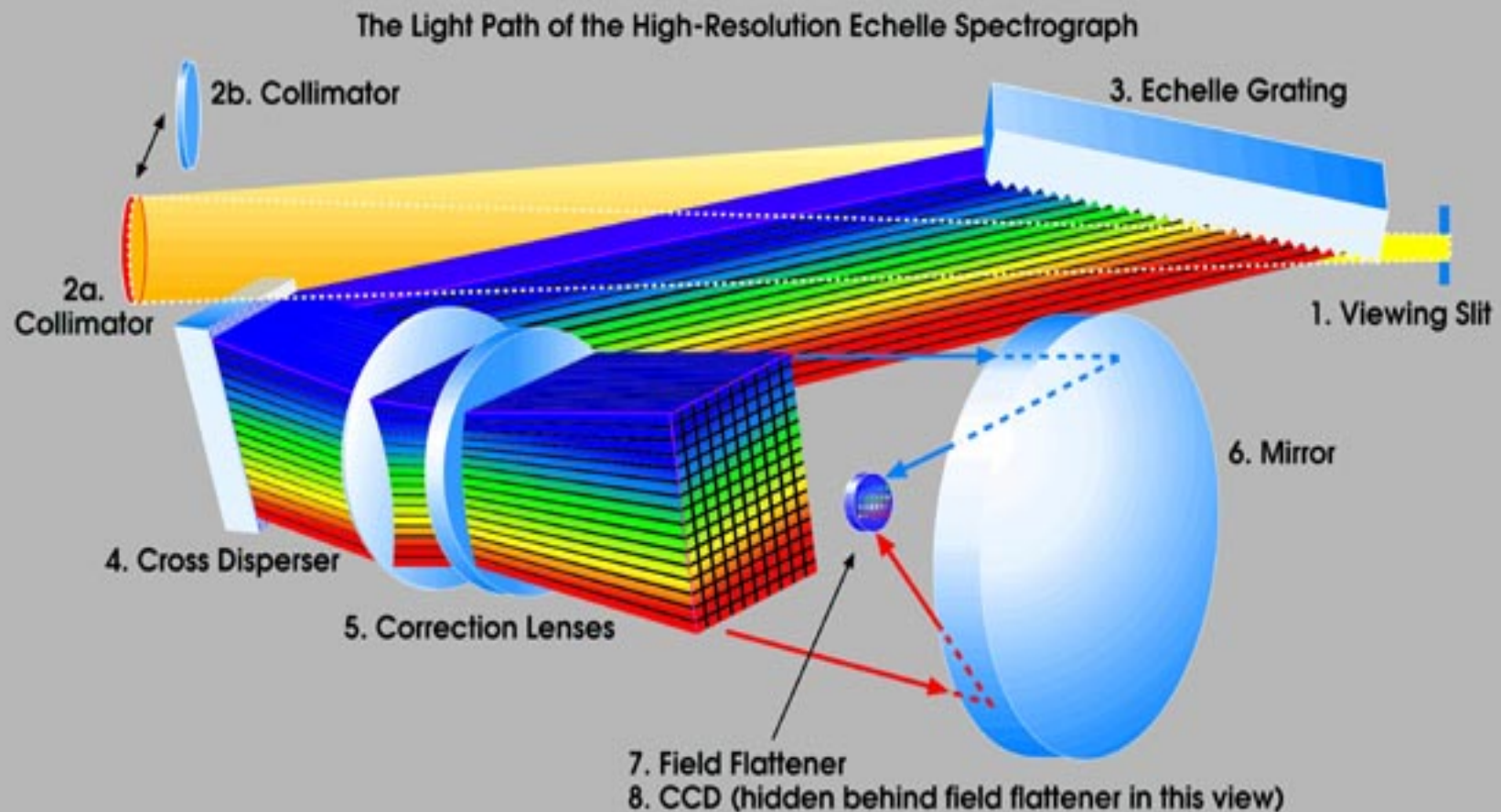
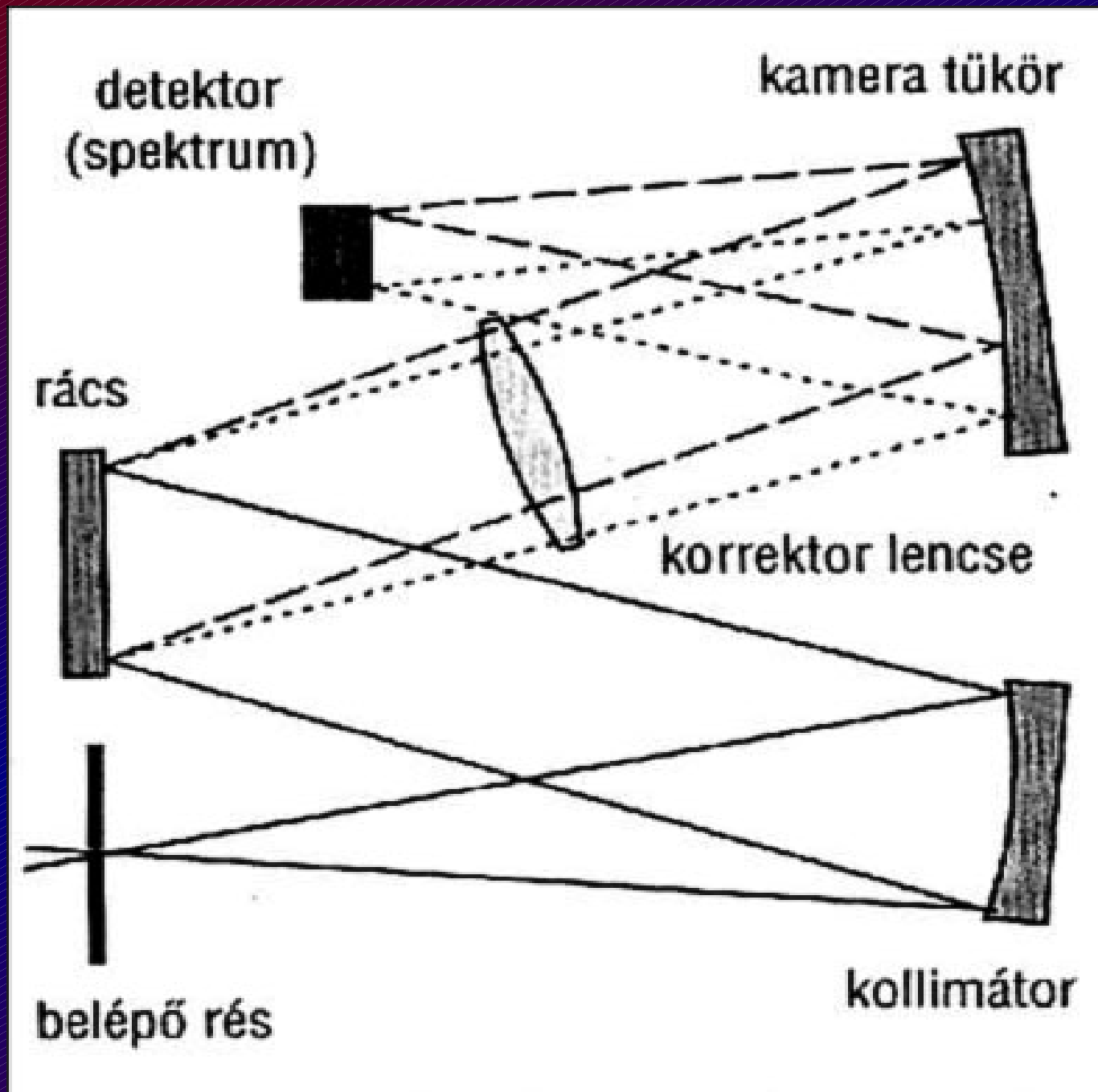


Spektroszkópok jellemzői



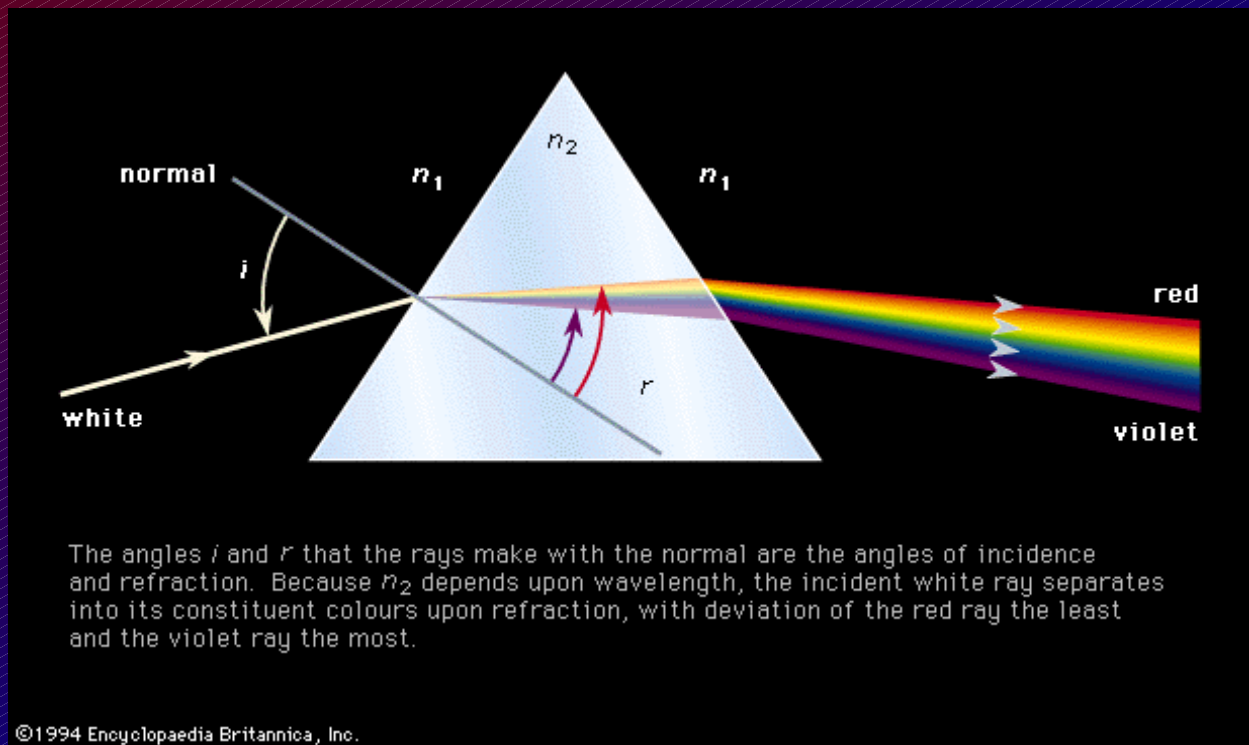
Spektroszkóp általános felépítése



Bontóelem

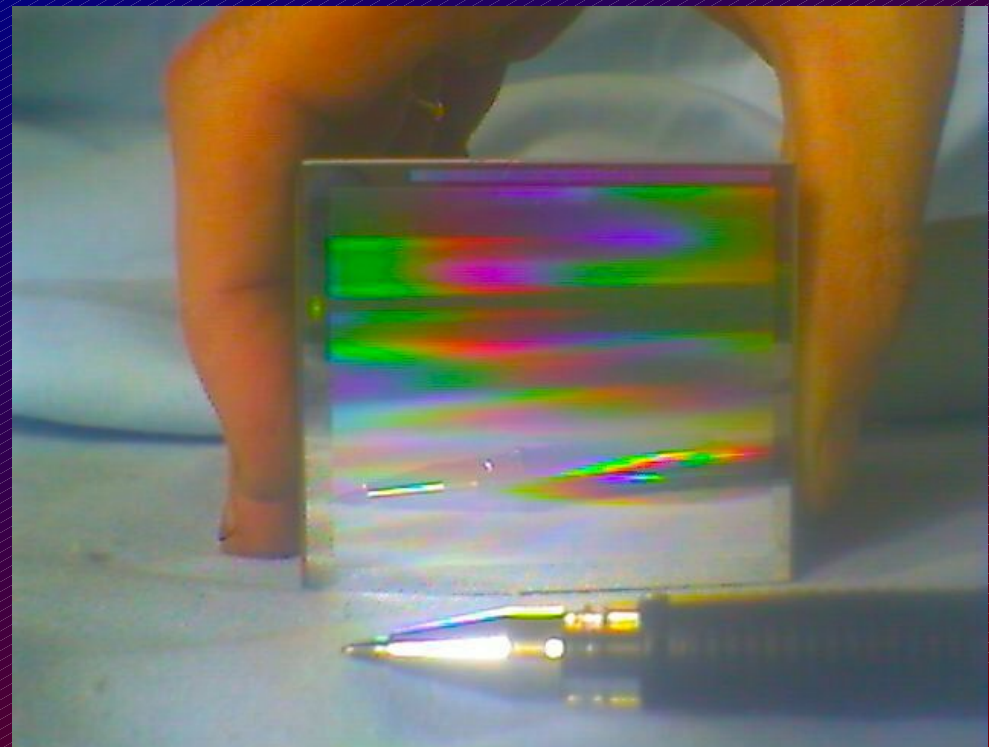
prizma (prism)

- φ törőszög
- $dn/d\lambda$ diszperzió



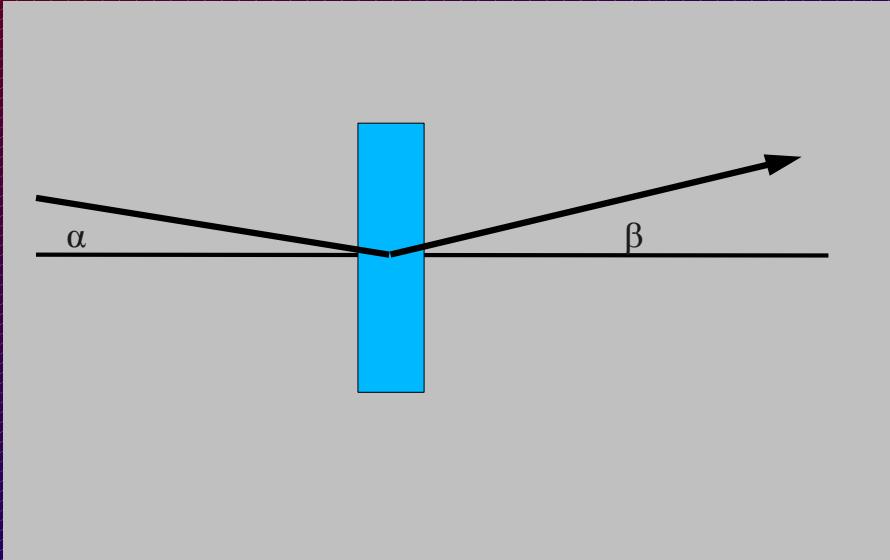
optikai rács (grating)

- transzmissziós
- reflexiós
- d osztásköz
- $1/d$ (mm) rácsállandó



Szögdiszperzió (angular dispersion)

$$d\beta/d\lambda$$



rácsegyenlet:

$$\sin(\alpha) + \sin(\beta) = \frac{m\lambda}{d}$$

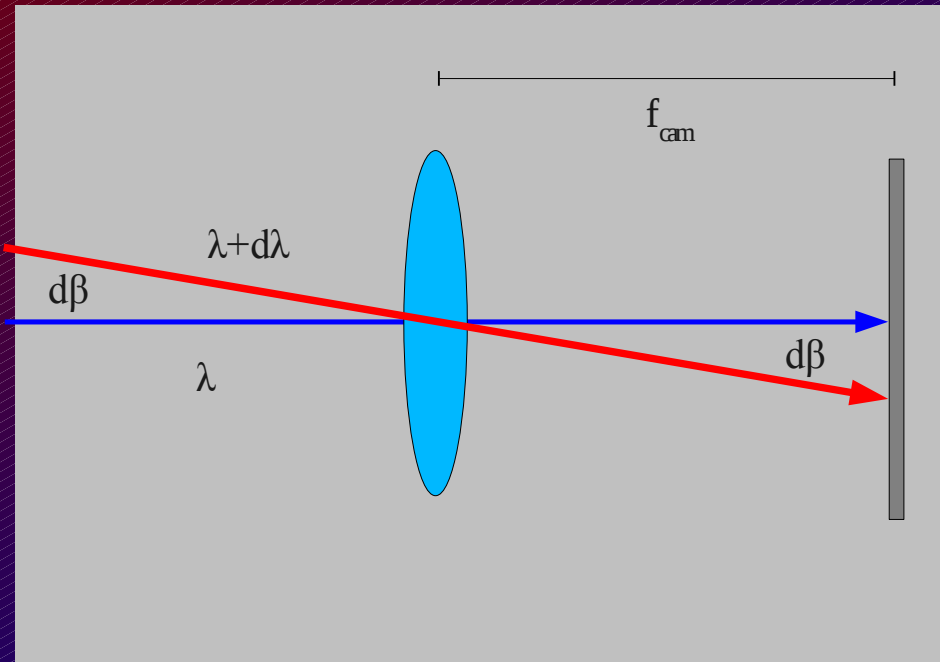
$$\frac{d\beta}{d\lambda} = \frac{m}{d \cos(\beta)}$$

prizma

$$\frac{d\beta}{d\lambda} = \frac{2 \sin(\frac{\varphi}{2})}{\cos(\frac{\beta + \varphi}{2})} \frac{dn}{d\lambda}$$

Lineáris diszperzió (linear dispersion)

$$\frac{dx}{d\lambda}$$



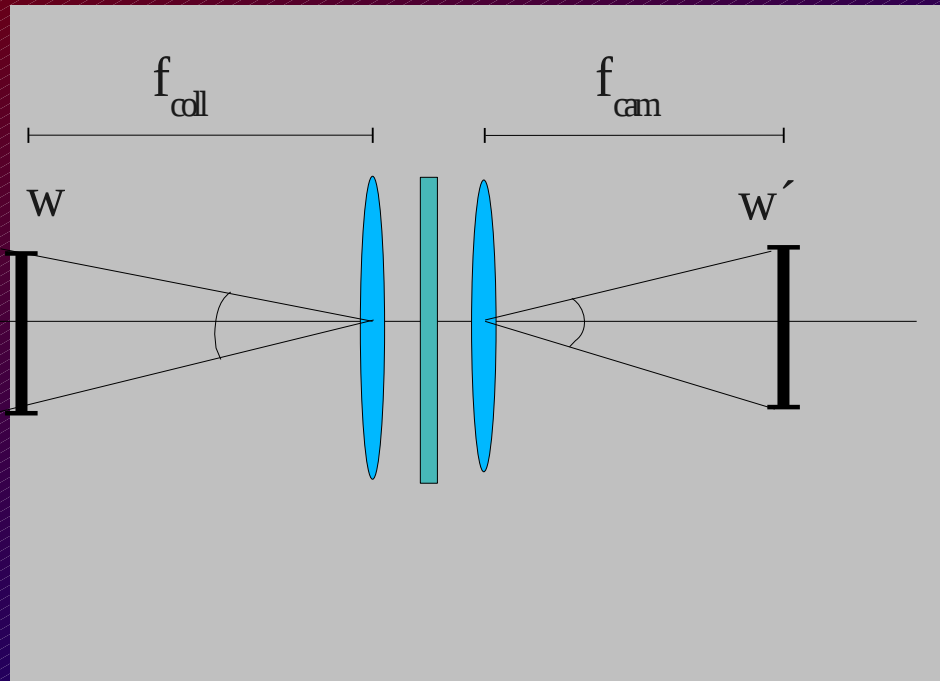
$$dx = f_{cam} d\beta$$

$$\frac{dx}{d\lambda} = f_{cam} \frac{d\beta}{d\lambda}$$

reciprok lineáris diszperzió:

$$\frac{d\lambda}{dx} = 1/f_{cam} \left(\frac{d\beta}{d\lambda} \right)^{-1} = \frac{d \cos(\beta)}{m f_{cam}} \quad (\text{\AA}/\text{mm})$$

Felbontókéesség (resolution)



$$\frac{w}{f_{coll}} = \frac{w'}{f_{cam}}$$

$$\Delta \lambda = w' \frac{d \lambda}{d x} = w \frac{f_{cam}}{f_{coll}} \left(\frac{d \lambda}{d x} \right)$$

$$\Delta \lambda = \frac{d \cos(\beta)}{m} \frac{w}{f_{coll}}$$

felbontókéesség:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta \lambda} = \frac{m}{w \cos(\beta)} \frac{\lambda f_{coll}}{d}$$

Felbontóképesség

prizma: $\left(\frac{\lambda}{\Delta \lambda}\right)_{prizma} = b \left(\frac{dn}{d\lambda}\right)$ b : bázishossz

rács : $\left(\frac{\lambda}{\Delta \lambda}\right)_{rács} = W \frac{m}{d}$ W : rács szélessége

A spektroszkóp és a rács felbontóképességének aránya:

$$\frac{R_{sp}}{R_{rács}} = \frac{\lambda f_{coll}}{W w \cos(\beta)} = \frac{\lambda}{w} \frac{f_{coll}}{D_{coll}}$$

← a kollimátor átmérője

$$\frac{f_{coll}}{D_{coll}} > 1 \quad \text{és} \quad \frac{\lambda}{w} \ll 1 \quad \rightarrow \quad \frac{R_{sp}}{R_{rács}} \ll 1$$

Felbontóképeség

kisfelbontású sp.: $R < 1000$

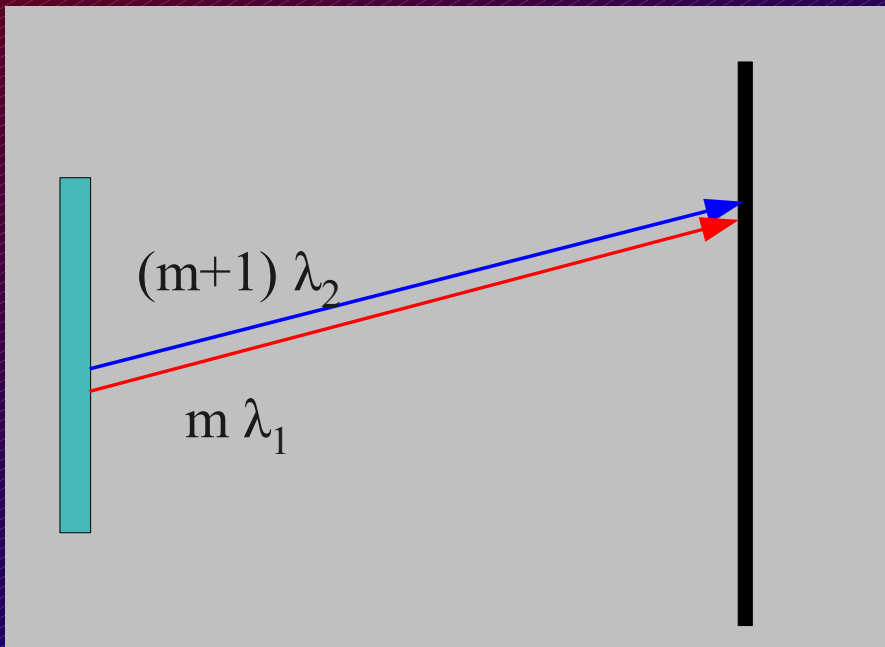
közepes felbontású sp.: $1000 < R < 10\,000$

nagyfelbontású sp.: $R > 10\,000$

extrém nagy felbontás: $R > 100\,000$

Szabad spektráltartomány

(free spectral range, FSR)

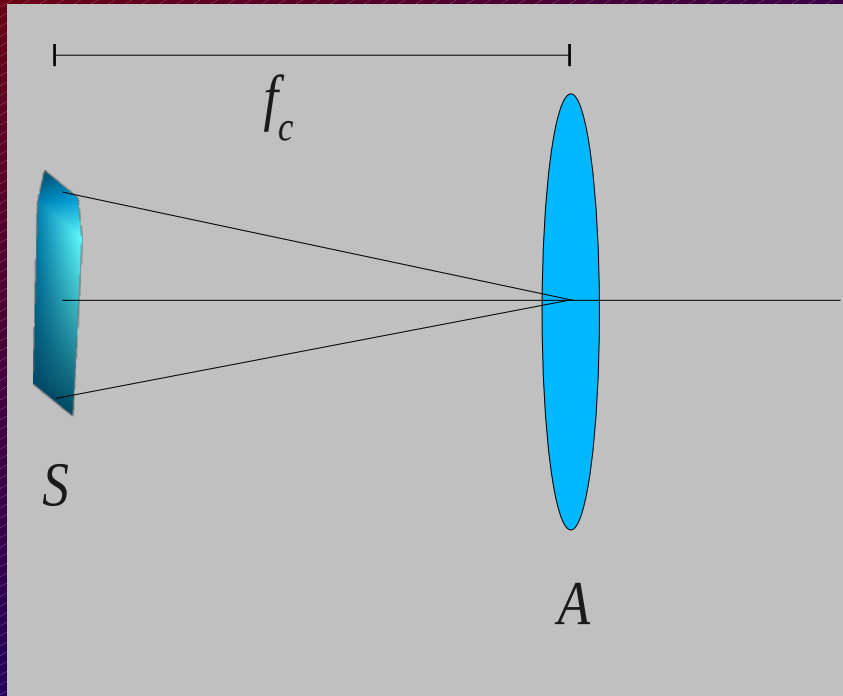


$$m\lambda_1 = d \sin(\beta)$$
$$(m+1)\lambda_2 = d \sin(\beta)$$

$$\delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$$
$$\delta\lambda = d \sin(\beta) \left(\frac{1}{m} - \frac{1}{m+1} \right)$$

$$FSR = \delta\lambda = \frac{d \sin(\beta)}{m(m+1)}$$

Fényerő (luminosity)



$$S = w \cdot l$$

$$A = \pi / 4 \cdot D_{coll}^2$$

$$\Omega = S / f_c^2$$

etendue:

$$E_{sp} = A \cdot \Omega = \pi / 4 \cdot \left(\frac{D_{coll}}{f_c} \right)^2 \cdot w l$$

Egyenletesen kivilágított résnél:

$$L = B \cdot E$$

Optimális illesztés:

$$E_{tel} = \pi / 4 D_{tel}^2 \sigma = E_{sp}$$

seeing disk szögmérete

Fényerő vs. felbontás

$R \sim 1/w \Rightarrow$ felbontás növelése = résszél. csökkentése

$L \sim w \Rightarrow$ résszélesség csökkentése = fényerő csökken

A rés kivilágítása $\sim D_{tel}^2 \Rightarrow$

a fényveszteség csökkentéséhez nagyobb távcső kell!

Illesztési feltétel: $(D/f)_{tel} = (D/f)_{coll}$

Seeing hatása

tipikus seeing: $\sigma = 1''$

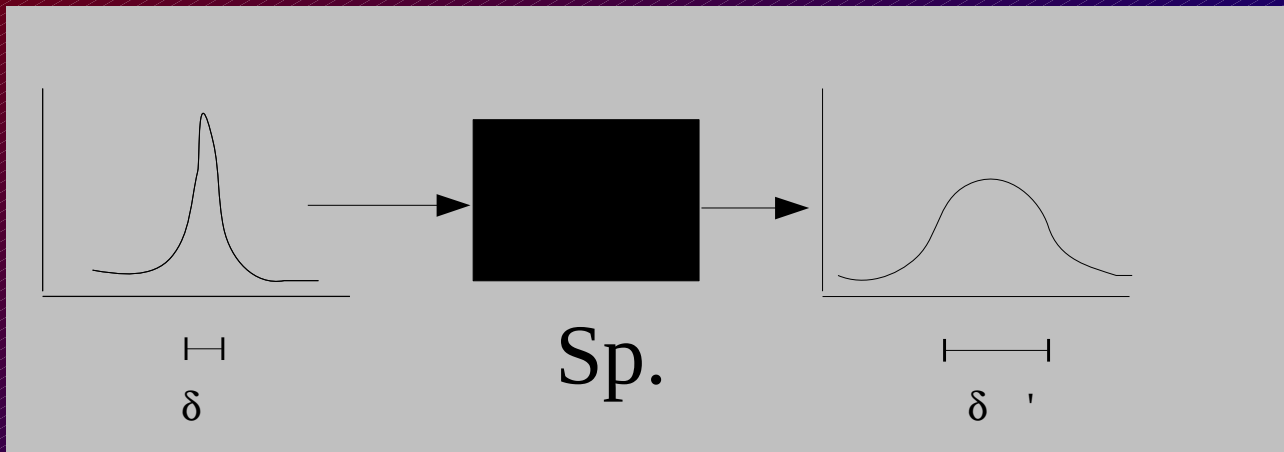
jó seeing: $\sigma = 0.5''$

magyarországi seeing: $\sigma = 2 - 3''$

A seeing diszk mérete a képsíkon: $s = f_{tel} \sigma$

ha $s > w \Rightarrow$ a rés kivilágítása csökken
(fényvesztéség!)

Spektroszkóp átviteli függvénye



A véges részzélesség miatt: $\Delta\lambda' > \Delta\lambda$

$$f(\lambda) = \int_{-\infty}^{\infty} s(\lambda') \cdot h(\lambda - \lambda') d\lambda'$$

mért spektrum

eredeti spektrum

átviteli függvény

Az átviteli függvény (broadening function) meghatározása:

$$h(\lambda) = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(\lambda') h(\lambda - \lambda') d\lambda'$$

bemenet: Dirac-delta (keskeny spektrumvonal)

kimenet: műszer átviteli függvénye

Konvolúció Fourier-transzformációval

$$F(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\lambda) \exp(-i \lambda x) d\lambda$$

Fourier-transzformált

$$f(\lambda) = \int_{-\infty}^{\infty} F(x) \exp(+i x \lambda) d x$$

inverz Fourier-transzformált

$$f(\lambda) = s(\lambda) * h(\lambda) \rightarrow F(x) = S(x) \cdot H(x)$$

a konvolúciónak a Fourier-transzformáltak szorzata felel meg

$$s(\lambda) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{F(x)}{H(x)} \exp(+i \lambda x) d x$$

a spektrum visszaállítása (dekonvolúció)

Probléma: a zaj felerősödik


$$f(\lambda) = \varphi(\lambda) + z(\lambda) \rightarrow F(x) = \Phi(x) + Z(x)$$

$$s'(\lambda) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Phi(x) + Z(x)}{H(x)} \exp(i\lambda x) dx$$

$$s'(\lambda) = s(\lambda) + \int_{-\infty}^{\infty} \frac{Z(x)}{H(x)} \exp(i\lambda x) dx$$

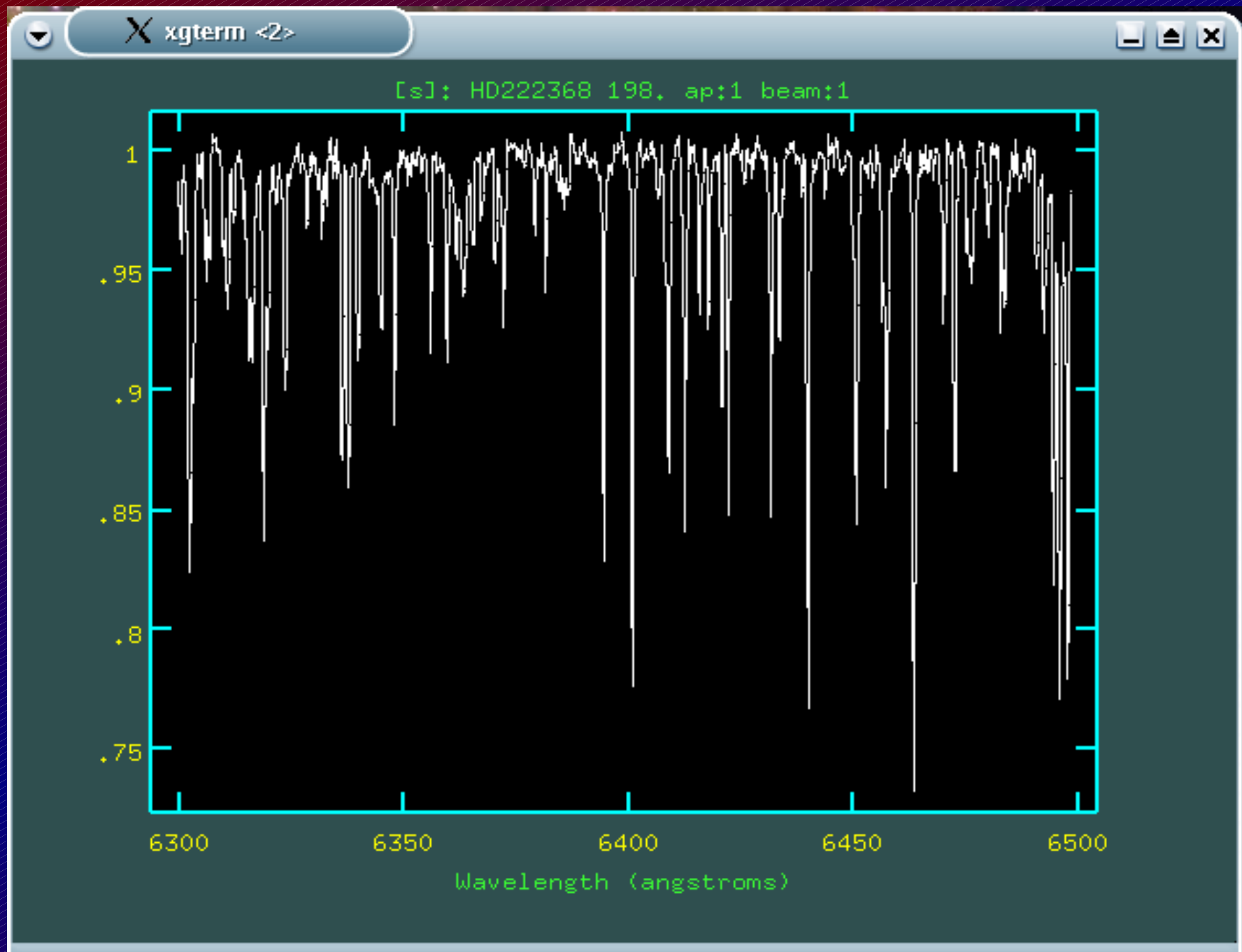
$$x \rightarrow \infty : H(x) \rightarrow 0$$

ezért

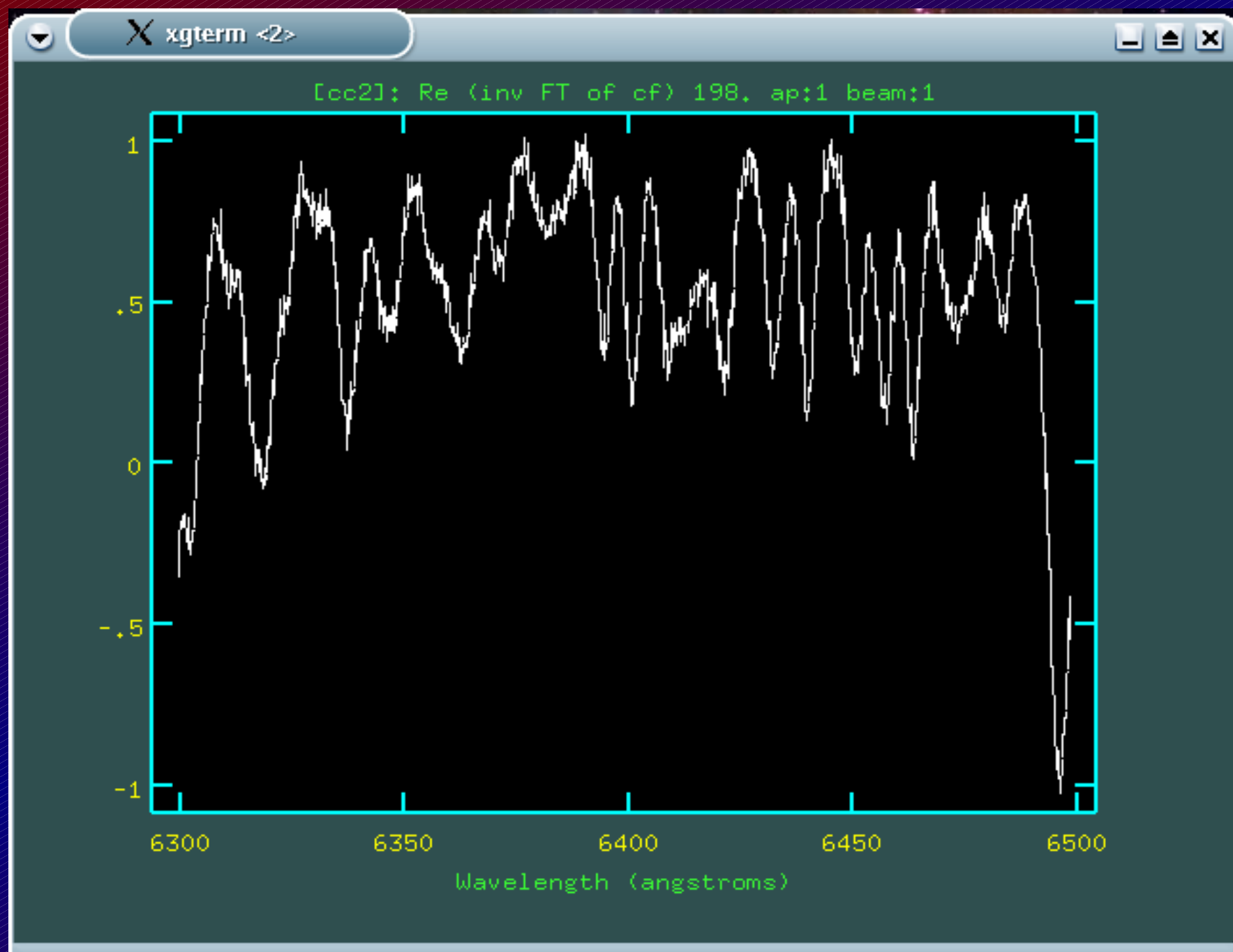
$$\frac{Z(x)}{H(x)} \rightarrow \infty$$

az átviteli függvény csökkenése miatt a nagyfrekvenciás részeknél egyre erősebb lesz a zaj!

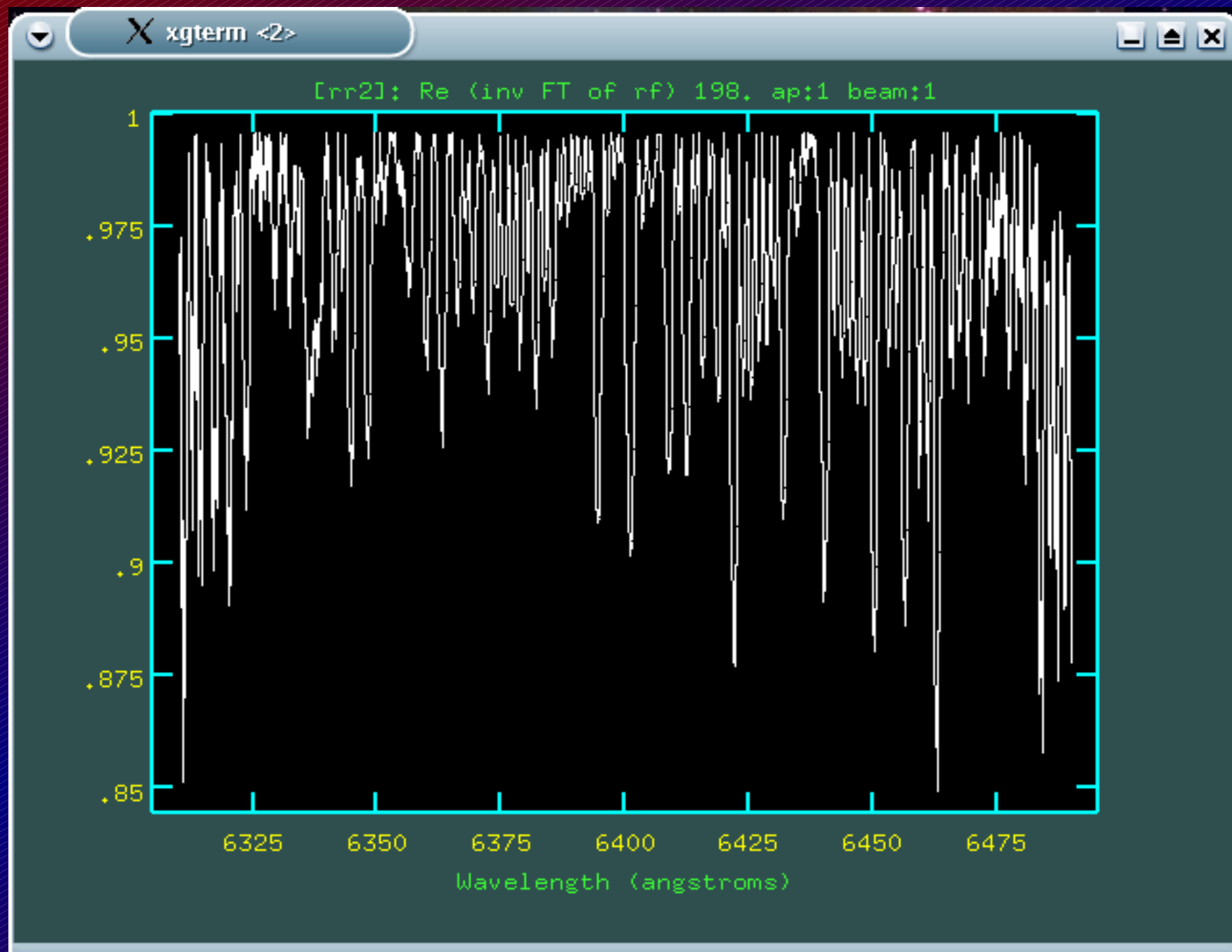
Eredeti spektrum



Kiszélesedett, zajos spektrum



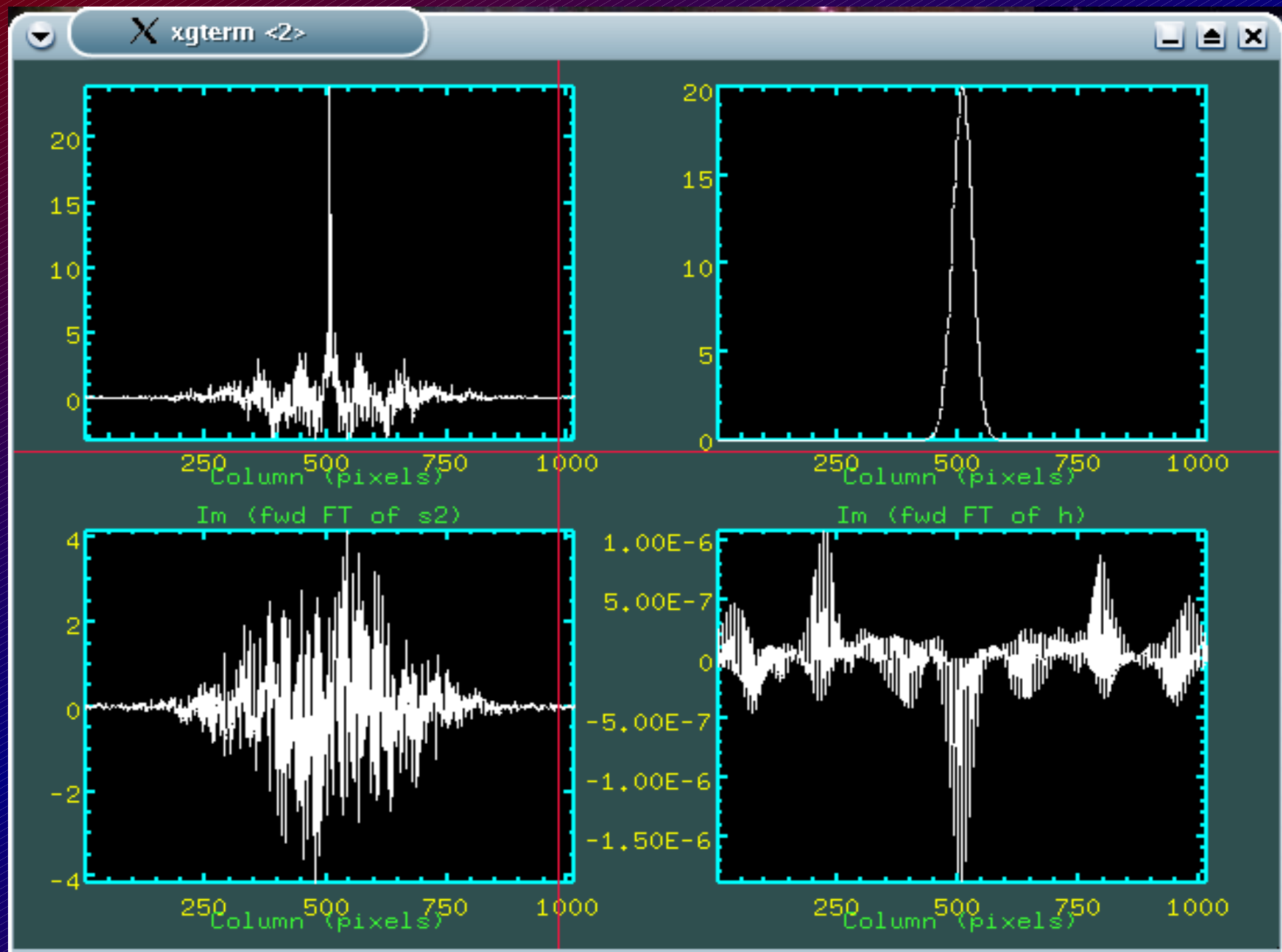
Rekonstruált spektrum



Fourier-transzformáltak

$S(x)$

$H(x)$



Fourier-transzformáltak

$F(x)$

$F(x) / H(x)$

