

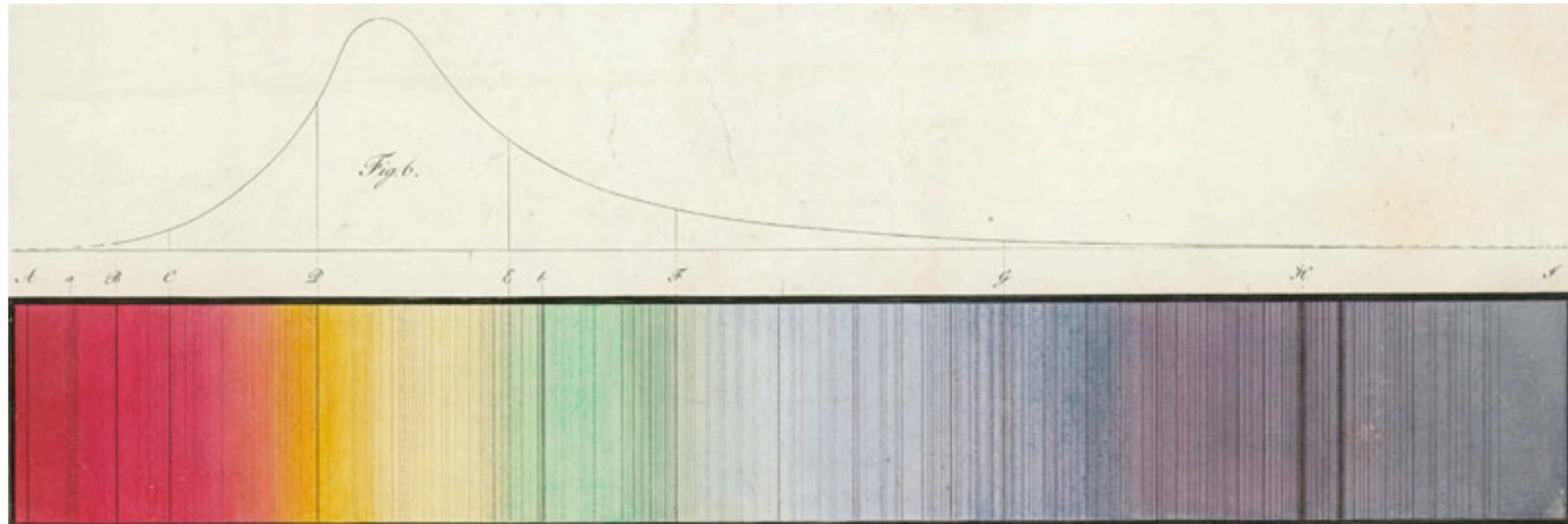
# Espectroscopia e Espectrógrafos

# Espectroscopia: o começo



**Joseph von Fraunhofer**: as primeiras identificações de linhas de emissão no espectro do Sol

Linha	$\lambda$	Origem	Cor
A	759.37	atmospheric $O_2$	dark red
B	686.72	atmospheric $O_2$	red
C	656.28	hydrogen alpha	red
D1	589.59	neutral sodium	red orange
D2	589.00	neutral sodium	yellow
E	526.96	neutral iron	green
F	486.13	hydrogen beta	cyan
G	431.42	CH molecule	blue
H	396.85	ionised calcium	dark violet
K	393.37	ionised calcium	dark violet



O Espectro do Sol do modo descrito por Fraunhoffer em 1820: hoje se sabe que que as linhas escuras representam elementos químicos presentes na fotosfera solar. A curva superior representa o brilho ao longo da faixa visível.



**Angelo Secchi**: pioneiro da classificação espectral das estrelas. Foi um dos primeiros astrônomos a caracterizar o Sol como uma estrela.

As classes espectrais modernas: uma relação entre cor, temperatura efetiva e características espectrais

Spectral Class	Intrinsic Color	Temperature (K)	Prominent Absorption Lines
O	Blue	41,000	He+, O++, N++, Si++, He, H
B	Blue	31,000	He, H, O+, C+, N+, Si+
A	Blue-white	9,500	H(strongest), Ca+, Mg+, Fe+
F	White	7,240	H(weaker), Ca+, ionized metals
G	Yellow-white	5,920	H(weaker), Ca+, ionized & neutral metal
K	Orange	5,300	Ca+(strongest), neutral metals strong, H(weak)
M	Red	3,850	Strong neutral atoms, TiO

## A espectroscopia de laboratório



Gustav Kirchhoff (esq) e Robert Bunsen (dir), os pais da espectroscopia de laboratório

# O que um espectro nos diz?

- Velocidades radiais (por Efeito Döppler)

A expansão do universo, expansão de Nebulosas Planetárias e Supernovas

- Abundâncias Químicas: átomos, moléculas, isótopos

Evolução estelar, evolução de galáxias e do Universo

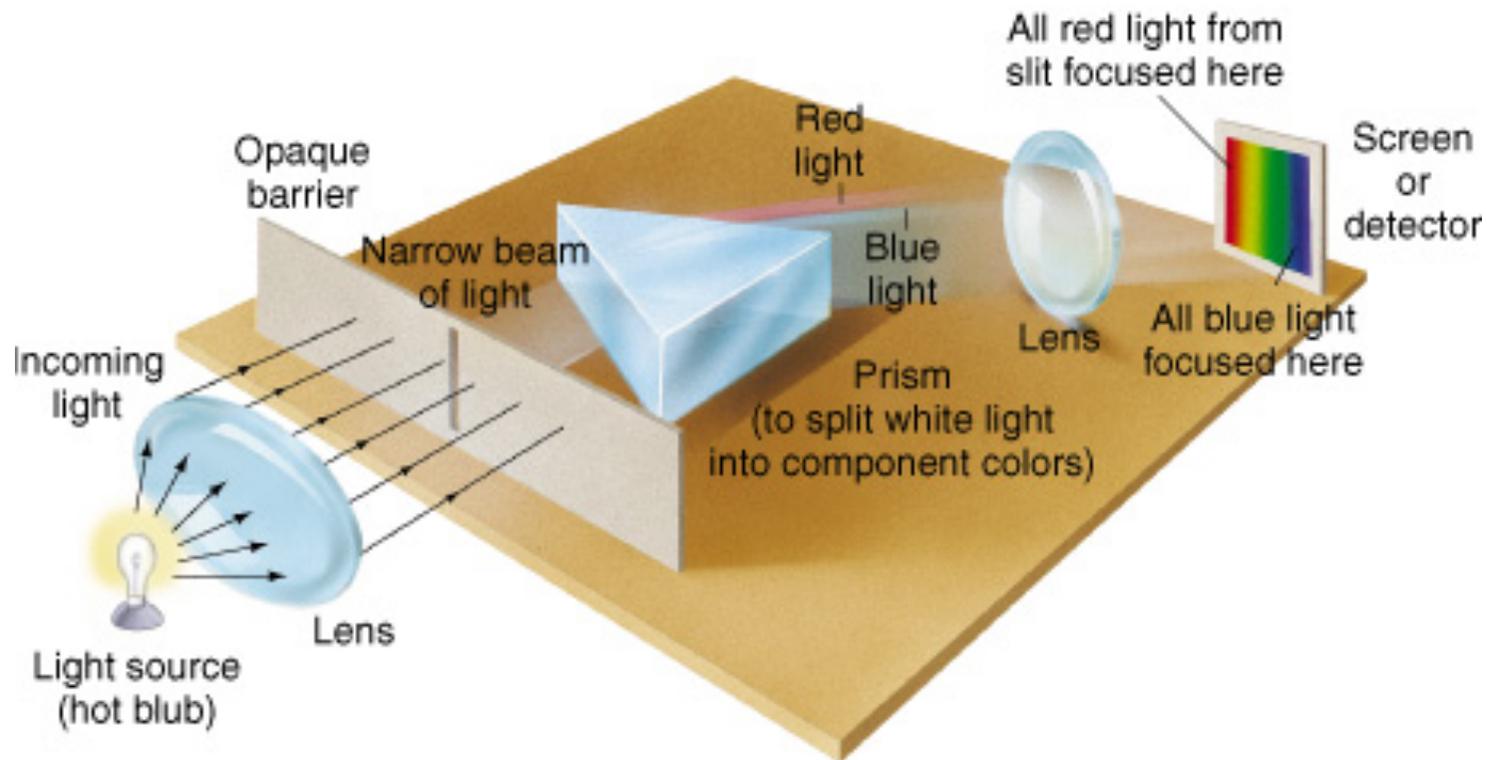
- Parâmetros físicos de um meio (temperatura e densidade)

Regiões de formação estelar, galáxias ativas

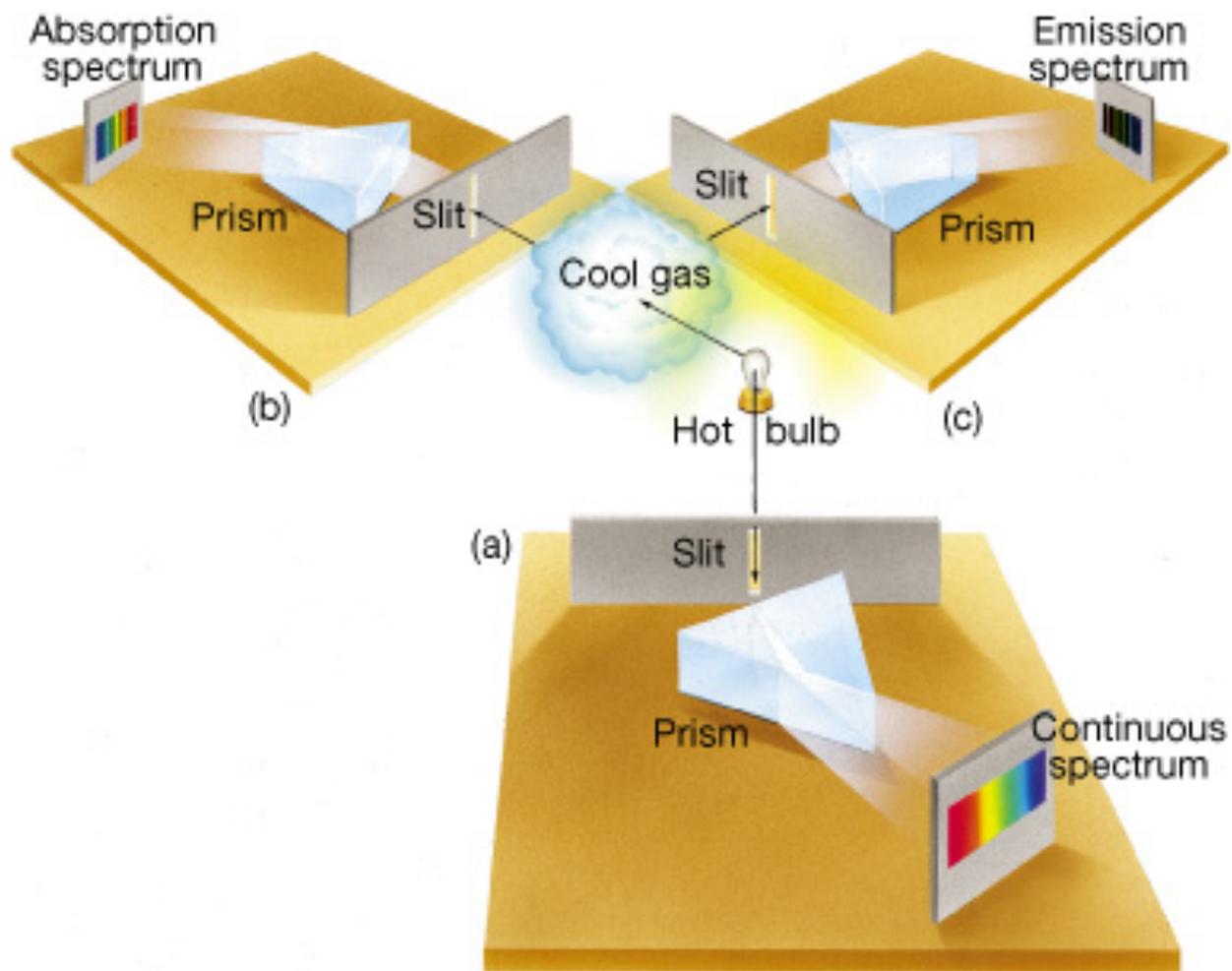
- Campo magnético

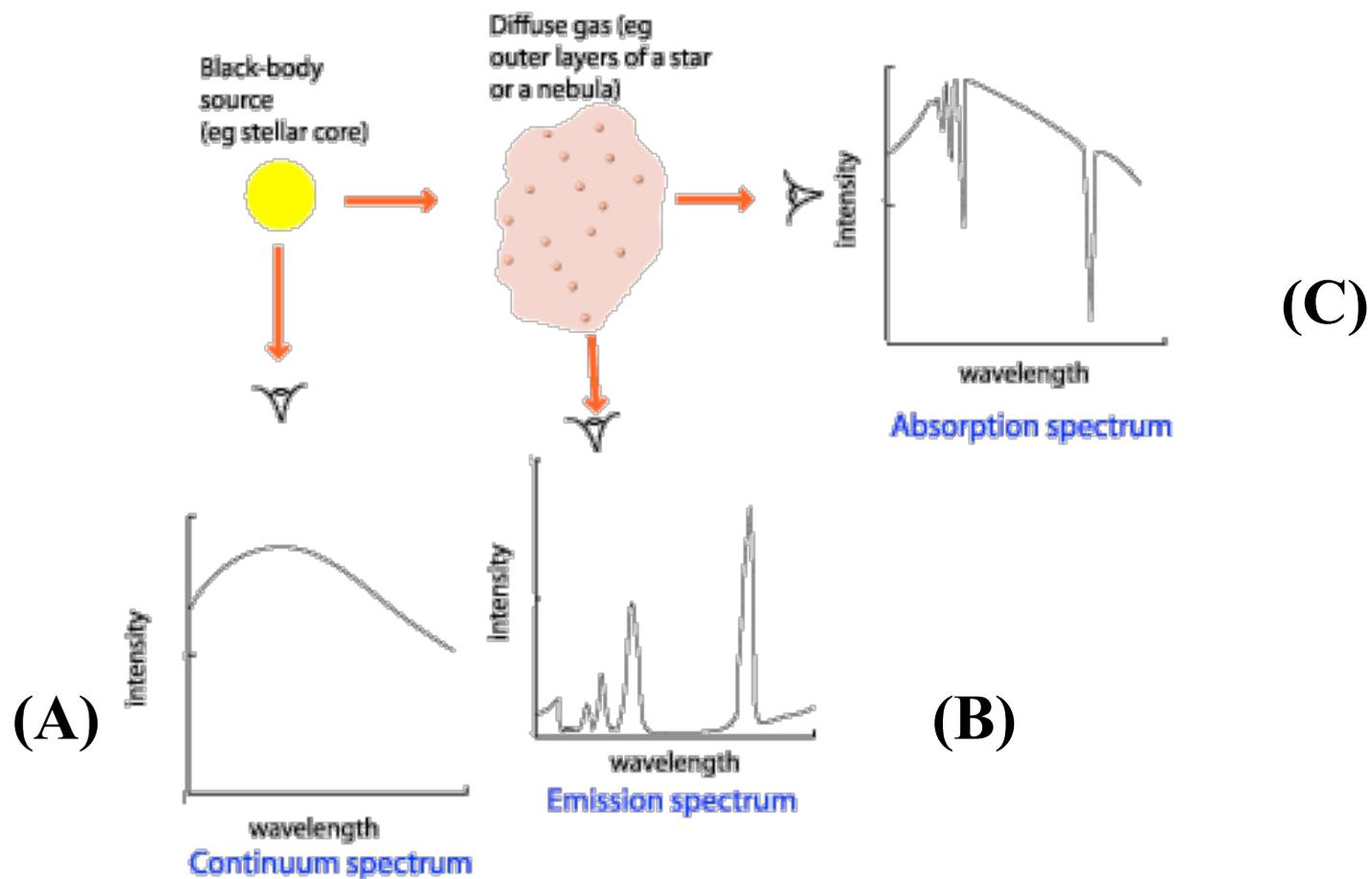
Meio interestelar, variáveis cataclísmicas

# O fundamento da espectroscopia: o princípio da difração da luz por uma fenda + prisma



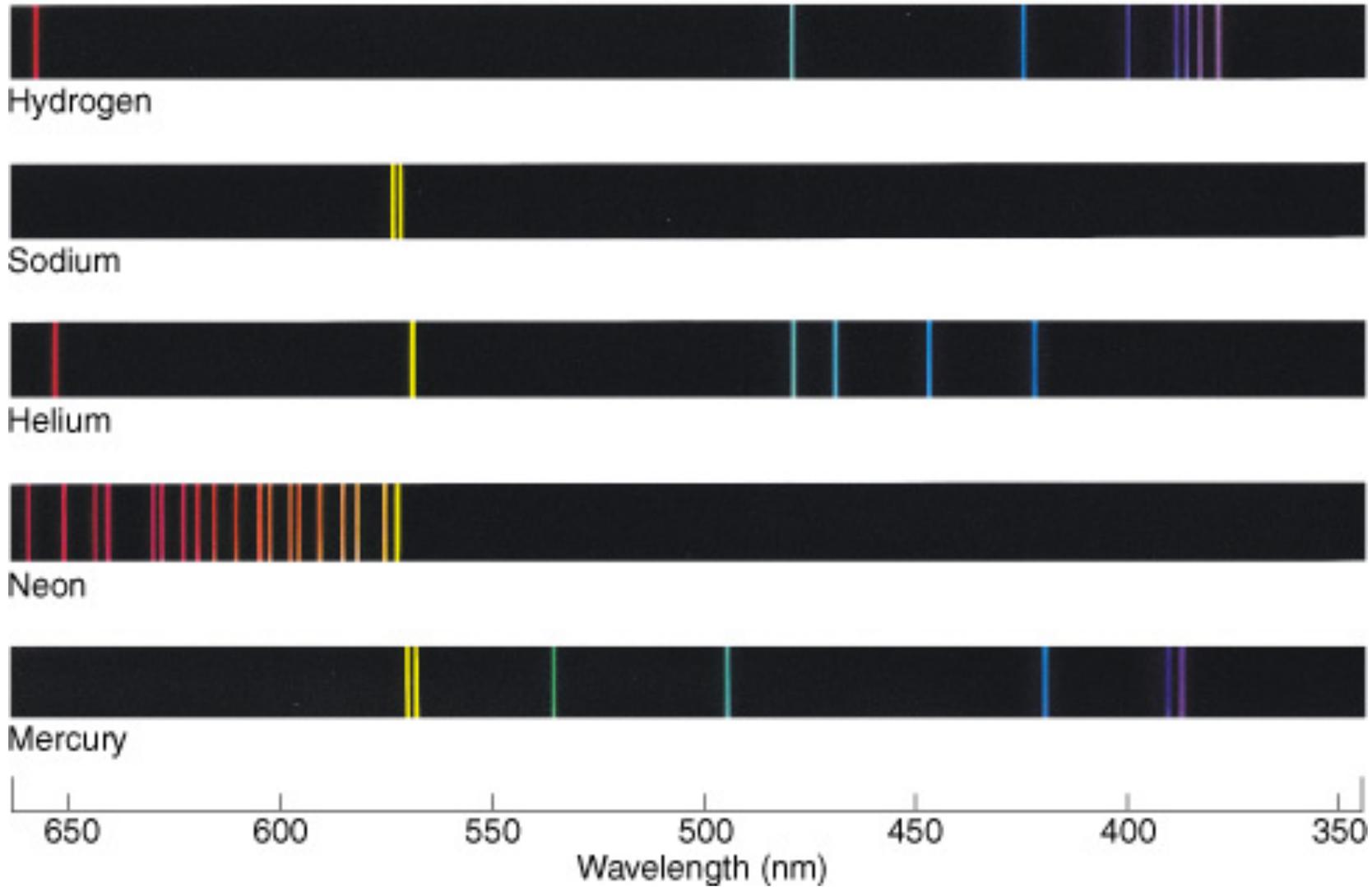
# As leis de Kirchhoff da radiação



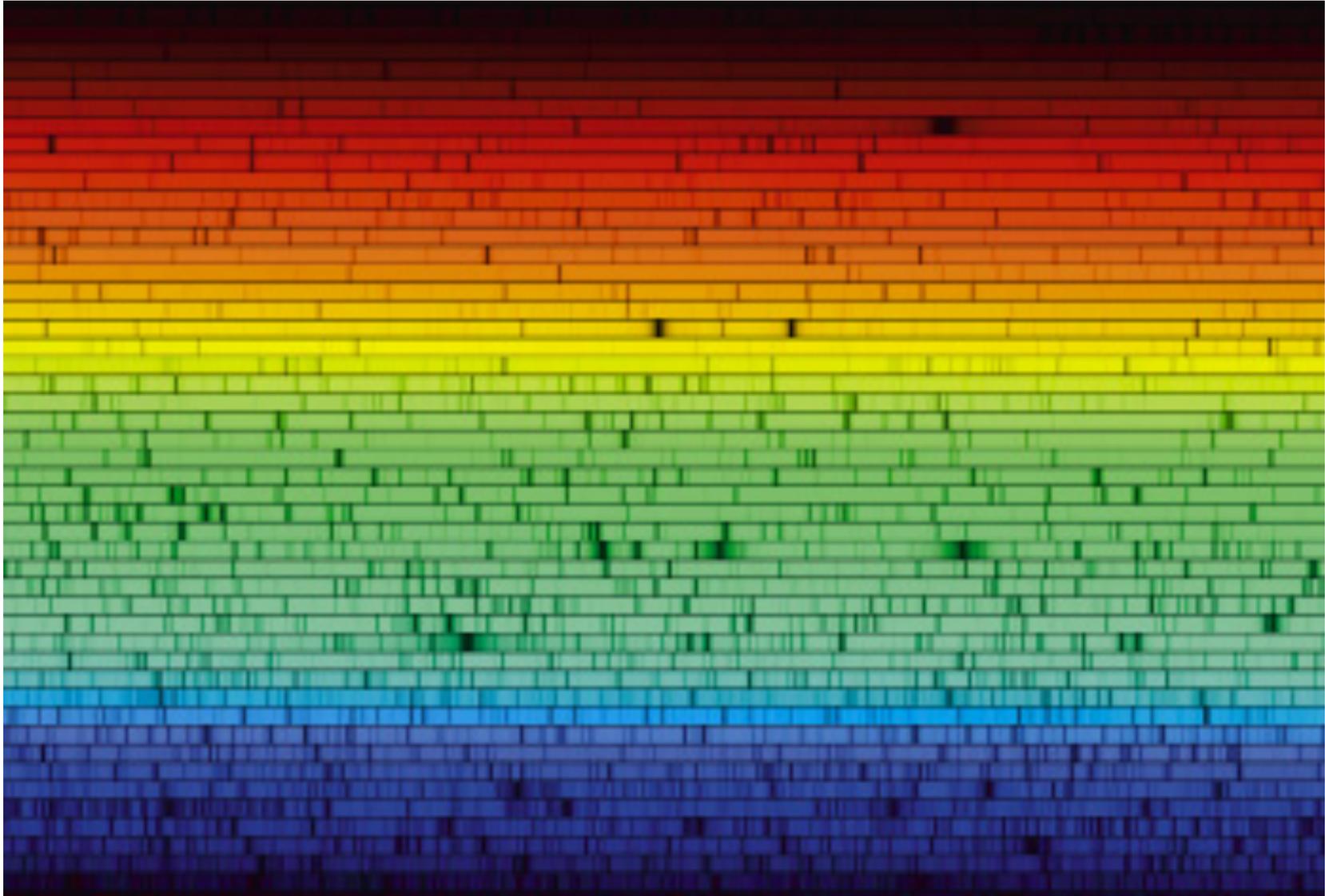


O Efeito das leis de Kirchhoff: perfil espectral contínuo (A), de emissão (B) e de absorção (C).

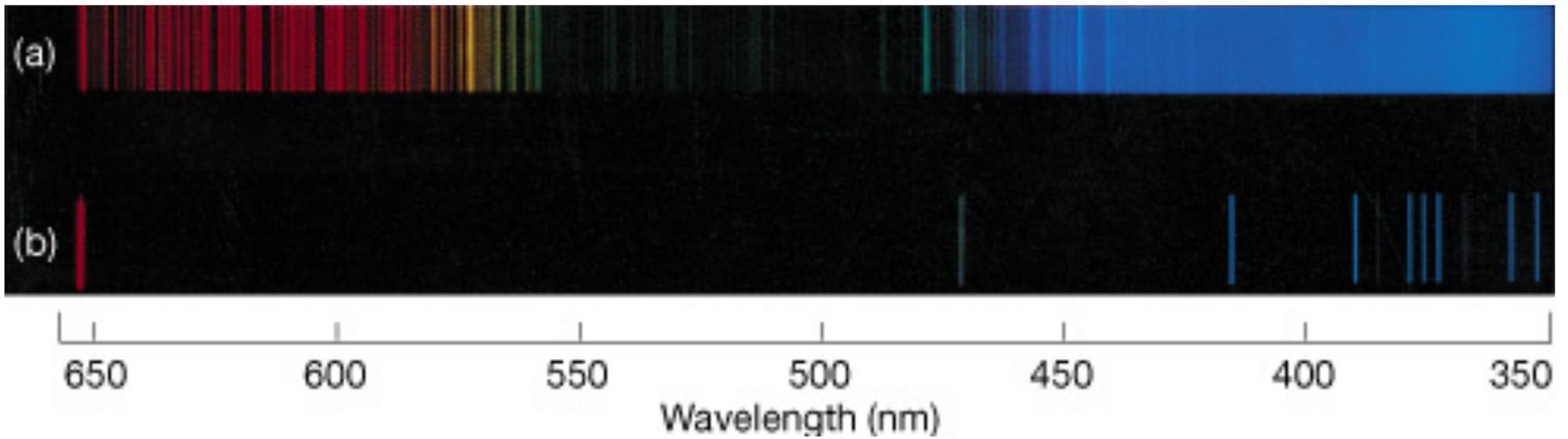
# Espectros de linhas de alguns elementos simples



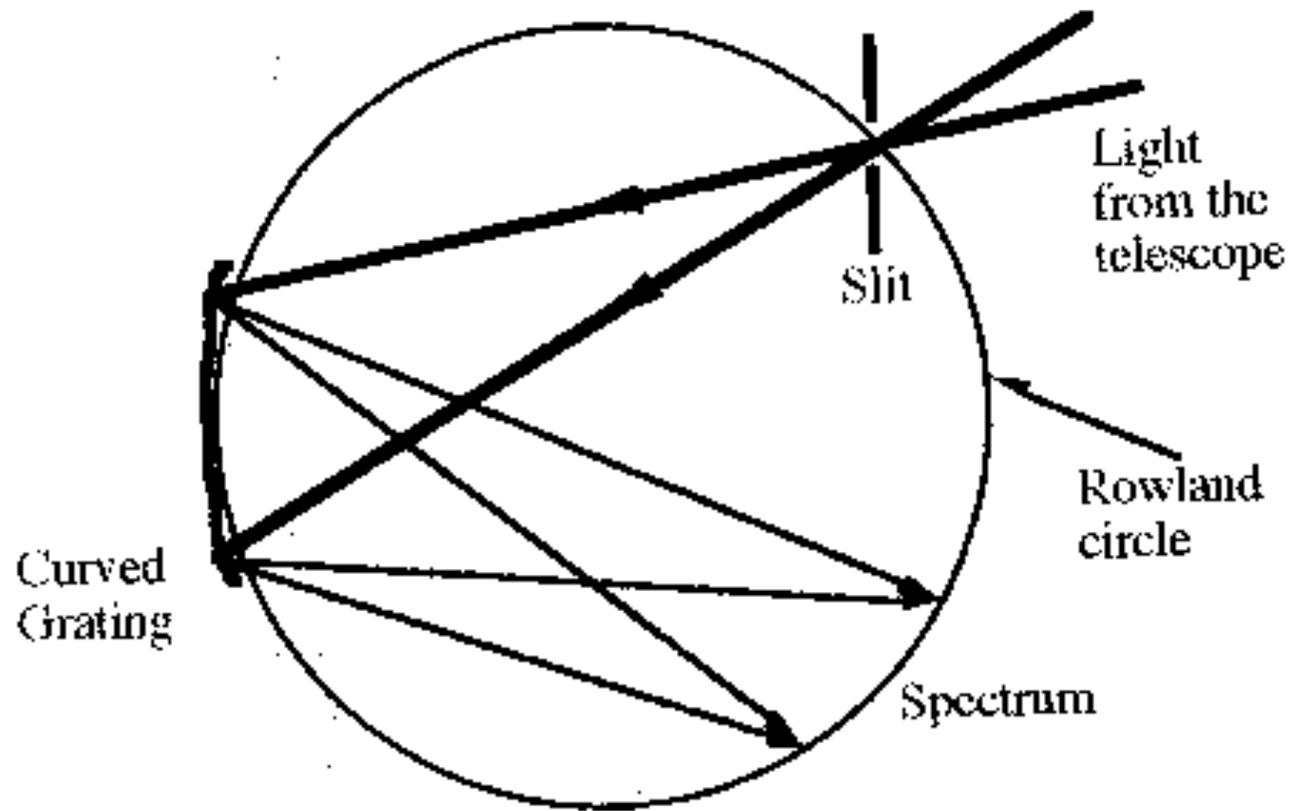
# O espectro do Sol: contínuo + linhas de absorção



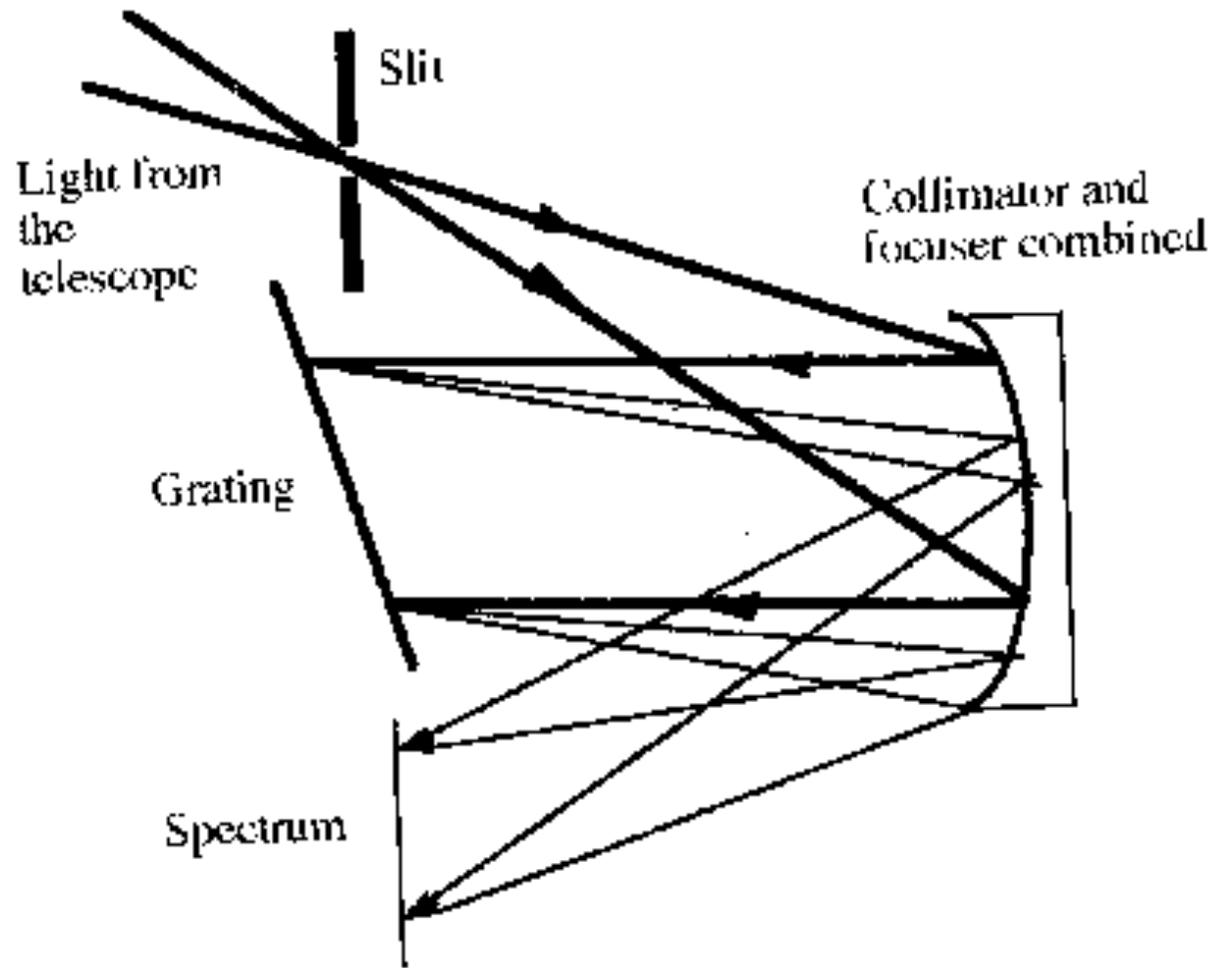
Espectros atômicos e moleculares:  
espectro do  $H_2$  e do H atômico



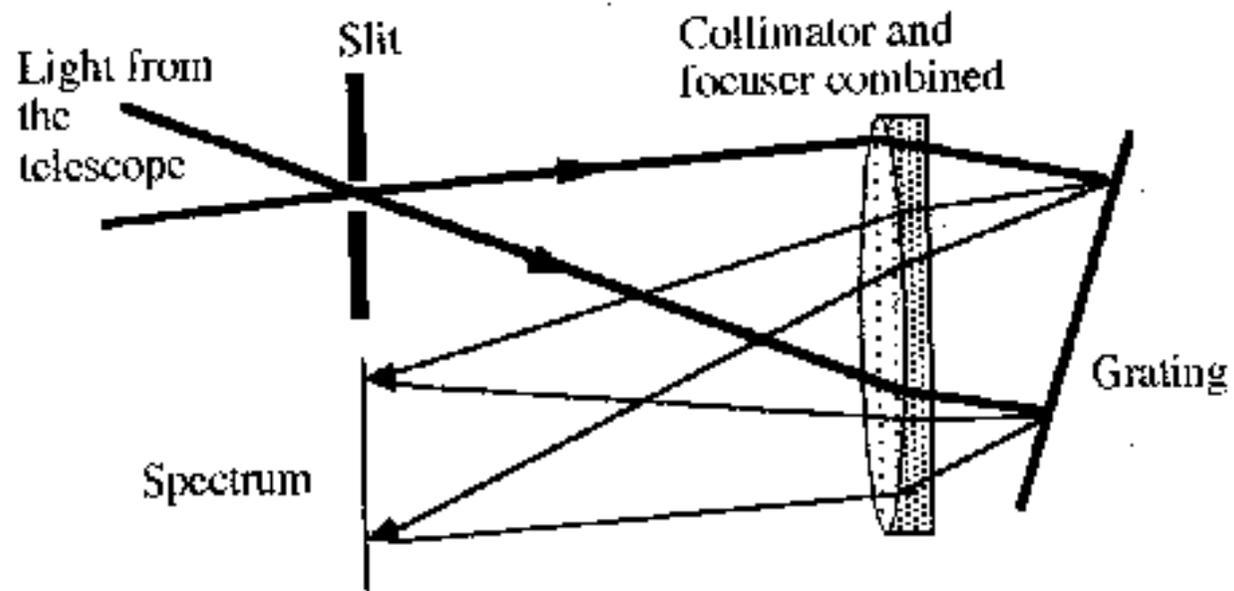
# Espectrógrafo baseado no círculo de Rowland (usado apenas em laboratório)



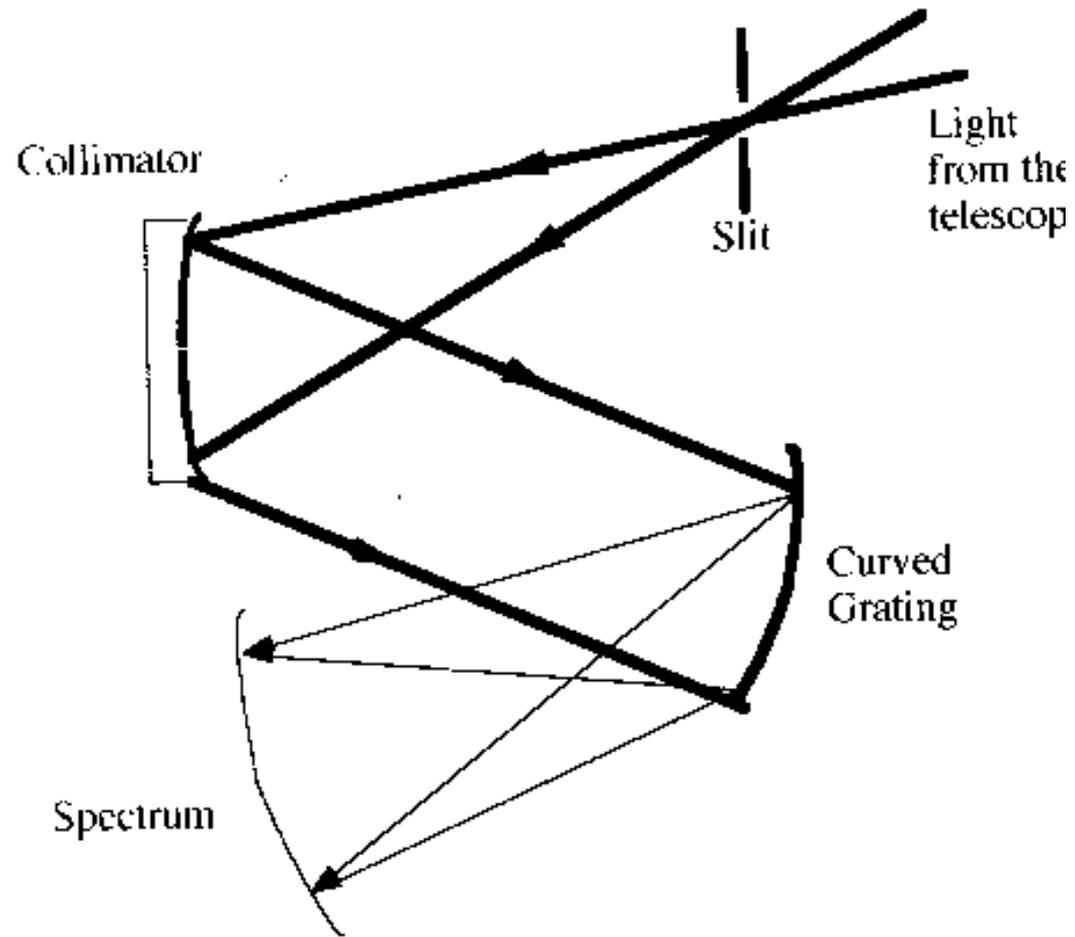
# Espectrografo Ebert



# Espectrografo Littrow



# Espectrografo Wadsworth



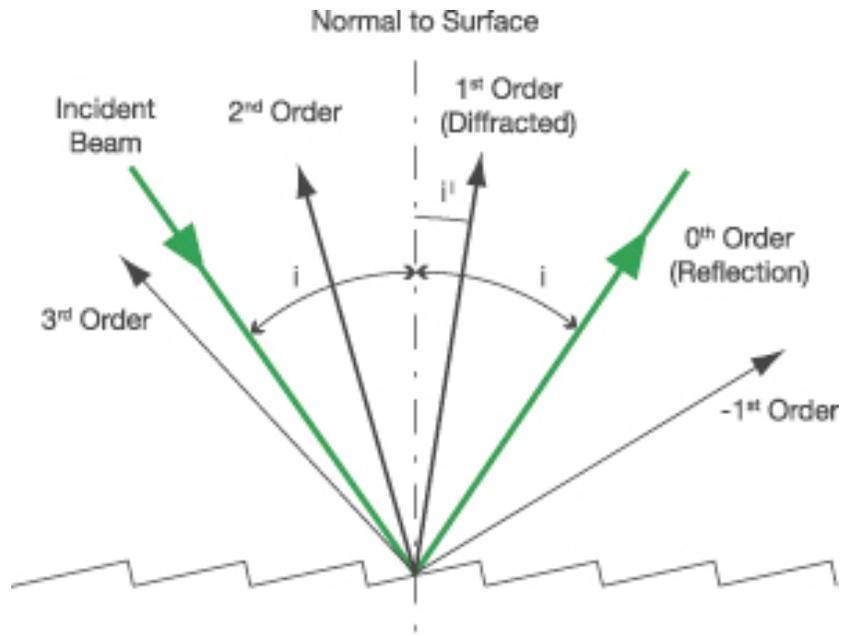
O coração de um espectrógrafo: a **rede de difração**



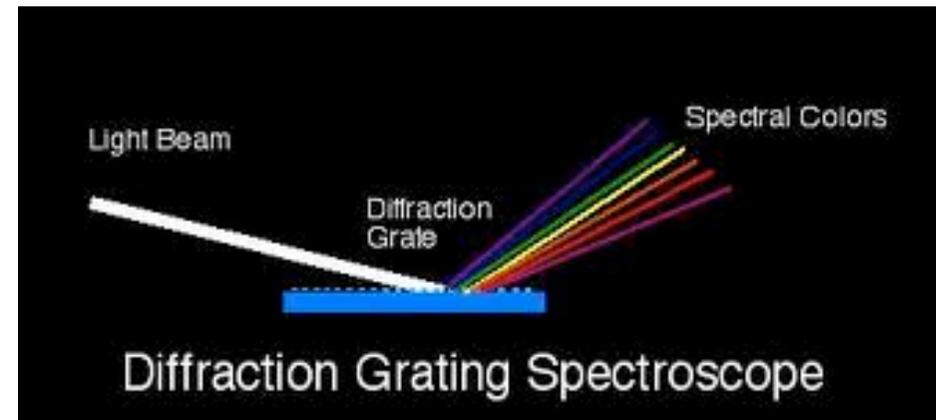
Efeito de difração sobre a superfície de um CD



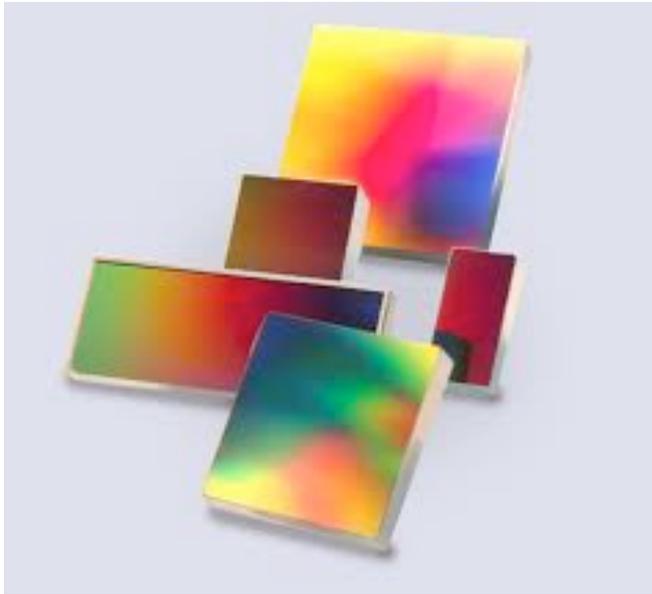
Uma rede para uso profissional de grande dimensão e com alta densidade de linhas



As distintas ordens de difração



O Espectro produzido por difração



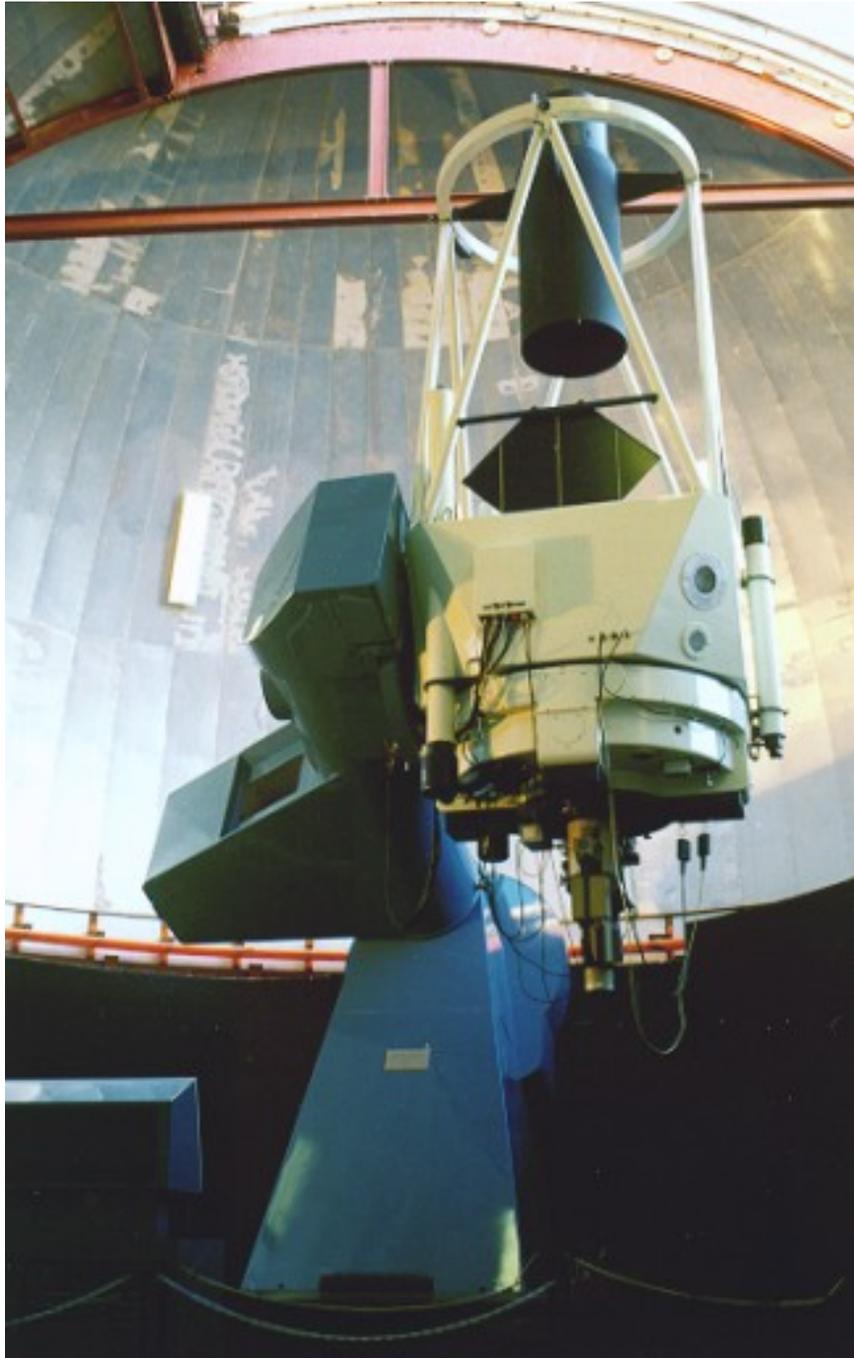
Redes planas



Redes auto-focadas

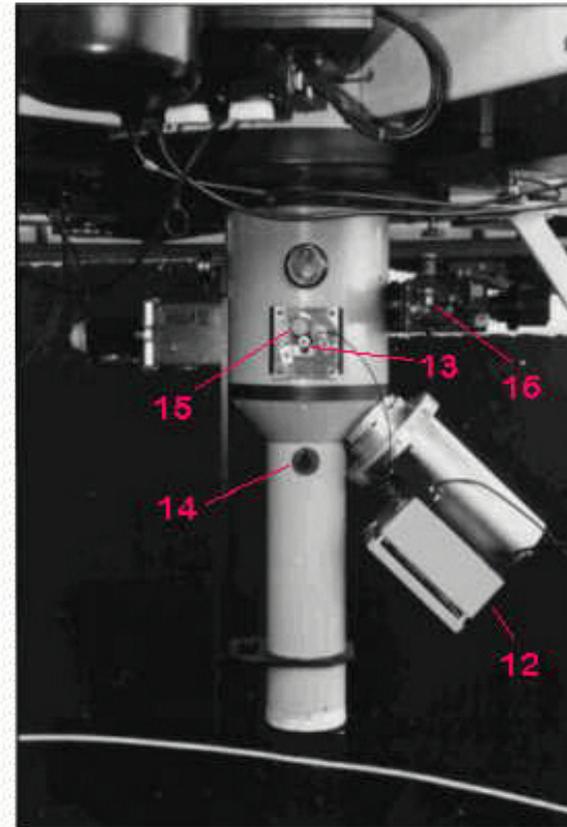
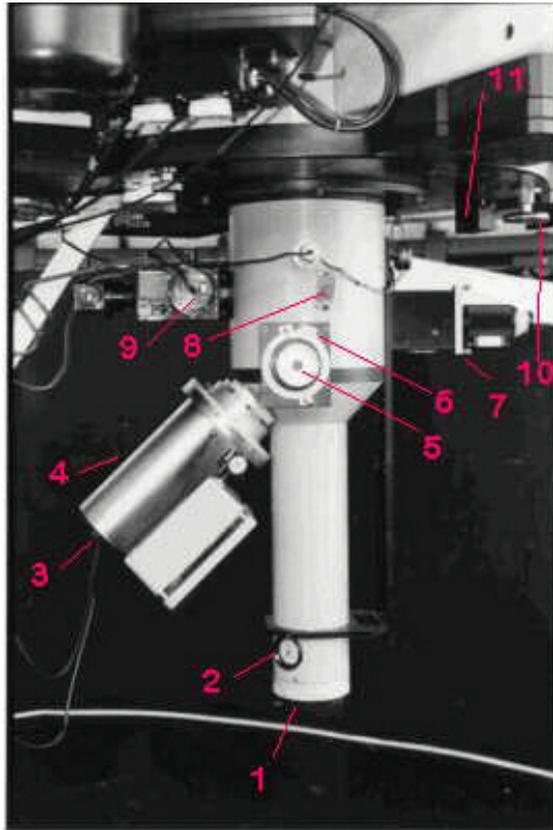
## Alguns espectrógrafos profissionais:

- Clássicos (Cassegrain e Coudé)
- Multi-objetos (multifendas e multifibras)
- IFU



LNA - Cassegrain

# LNA - Cassegrain



1 -Ajuste de foco do colimador.

2 -Indicador da posição de foco do colimador.

3 -Orifício para abastecimento de nitrogênio líquido.

4 -Garrafa criogênica do detetor CCD.

5 -Obturador da rede de difração

6 -Escala de coincidência para ajuste do ângulo da rede

7 -Módulo de guiagem com ocular intensificada

8 -Comutador de feixe (para fora o espectrógrafo recebe o feixe do tel.,

para dentro, projeta-se a luz das lâmpadas de comp.

9 -Interruptor da lâmpada de Neônio.

10 -Ajuste do ângulo de posição do rotator de instrumentos.

11 -Mostrador da posição do rotator de instrumentos.

12 -Eletrônica de aquisição e controle da câmera CCD.

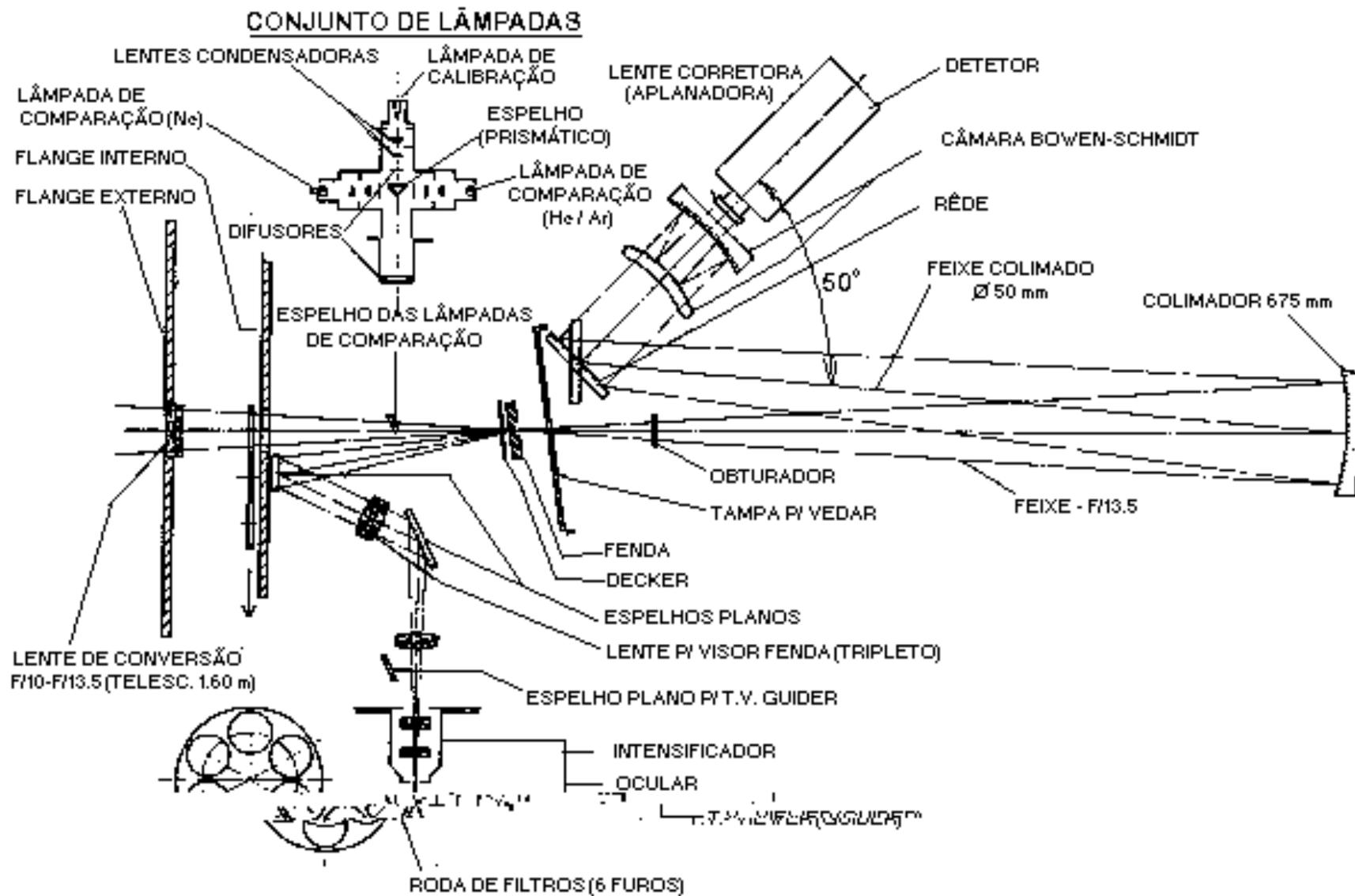
13 -Nônio de abertura da fenda.

14 -Obturador do colimador. (Na vertical abre. Na posição transversal fecha).

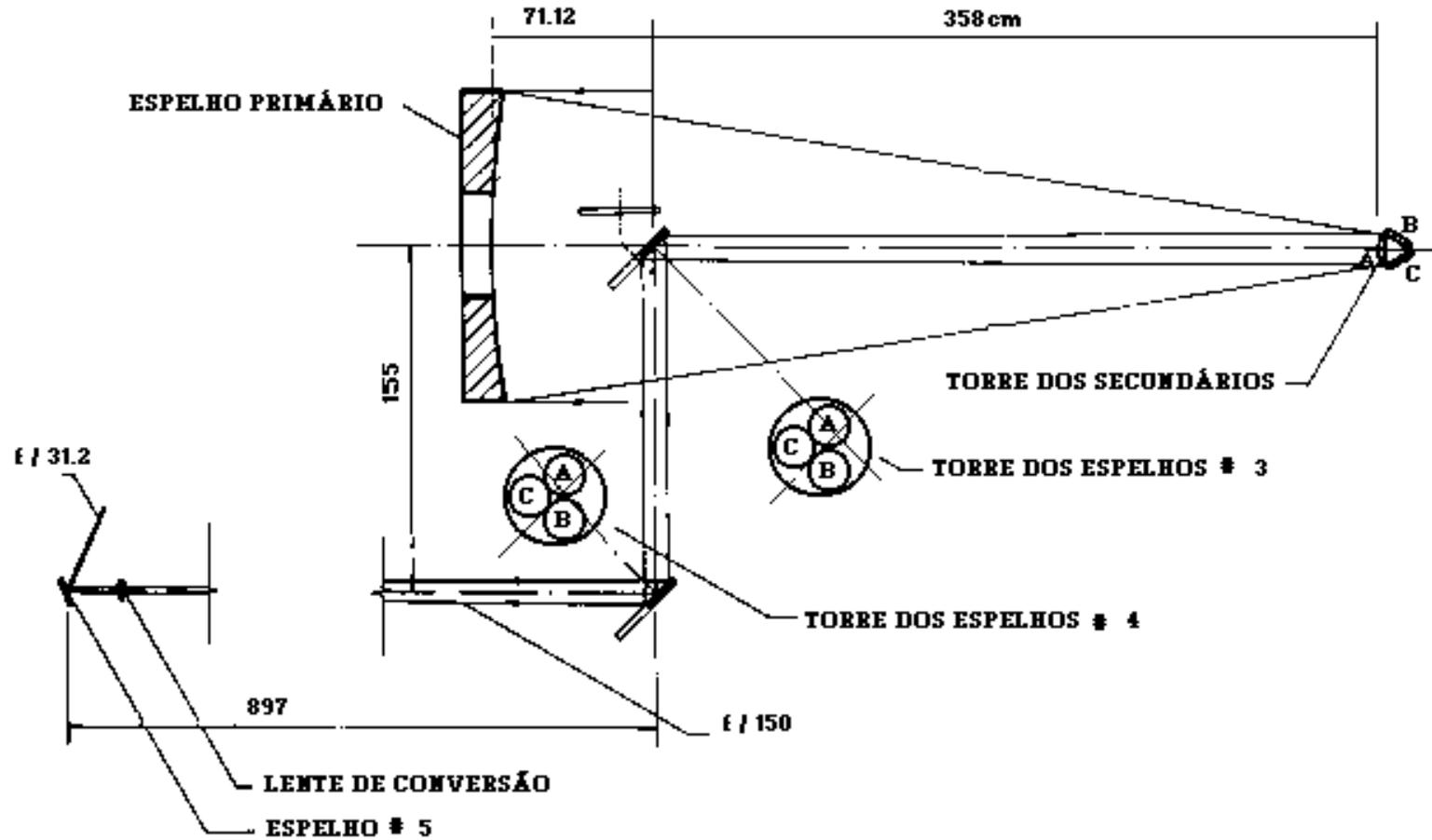
15 -Régua de deckers

16 -Interruptor da lâmpada de He+Ar.

# Esquema funcional do espectrógrafo Cassegrain do LNA

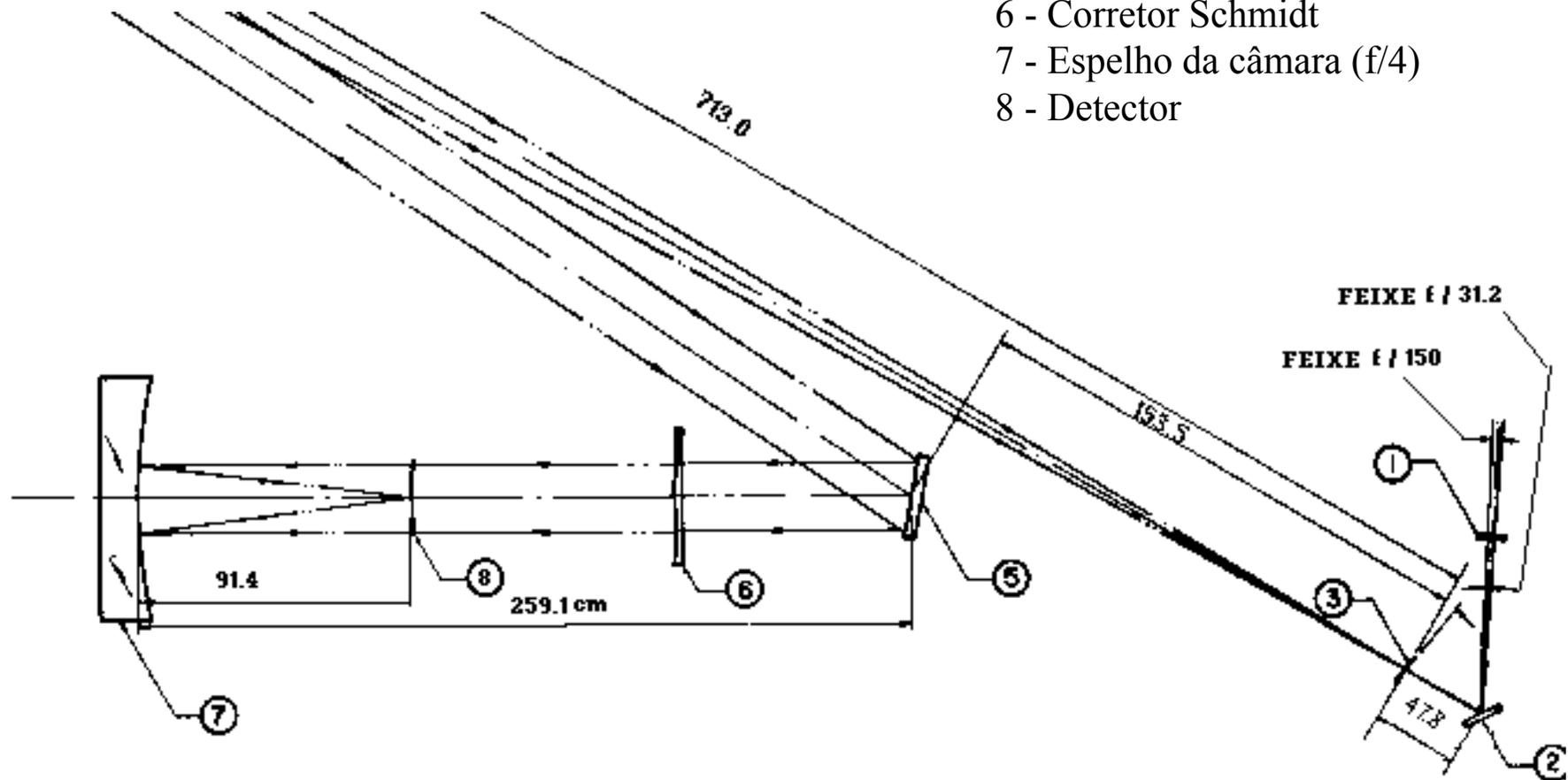


# Esquema funcional do espectrógrafo Coudé do LNA

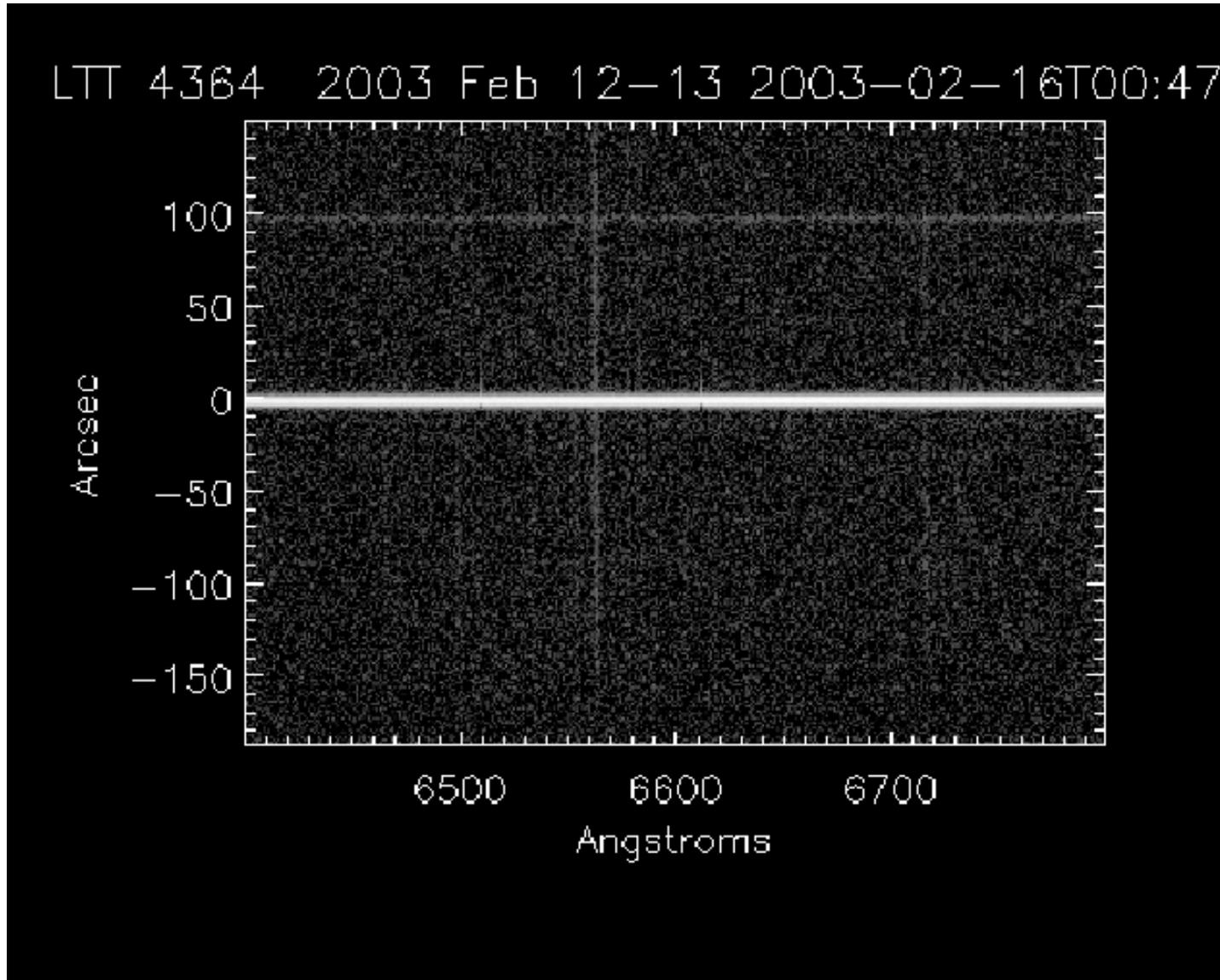


# Óptica do espectrógrafo Coudé

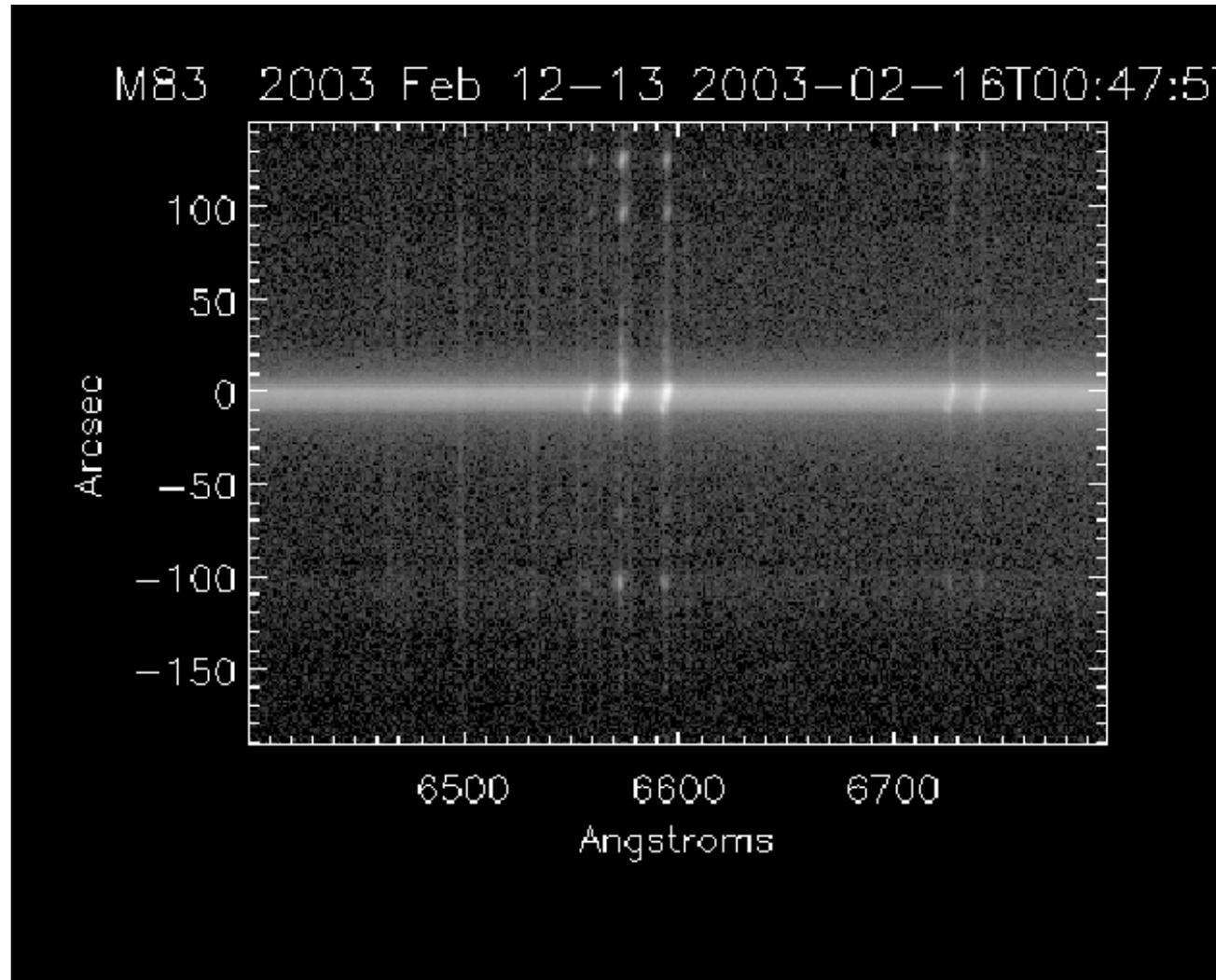
- 1 - Lente de conversão ( $f/150 - f/31.2$ )
- 2 - Espelho 5
- 3 - Fenda
- 4 - Colimador ( $f/31.2$ )
- 5 - Rede
- 6 - Corretor Schmidt
- 7 - Espelho da câmara ( $f/4$ )
- 8 - Detector



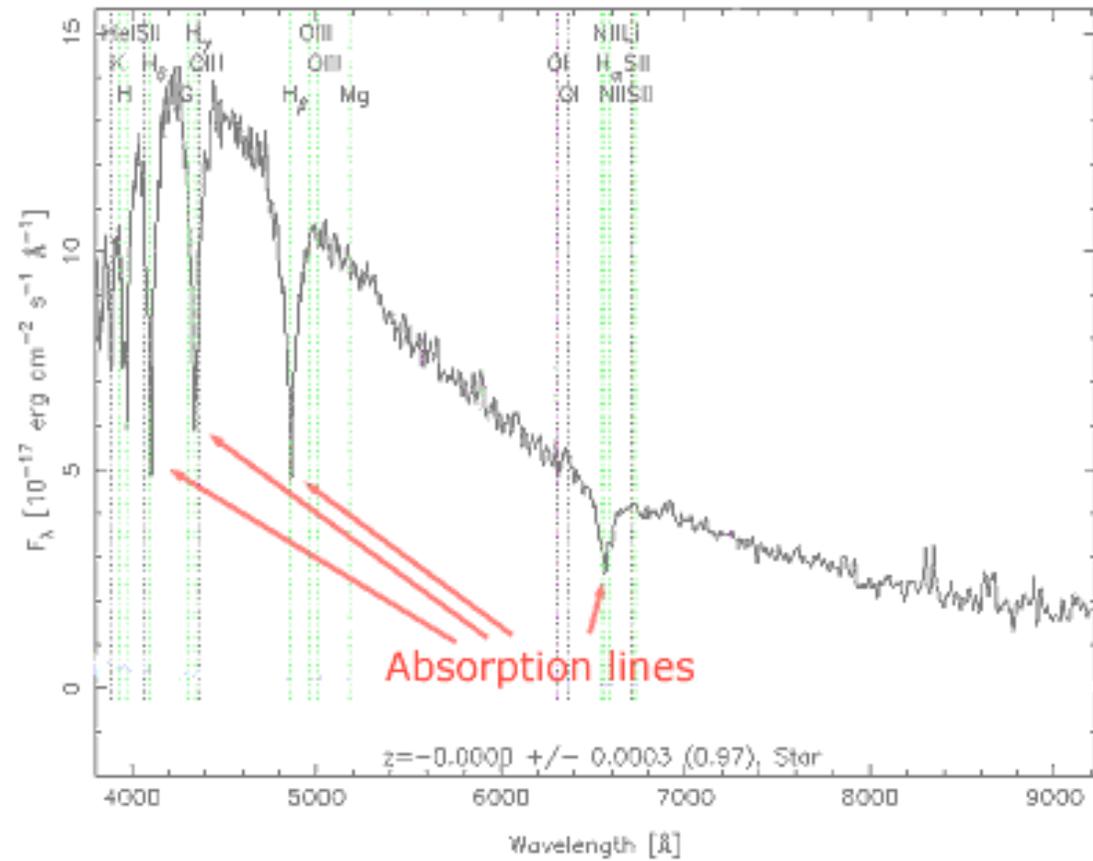
**Alguns resultados: espectros de fenda longa de dois objetos com emissão contínua (notar também as linhas de céu e o fundo ruidoso)**



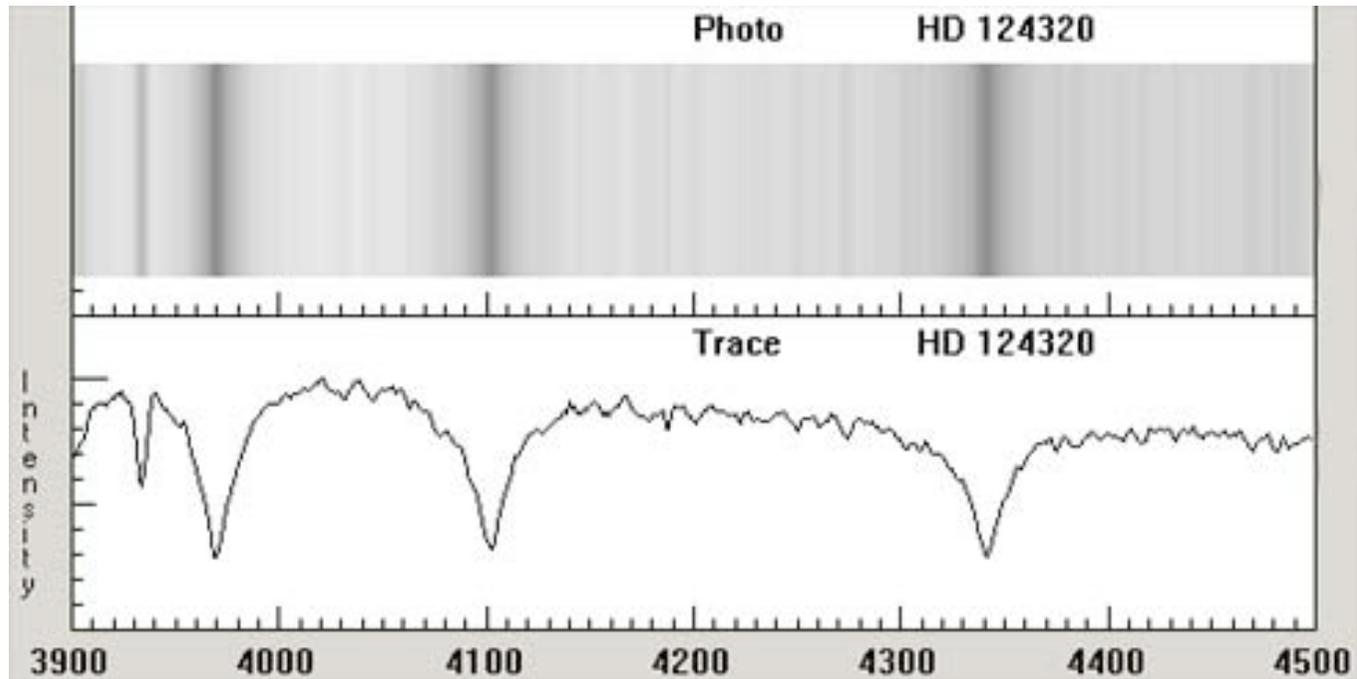
**Um objeto extenso com emissão contínua em seu centro e emissão em linhas nas regiões externas (notar a diferença em velocidade entre as partes superior e inferior)**



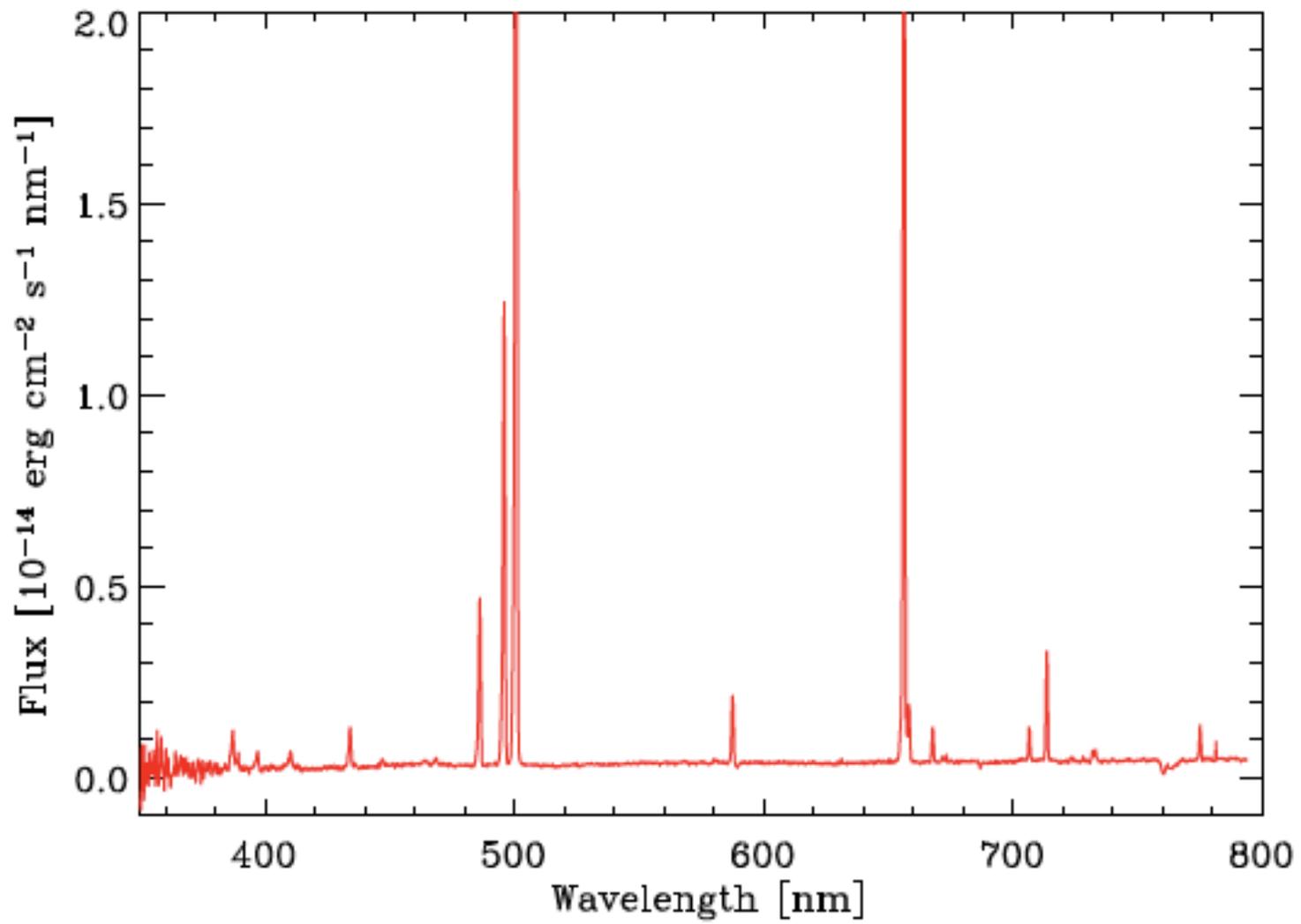
RA=147.32107, DEC=-0.00658, MJD=51630, Plate= 266, Fiber= 37



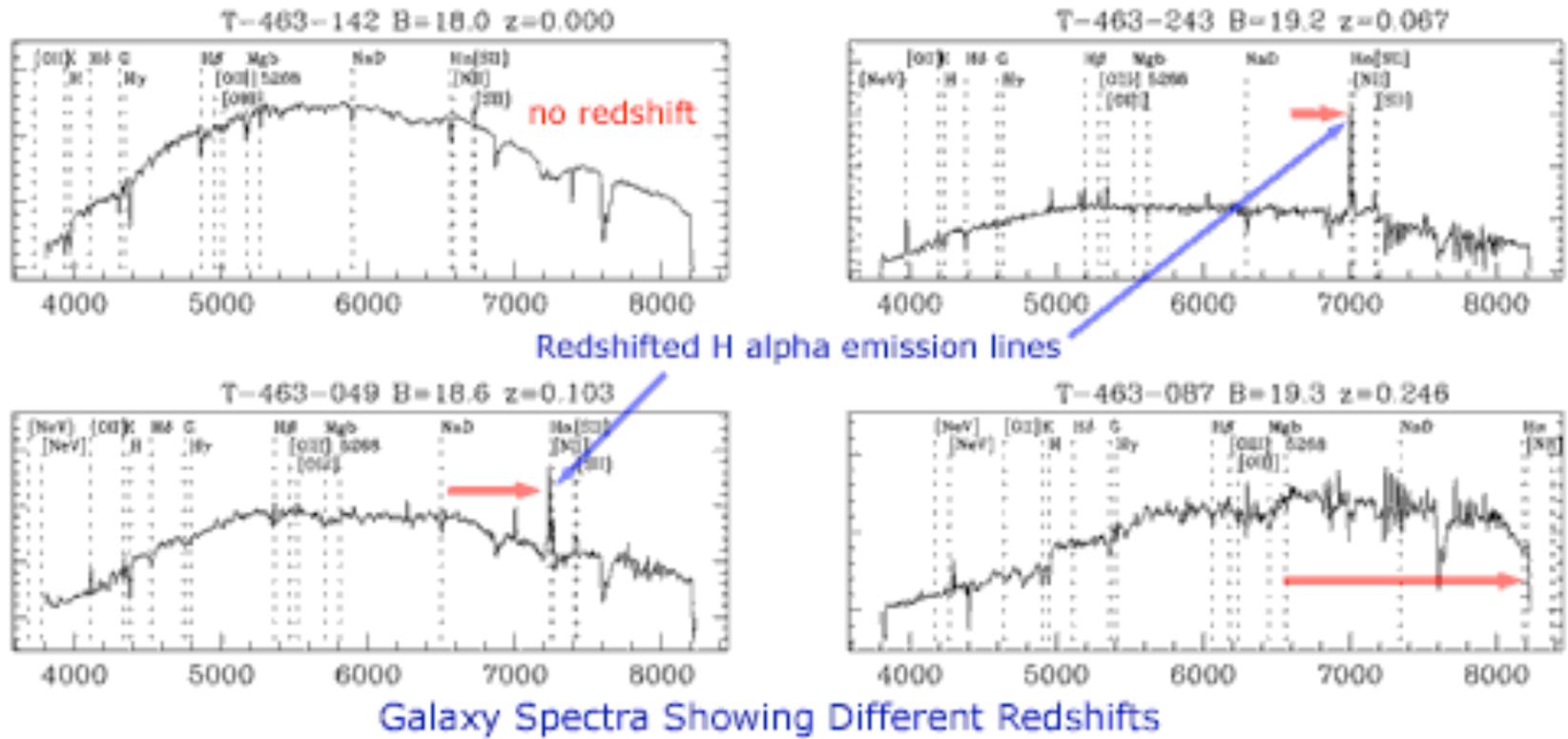
Espectro de uma estrela



Espectro de uma estrela registrado sobre um CCD (acima) e o perfil espectral extraído dele (abaixo)



Espectro de uma nebulosa planetária

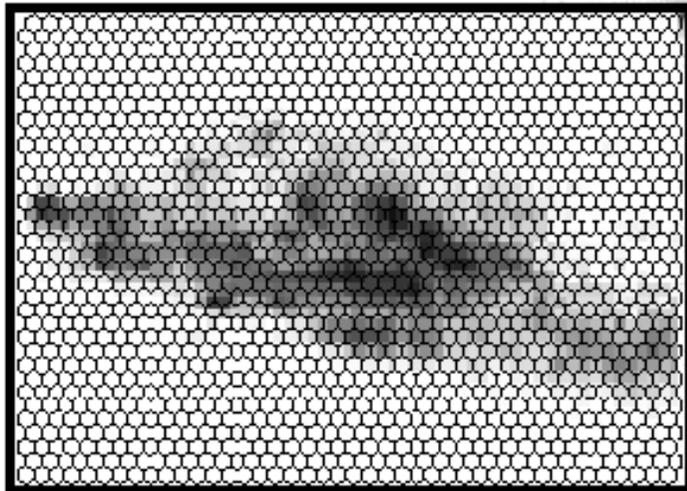


Espectros de galáxias com diferentes redshifts

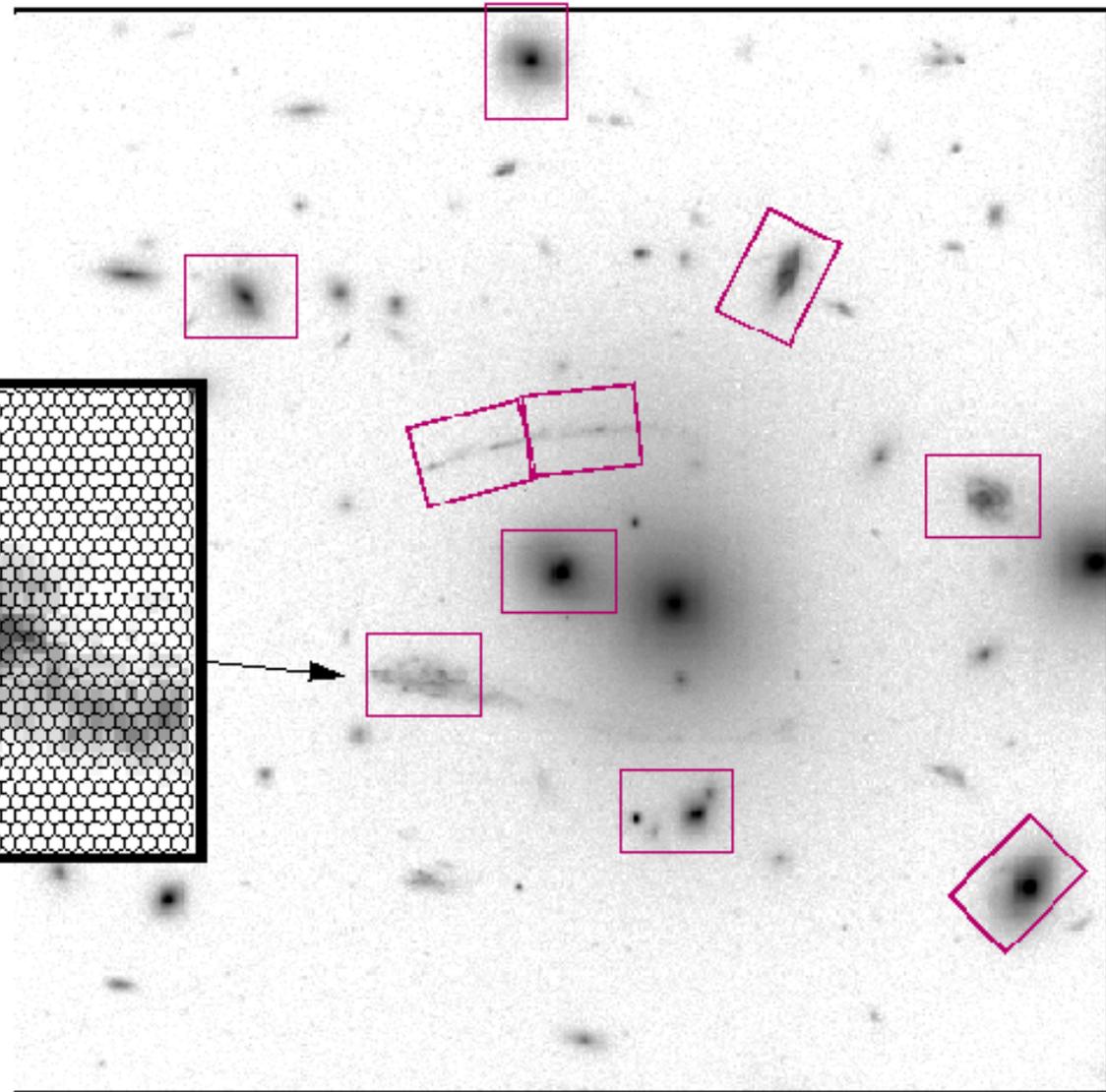
# Espectrógrafos de campo integral (IFU)

*Integral Field  
Spectroscopy:  
example targets*

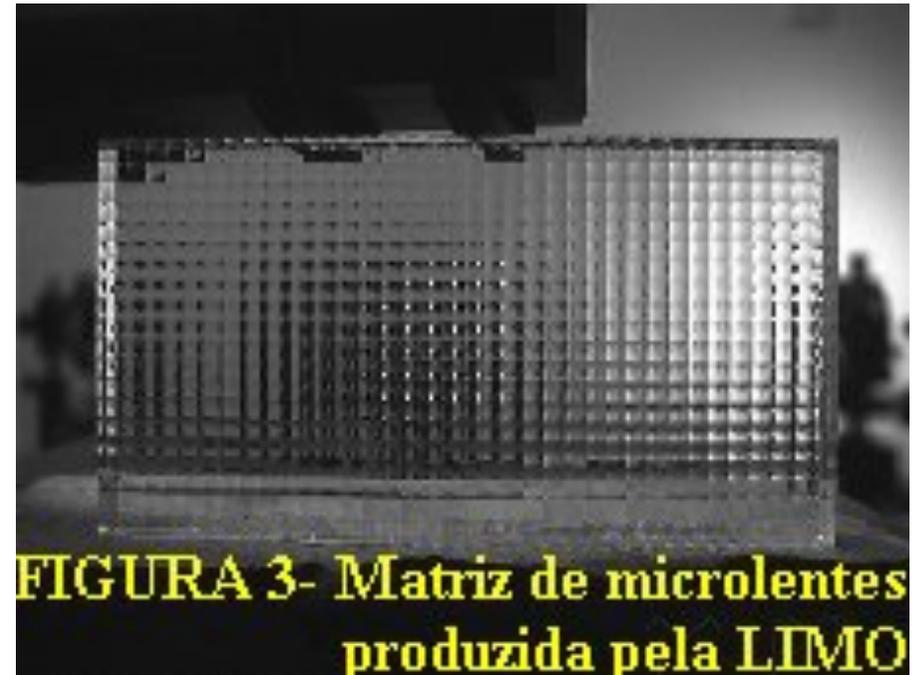
8.4"x5.9" @ 0.2"

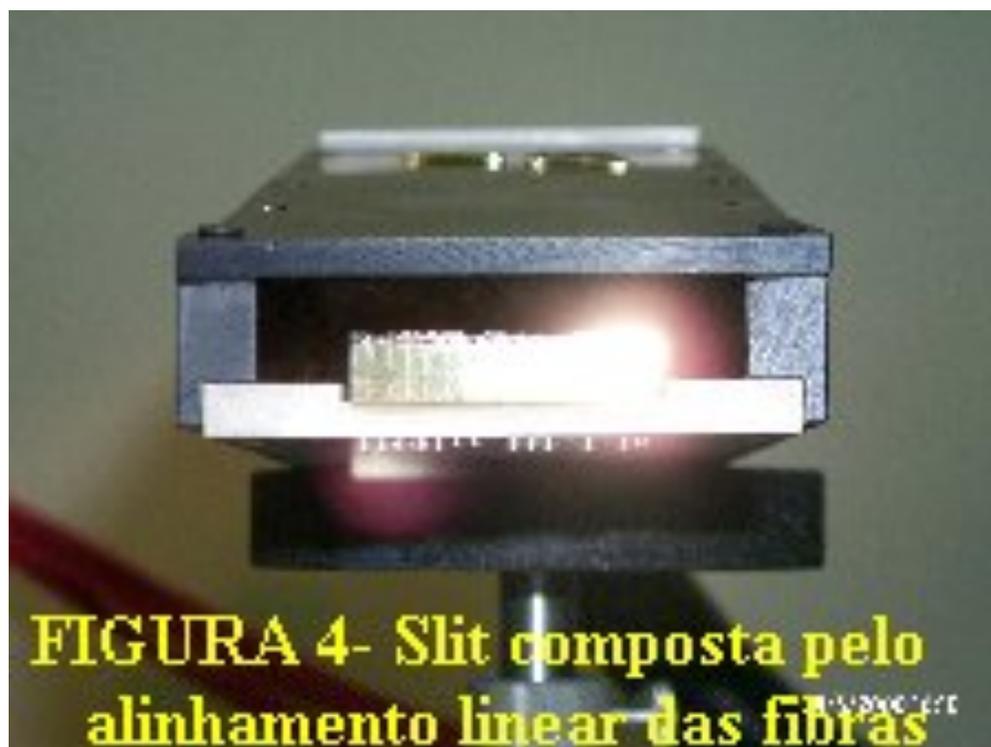


Part of HST image  
of Abell 2218  
galaxy cluster



Espectrógrafo Eucalyptus (LNA),  
concebido como protótipo para o SOAR





**FIGURA 4- Slit composta pelo alinhamento linear das fibras**

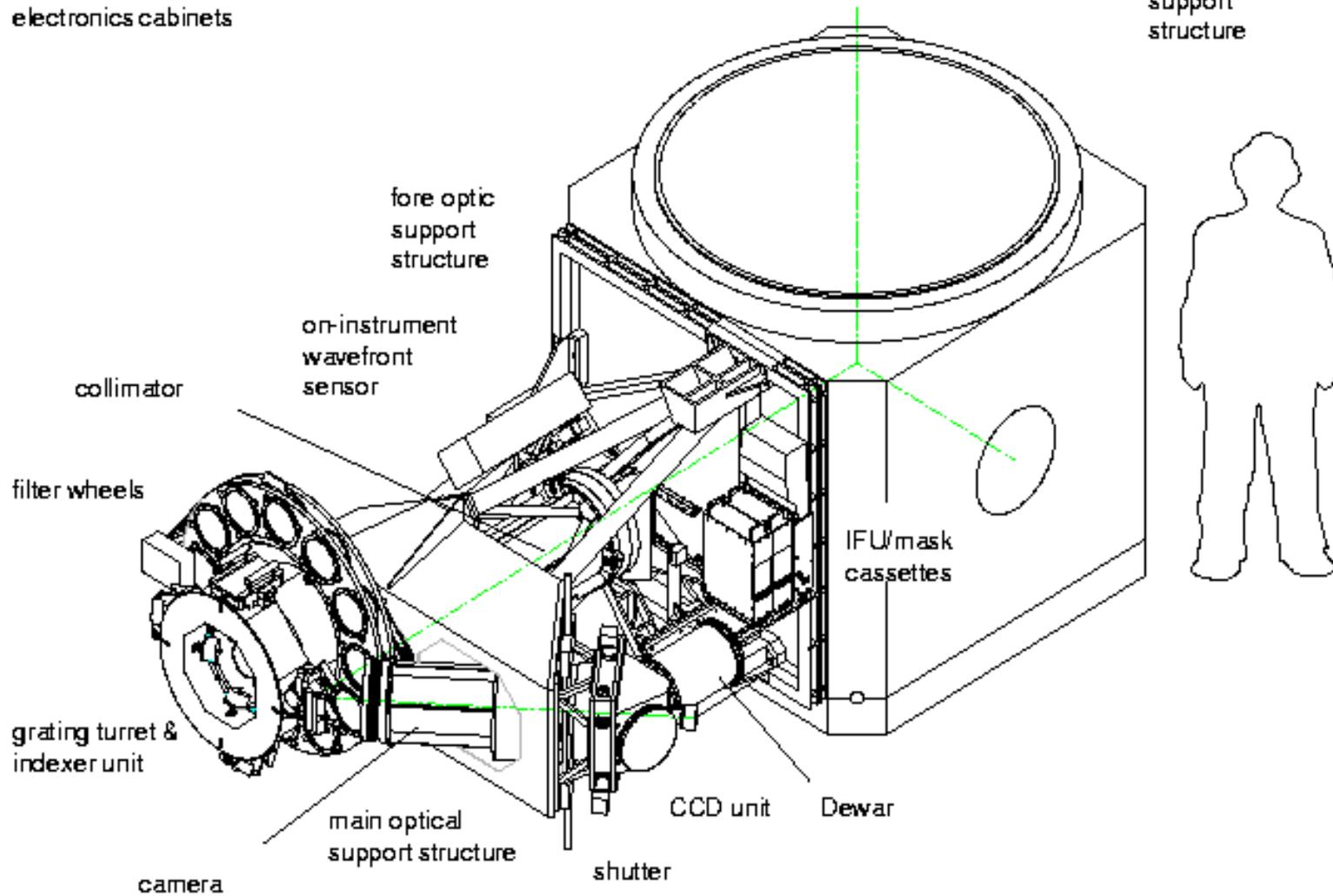


**FIGURA 5- IFU acoplada ao telescópio pela fore-ópticas**

# Espectrógrafo multiobjeto/multifenda: o exemplo do Gemini-GMOS

GMOS  
without enclosure and  
electronics cabinets

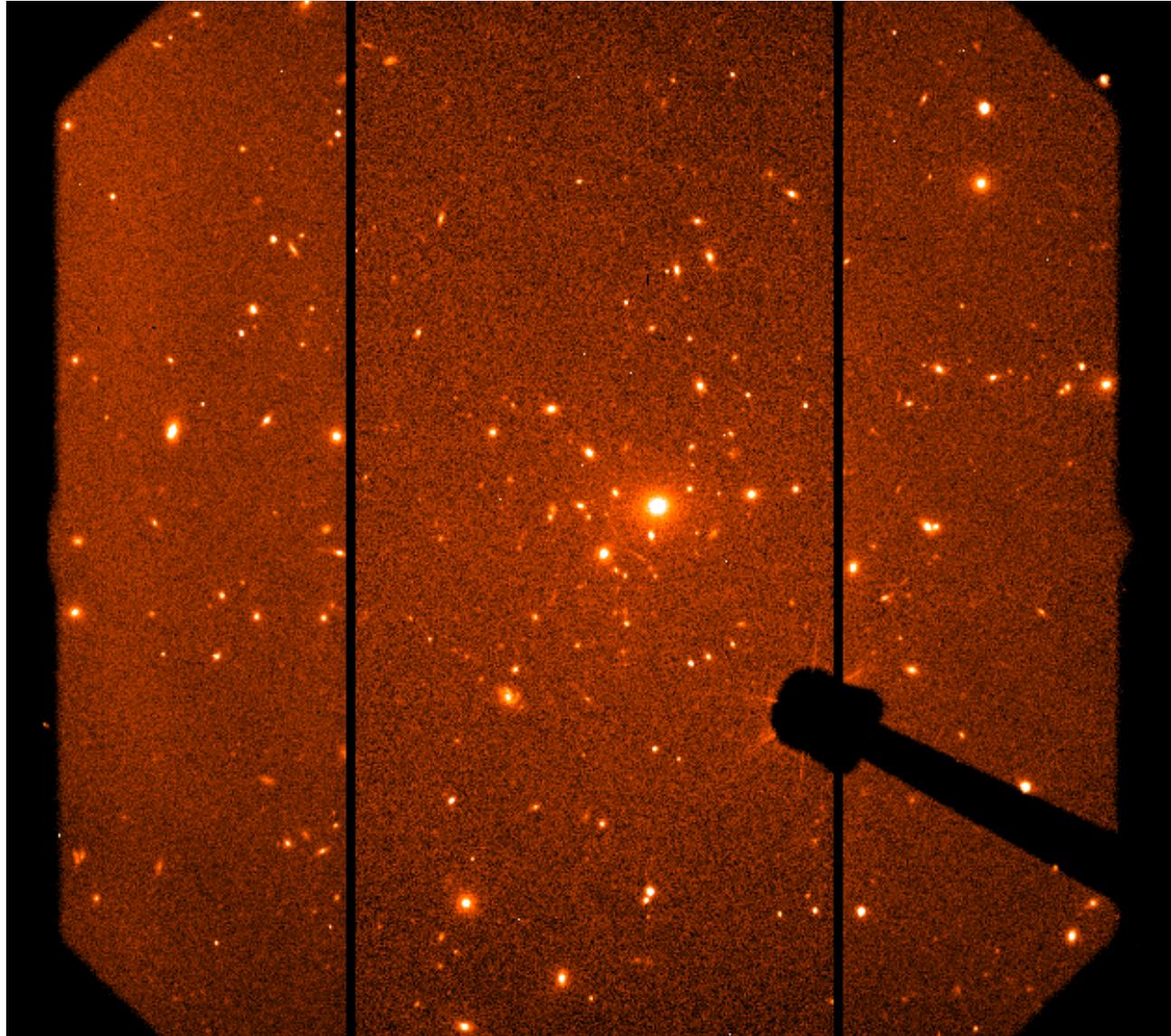
Gemini instrument  
support  
structure



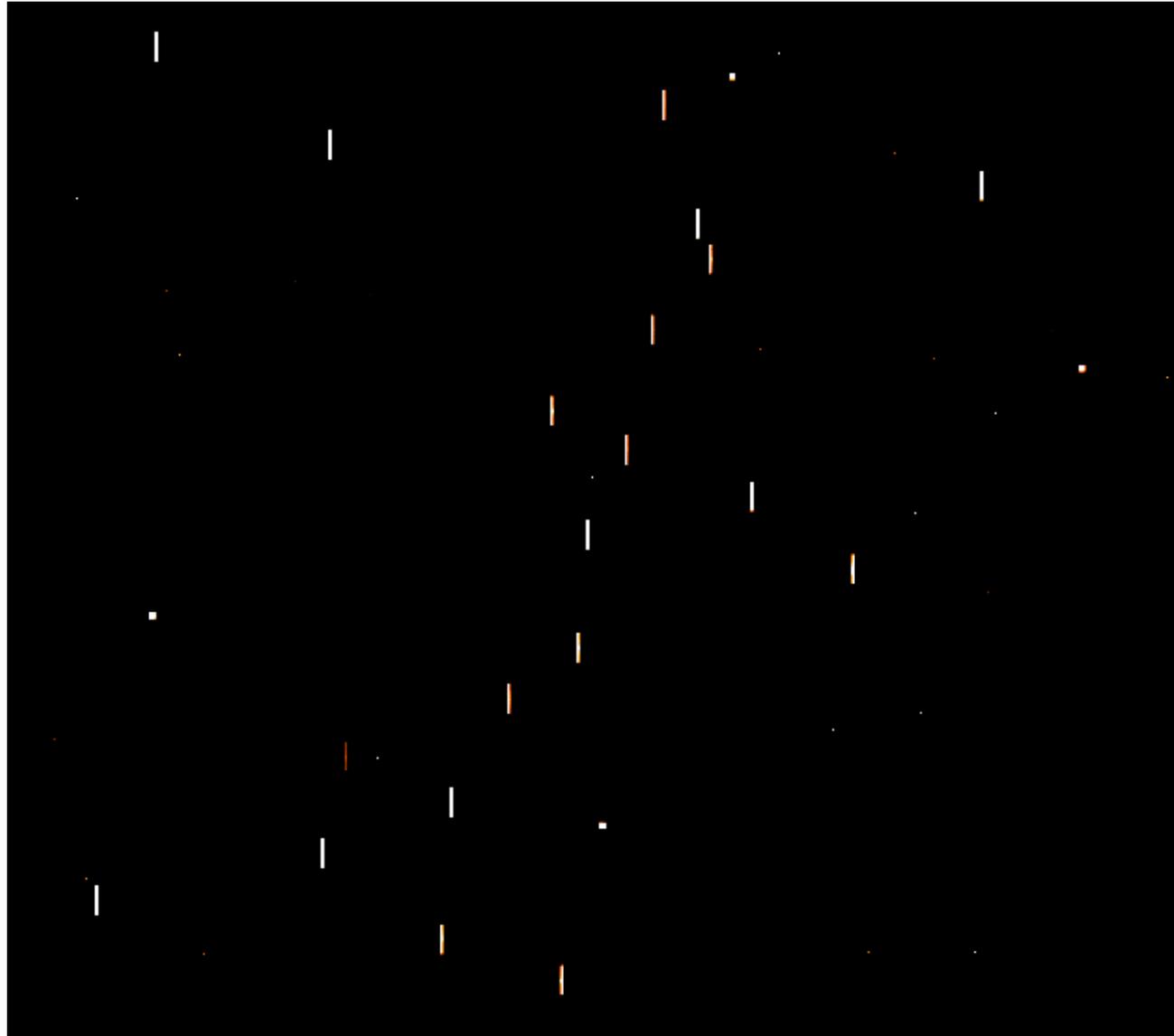
# GMOS



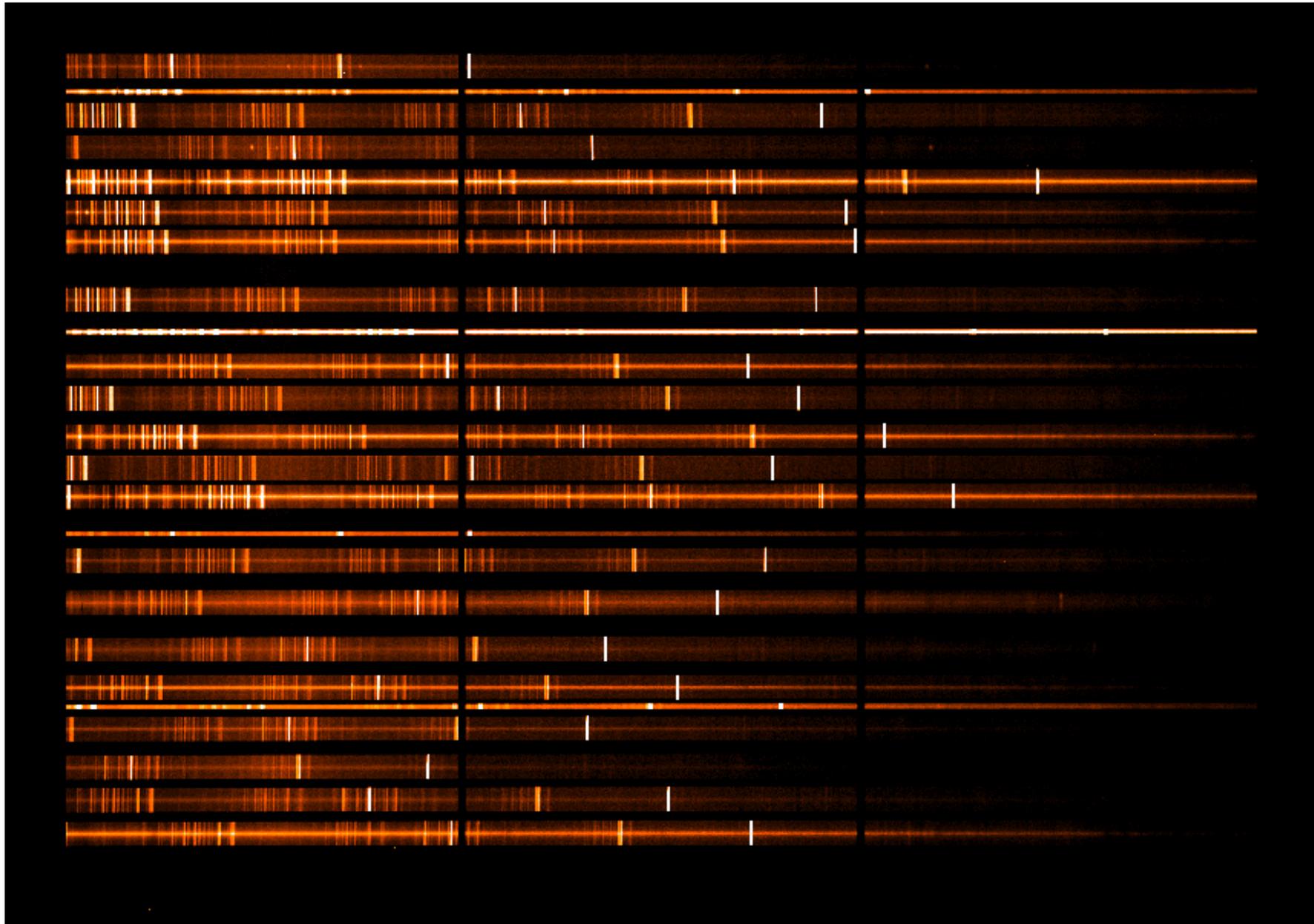
Campo do aglomerado de galáxias Abell 383  
visto pelo GMOS



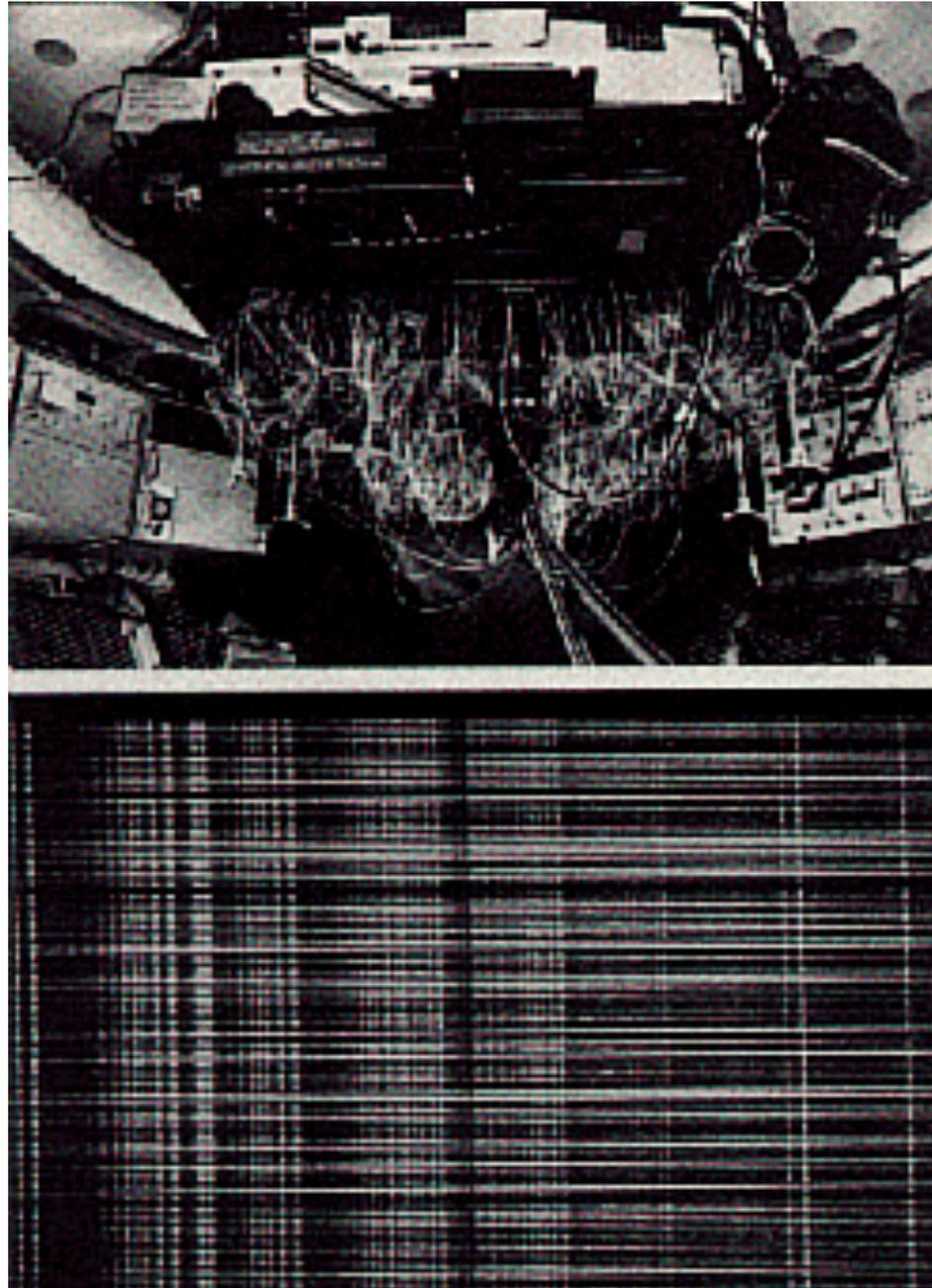
20 fendas cortadas sobre o campo da figura anterior,  
nas posições das galáxias do aglomerado



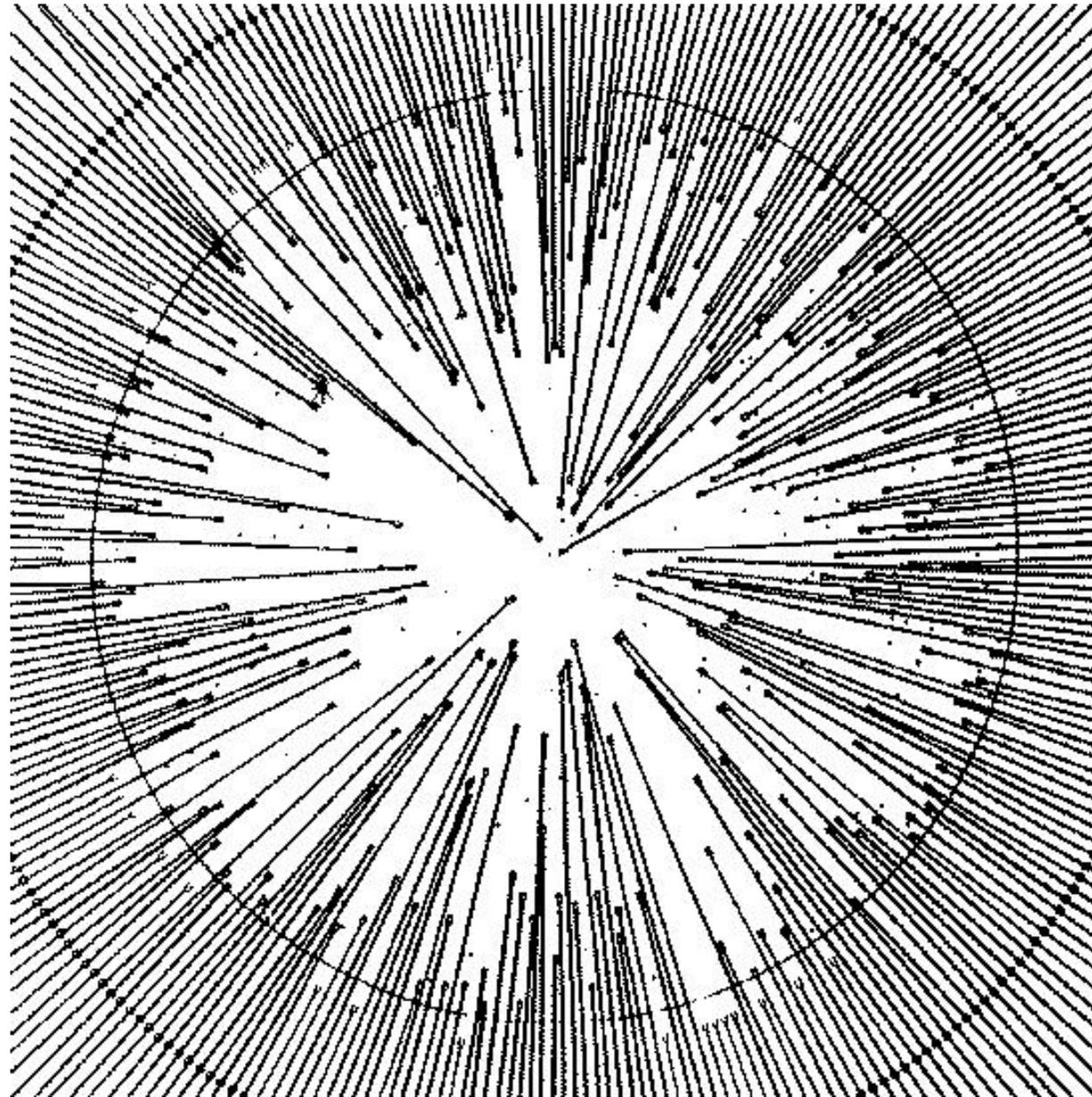
20 espectros resultantes das fendas anteriores (notar que o domínio espectral muda para cada fenda)



# Espectrógrafos multifibra: o exemplo do Hydra (Kitt Peak – tel. Mayall)



# Plano focal de um espectrógrafo de tipo multifibra



# Espectrógrafo GIRAFFE (ESO/VLT) - até 132 objetos simultâneos

