

# Observables Astrofísicos

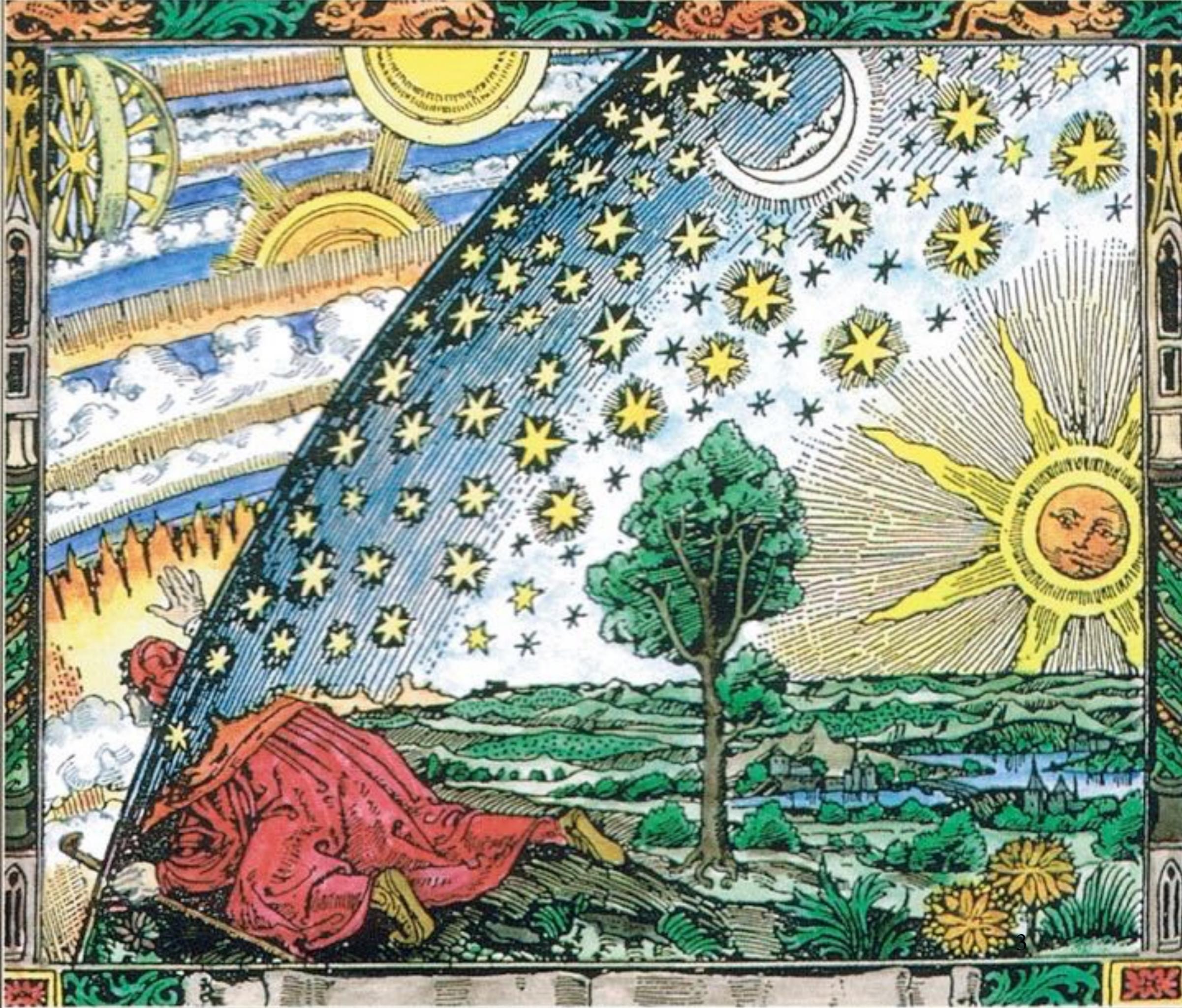
Objetos Astrofísicos, código SIA 2023217-1

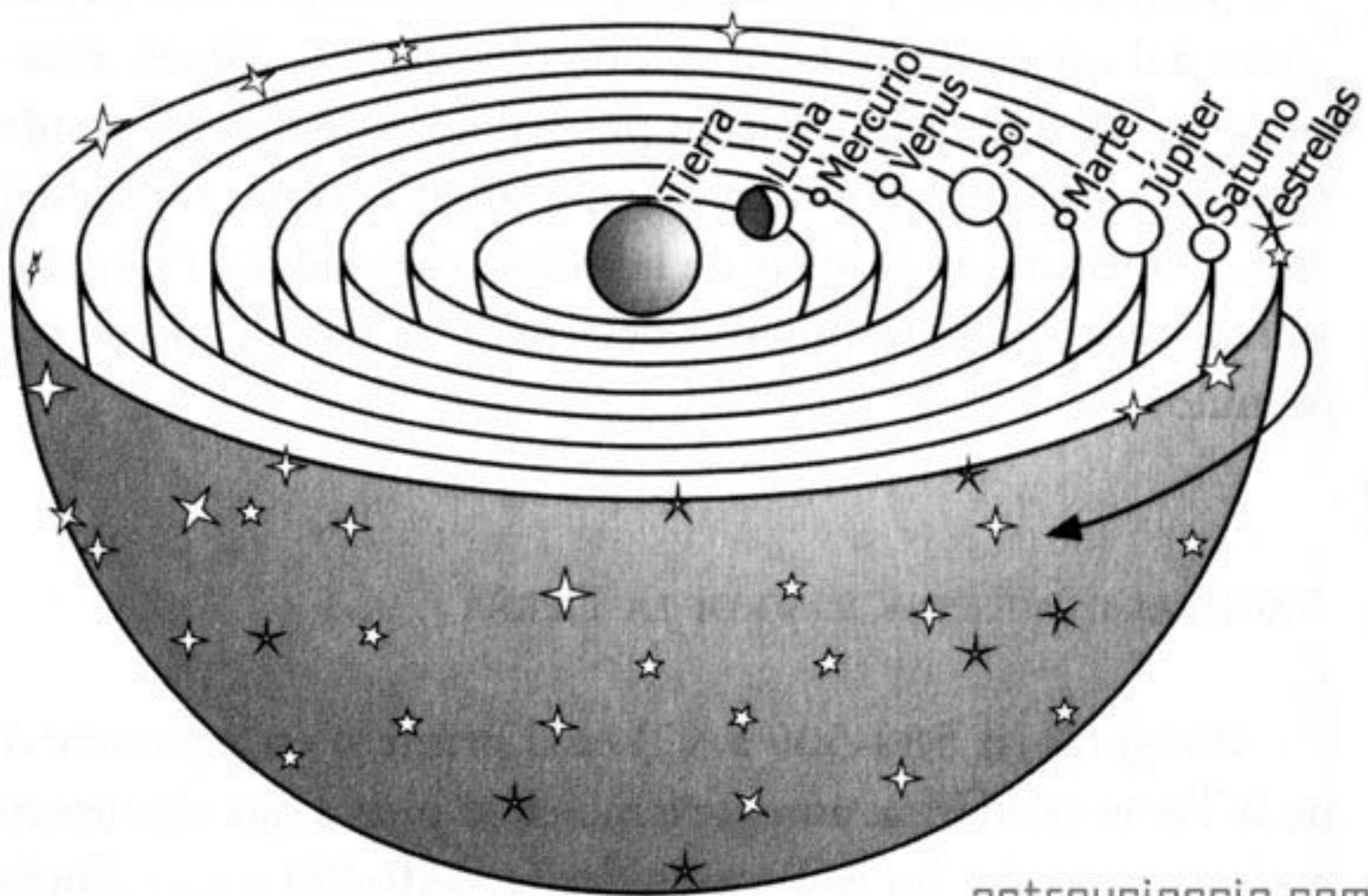
Benjamín Calvo-Mozo  
Observatorio Astronómico Nacional  
Sede Bogotá, Facultad de Ciencias  
Observatorio Astronómico Nacional

Estudiando la luz procedente de los astros podemos inferir:

- Posiciones, distancias, movimientos.
- Brillos de los astros: flujo, luminosidad.
- Temperatura, diversos conceptos.
- Radios estelares, tamaños fuentes extendidas.
- Composición química.
- Otros: gravedad, rotación, turbulencia; campos magnéticos.
- Masas. En forma directa para estrellas binarias visuales (resueltas). Formas modernas con lentes gravitacionales.

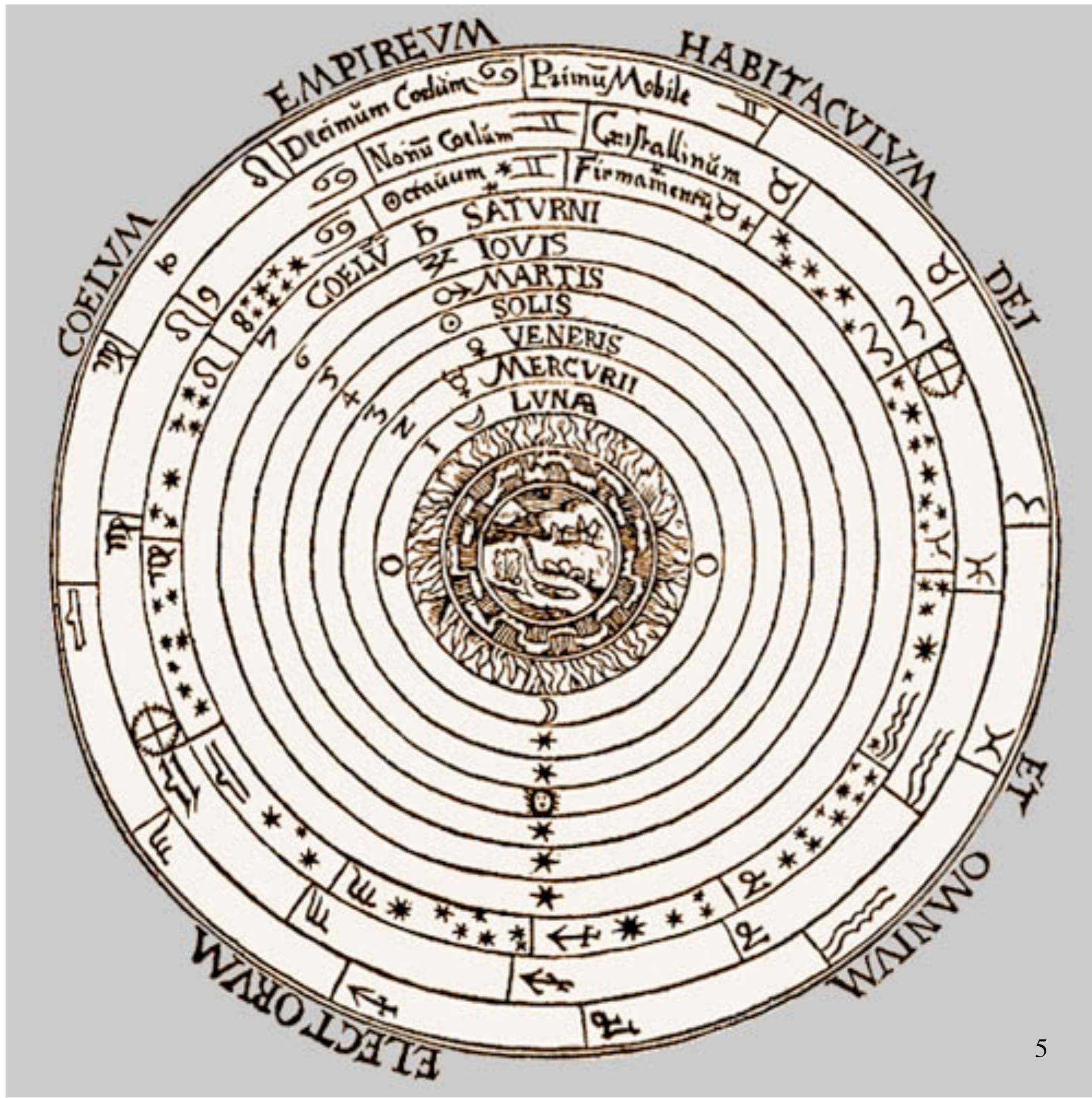
# Concepto más primitivo





[astroyciencia.com](http://astroyciencia.com)

## Visión geocéntrica del mundo





# Almagesto (versión árabe)



PTOLEMÆI  
M A T H E M A T I C Æ  
constructionis Liber primus  
græce & latine  
editus.

ADDITÆ EXPLICATIONES ALIÆ  
quot locorum ab ERASMO RHEIN-  
HOLT Salueldensi.



VVITTEBERGAE  
Ex Officina Iohannis Lufft.  
ANNO  
1549.

Forme et Stelle	Longitudo	D	Latitudo	D
	ē	g	m	s
Que sunt circa canem & non sunt in forma.	2	19	3	M 25 15 4
Que est a parte septentrionis in vertice capitis canis	2	10	0	M 61 30 4
Lōgior q̄tuor q̄ s̄ q̄ si eēnt s̄ lineā rectā sub duob⁹ pedibus postre	2	11	20	M 58 45 4
Que est declinior ad septentrionem (mis in meridie)	2	13	0	M 57 0 4
Que est declinior etiam hac ad septentrionem	2	14	10	M 56 0 4
Reliqua quattuor: & est longior earum ad septentrionem	1	27	0	M 55 30 4
Antecedens triū q̄ s̄ q̄ si sup lineā rectā i eo qd seq̄ occidētē a q̄tuor	2	0	20	M 57 40 4
Media earum	2	2	20	M 59 30 4
Sequens trium	1	29	0	M 59 40 2
Sequens duarum lucidarum que sunt sub istis tribus	1	26	0	M 57 40 2
Antecedens duarum	1	22	10	M 59 30 4
Reliqua & est declinior ad meridiem ea que est ante ipsam				
Allarum ergo vnde decem stellarum in magnitudine secunda sunt due, & in quarta nouem.				

Μαθηματικὴ Σύνταξις

'Η Μεγάλη Σύνταξις

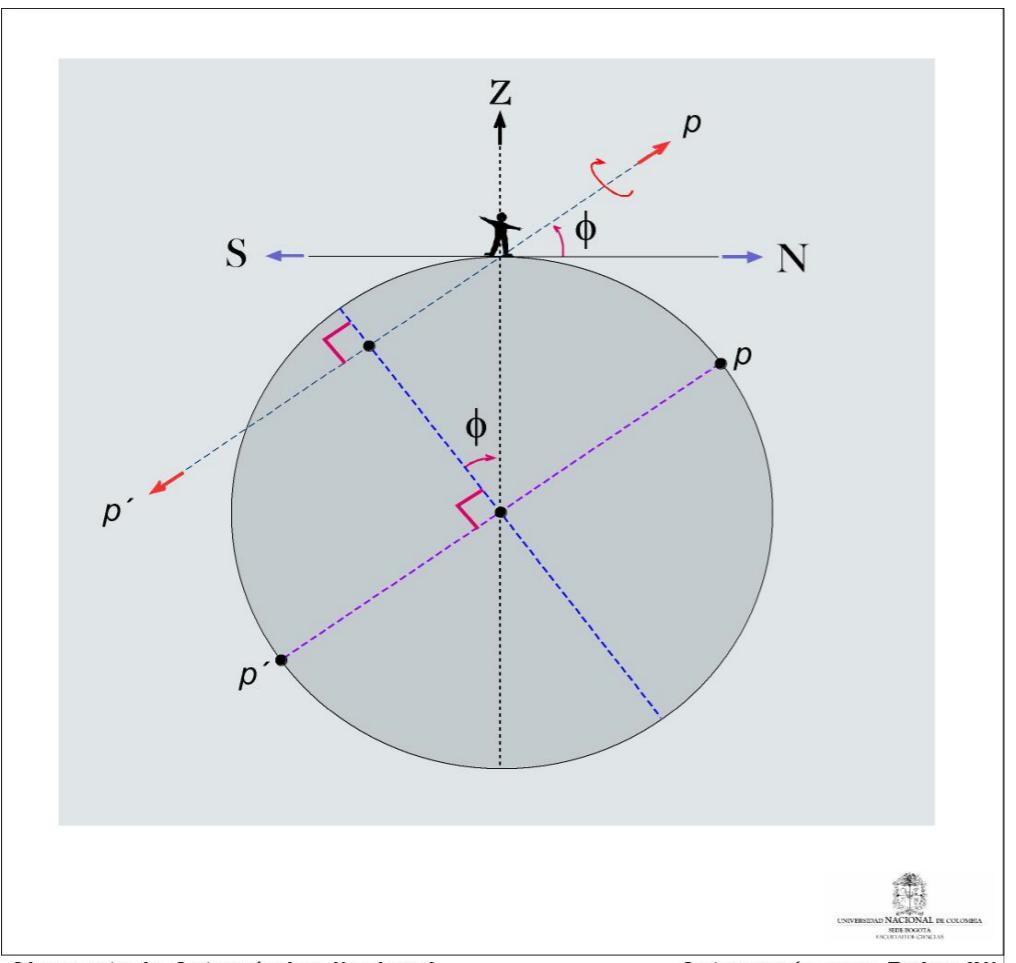
Claudio Ptolomeo AD100-AD170

Obras: El Almagesto, Tetrabiblos, Geographia, Harmónica, Óptica.



Movimiento diurno aparente de los astros (hacia el oeste)  
Ecuador celeste, eje polar celeste, polos norte y sur celestes.  
Hemisferios norte y sur celestes.

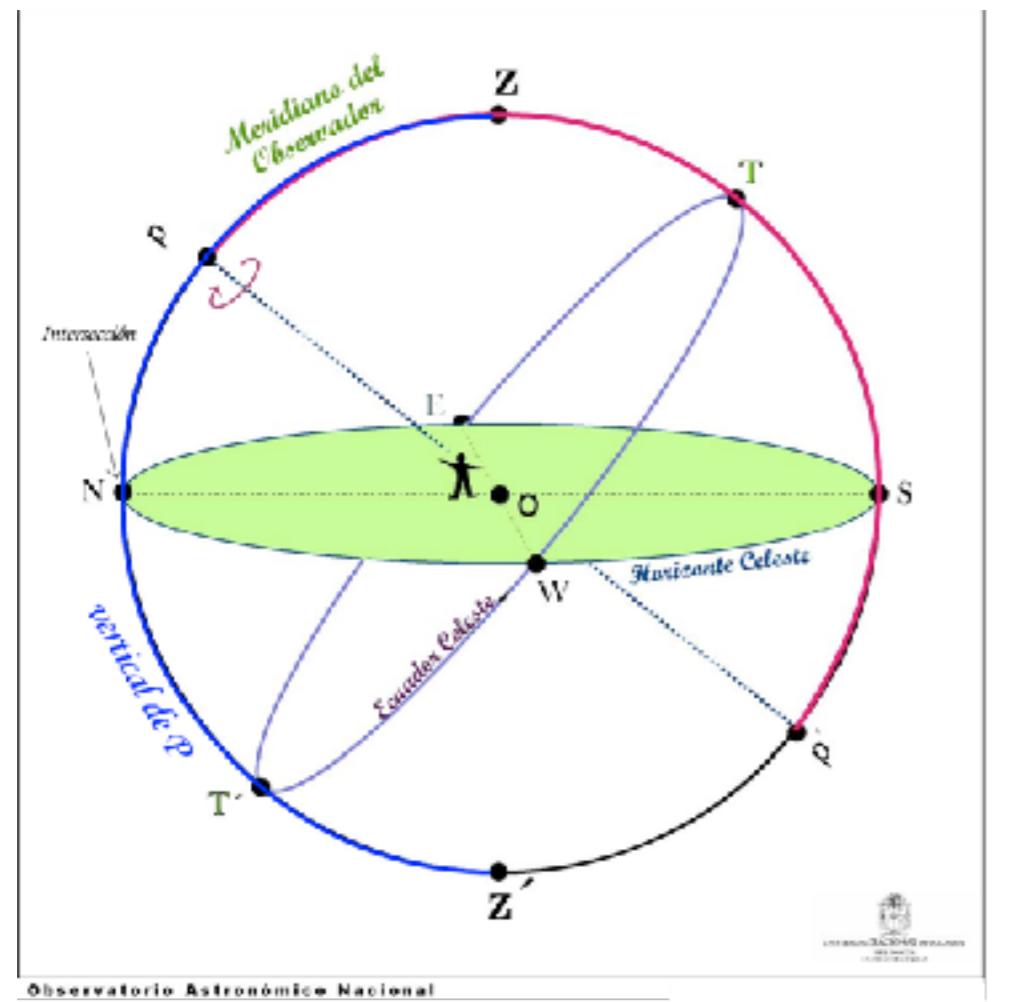
Además, el observador tiene un “horizonte celeste”, cuyos polos son cenit ( $Z$ , vertical arriba) y nadir ( $Z'$ ). Hemisferios visible y no-visible del observador.



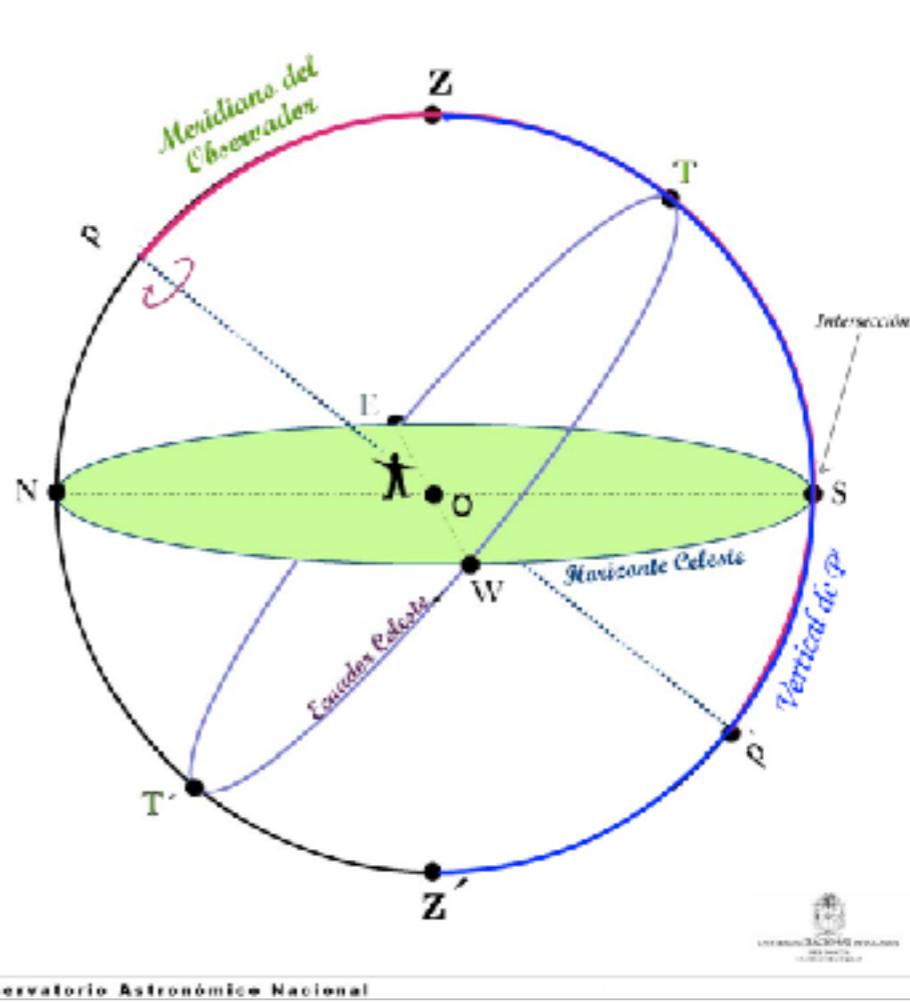
Observatorio Astronómico Nacional



Astronomía para Todos UN

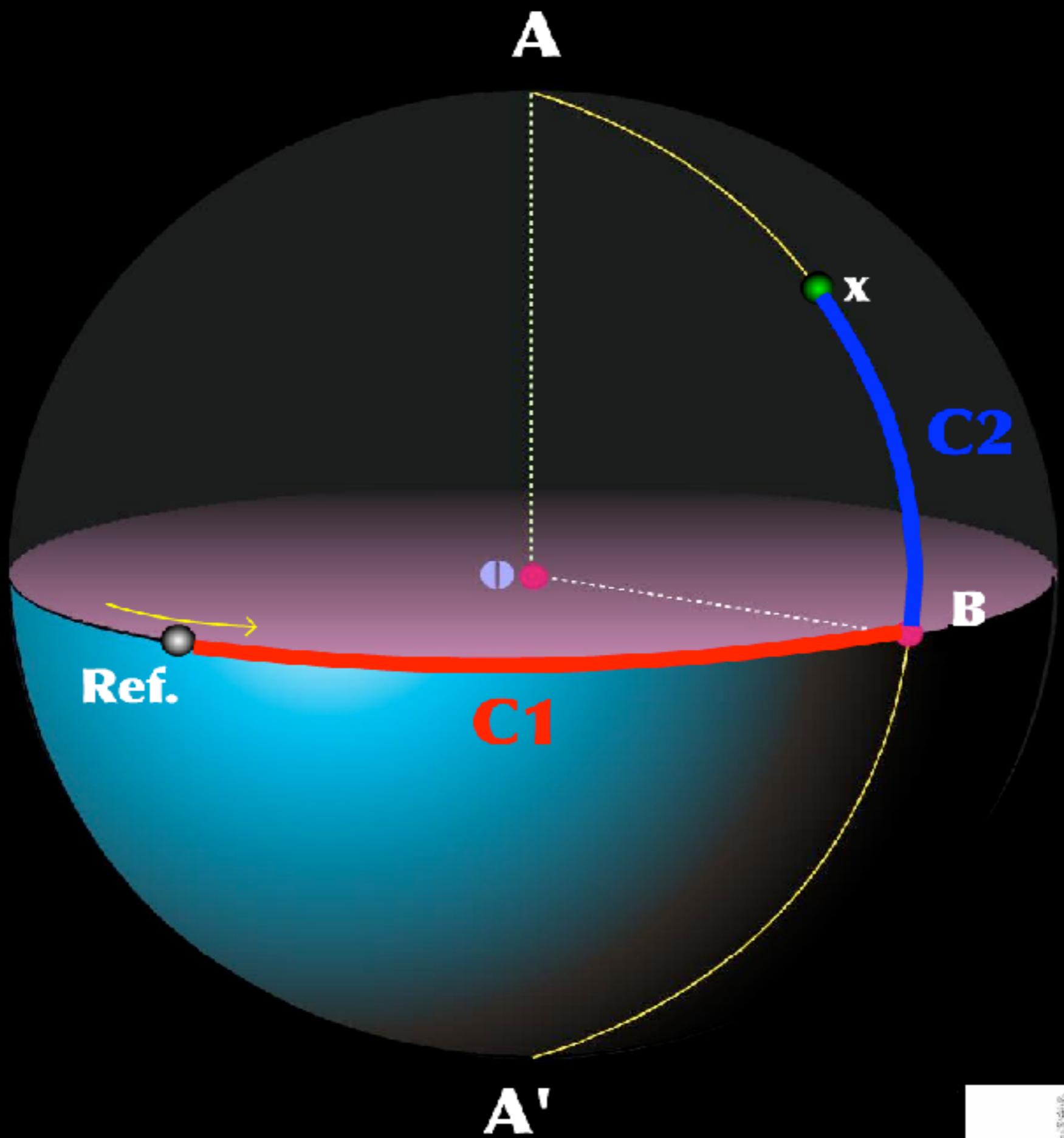


Observatorio Astronómico Nacional

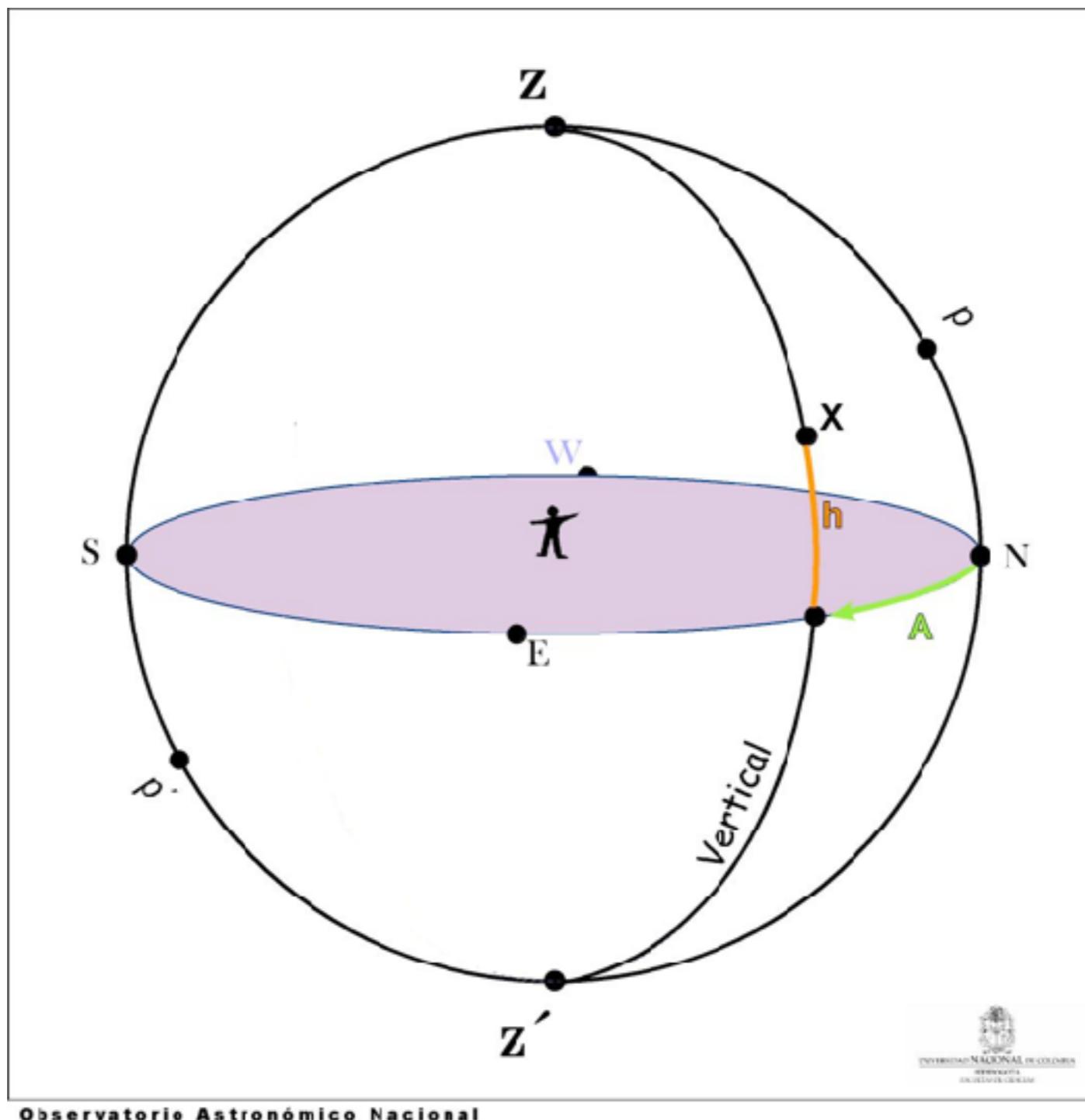


Observatorio Astronómico Nacional





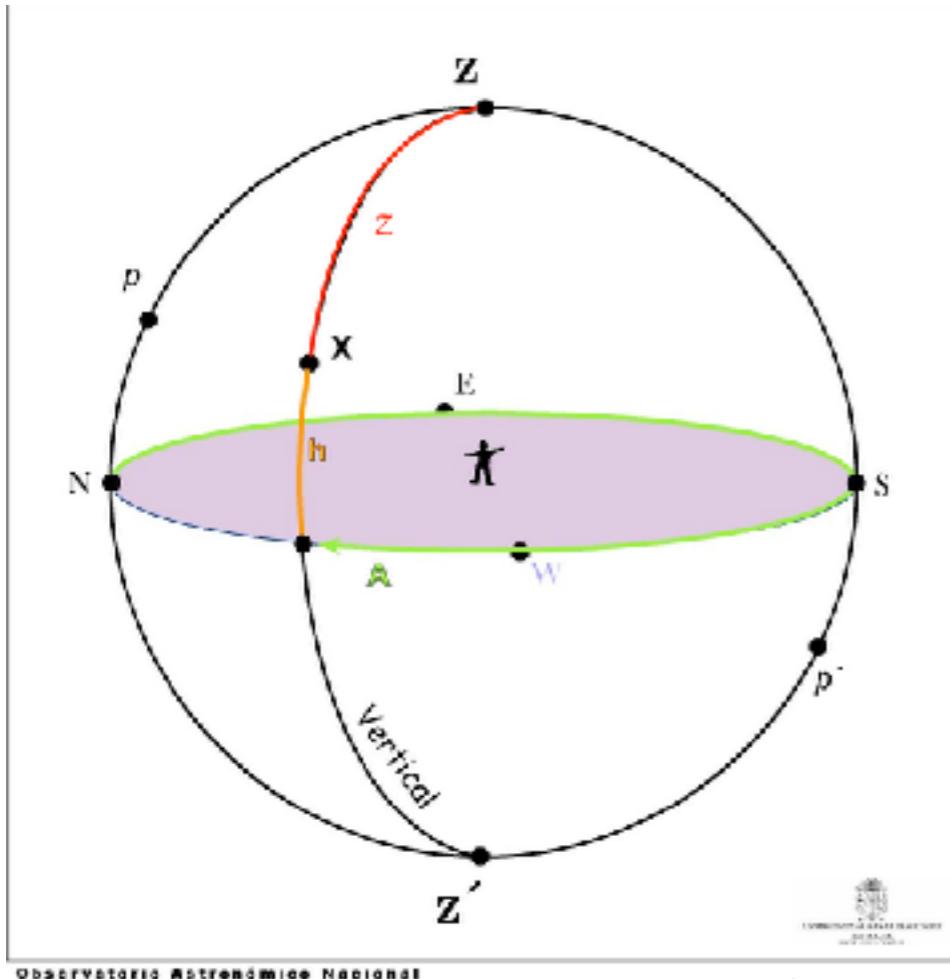
# Coordenadas horizontales: Acimut y altura



$$0^\circ \leq A < 360^\circ$$

$$-90^\circ \leq h \leq +90^\circ$$

# Distancia Cenital (z)

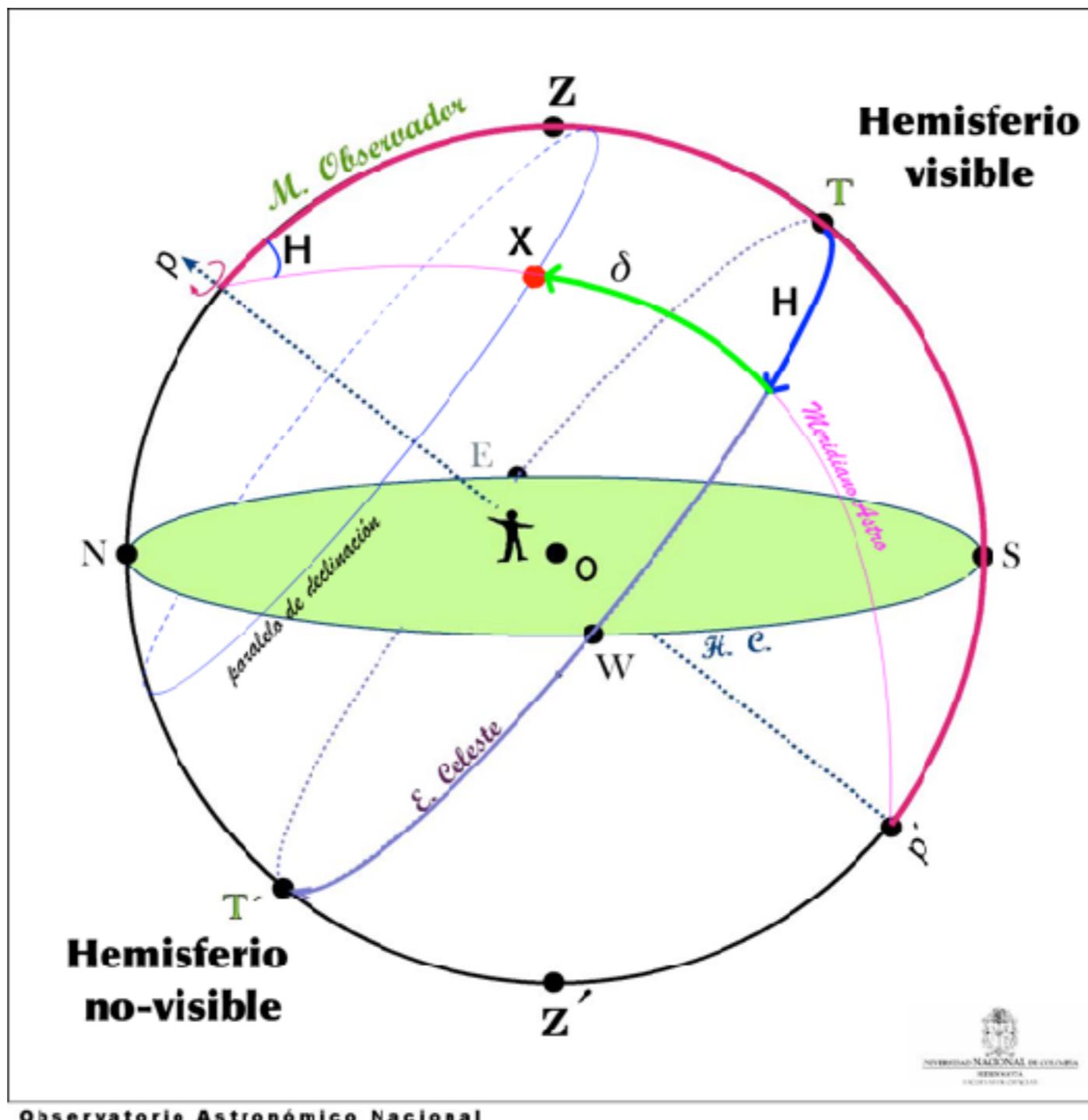


💡 Es usual asociar a las coordenadas horizontales la distancia cenital, la cual es la longitud del arco trazado sobre la vertical del astro, desde el cenit hasta el astro. Al cenit se le asocia  $z=0^\circ$ .

$$0^\circ \leq z \leq 180^\circ$$

Siempre:  $h+z = 90^\circ$

# Coordenadas Ecuatoriales Horarias



# Primera Coordenada: Ángulo Horario ( $H$ )

## Valores y unidades de $H$

En unidades de arco:

$$0^\circ \leq H < 360^\circ$$

Ahora bien, la rotación diurna aparente de los astros ocurre en un día Sidéreo,

$$0^h \leq H < 24^h$$

## Segunda coordenada: Declinación

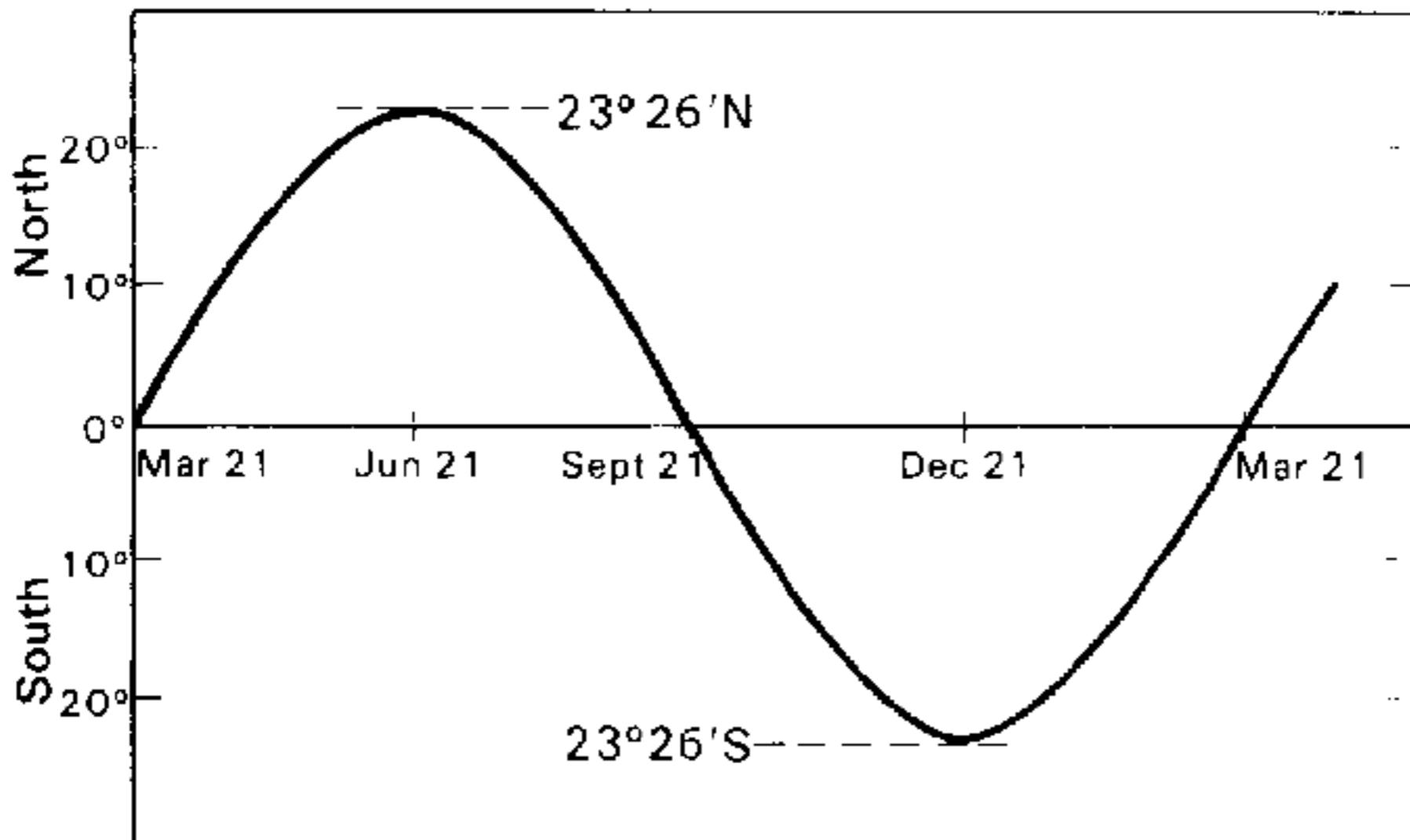
- Valores positivos de  $\delta$  si el astro está ubicado en el hemisferio norte celeste y negativos si astro está situado en el hemisferio sur celeste:

$$-90^\circ \leq \delta \leq +90^\circ$$

- $\delta=0^\circ$  si el astro está ubicado en el ecuador

$$0 < \delta_N \leq 90^\circ \quad 0 < \delta_S \leq 90^\circ$$

# Variación anual de la declinación del Sol



# Posiciones extremas del Sol



Solsticio de Junio: Máximo  $\delta_N$

Junio 21 de 2017, UT 04:24

Junio 21 de 2018, UT 10:07

Junio 21 de 2019, UT 15:54



Solsticio de Diciembre: Máximo  $\delta_S$

Diciembre 21 de 2017, UT 16:28

Diciembre 21 de 2018, UT 22:23

Diciembre 22 de 2019, UT 04:19

# Equinoccios

Eventos de cruce del centro de figura del Sol por el ecuador celeste en su tránsito de un hemisferio celeste al otro.

⌚ Equinoccio de marzo (tránsito de sur a norte):

2017 marzo 20, UT10:28  
2018 marzo 20, UT16:15  
2019 marzo 20, UT 21:58

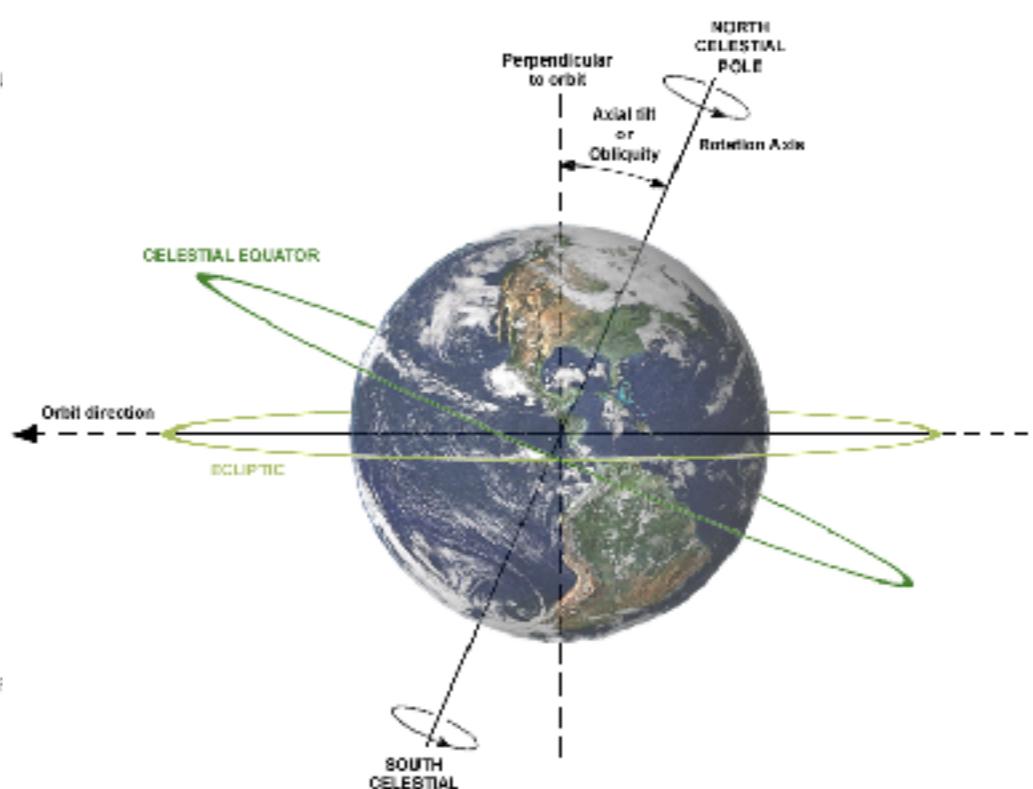
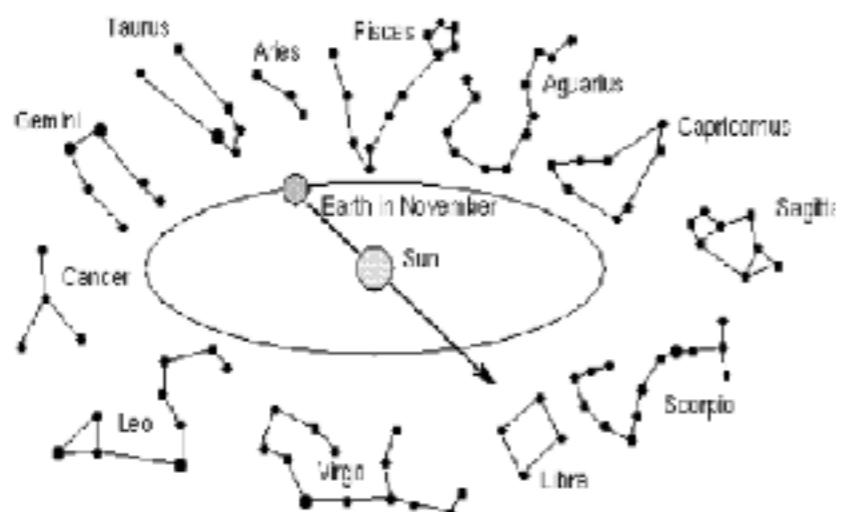
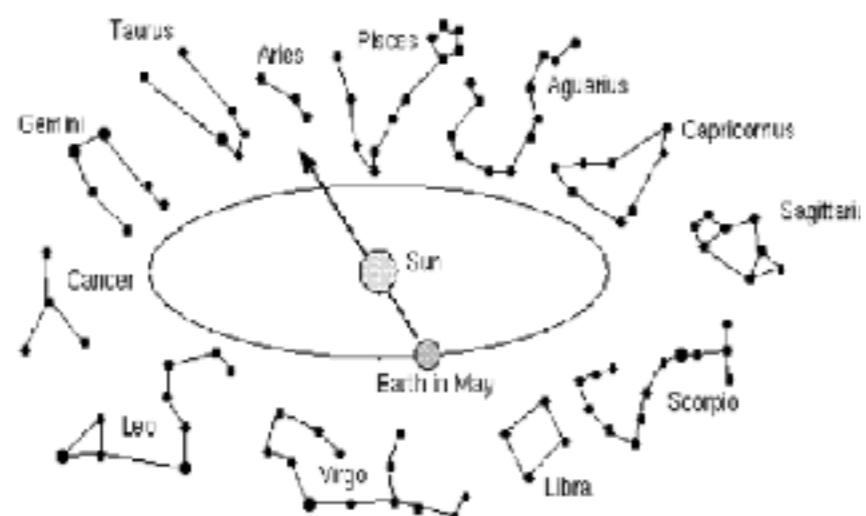
⌚ Equinoccio de septiembre (tránsito de norte a sur):

2017 septiembre 22, UT20:02  
2018 septiembre 23, UT01:54  
2019 septiembre 23, UT 07:50

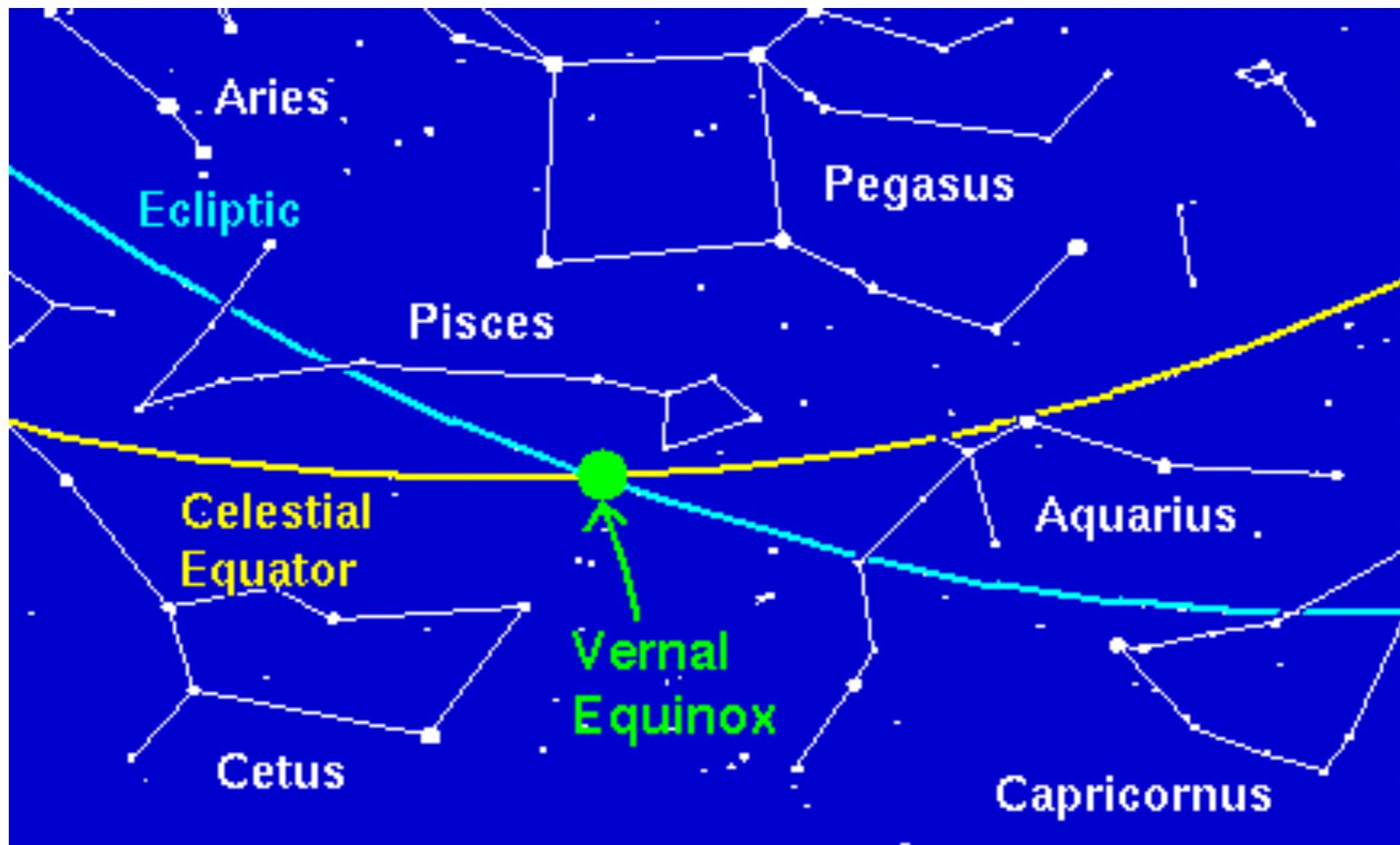
# ECLÍPTICA

- Círculo máximo que describe el movimiento anual aparente del Sol en la esfera celeste geocéntrica. Corresponde al plano de la órbita terrestre en su movimiento anual alrededor del Sol.

Pisces (P.V.)->Aries->Taurus->Gemini (J)->Cancer->Leo->Virgo (P.P.L.)->Libra->Scorpius->Ophiucus->Sagittarius (D)->Capricornus->Aquarius->Pisces->...



# El punto Vernal (Primer punto de Aries)



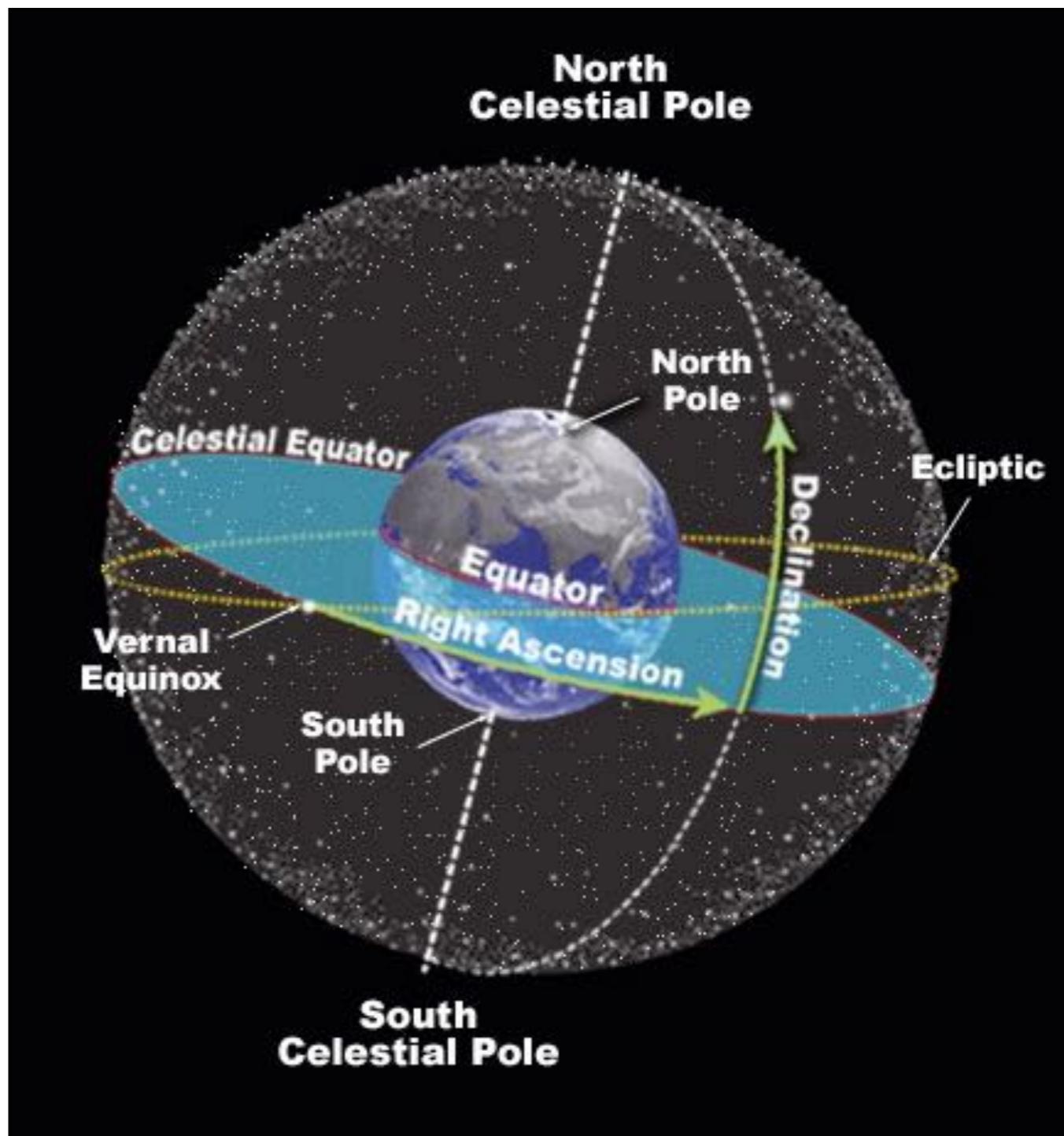
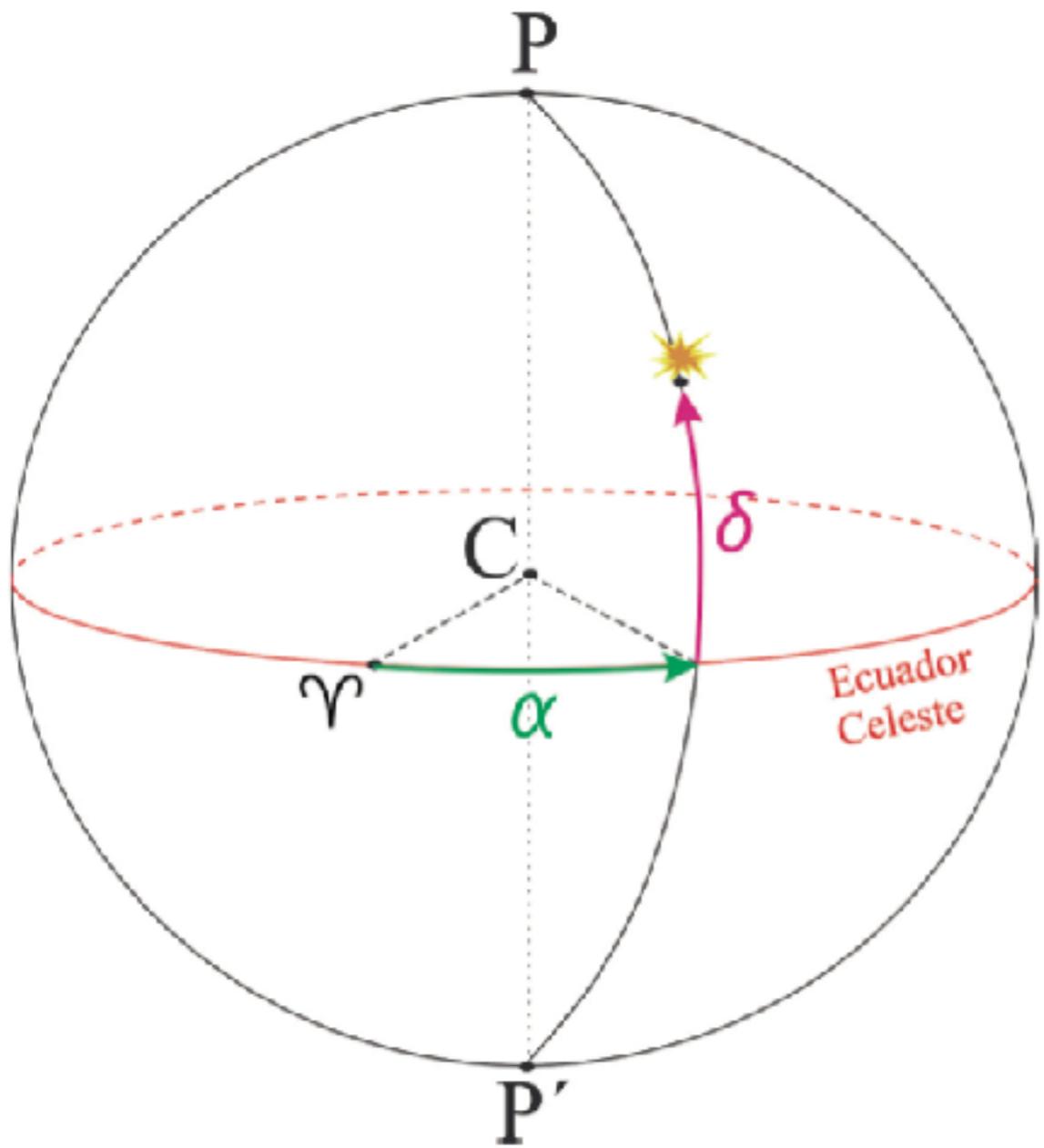
# Coordenadas Ecuatoriales Geocéntricas

- Tipo de esfera celeste: geocéntrica
- Círculo fundamental: ecuador celeste
- Punto de referencia: punto vernal
- Sentido establecido: hacia el este (-> E)

Ascensión recta y declinación

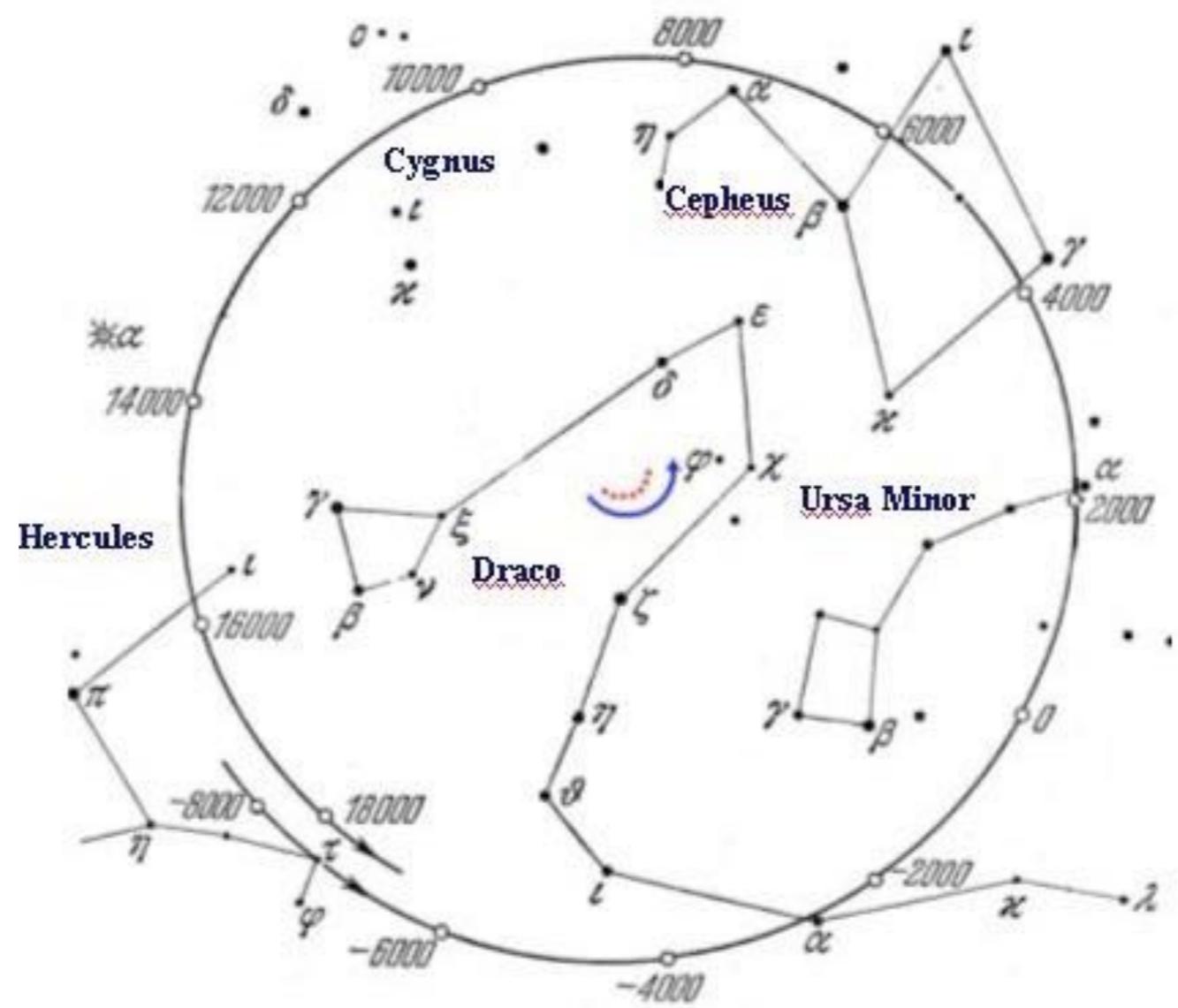
$$0^h \leq \alpha < 24^h \quad 0^\circ \leq \delta < 360^\circ$$

$$-90^\circ \leq \delta \leq +90^\circ$$



# Correcciones a las observaciones

- Refracción atmosférica.
- Altura sobre el nivel del mar.
- Paralaje geocéntrico (sistema solar).
- Precesión y nutación.
- Aberración de la luz.
- Paralaje Heliocéntrico.
- Movimientos propios.
- Deflexión gravitacional.

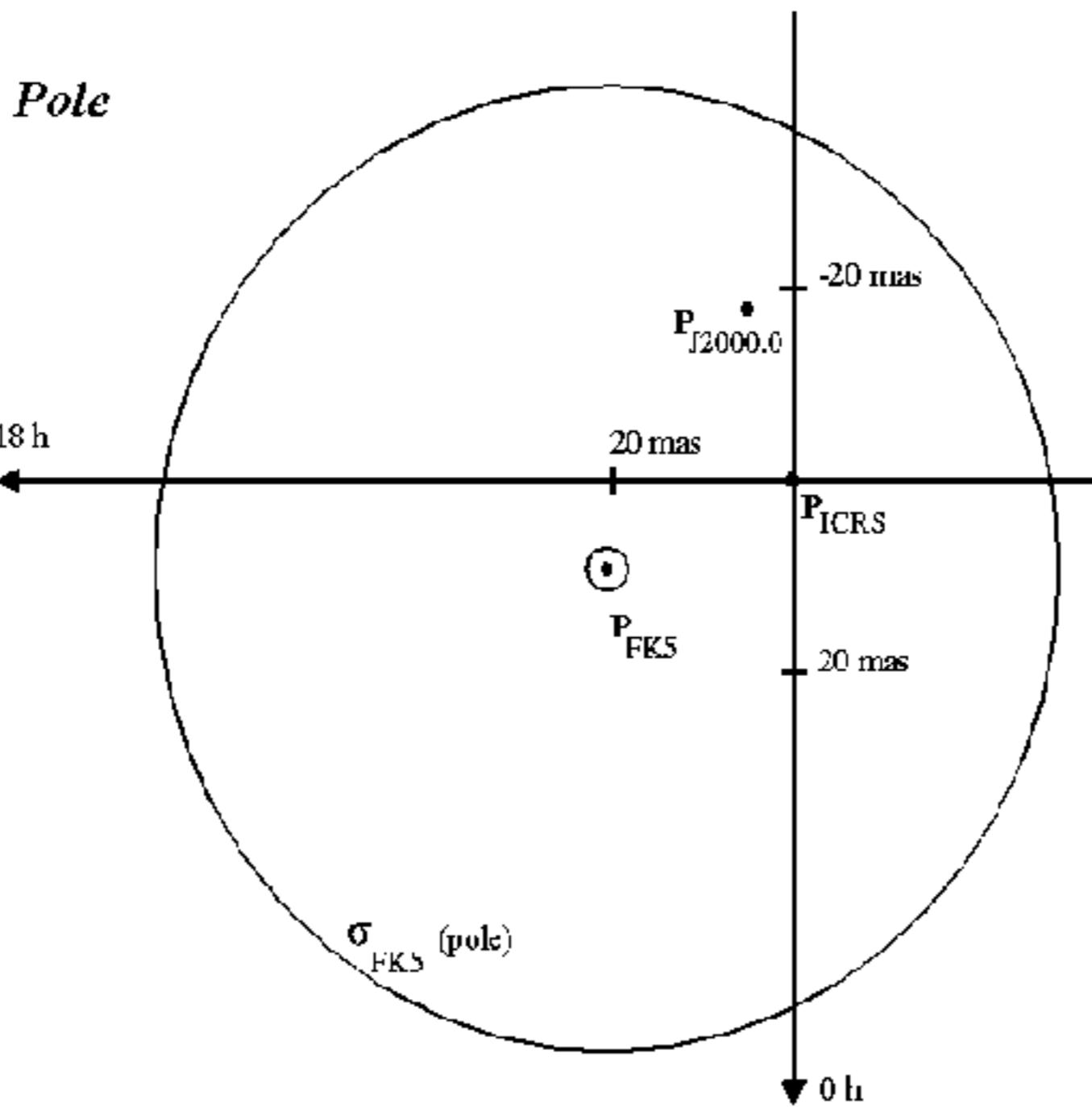


# International Celestial Reference System (ICRS)

- En la Asamblea General 23 de la IAU, agosto de 1997, se estableció que el sistema de referencia internacional tendrá origen en el baricentro del sistema solar, descrito mediante relatividad general, siendo sus coordenadas  $\alpha$  y  $\delta$  como definidas anteriormente, pero el origen de  $\alpha$  estará determinado por la ascensión recta del quásar 3C273B con base en mediciones VLBI.

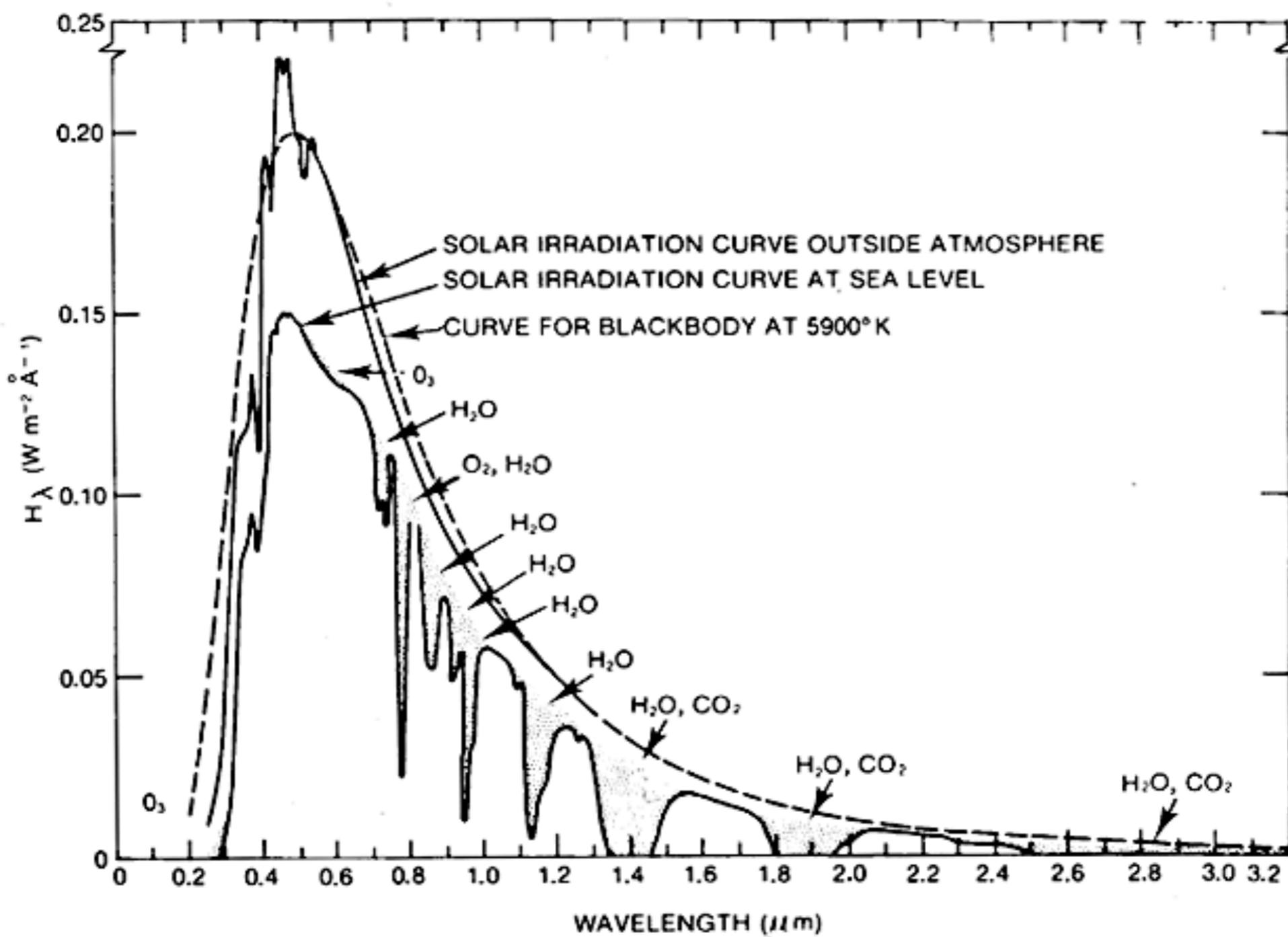
# International Celestial Reference frame (ICRF)

El Marco de Referencia Celeste Internacional (International Celestial Reference Frame) es la implementación práctica (o realización física) del ICRS. Se miden las posiciones de 608 fuentes extragalácticas, la mayoría de ellas quásares, las cuales se observan mediante VLBI a J2000.0. Se adoptó por parte de la Unión Astronómica Internacional (IAU) a partir del primero de enero de 1998. La rotación se registra por el servicio denominado “International Earth Rotation and Reference System Service”.

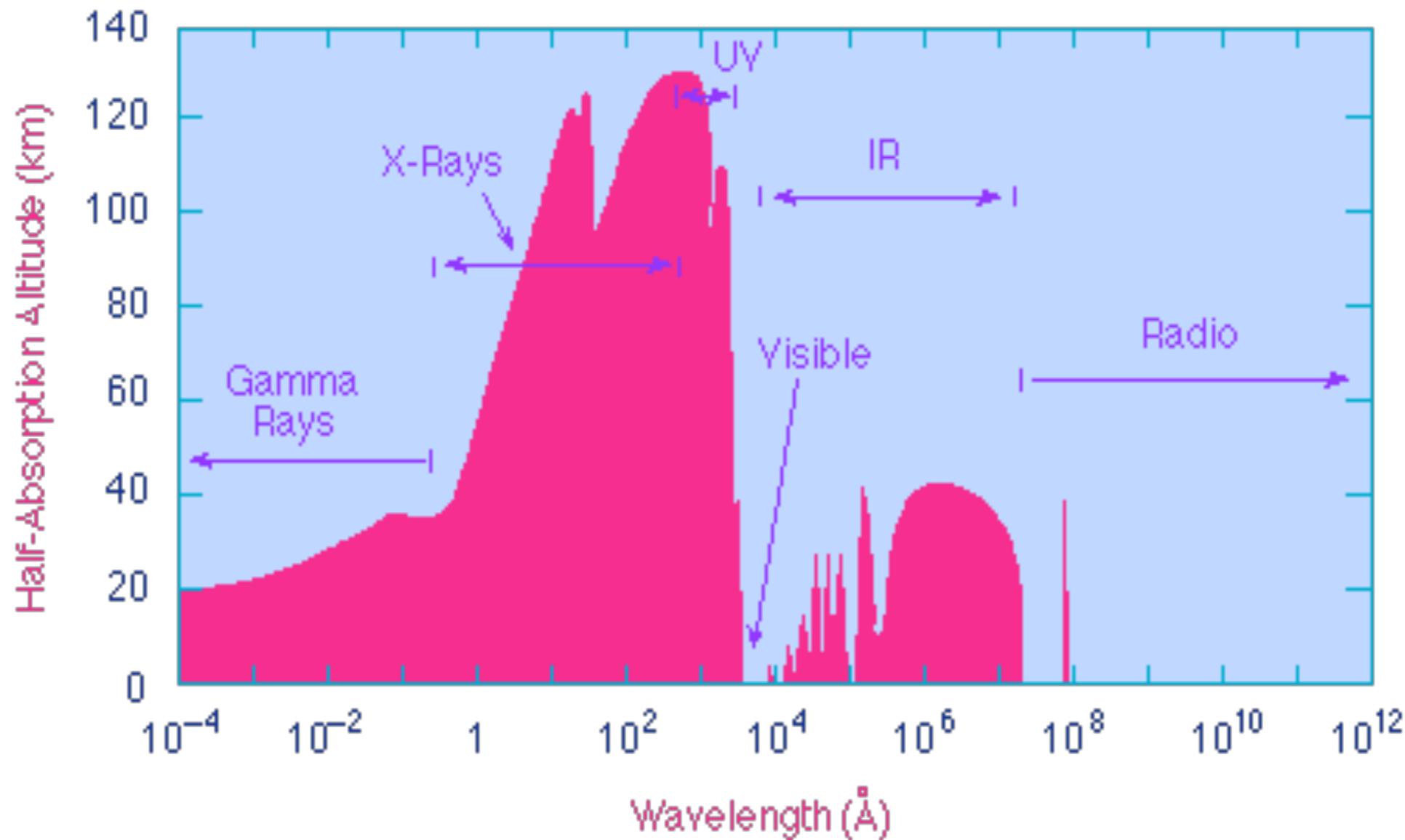


# Fotometría

- Hiparco (ca. 125 AC): *magnitudes* 1,2,3,4,5,6
- Pogson (1856):  $m_1 - m_2 = -2.5 \log_{10} \frac{F_1}{F_2}$
- Morgan & Johnson: sistema UBV, otros (IR): R, I, J, H, K, L, M, N, Q
- Otros sistemas fotométricos: Strömgren uvby+H $\beta$ .
- Magnitudes: visual, fotográfica, fotovisual, fotoeléctrica; CCD.



# Ventanas útiles en la Tierra

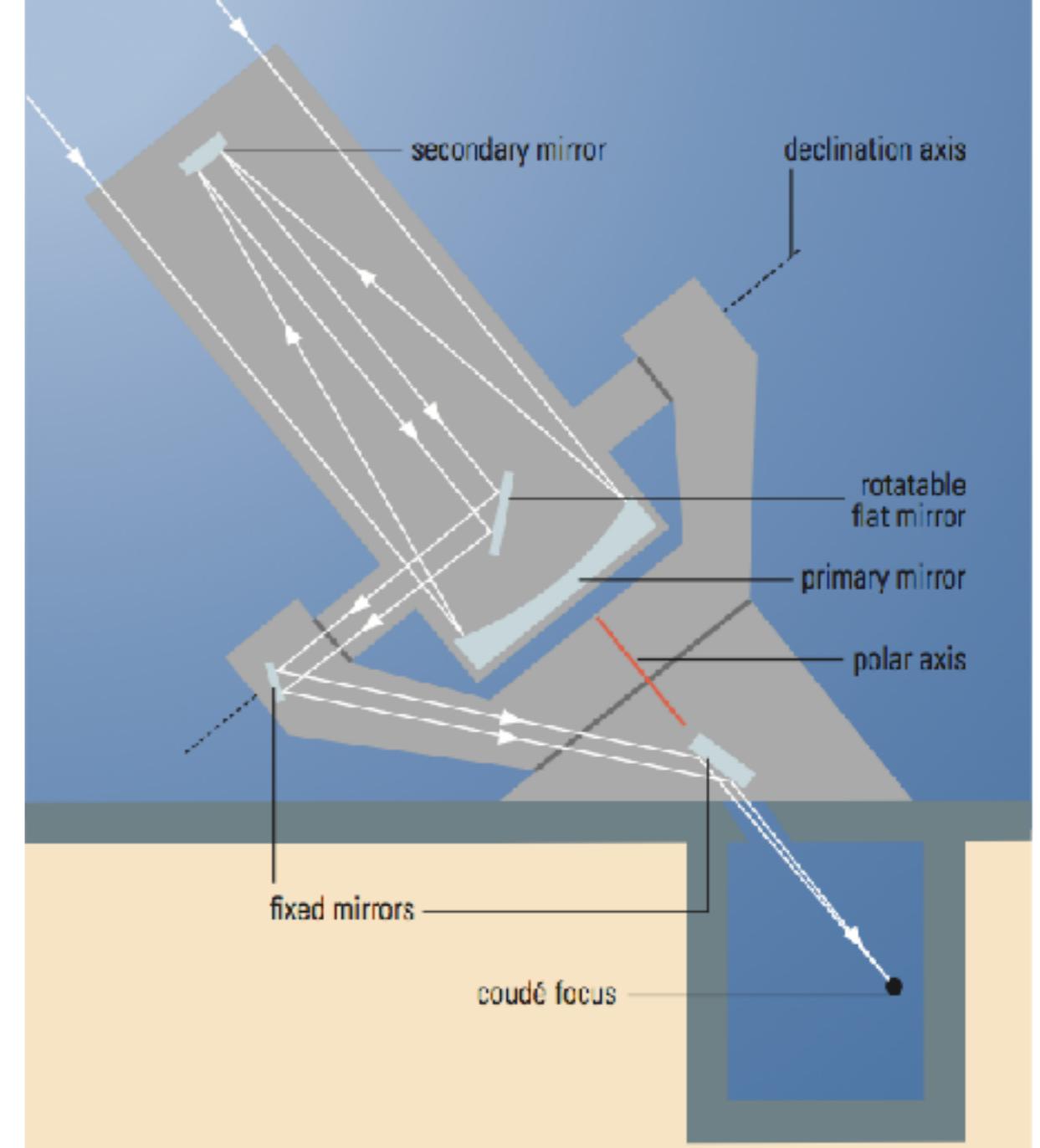
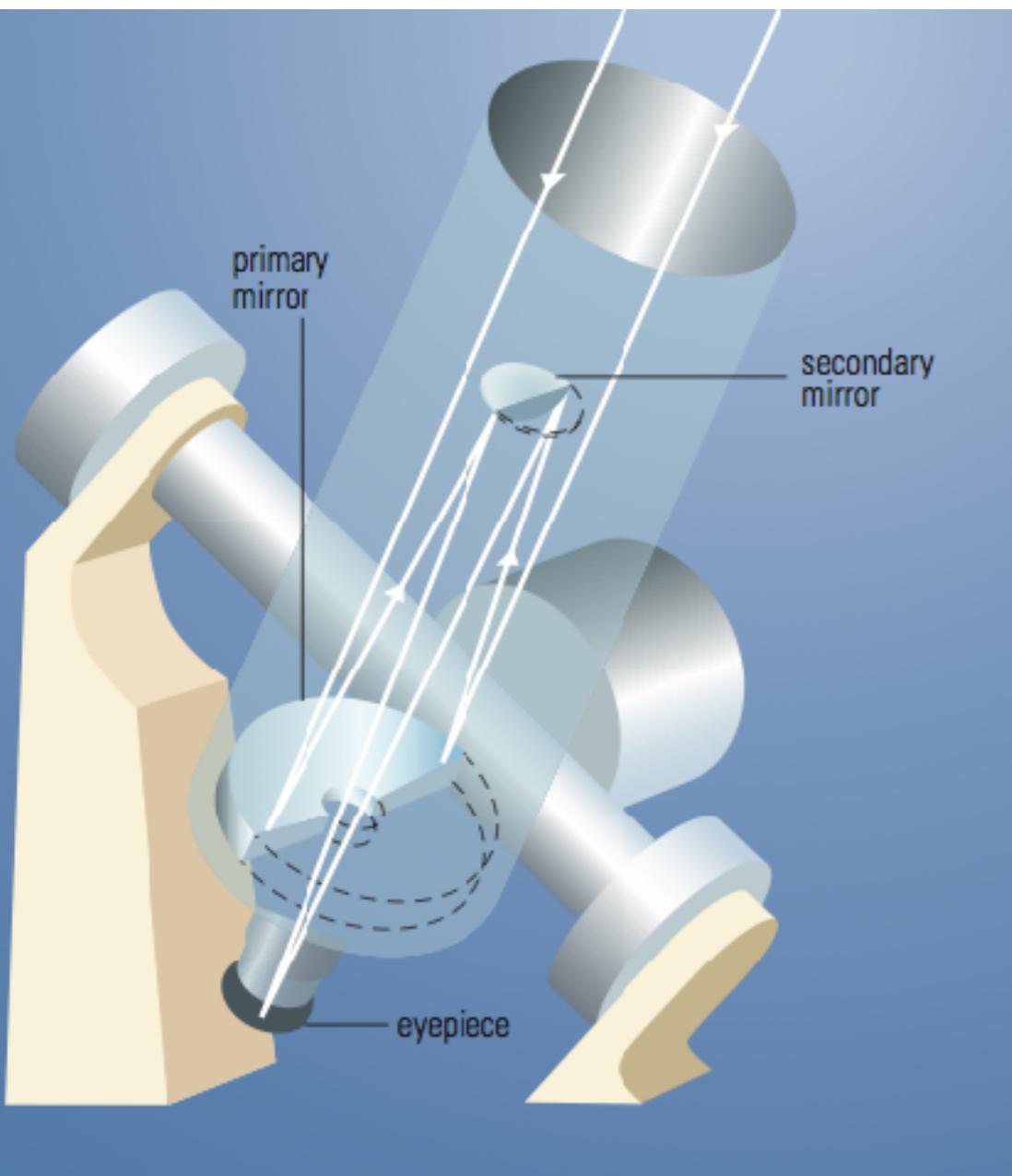


# Telescopios

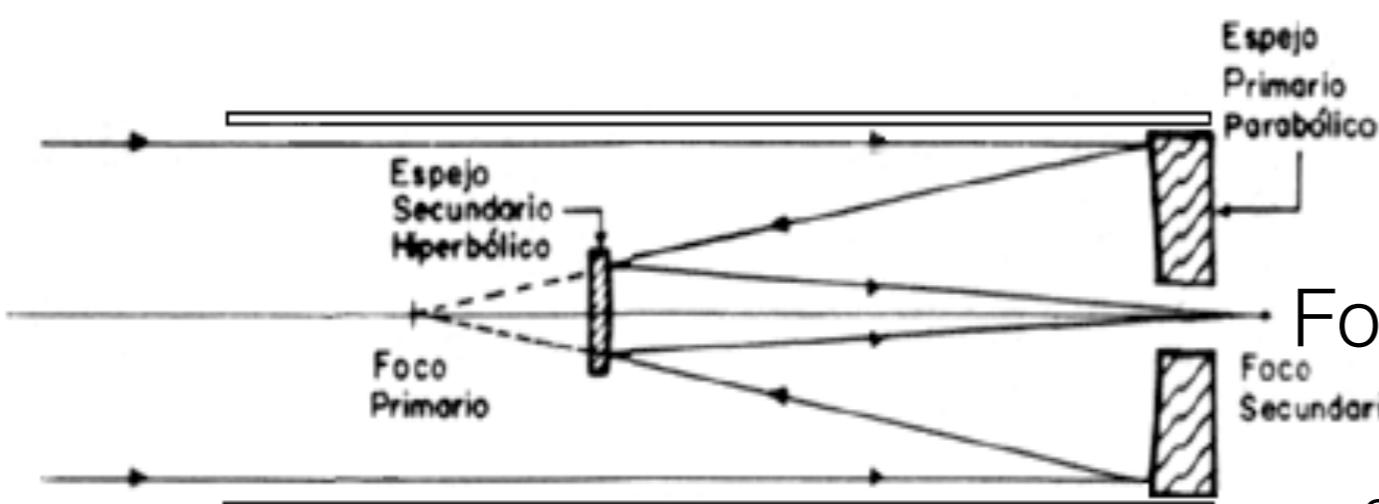
- Instrumento colector de radiación electromagnética diseñado para la observación de objetos remotos mediante la formación de imagen de estos.

## Propiedades generales

- ➊ Aumento: d. f. Telescopio/d.f. Ocular
- ➋ Tamaño imagen: distancia focal \* tan A, en donde  
A= ángulo del astro en la esfera celeste
- ➌ Relación focal:  $f = \text{dist. Focal} / \text{diámetro}$
- ➍ Resolución:  $1.22 * \text{long.onda} / \text{diámetro}$
- ➎ Magnitud límite:  $5 \log D + 1$



## Telescopio con foco Coudé



(d) Telescopio Cassegrain

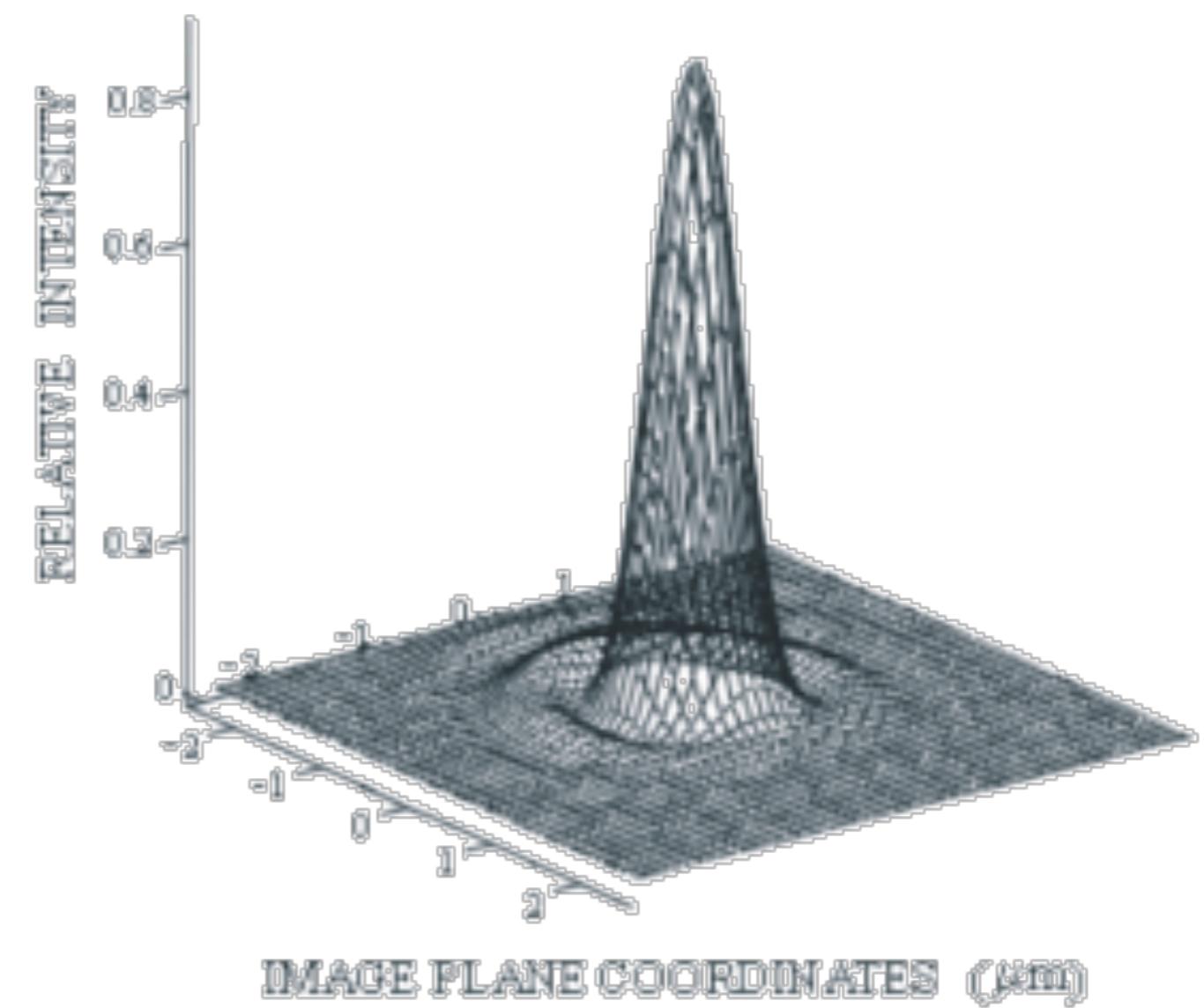
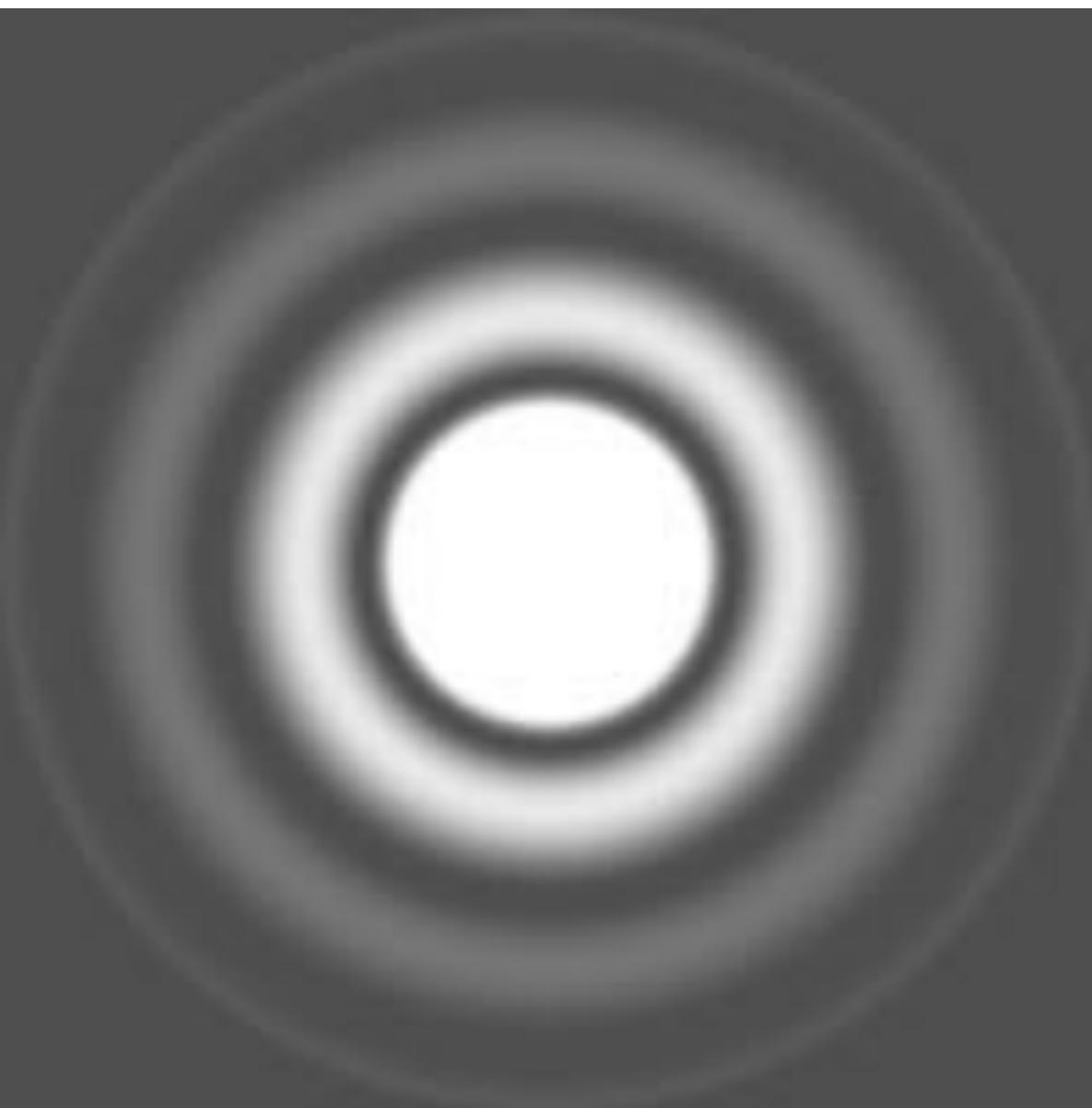
$$\text{Foco efectivo} = \text{Foco primario} * \frac{a}{b}$$

$a$ =distancia foco final al vértice secundario

$b$ =distancia foco primario al vértice secundario

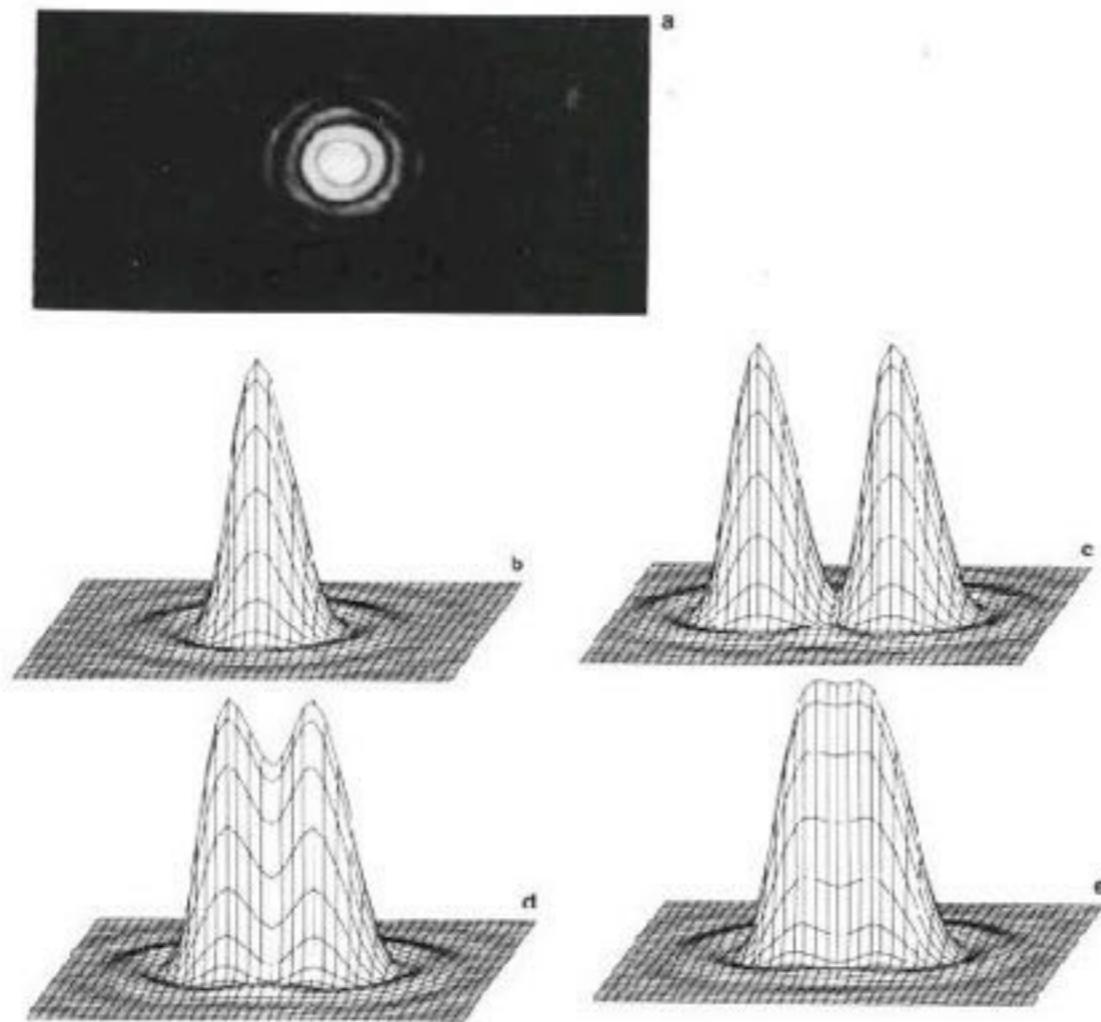
Disco de Airy (1835)

\* George Biddell Airy (1801-1892)



Este fenómeno fue observado por primera vez por John Frederick William Herschel (1828, Encyclopedia Metropolitana)

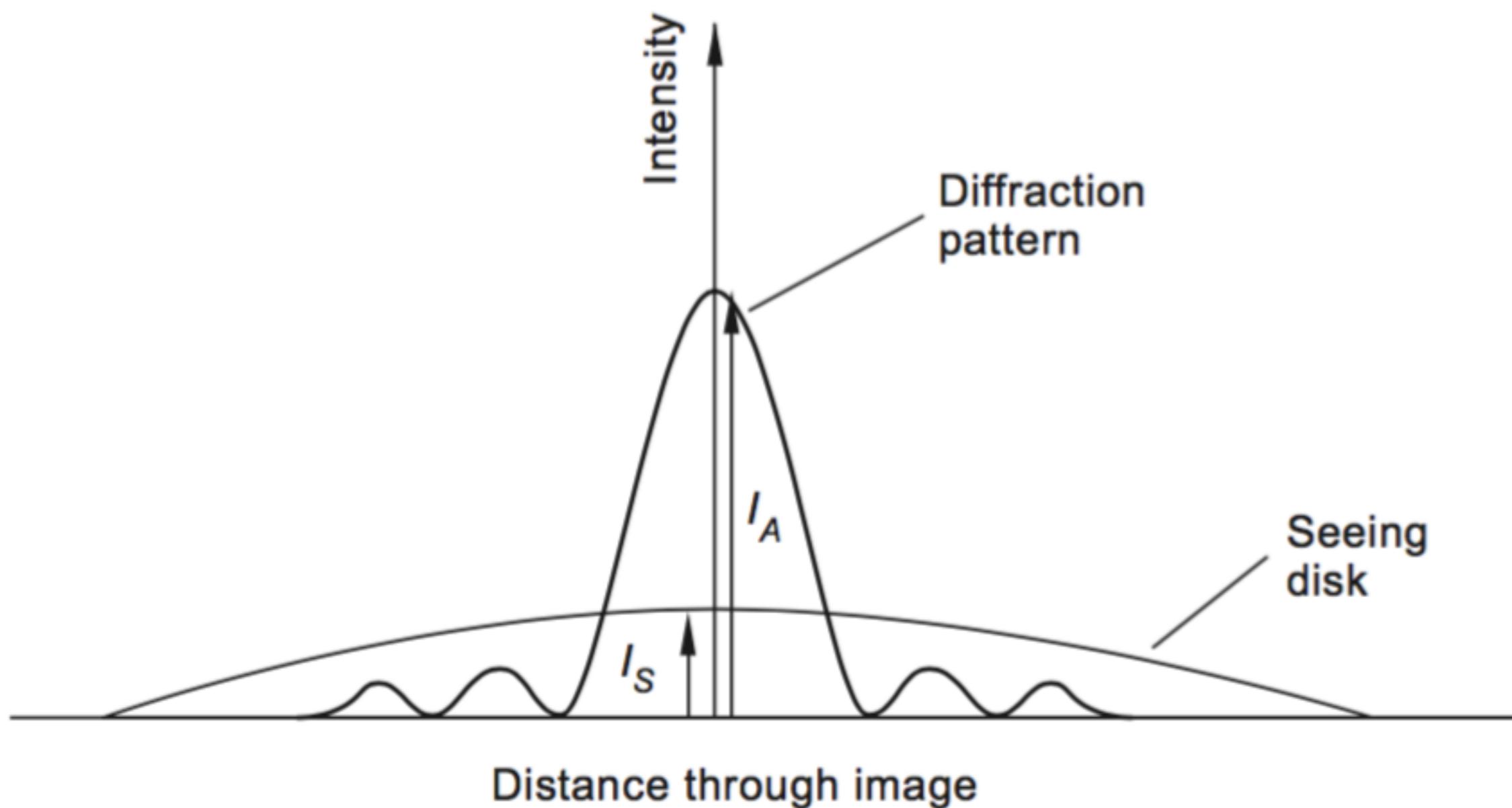
# Criterio de Rayleigh (1879)



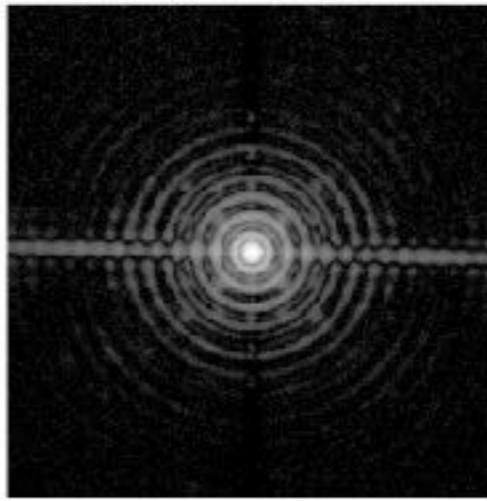
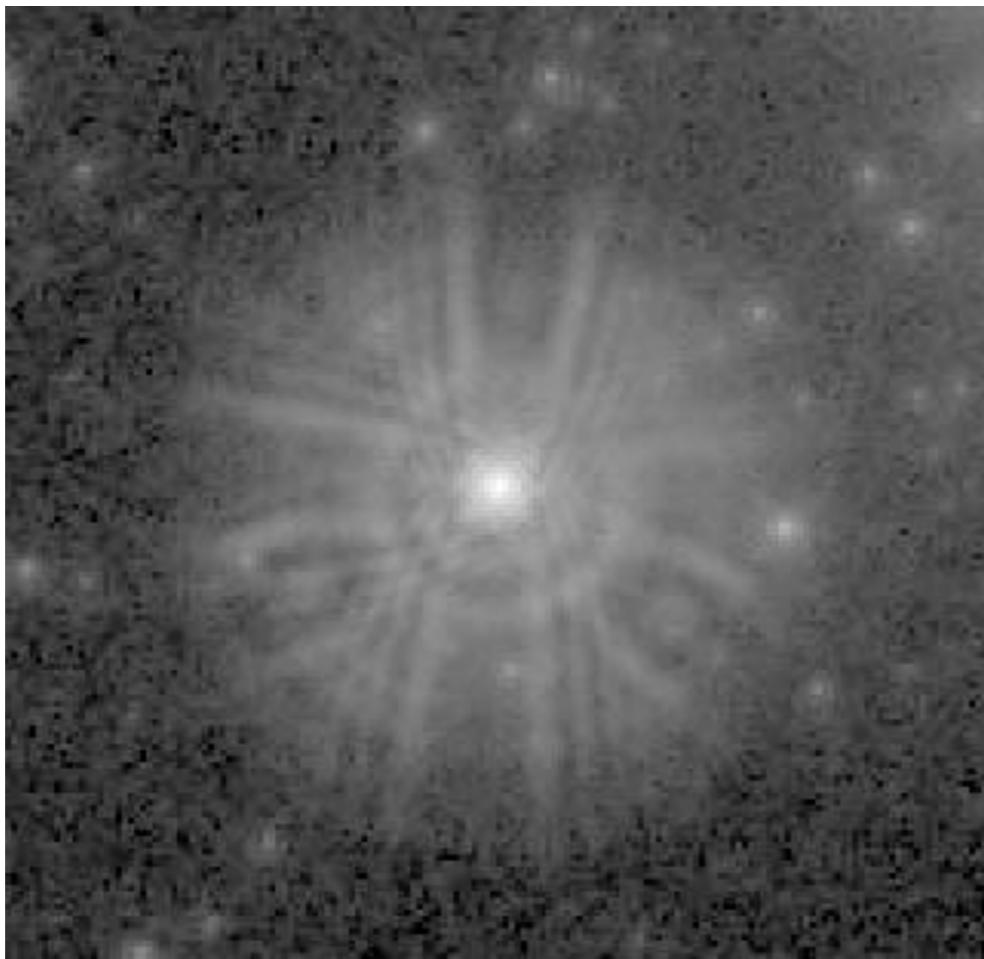
**Resolución de un telescopio**

John William Strutt, 3er. Barón de Rayleigh (1842-1919)

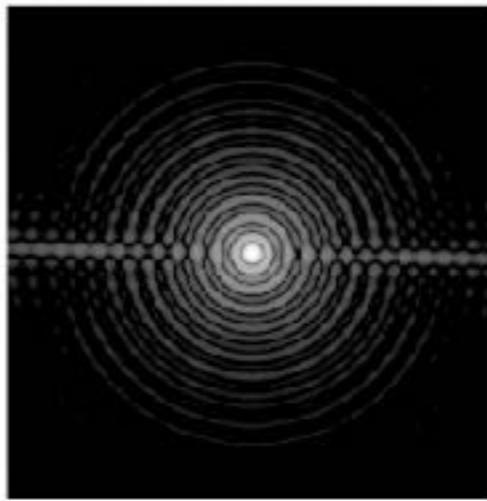
# Seeing versus el disco de Airy



# Point Spread Function (PSF)



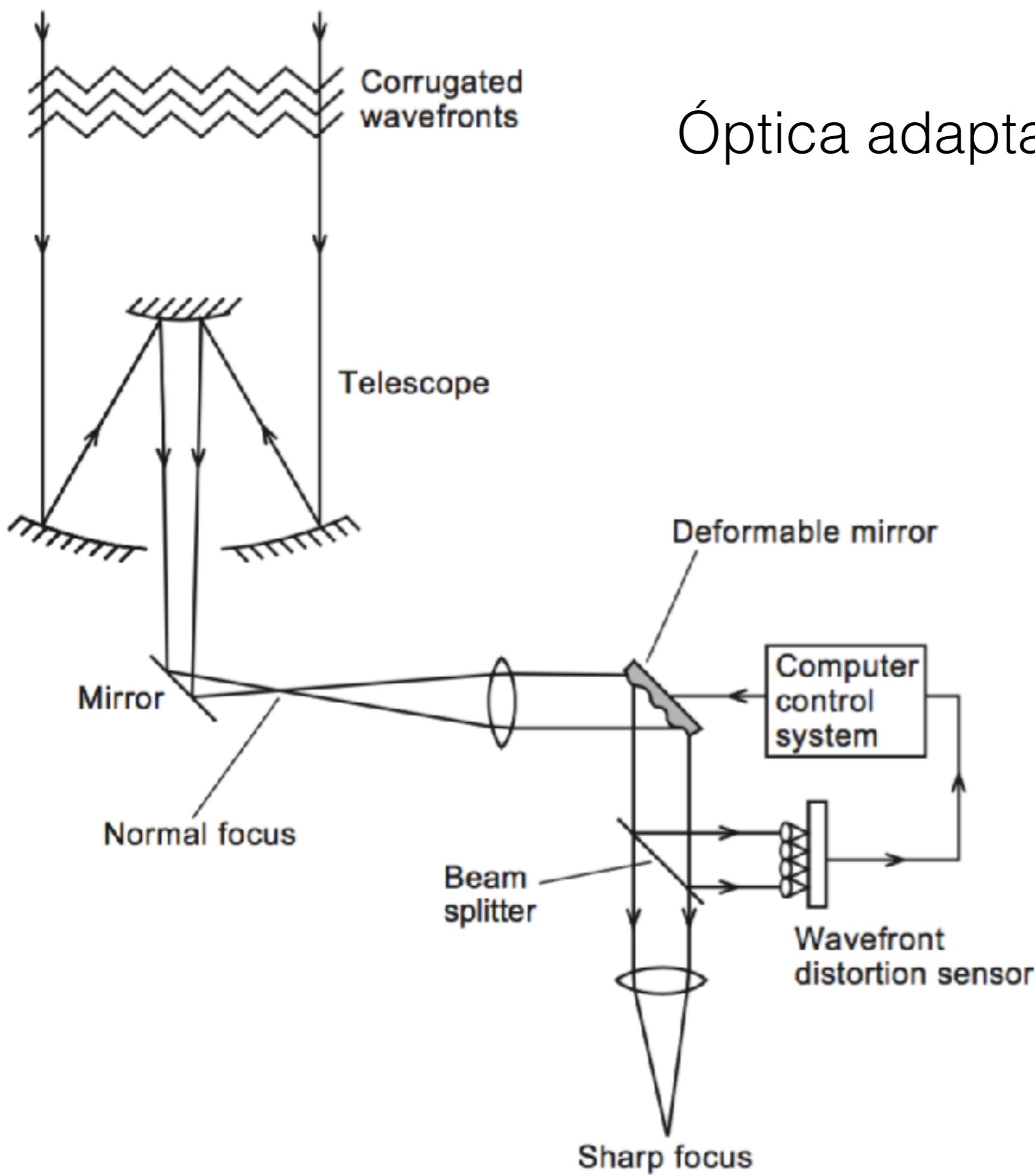
OBSERVED f/90 PSF  
(94% STREHL RATIO)



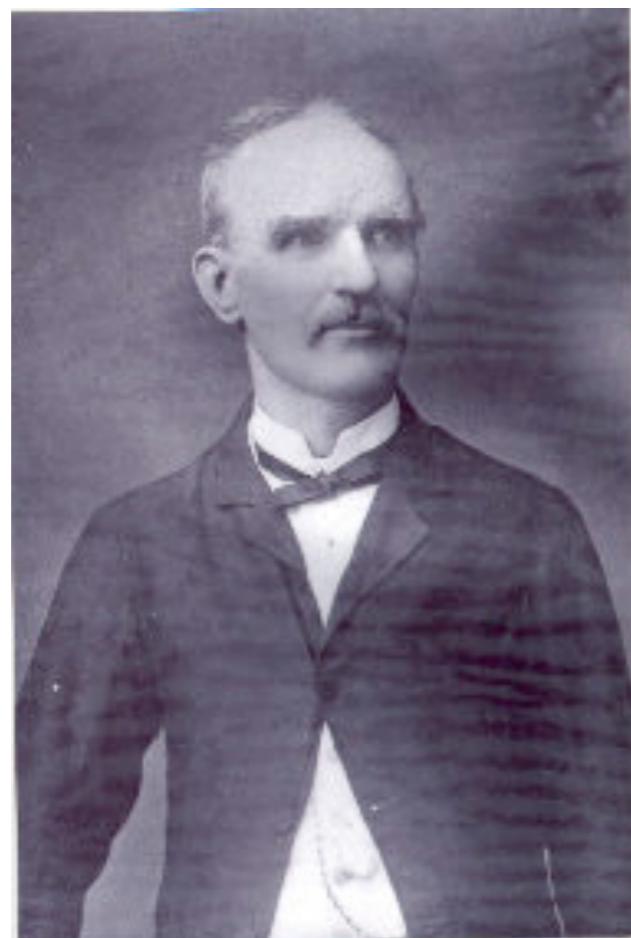
THEORETICAL f/90 PSF  
(100% STREHL RATIO)

La razón de Strehl es el cociente entre el flujo de imagen real sobre el respectivo flujo ideal (según la PSF)

# Óptica adaptativa



# Robert Norman Pogson (1829-1891)



- Propuso adoptar un descenso de brillo proporcional por cada salto en una magnitud.
- Si la diferencia de magnitudes de dos astros es igual a la unidad, es porque la razón de sus respectivos flujos es igual a 2.512

# Consecuencias de esta hipótesis

- ➊  $1 - 6 = -5$  magnitudes corresponde a una razón de flujos de:

$$\left( \frac{F_1}{F_2} \right) = 100$$

- ➋ Por tanto, si la diferencia entre dos magnitudes consecutivas de Hiparco corresponde a la misma variación de flujo se tiene que si  $m_1 - m_2 = -1$ , entonces  $F_1/F_2$  debe ser igual a  $(100)^{1/5} = 2.512$  aproximadamente.

## Fórmula de Pogson (1856)

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log \left( \frac{F_1}{F_2} \right)$$

- Instrumentalmente debemos expresar la razón de brillos en lugar de la razón de los flujos, en donde por brillo entendemos la energía de la radiación electromagnética detectada por el arreglo observacional:

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log \left( \frac{b_1}{b_2} \right)$$

- en donde:

$$b = \frac{\pi D_{tel}^2}{4} t_{obs} \int_0^\infty F_\lambda A_\lambda(z) R_\lambda d\lambda$$

# Límite visual de un telescopio

- ➊ La pupila dilatada del ojo humano se asume igual a  $8\text{mm}$ . La magnitud visual límite usando un lente de diámetro  $D_{\text{tel}}$  dado se define como la magnitud con que se observaría un astro puntual con el ojo humano si con este y a través del telescopio se aprecia como un astro de sexta magnitud.
- ➋ Para ello en la formula de Pogson en función del brillo utilizamos las áreas colectoras, proporcionales al cuadrado del diámetro.

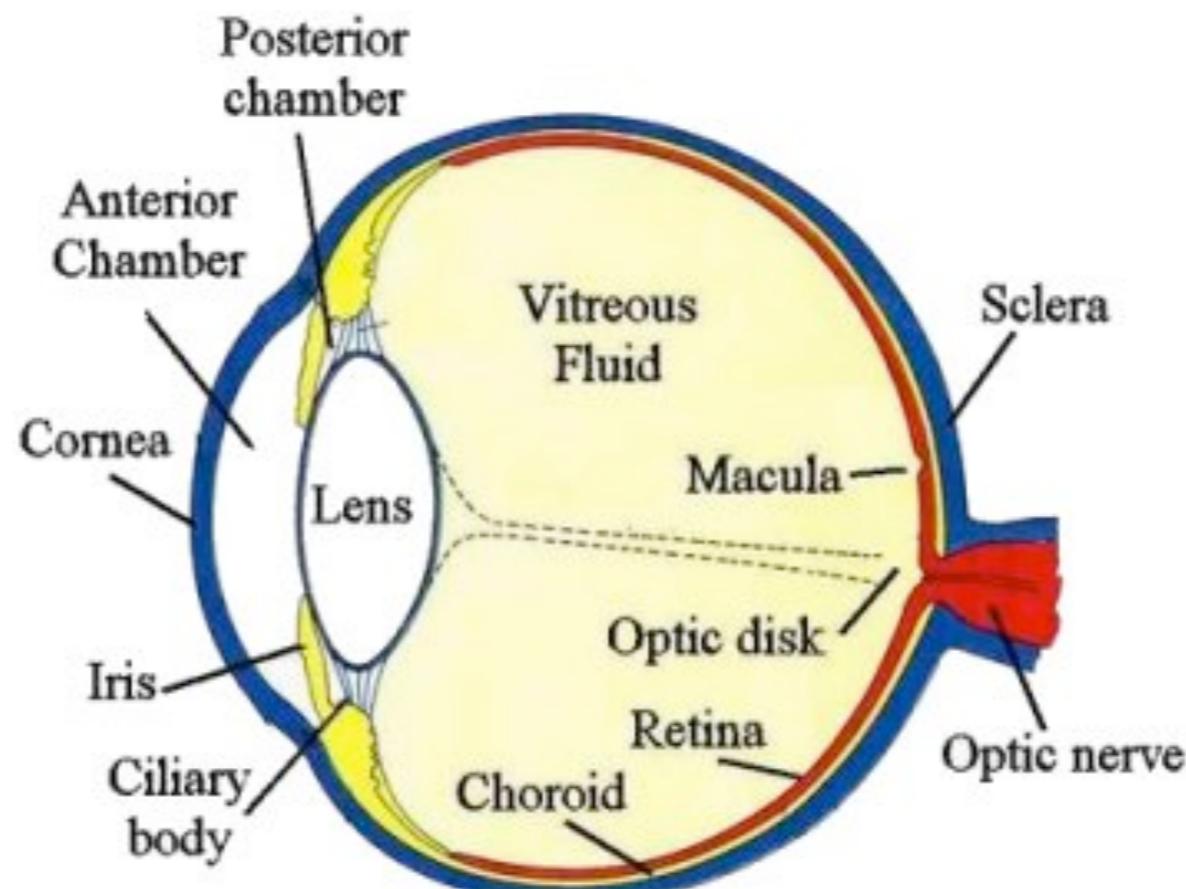
$$m_{lim} - 6 = -2.5 \log \left( \frac{(8\text{mm})^2}{D_{tel}^2} \right)$$

o bien:

$$m_{lim} \simeq 1.48 + 5 \log D_{tel}$$

en donde  $D_{tel}$  es el diámetro del telescopio en milímetros ( $mm$ ).

# El ojo: nuestro detector natural de luz



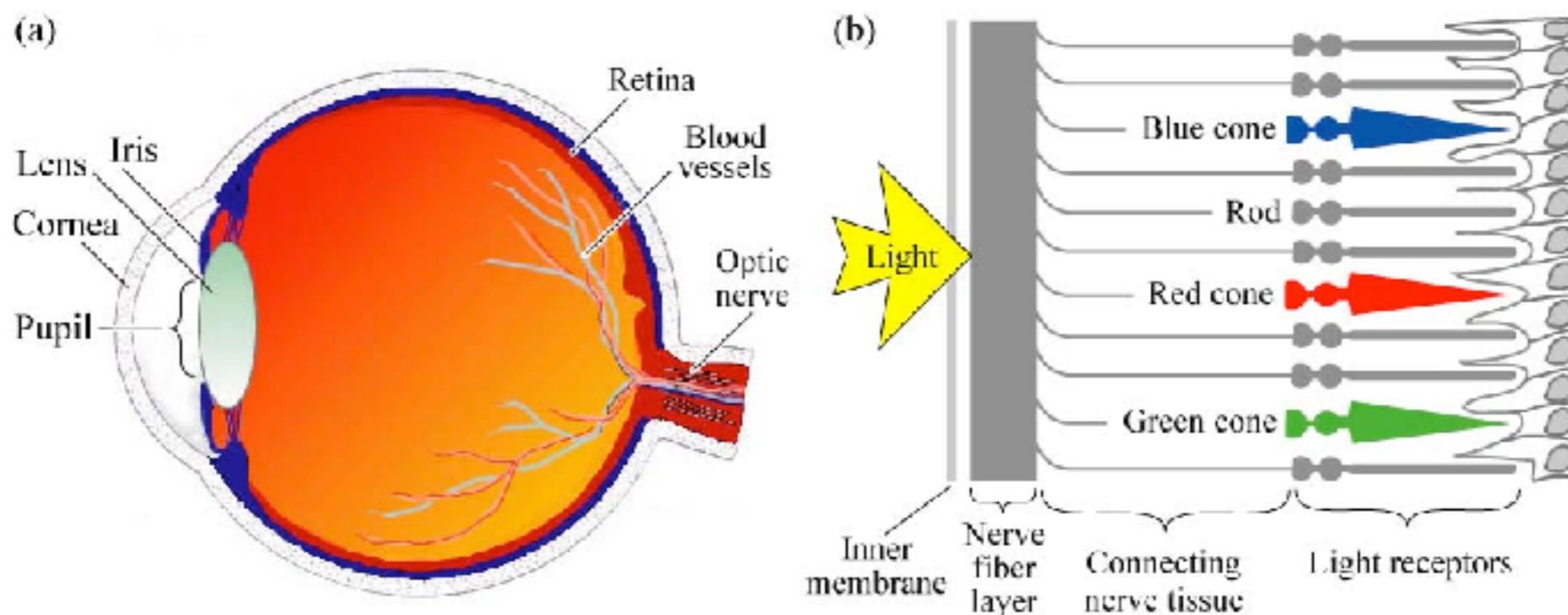
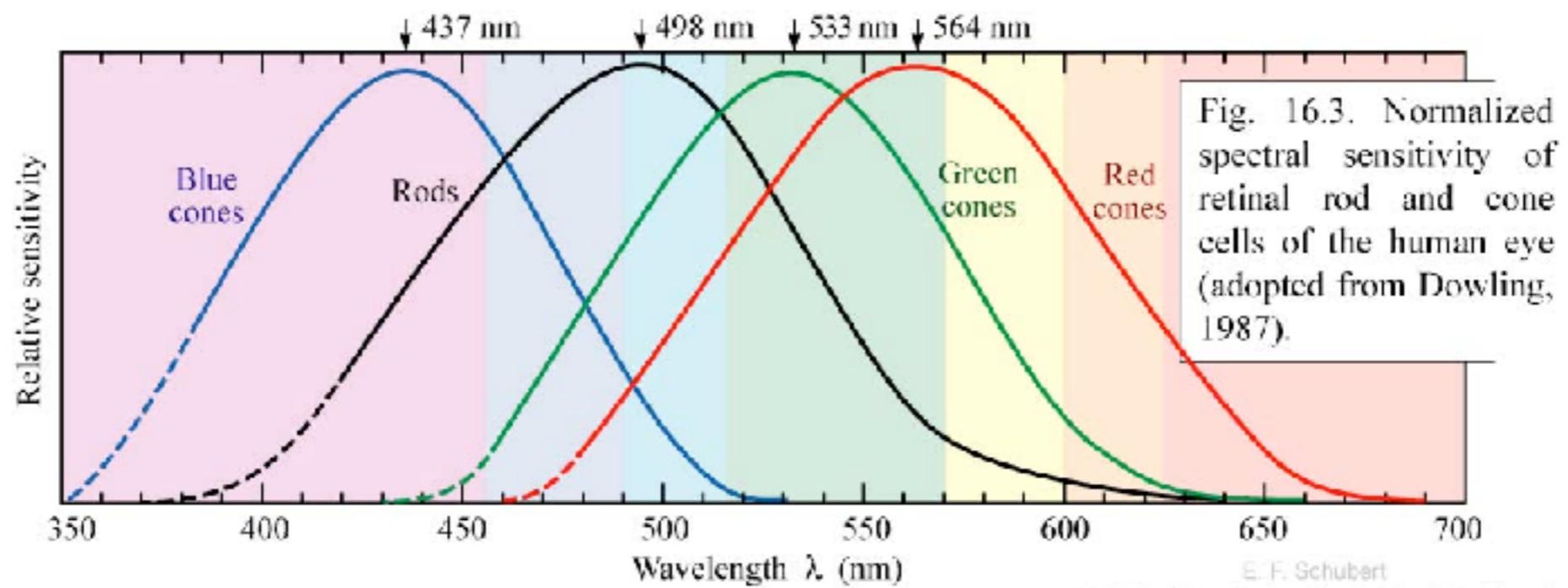


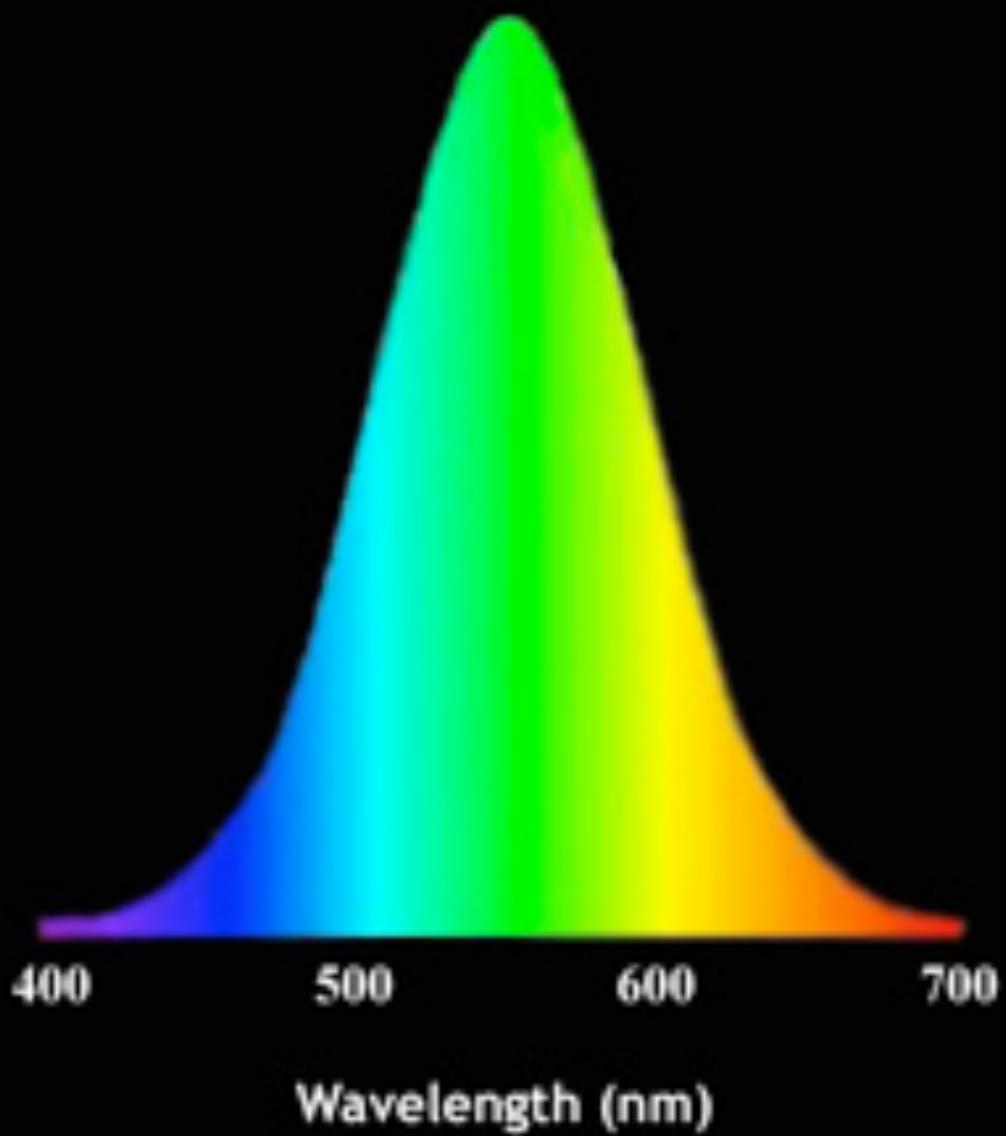
Fig. 16.1. (a) Cross section through a human eye. (b) Schematic view of the retina including rod and cone light receptors (adapted from Encyclopedia Britannica, 1994).

E. F. Schubert  
Light-Emitting Diodes (Cambridge Univ. Press)  
[www.LightEmittingDiodes.org](http://www.LightEmittingDiodes.org)

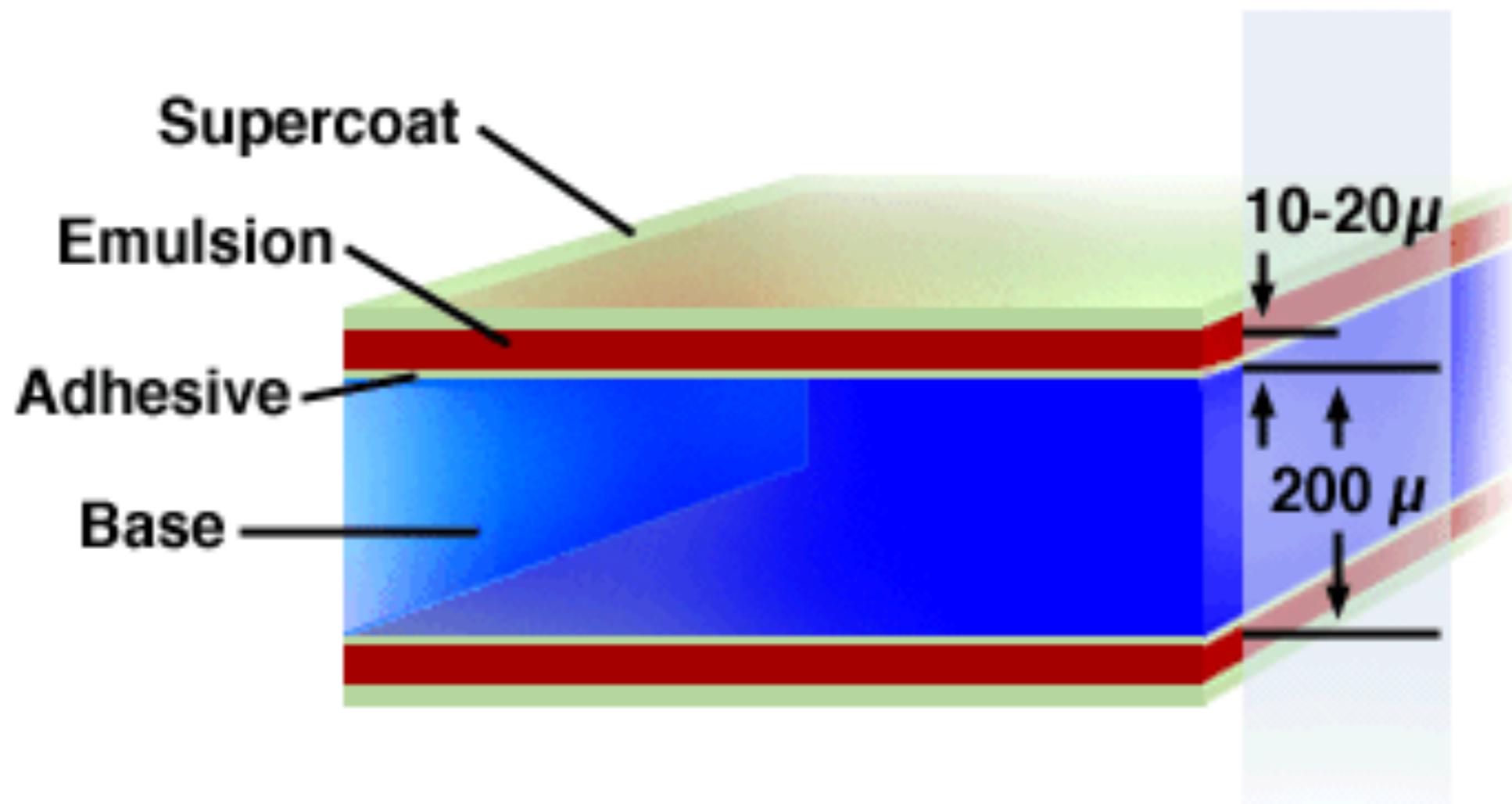


E. F. Schubert  
Light-Emitting Diodes (Cambridge Univ. Press)  
[www.LightEmittingDiodes.org](http://www.LightEmittingDiodes.org)

Human Eye Sensitivity to Light According to its Wavelength



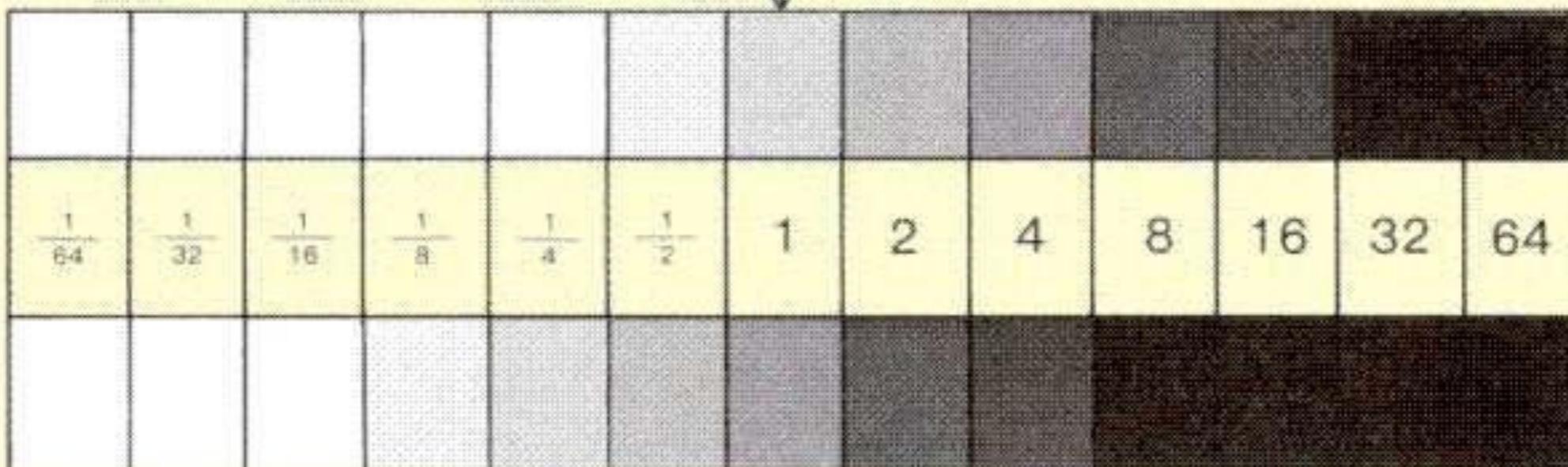
# La emulsión fotográfica



Low Sensitivity (Speed) Film

DENSITY

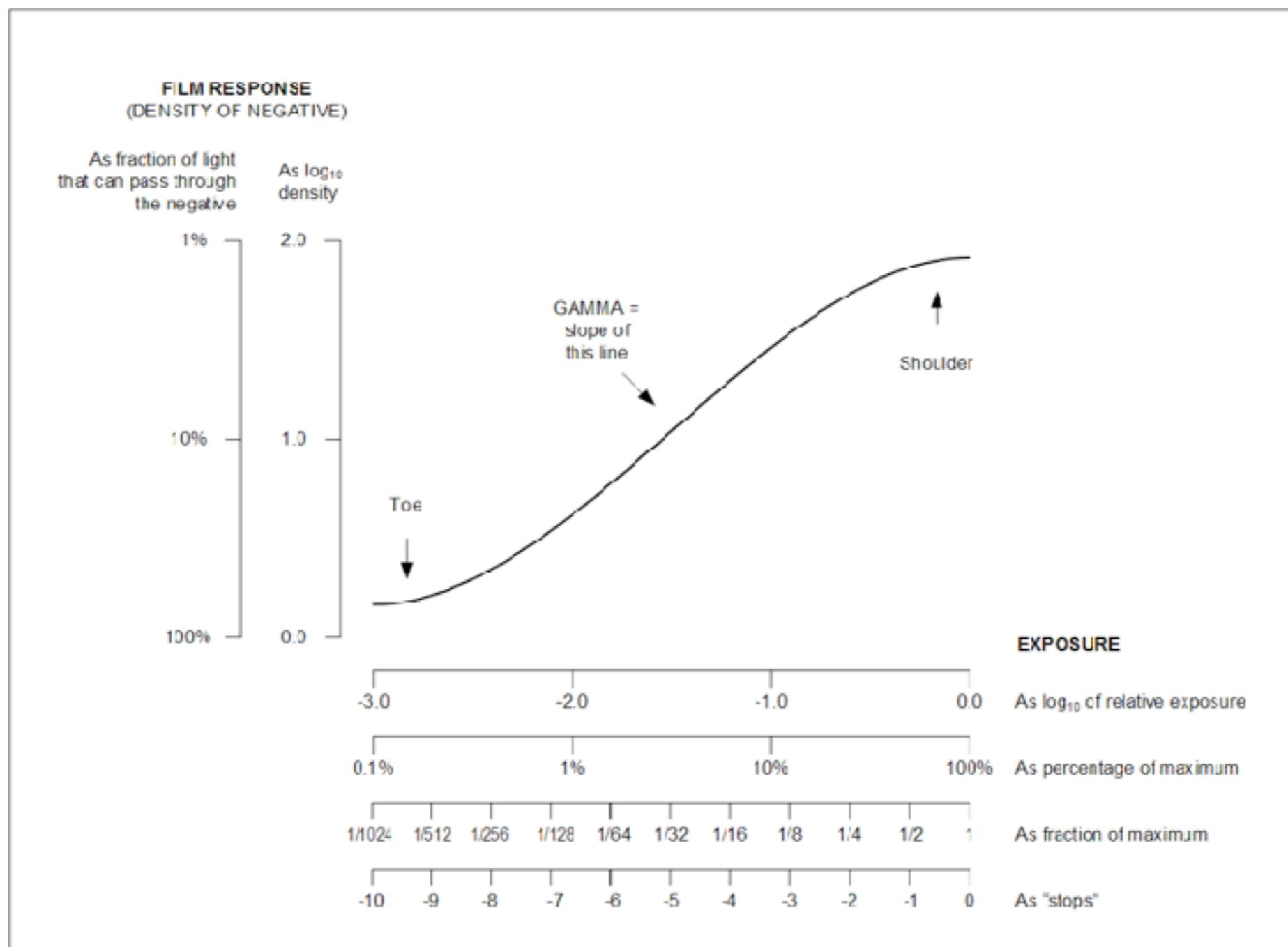
1



High Sensitivity (Speed) Film

DENSITY

1



# Límite instrumental

- Para este cálculo es importante estimar el flujo que llega al detector procedente de un astro para obtener allí la información mínima discernible y compararlo con el flujo necesario para que el ojo humano detecte un astro de magnitud 6.
- El ojo humano necesita al menos un flujo incidente de 200 fotones por segundo, en el rango visible, para que el astro puntual se detecte como de magnitud 6.

# Ejemplo

- Una emulsión fotográfica necesita unos 50 granos de plata para formar un punto discernible de imagen con respecto al fondo (el *fog*).
- Eficiencia:  $\eta \simeq 0.1\%$

$$m_{lim} - 6 \simeq -2.5 \log \frac{\frac{5 \times 10^4}{D_{tel}^2 t_{obs}}}{\frac{200 s^{-1}}{(8mm)^2}}$$

- en donde  $\eta$  ( $\eta$ ) es la eficiencia cuántica neta del instrumento en el rango de longitudes de onda de trabajo,  $N_{\text{fot}}$  es el número de fotones en el rango citado que llegan al instrumento en el intervalo de tiempo de observación  $t_{\text{obs}}$  (en segundos) y  $D_{\text{tel}}$  (en mm) es el diámetro del telescopio.

- La constante sería:

$$6 - 2.5 \log(5 \times 10^4) + 2.5 \log \frac{64}{200}$$

- Se obtiene entonces:

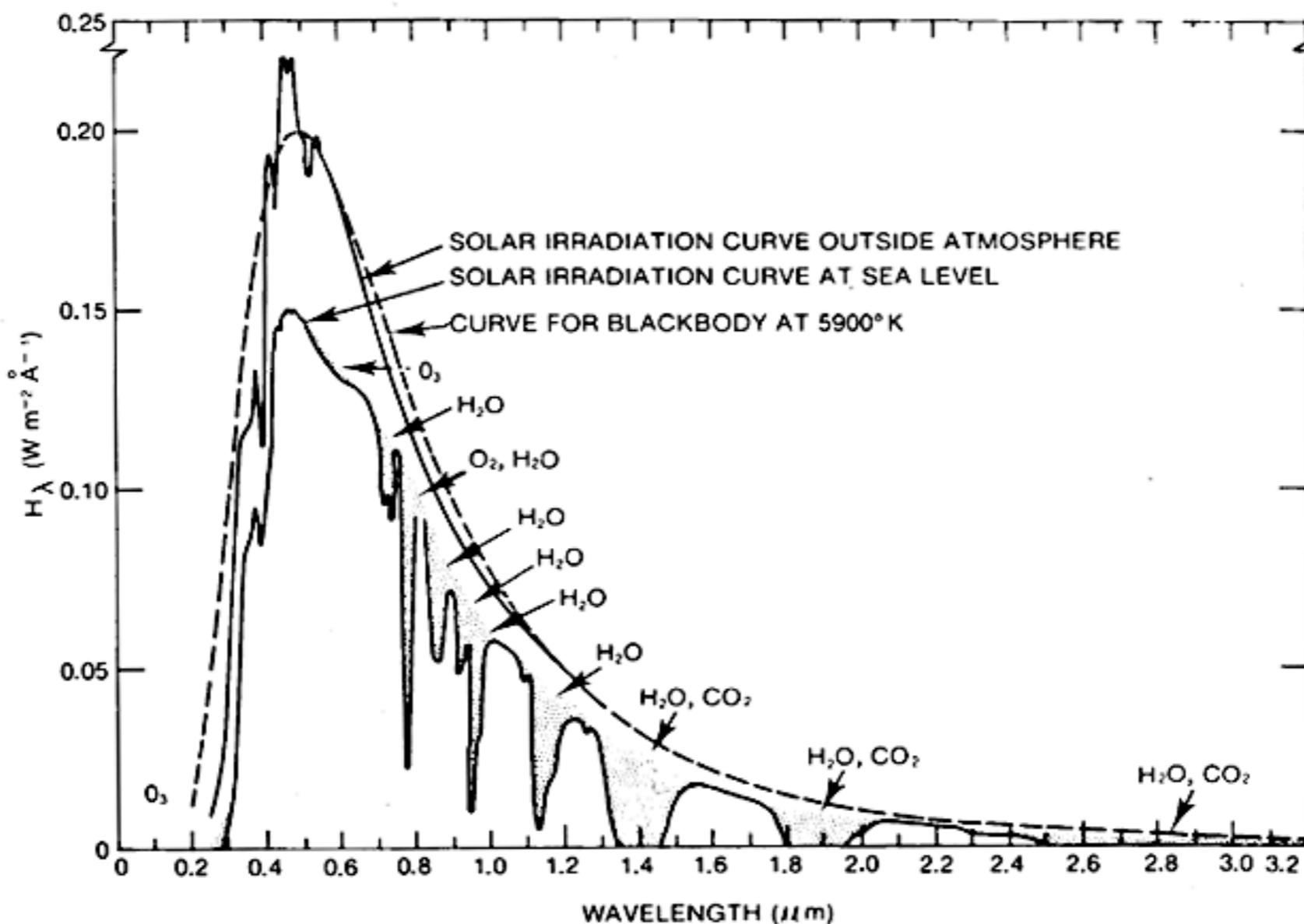
$$m_{lim} \simeq -6.98 + 2.5 \log(t_{obs} D_{tel}^2)$$

en donde el diámetro está en milímetros y el tiempo en segundos.

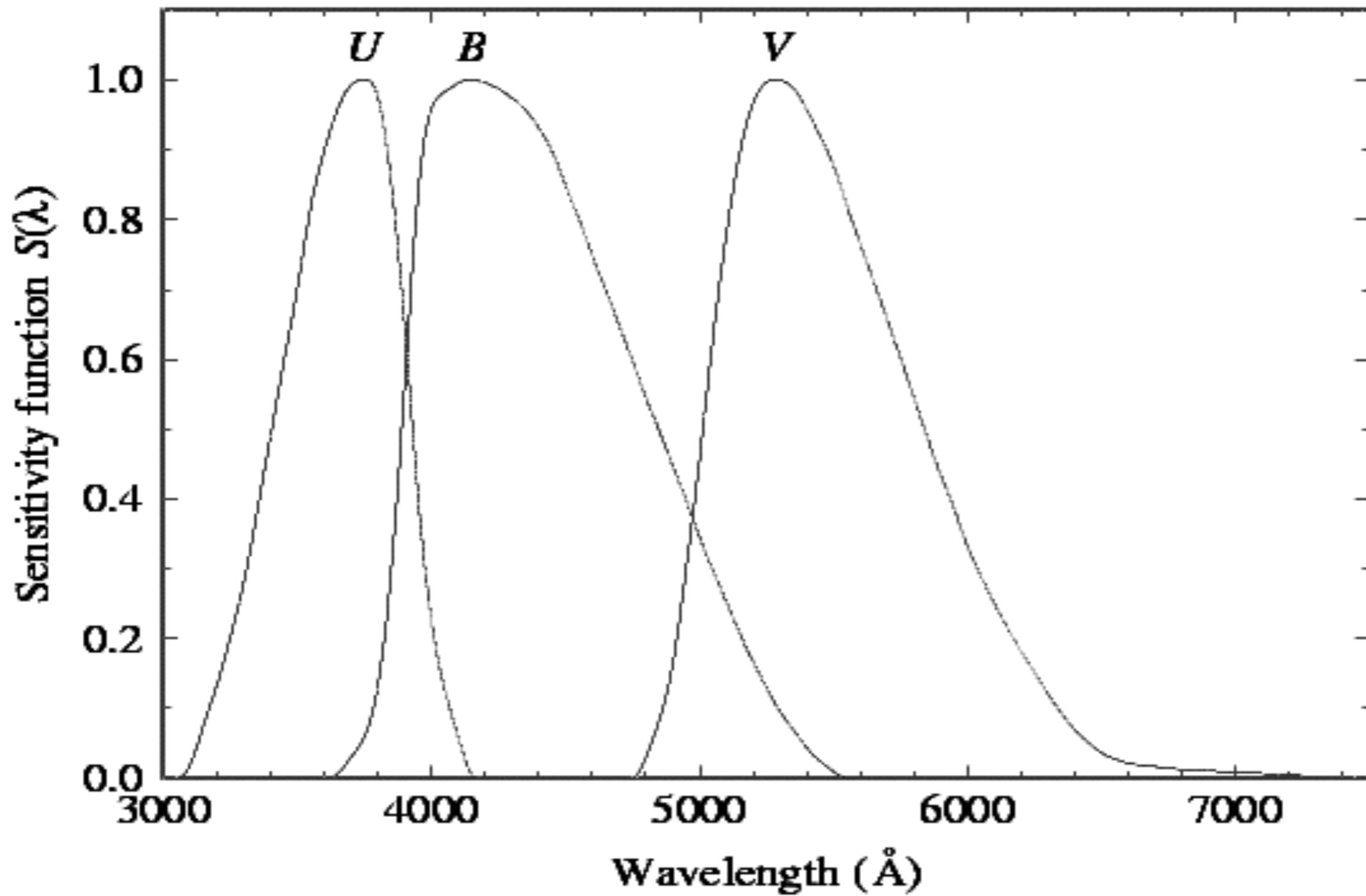
- En general:

$$m_{lim} = a + 2.5 \log(t_{obs} D_{tel}^2)$$

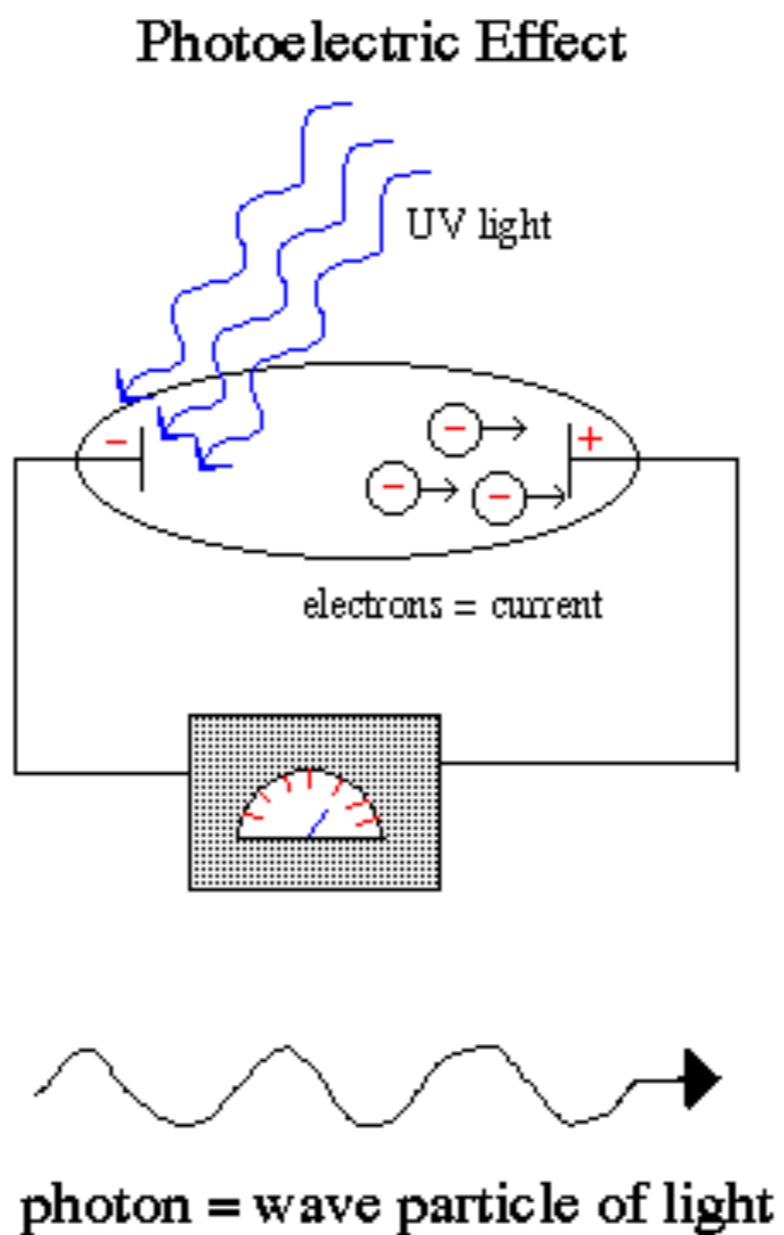
# Espectro continuo Sol y transparencia atmosférica

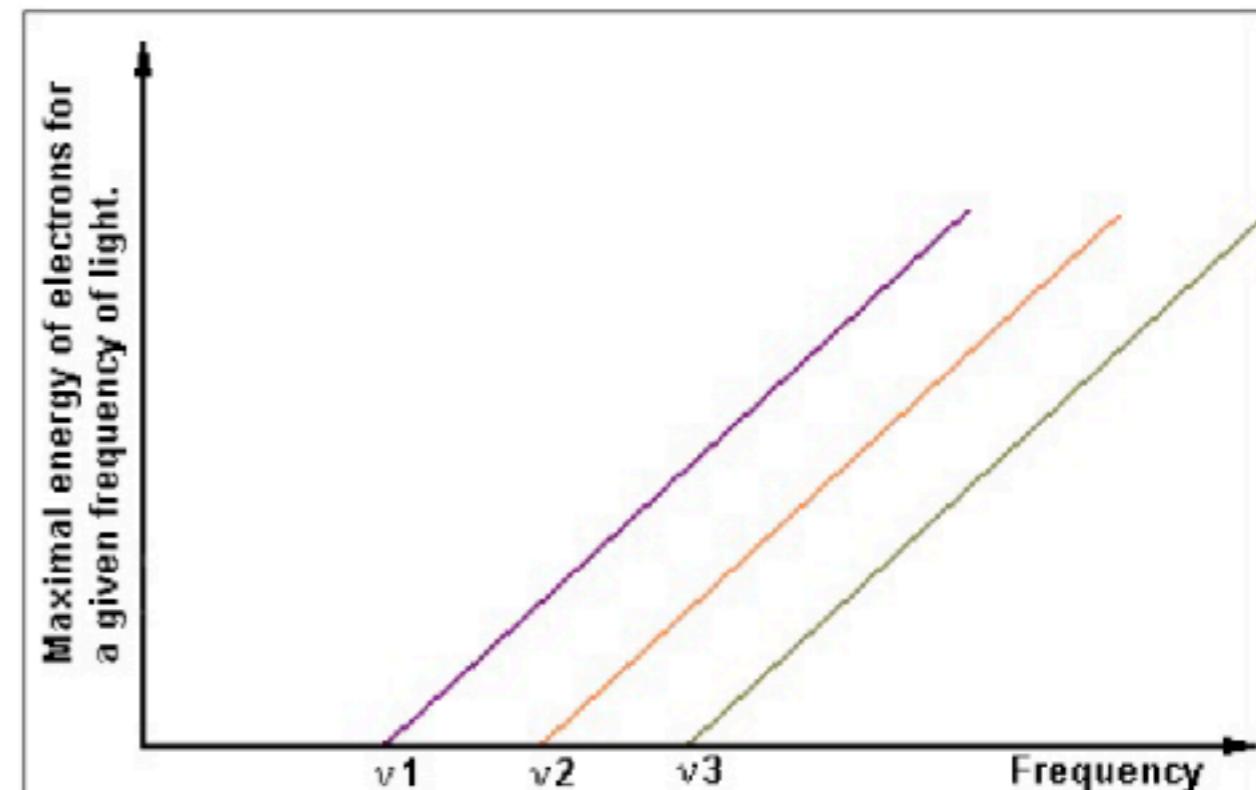
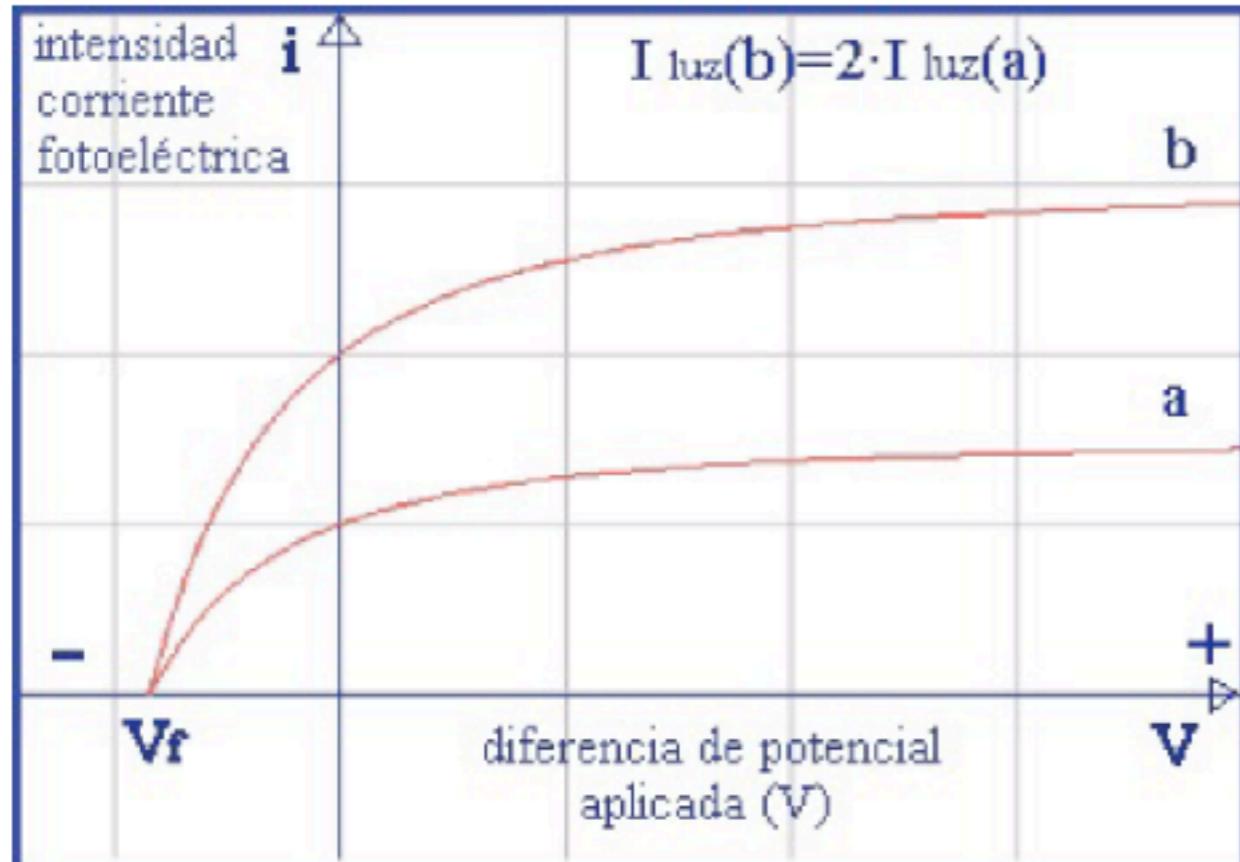
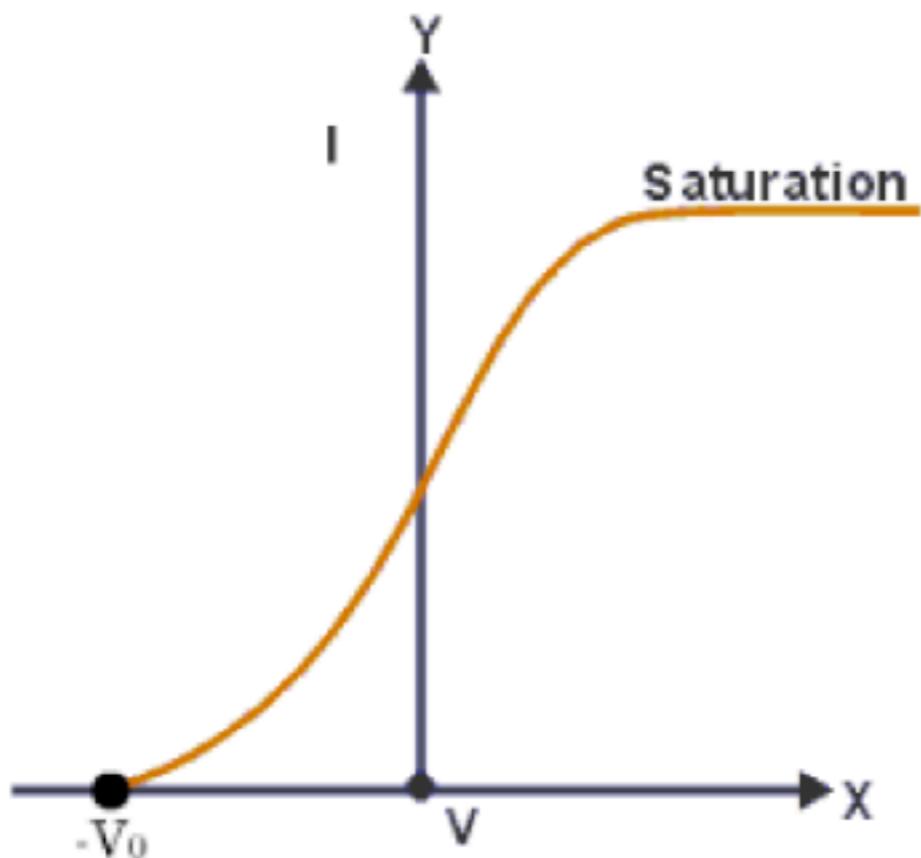


# Sistema UBV de Morgan & Johnson (1953)

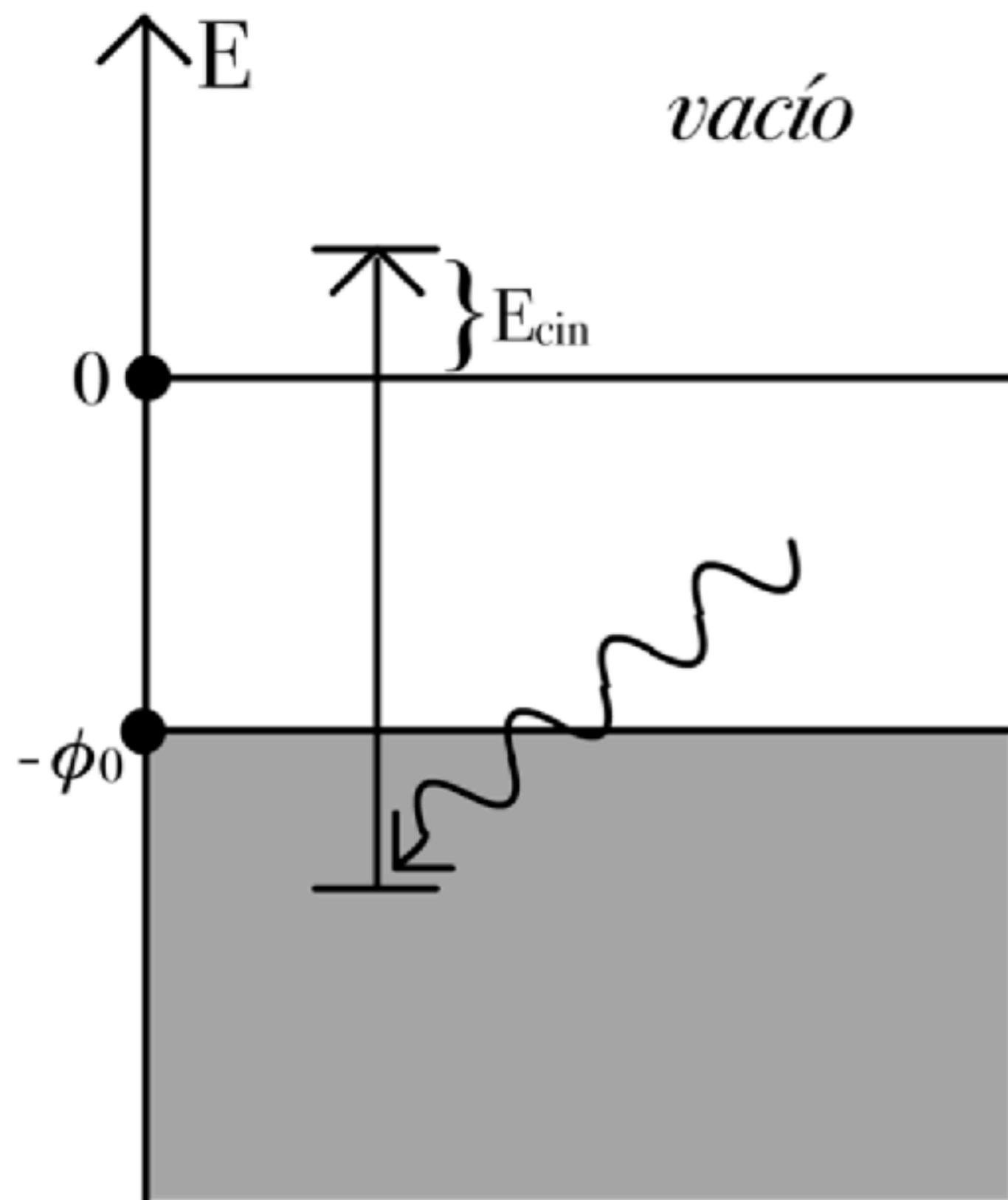


# Efecto fotoeléctrico





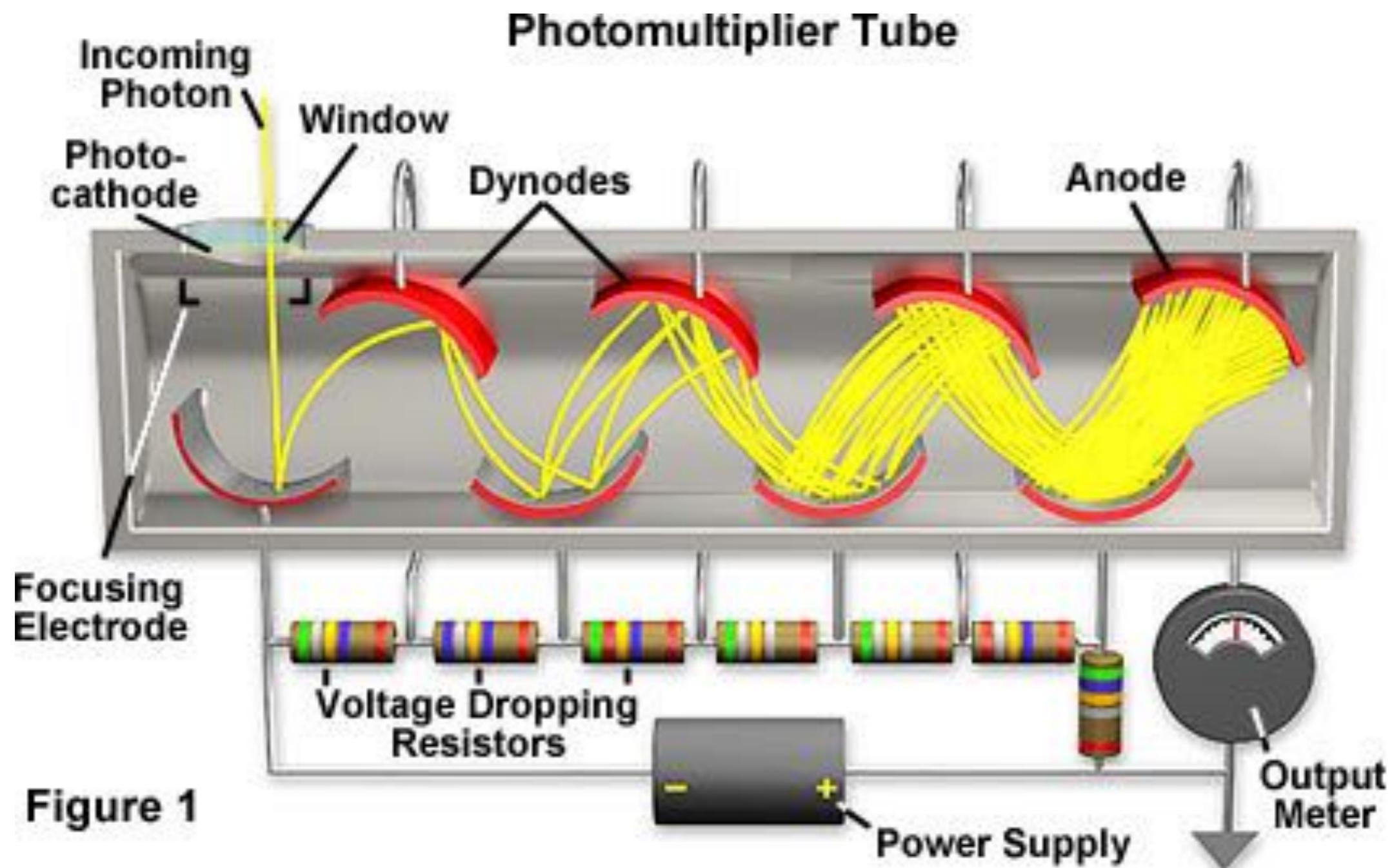
The diagram shows the interdependence between light frequency and the maximal energy of electrons emitted from metal. It shows the interdependence for three different metals. See that it clearly shows the limiting frequencies - different for different metals



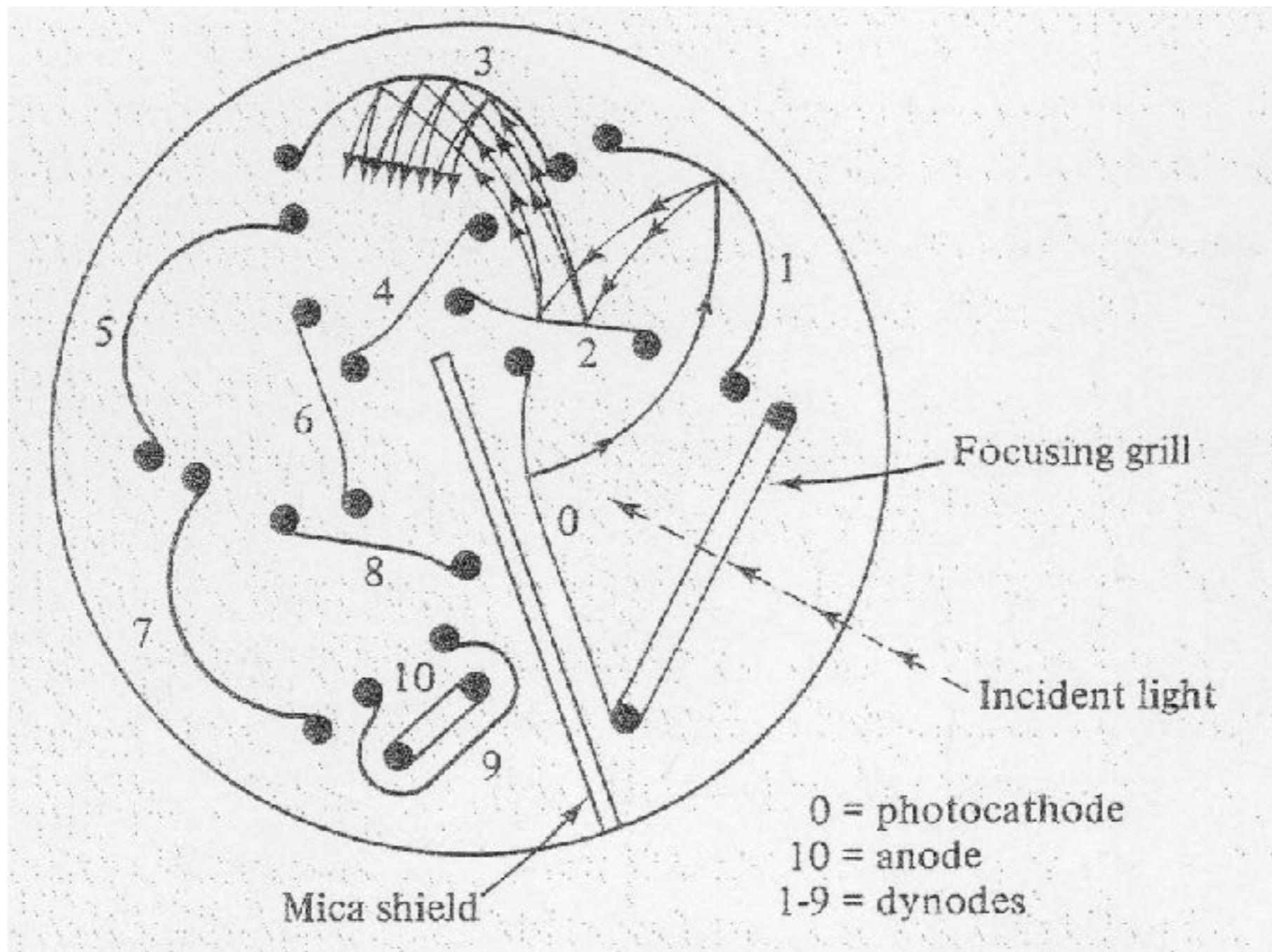
Luz como cuantos  
de radiación

$$E = nh\nu$$

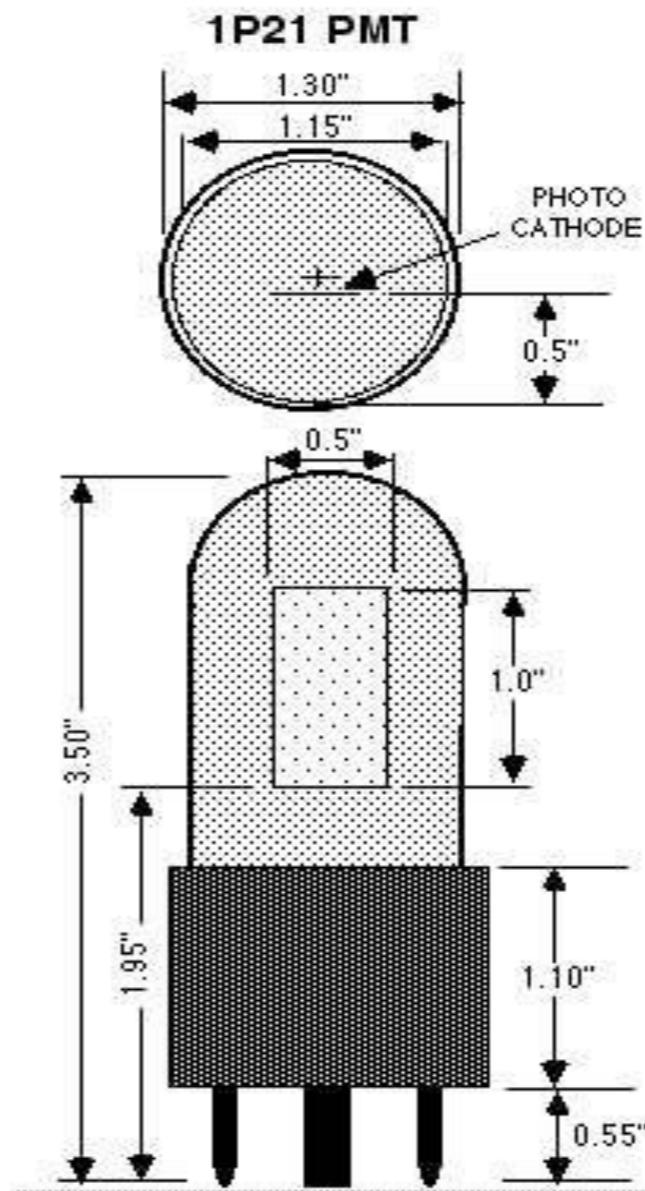
# Fotomultiplicador longitudinal



# Tubo fotomultiplicador (PMT)

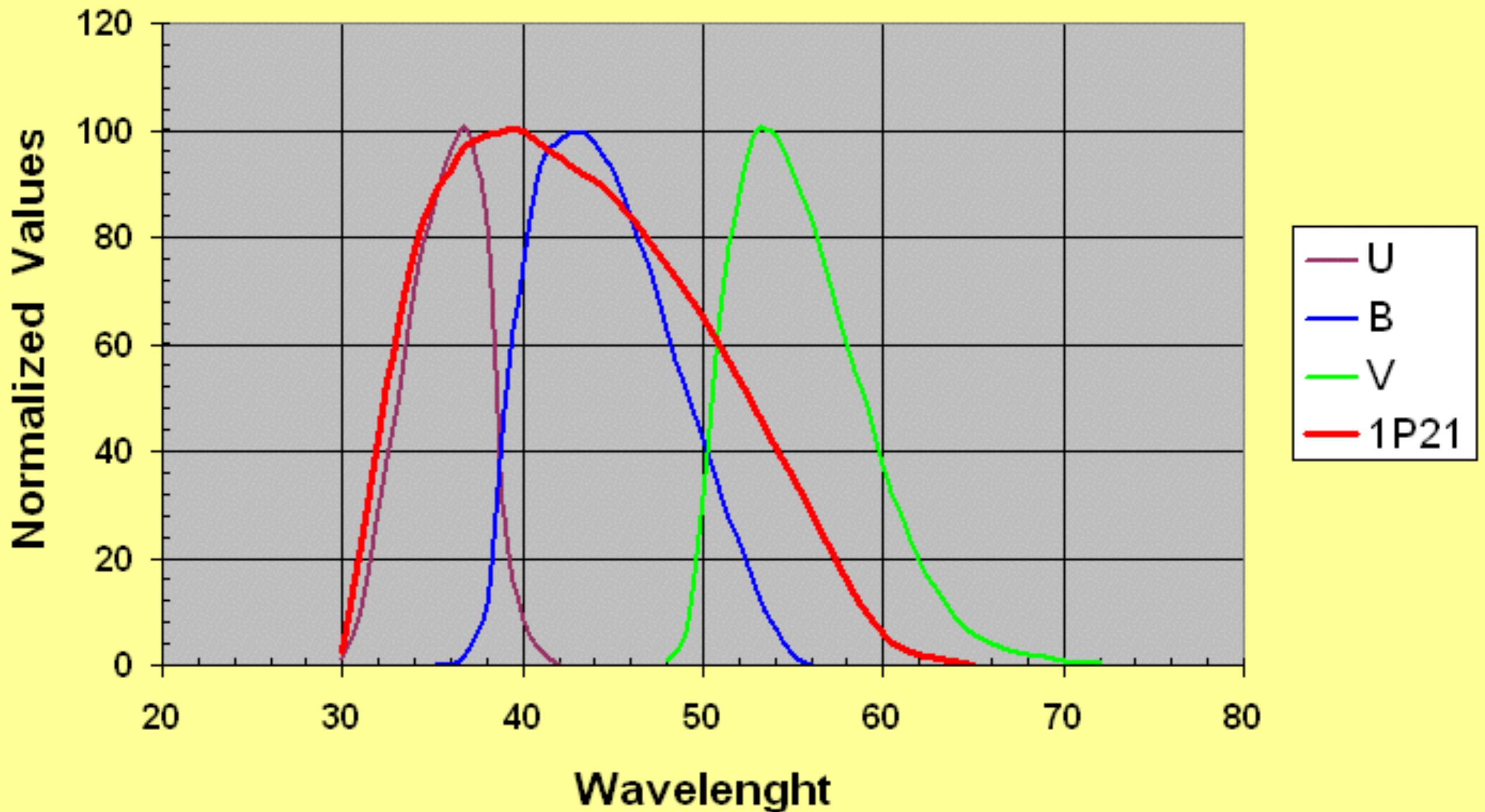


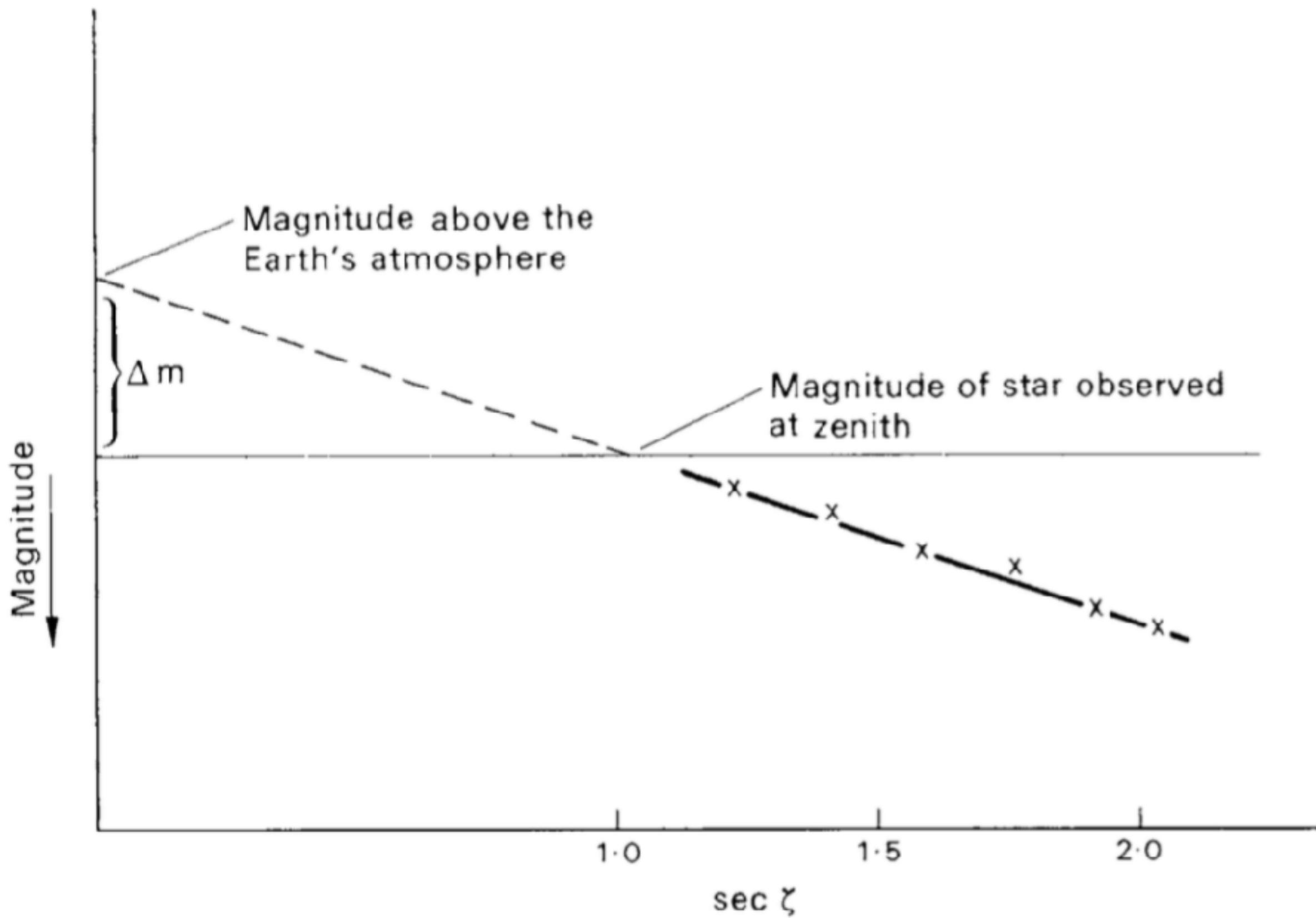
# El famoso tubo PMT 1P21 de RCA

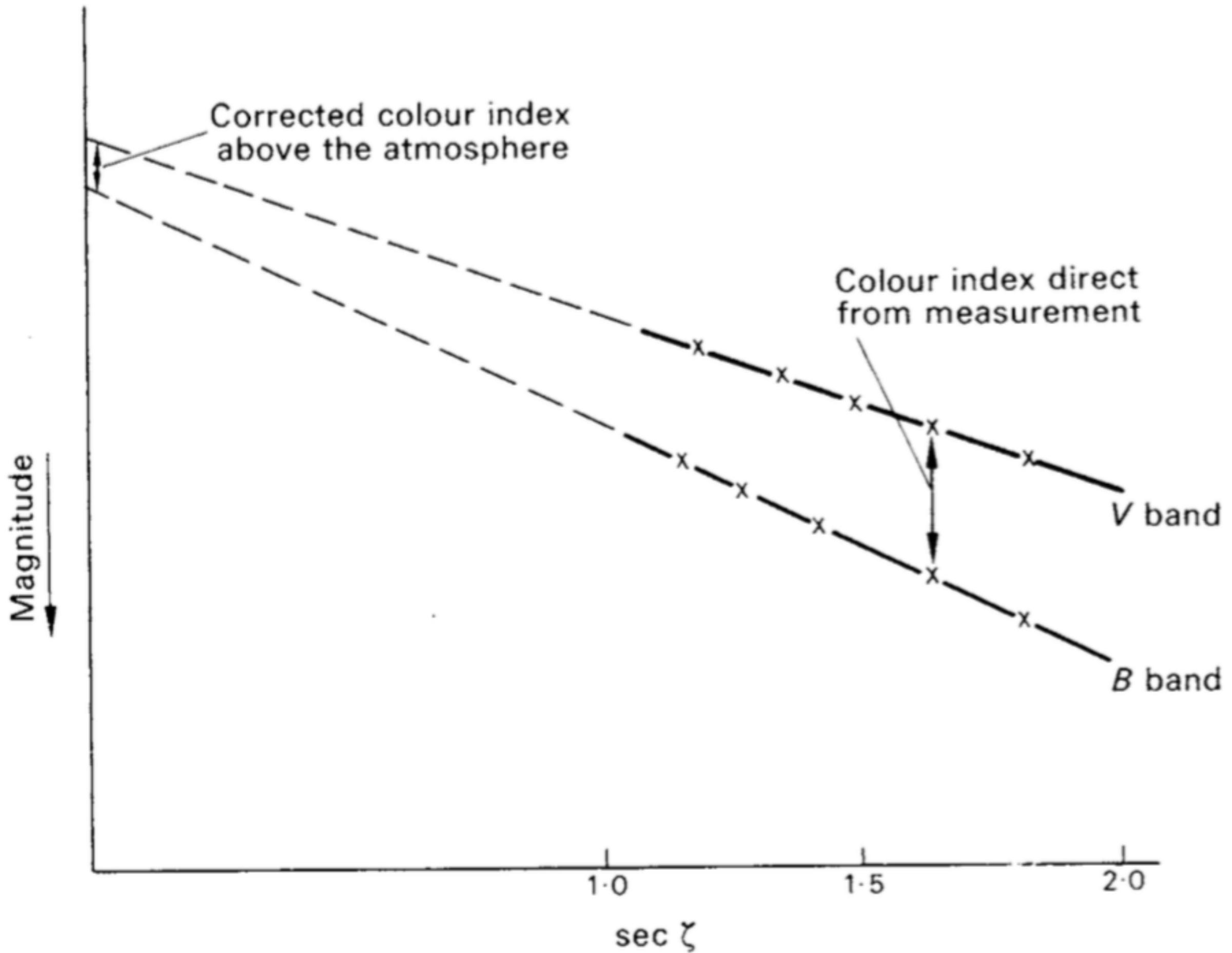


# Morgan & Johnson (1953)

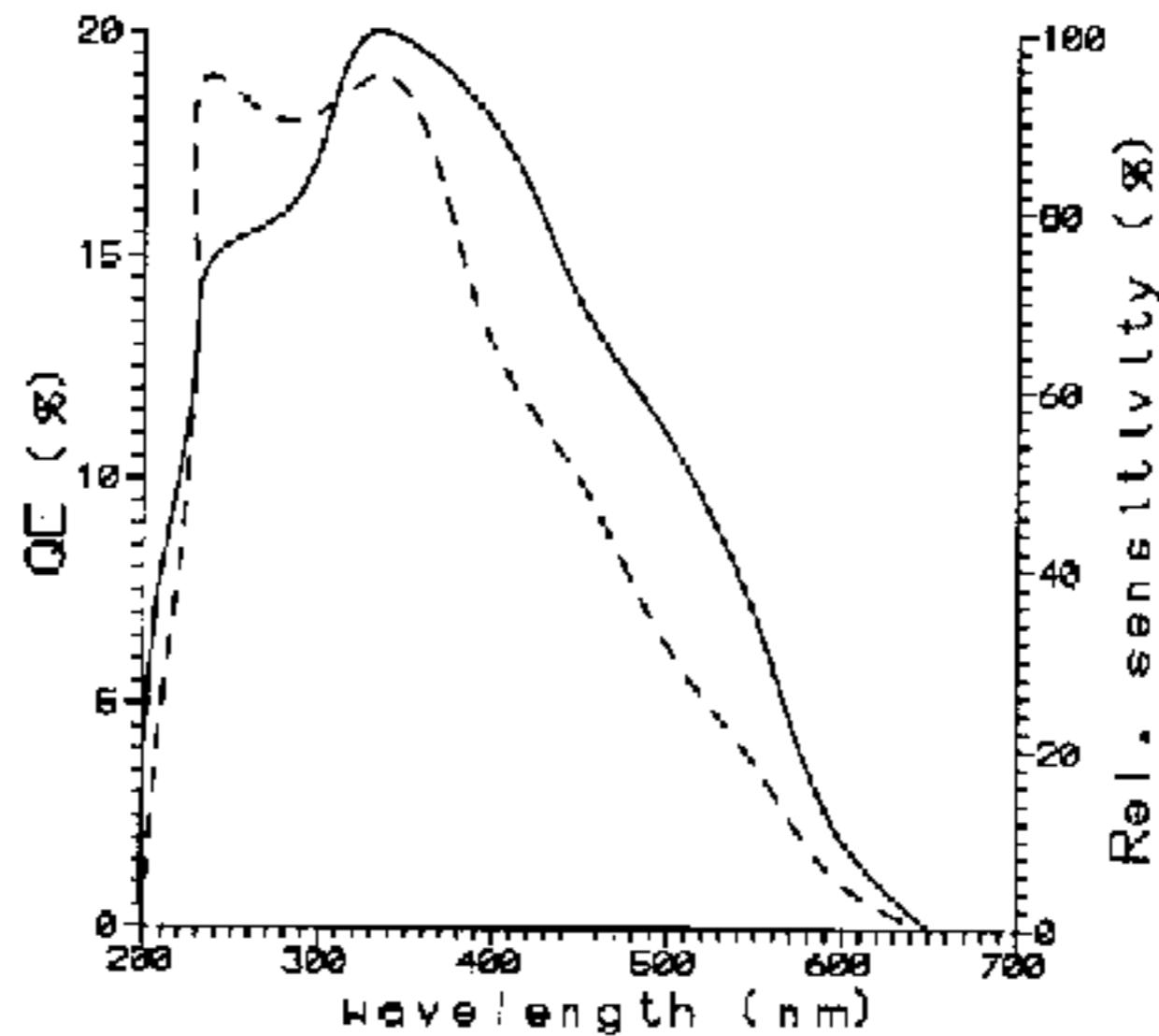
## Superposition Responses UBV filters plus 1P21



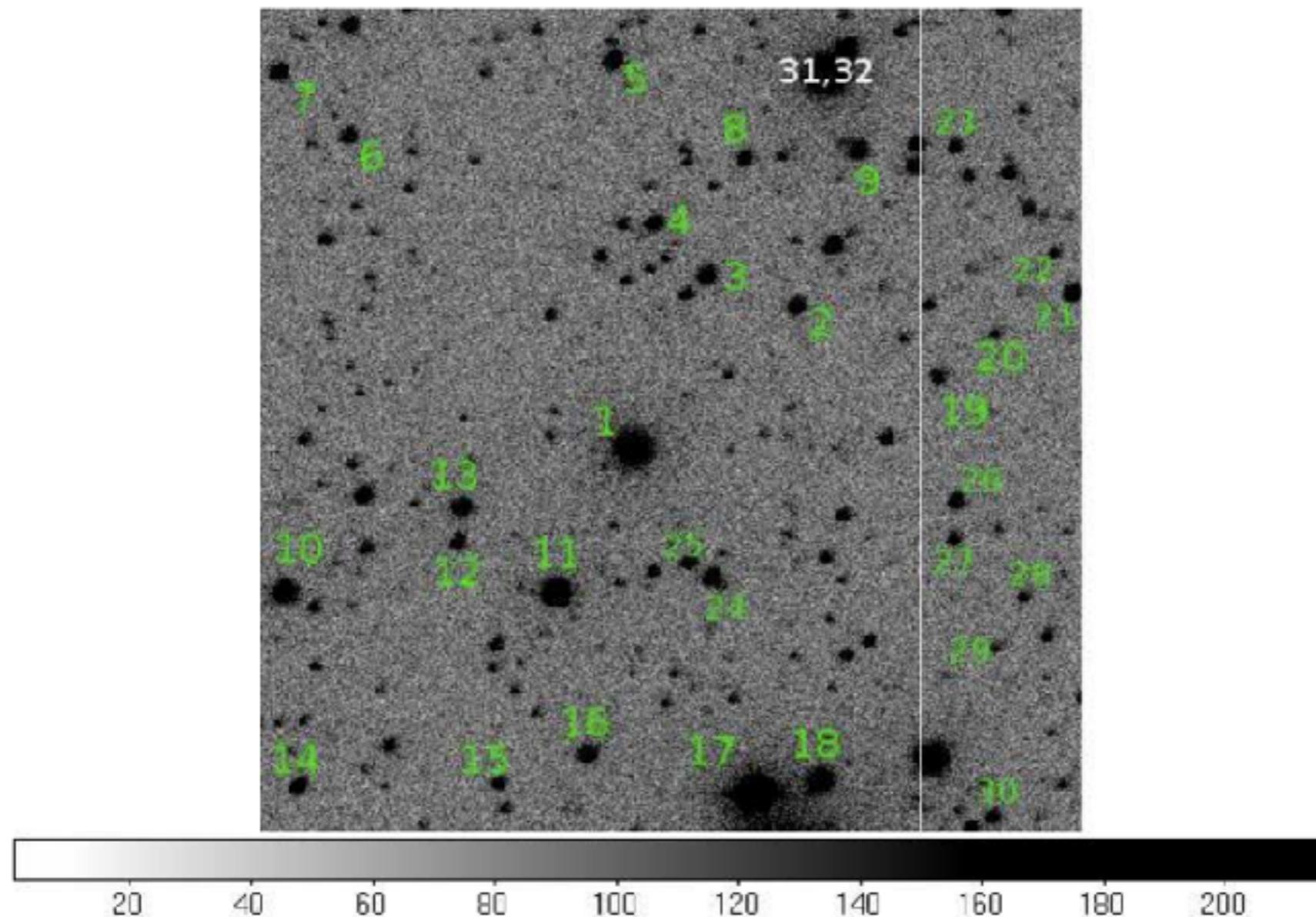




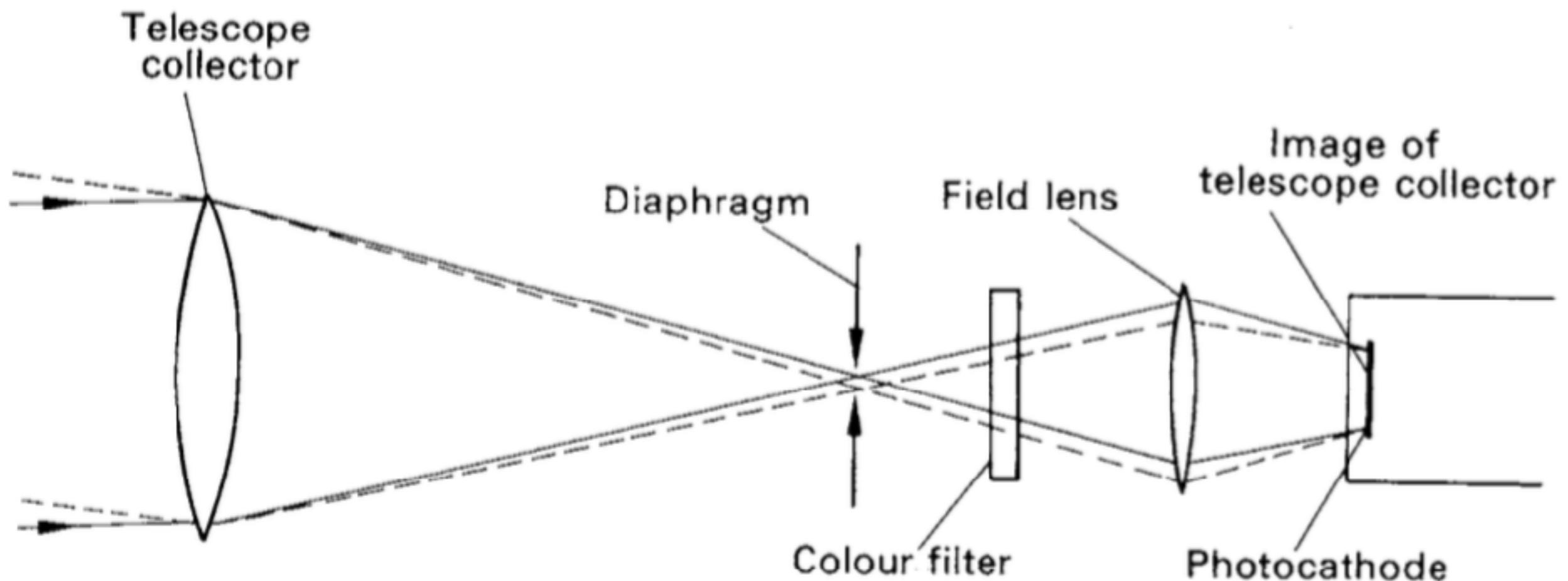
# Respuesta fotodetector



# Campo estelar típico (no denso)



# Arreglo fotoeléctrico



# Magnitudes de estrellas en un campo estelar

- Método de la abertura: Se define una abertura, usualmente circular alrededor de la imagen del astro. Así, tenemos:

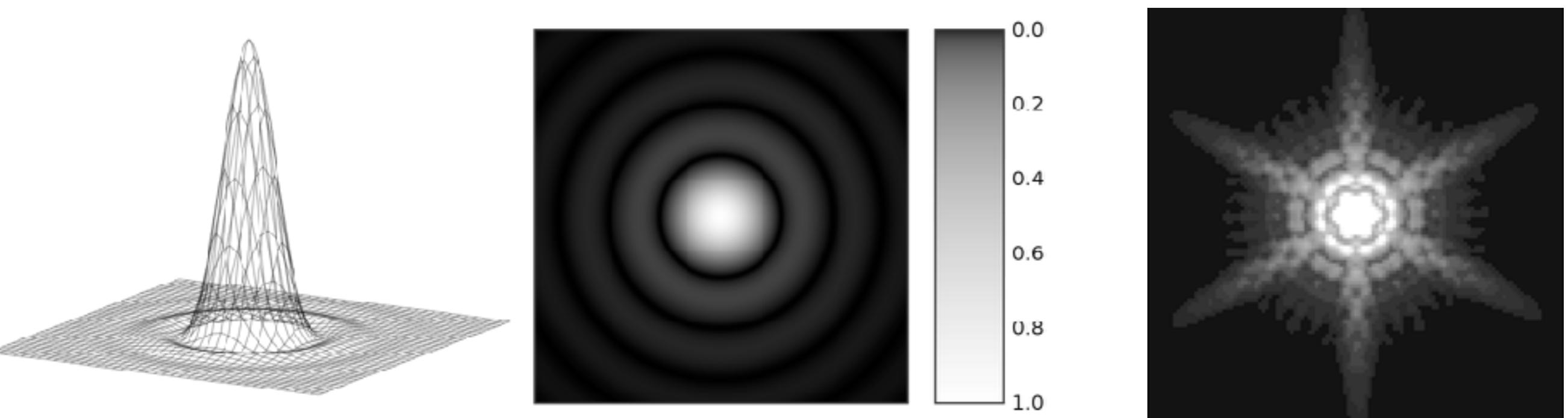
$$N_{astro} = N_{obs} - N_{osc} - N_{fondo}$$

- Método del ajuste de la función dispersada del punto (*point spread function, PSF*).

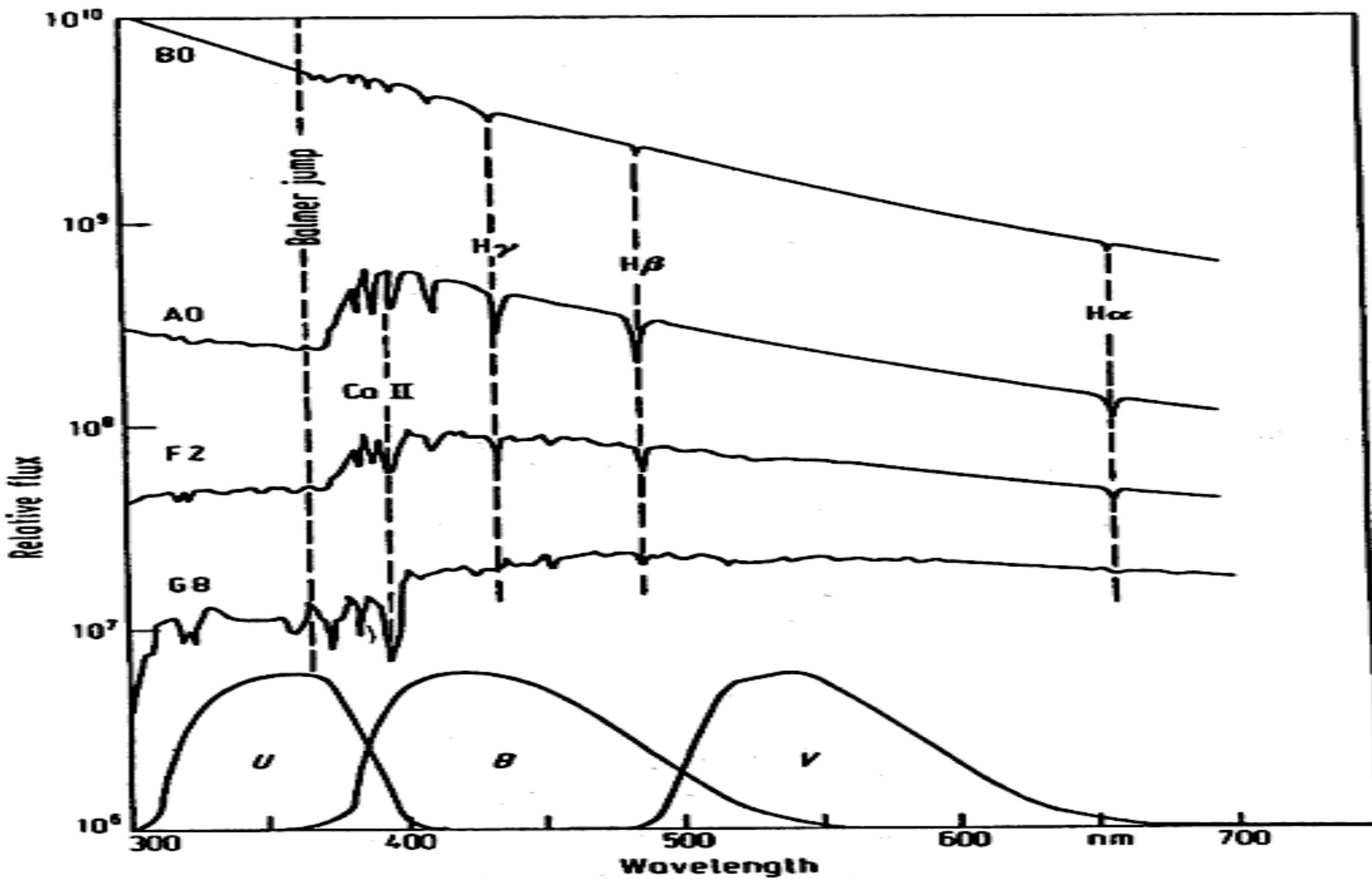


M 87

# Función de dispersión del punto (PSF)

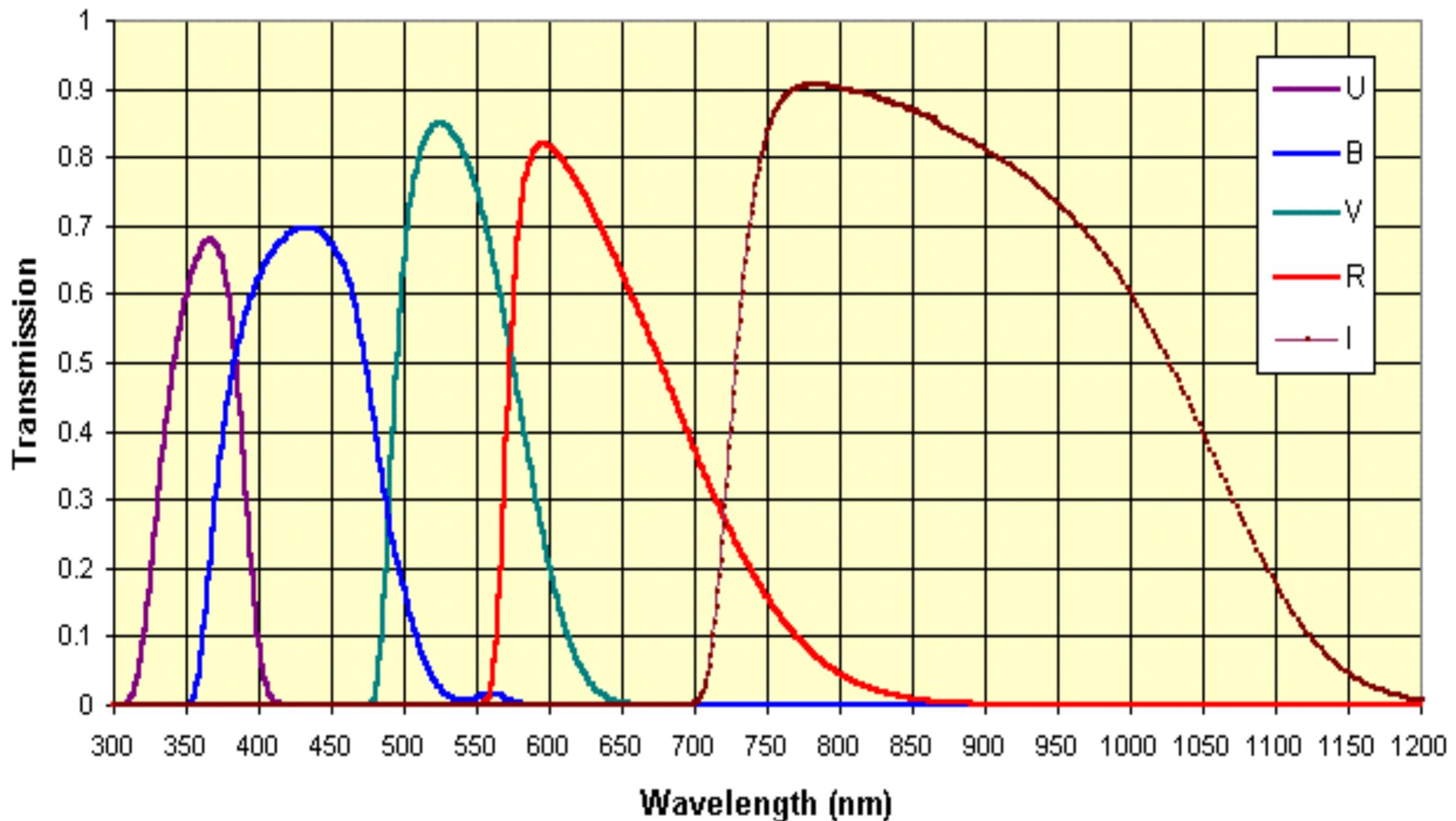


# Espectro estrellas v.s. UBV

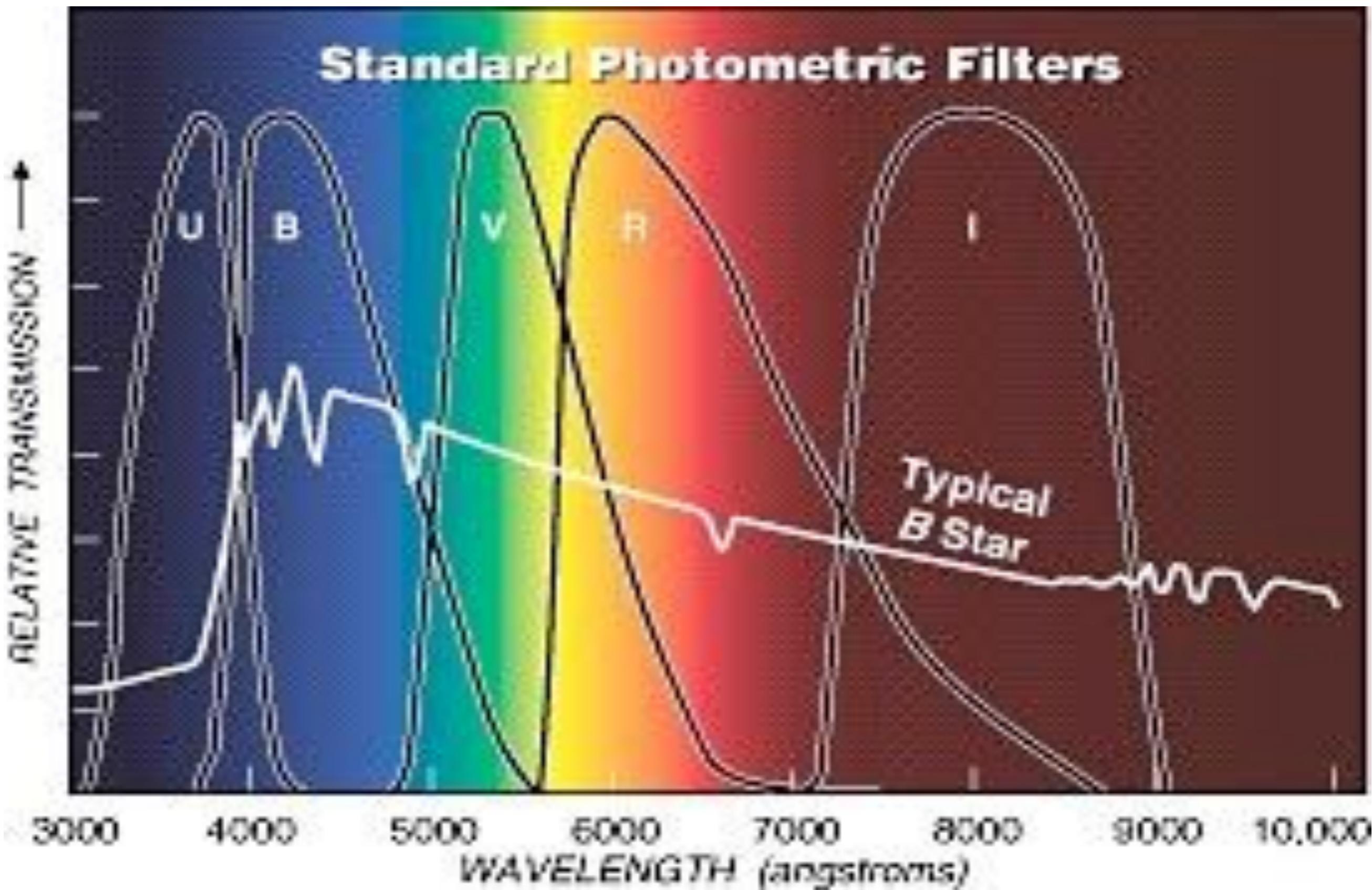


# Johnson UBVRI...JHKLMNQ

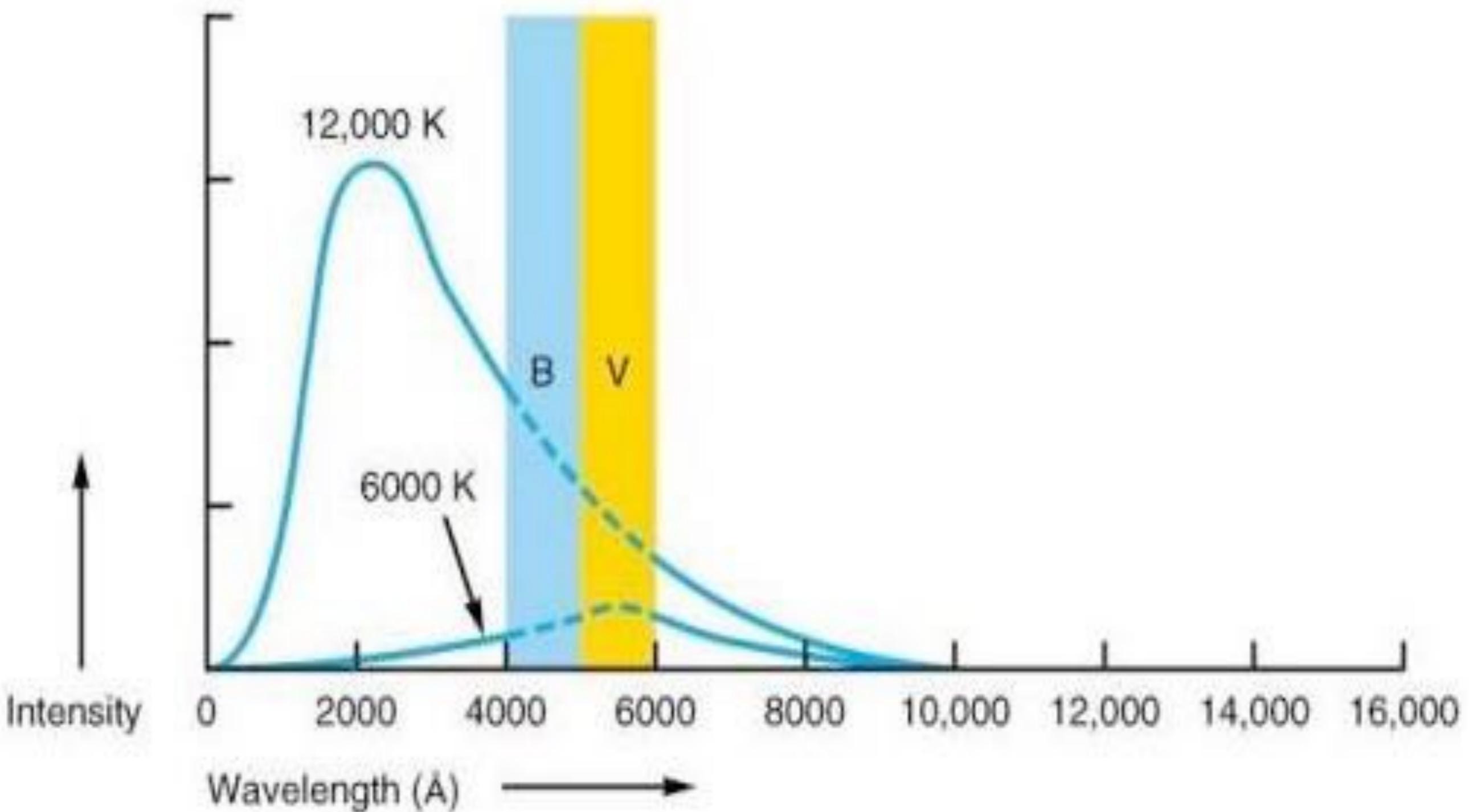
UBVRI Filter Characteristics



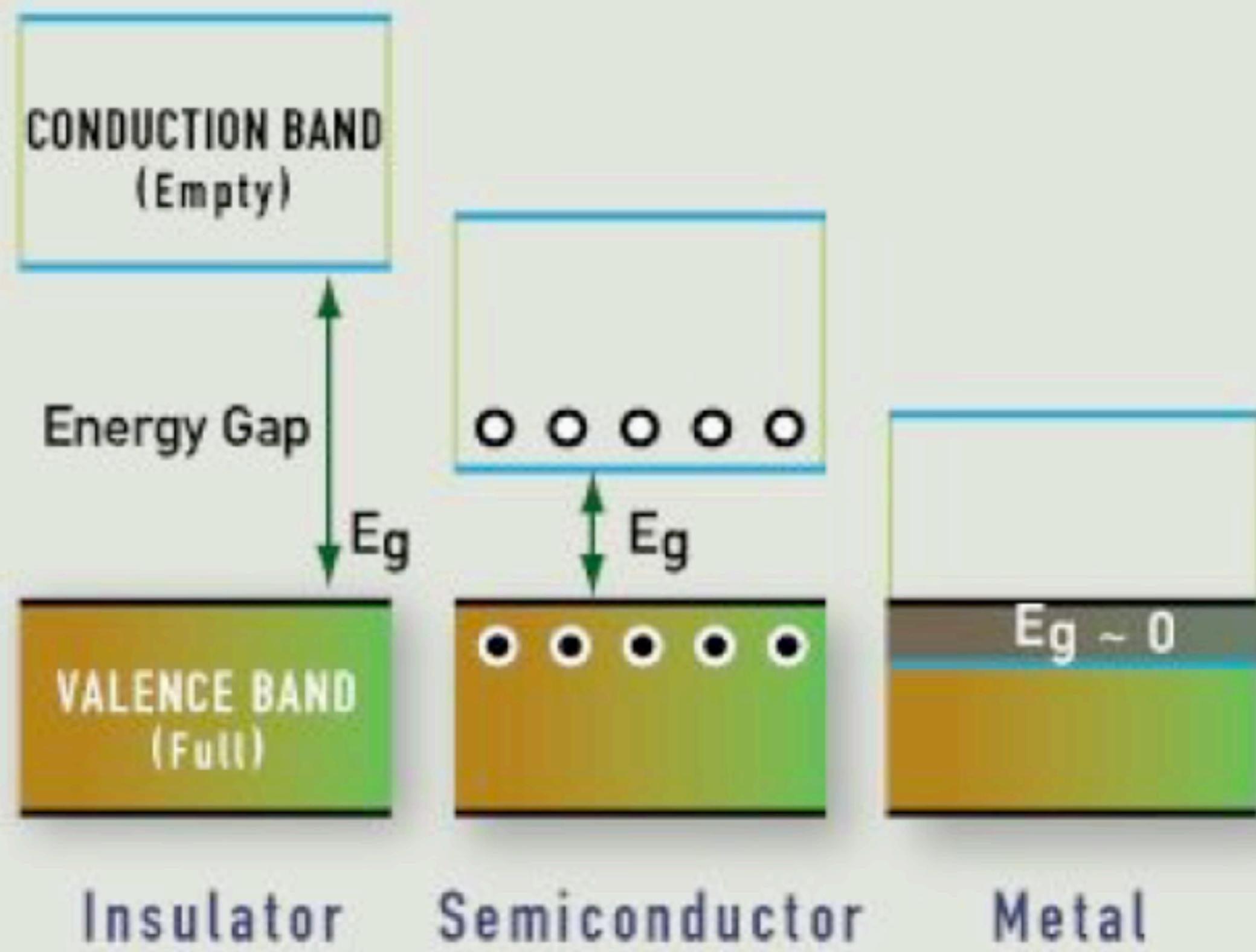
# Estrella B típica en UBVR<sub>I</sub>



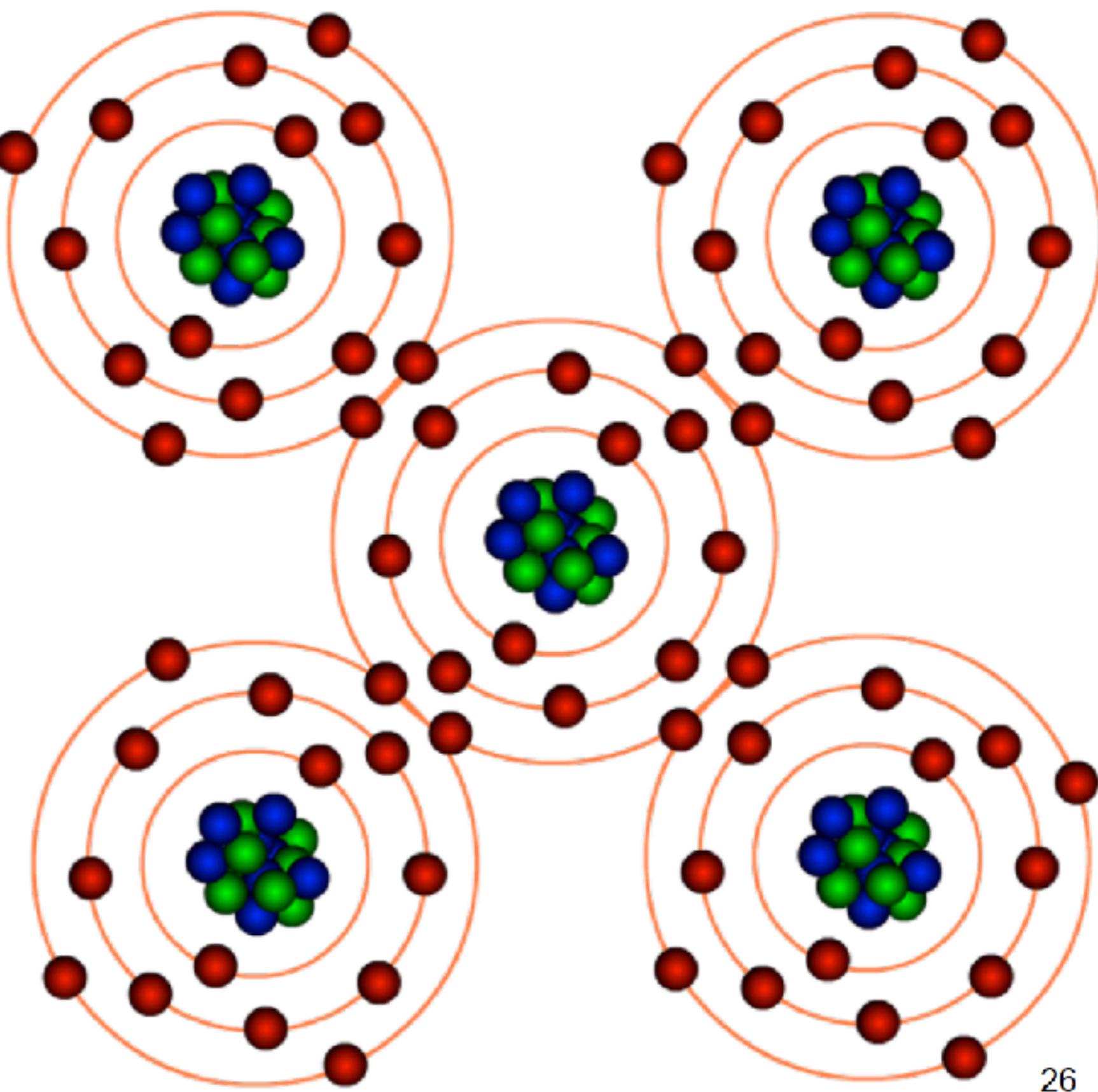
# Indice de color: B-V



# Tres tipos de materiales

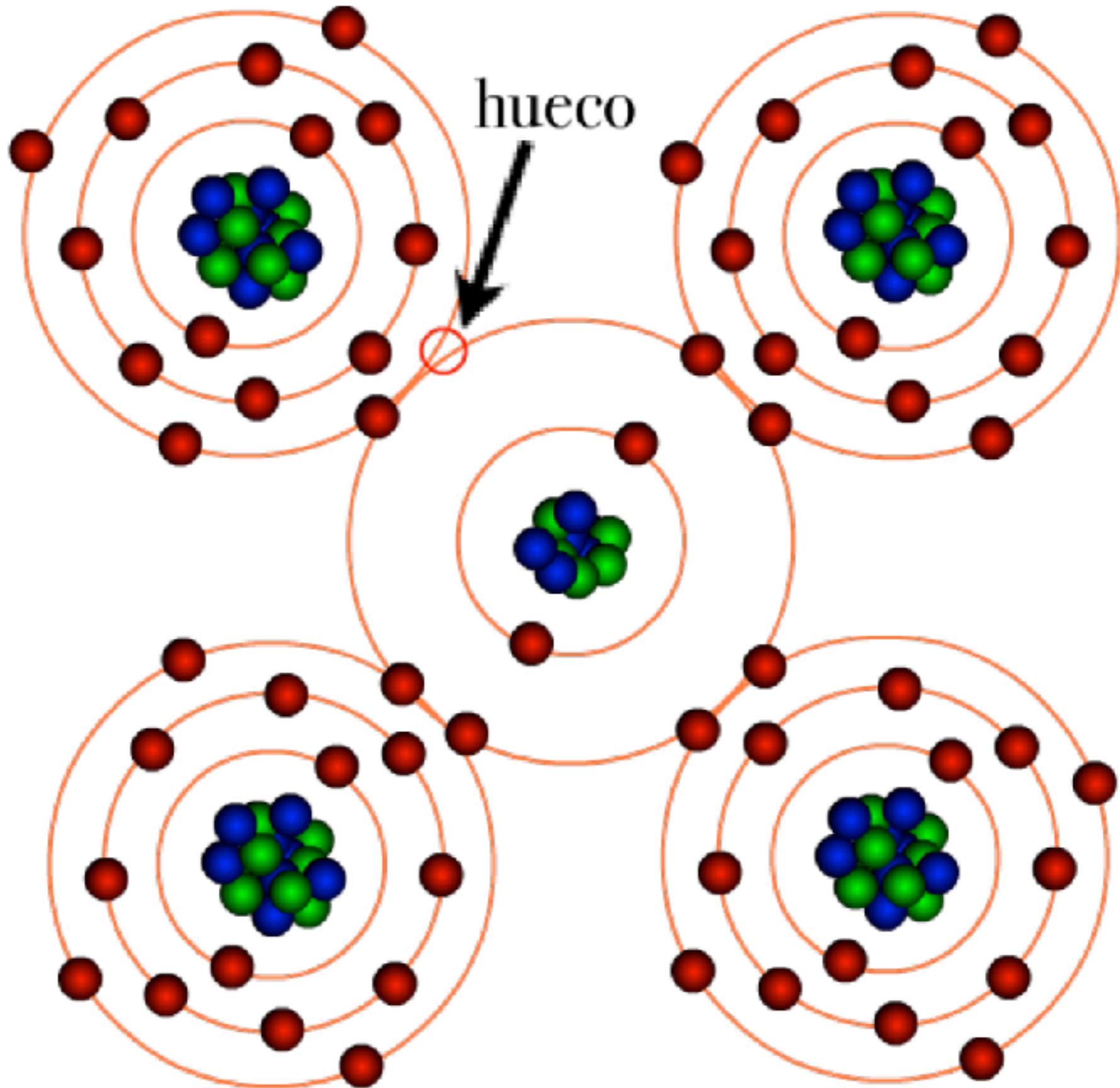


# *Silicio Monocristalino*

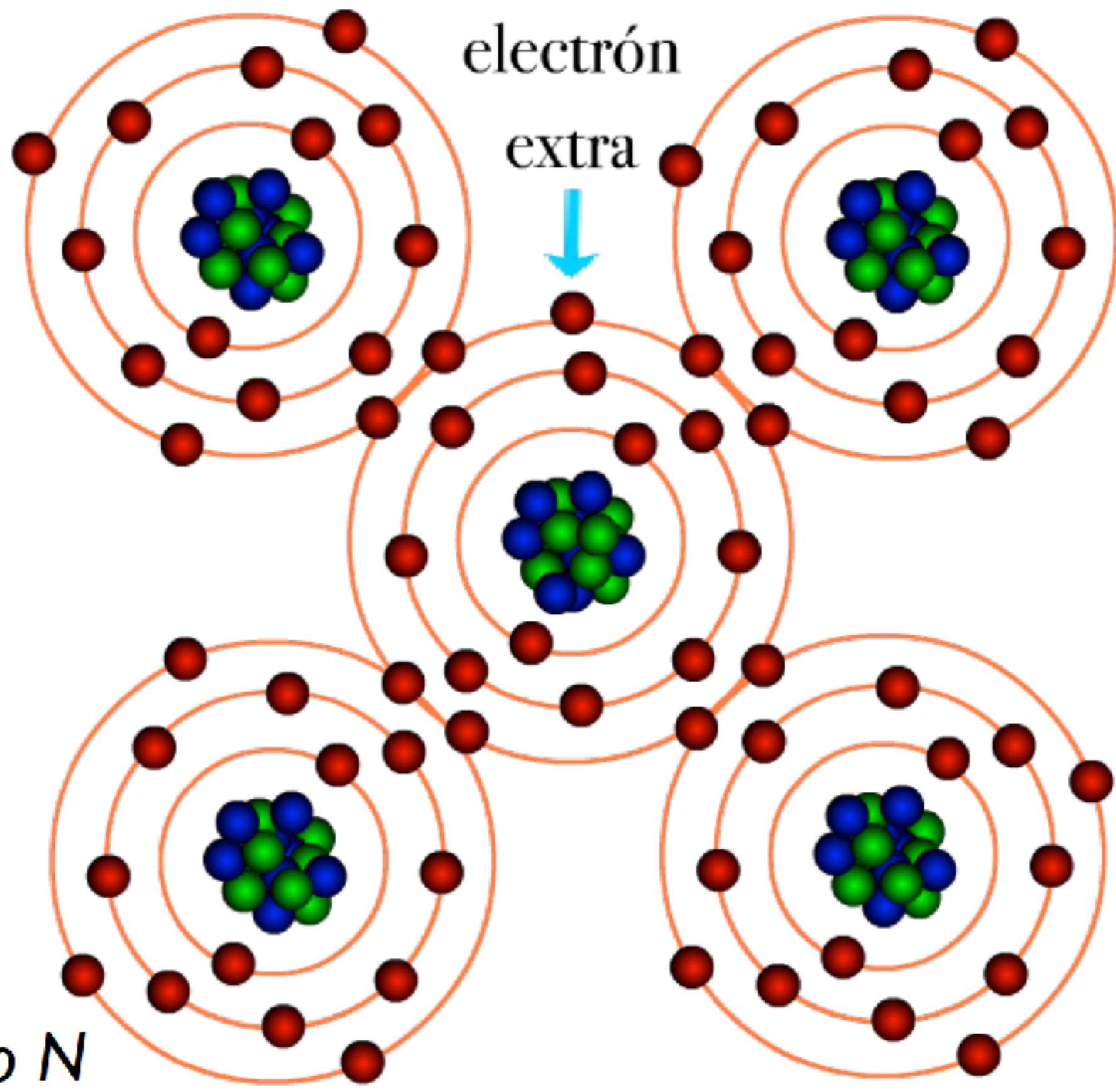


# *Silicio dopado con Boro*

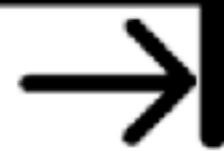
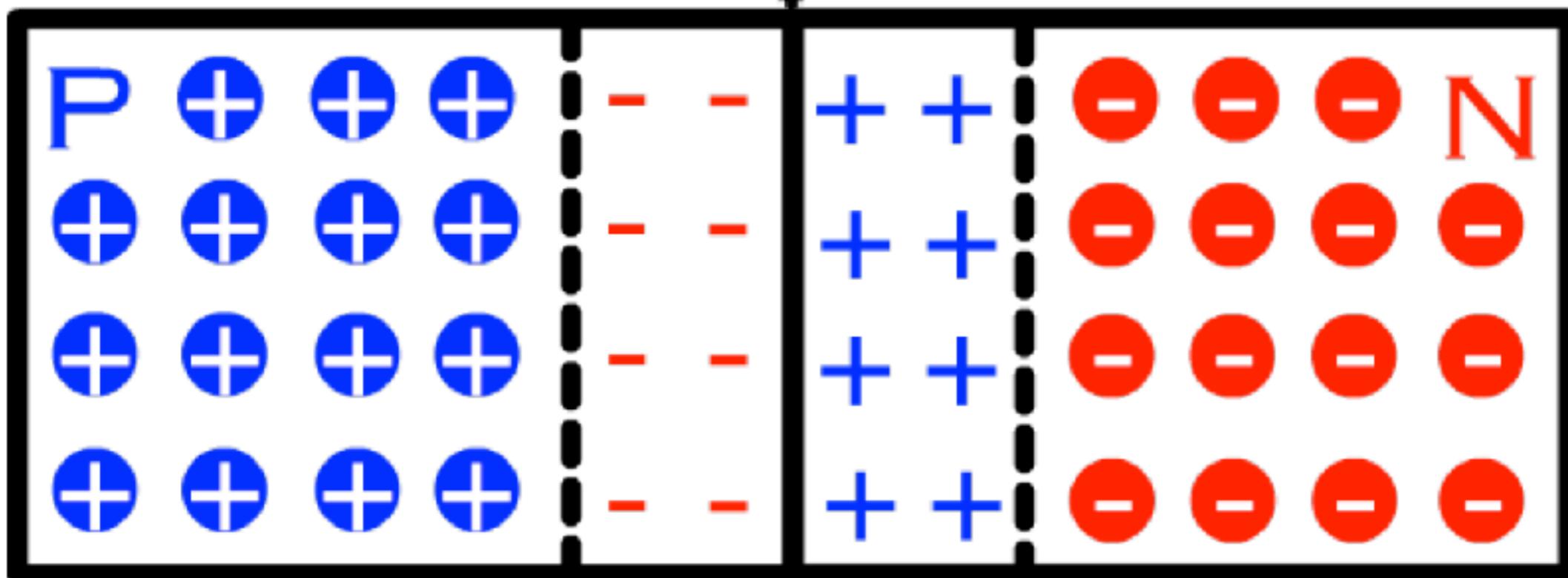
**Semiconductor tipo P**



# *Silicio dopado con Fósforo*



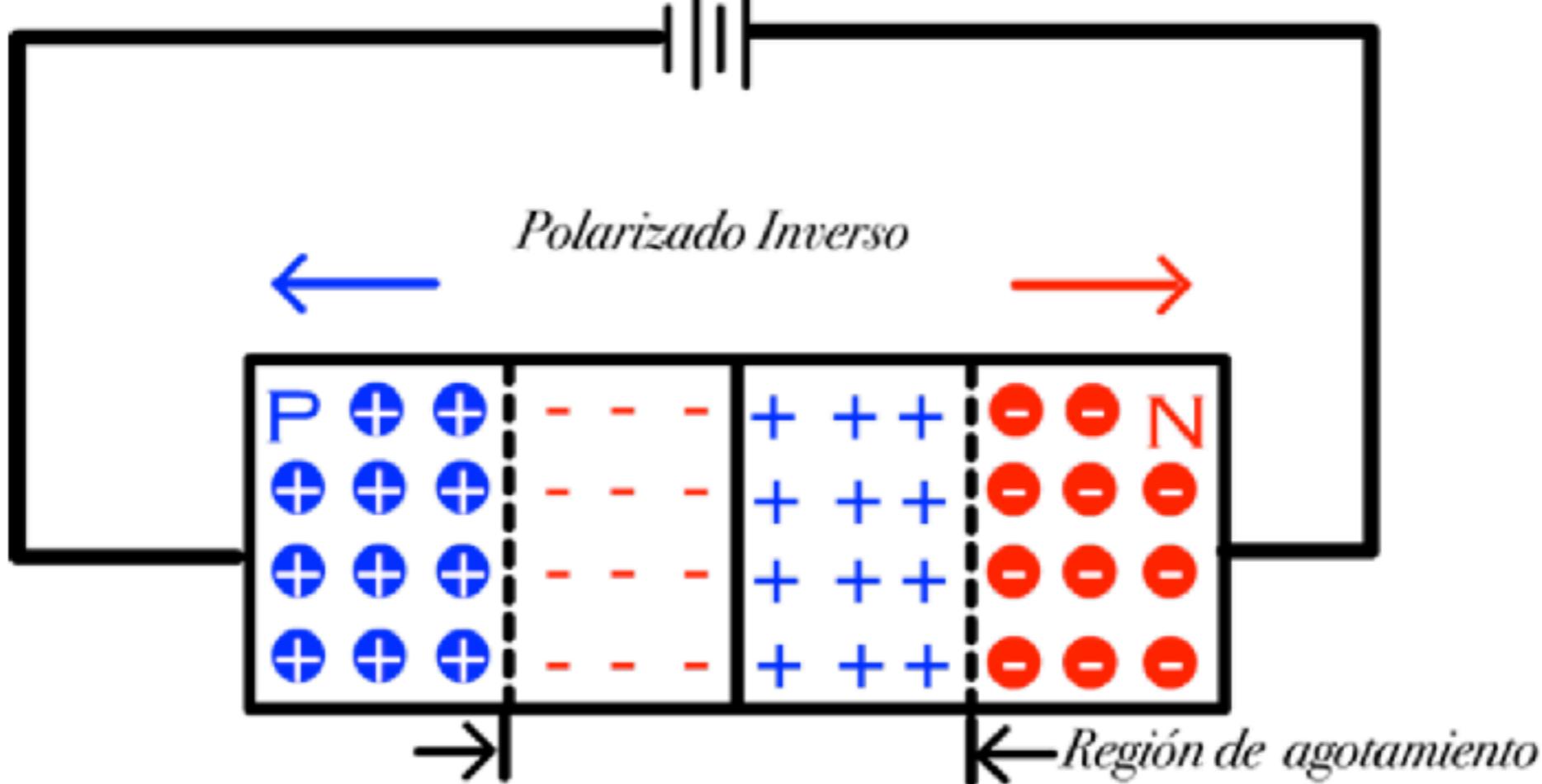
*juntura*



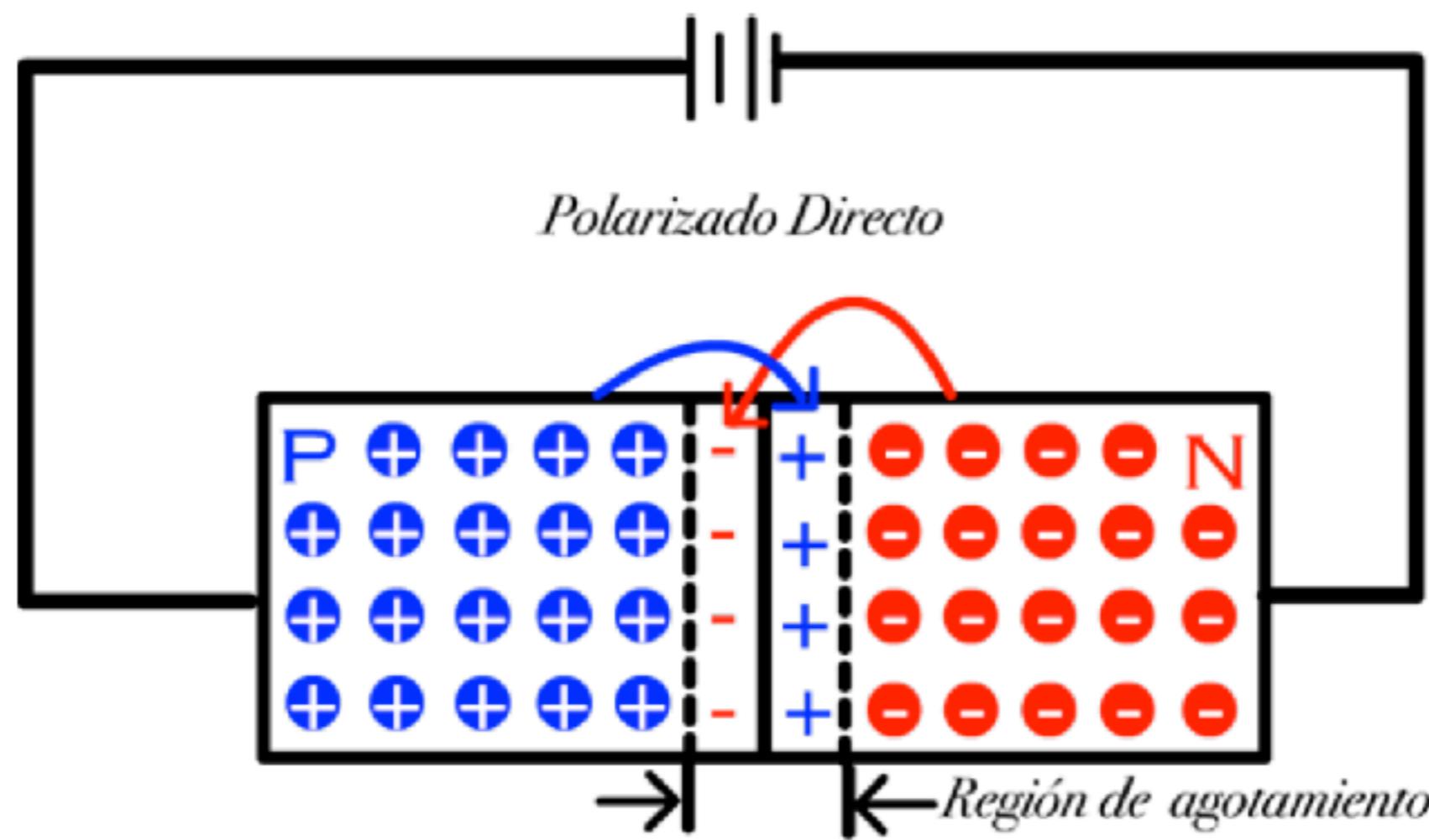
*Región de agotamiento*

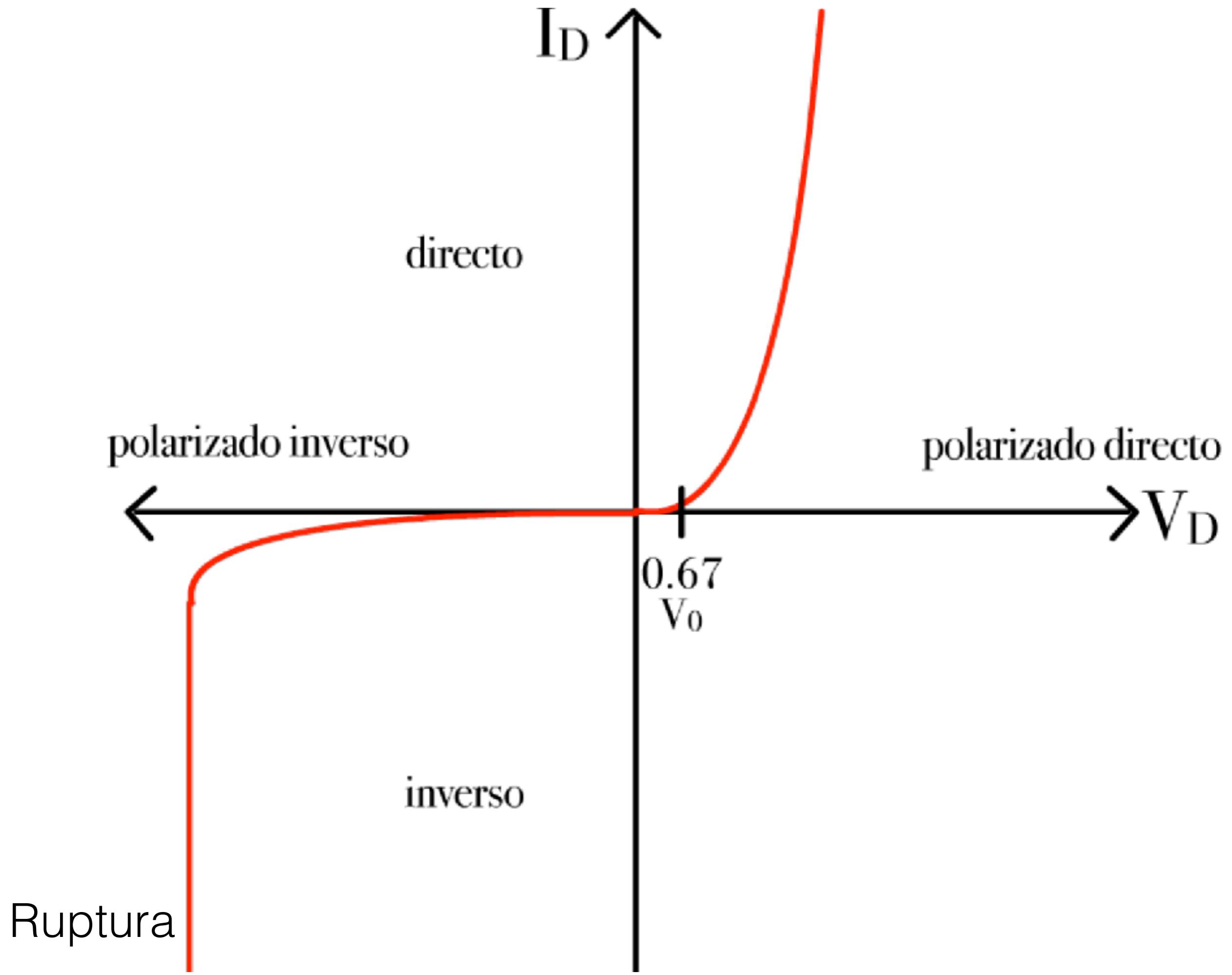
*Campo eléctrico*

NO-Conduce

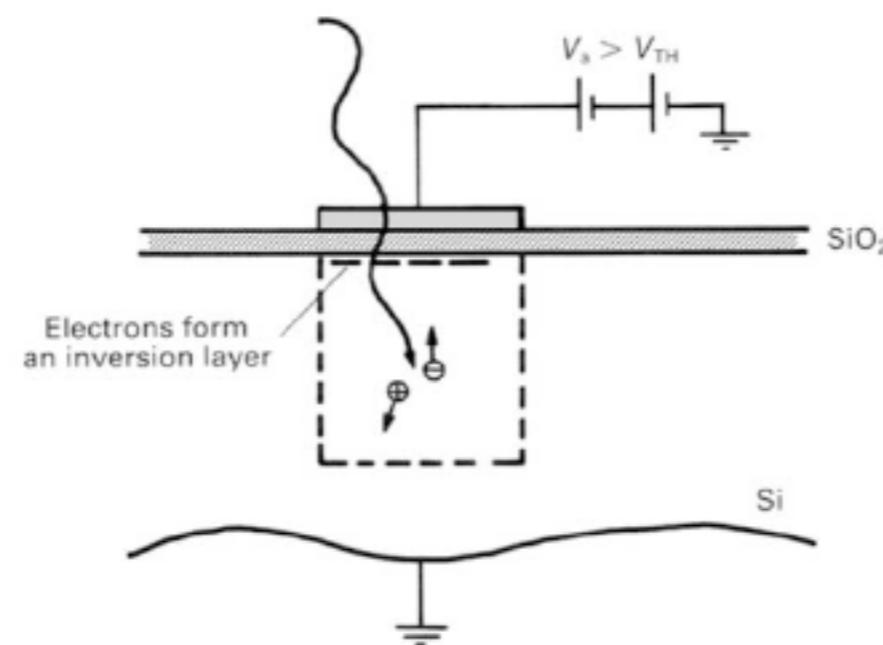
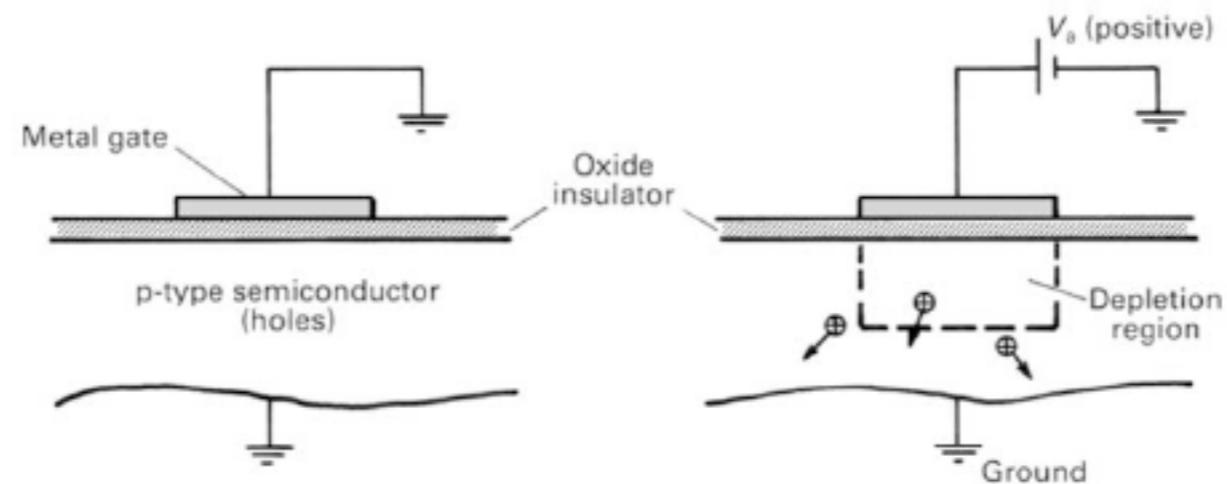


Conduce





# CCD



# Principio electrónico transferencia de carga en CCD

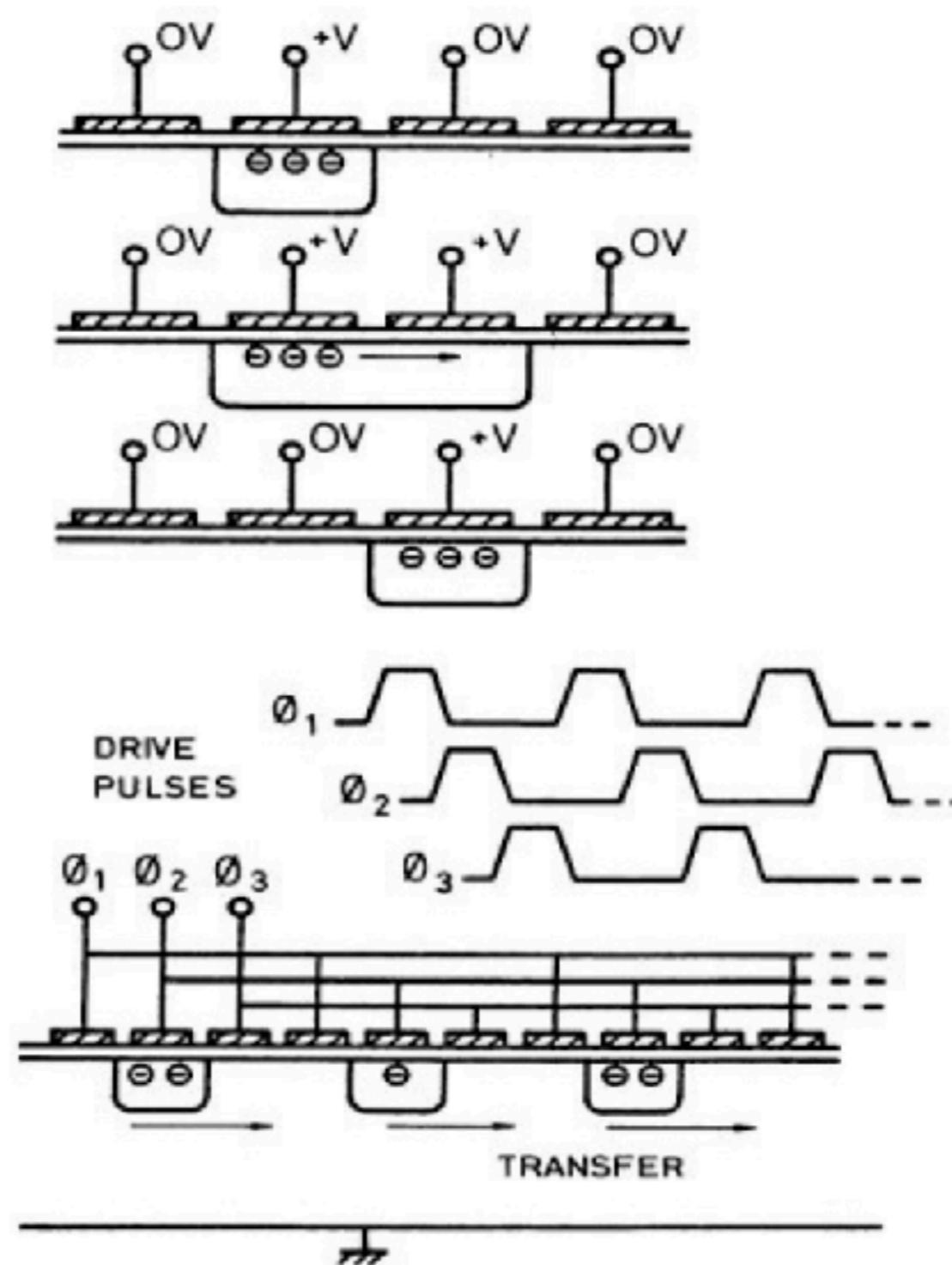


Figure 2a The charge-transfer mechanism employed in three-phase CCDs.

PARALLEL TRANSFER ELECTRODES

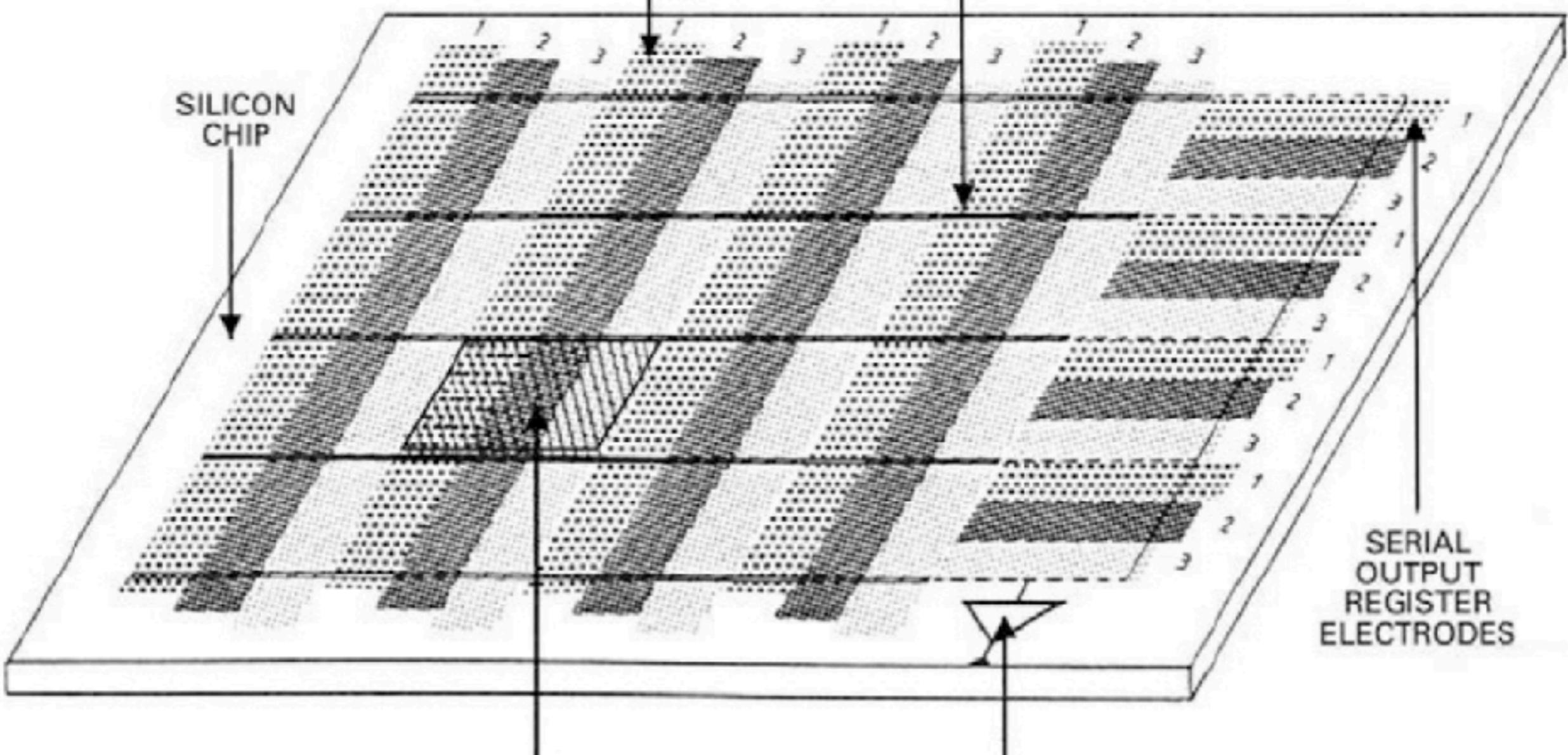
CHANNEL STOP DIFFUSIONS

SILICON  
CHIP

ONE PIXEL

OUTPUT  
AMPLIFIER

SERIAL  
OUTPUT  
REGISTER  
ELECTRODES



# **PIcture (s) EL**

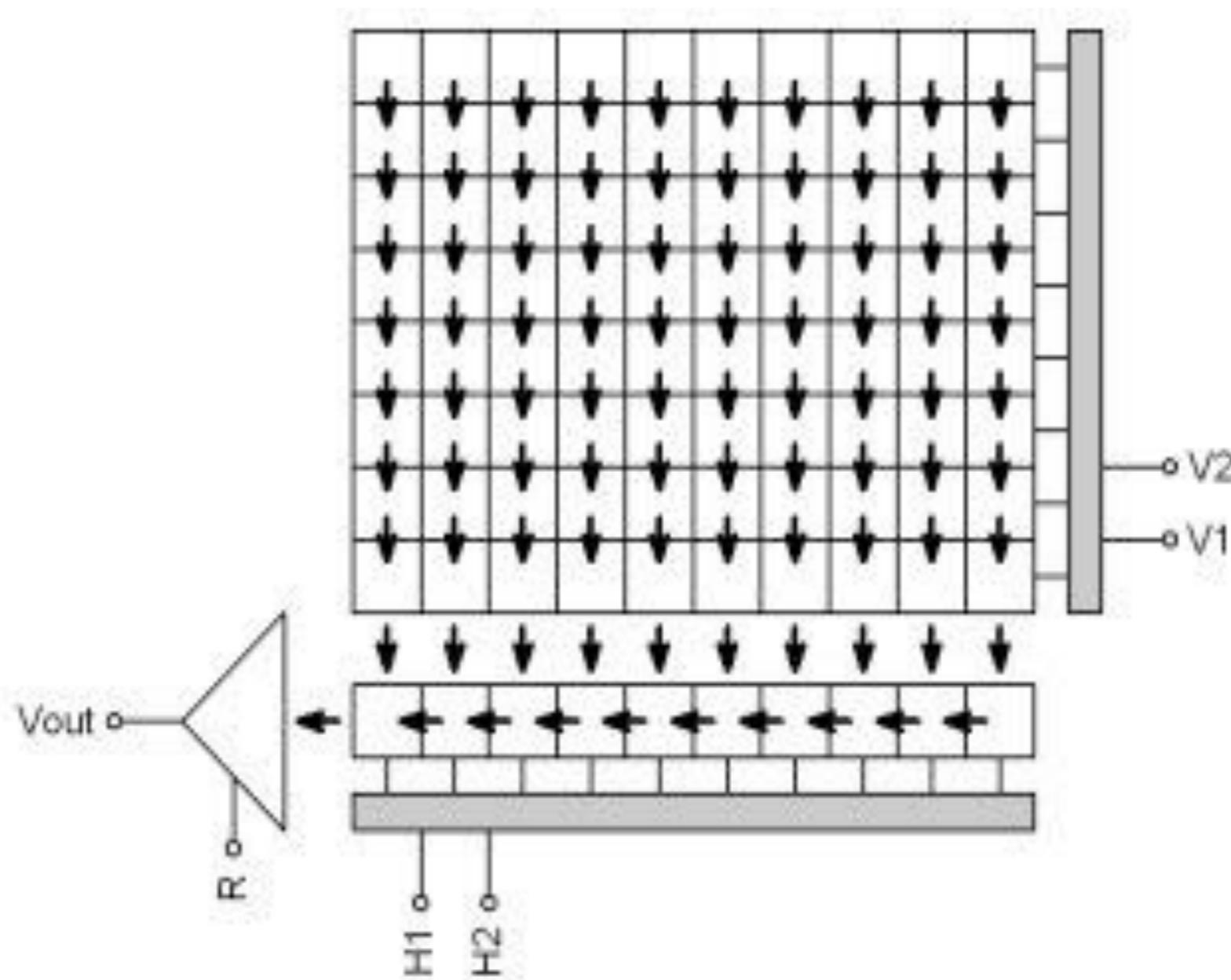


**PIXEL**

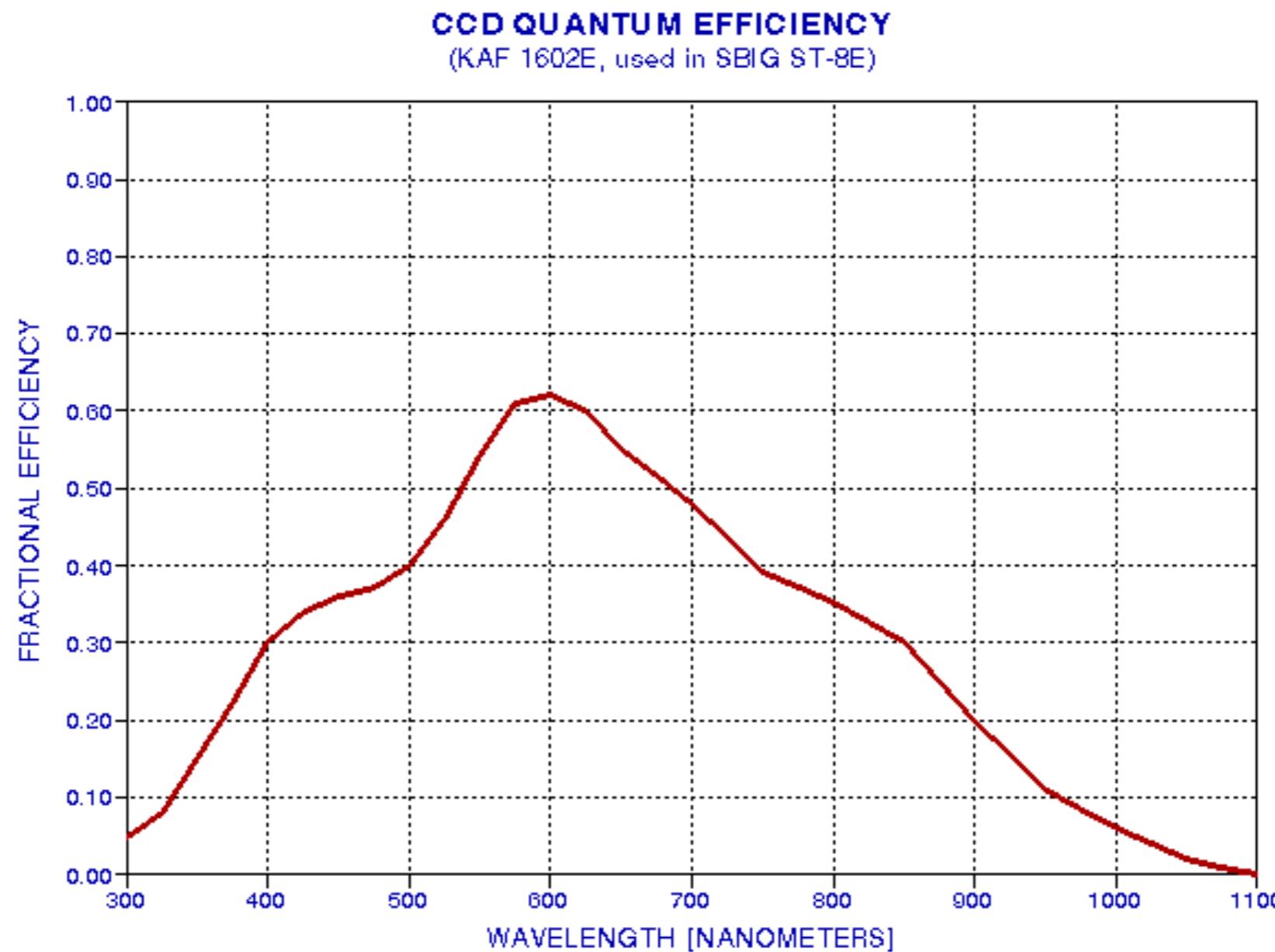
**PEL**

**BIN**

# Esquema conceptual transferencia de carga CCD



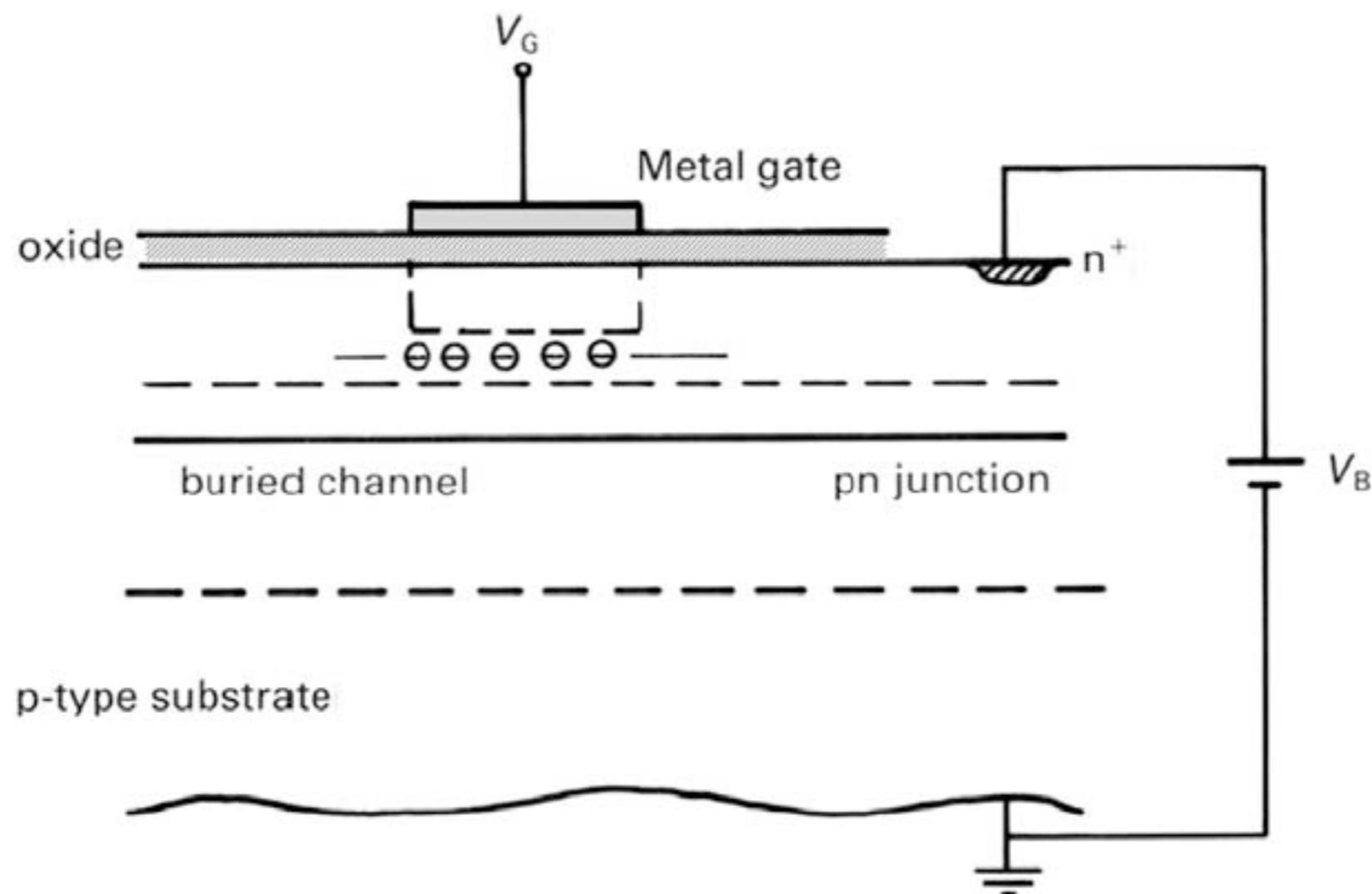
# Respuesta QE chip CCD

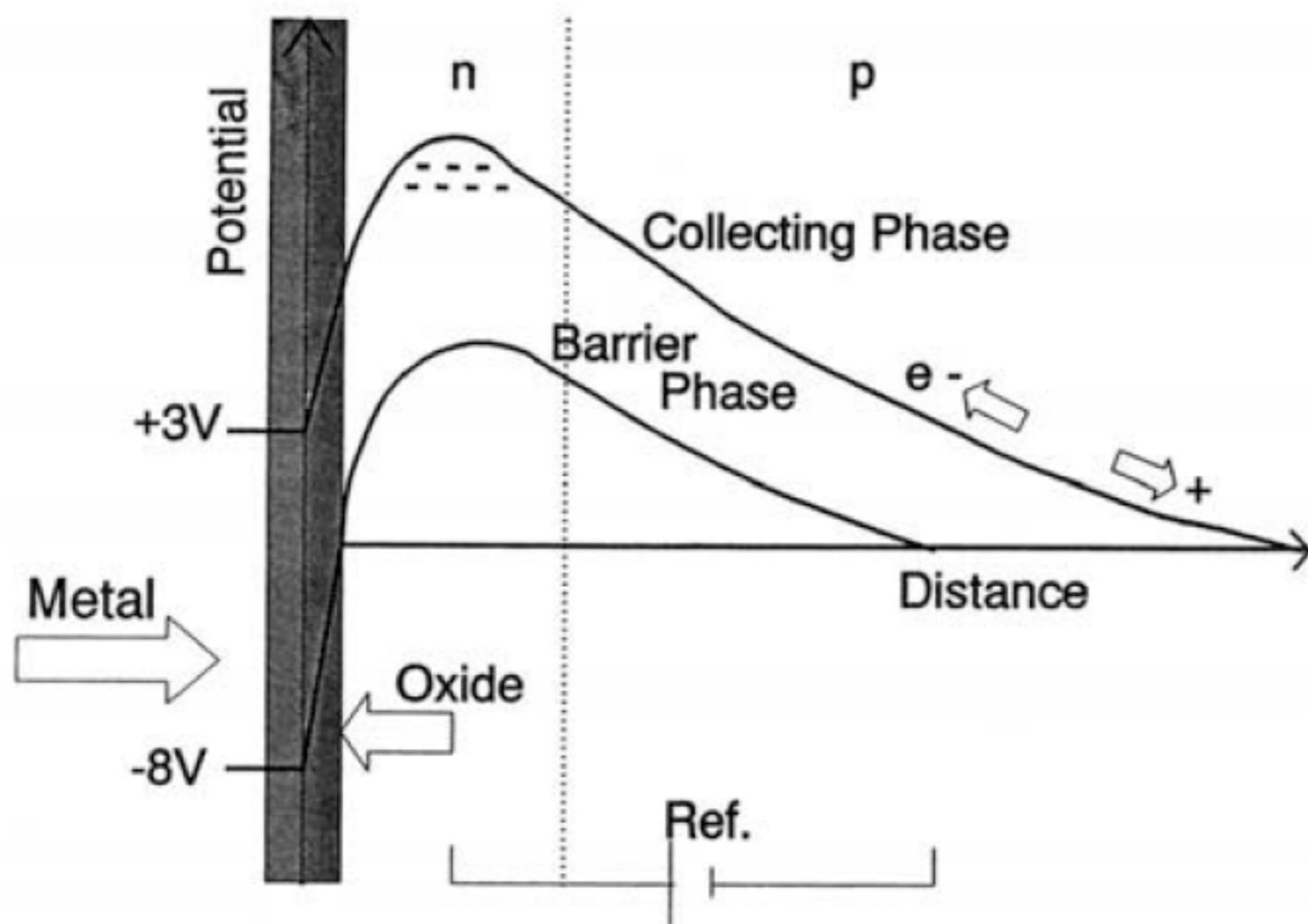


# Fotometría CCD

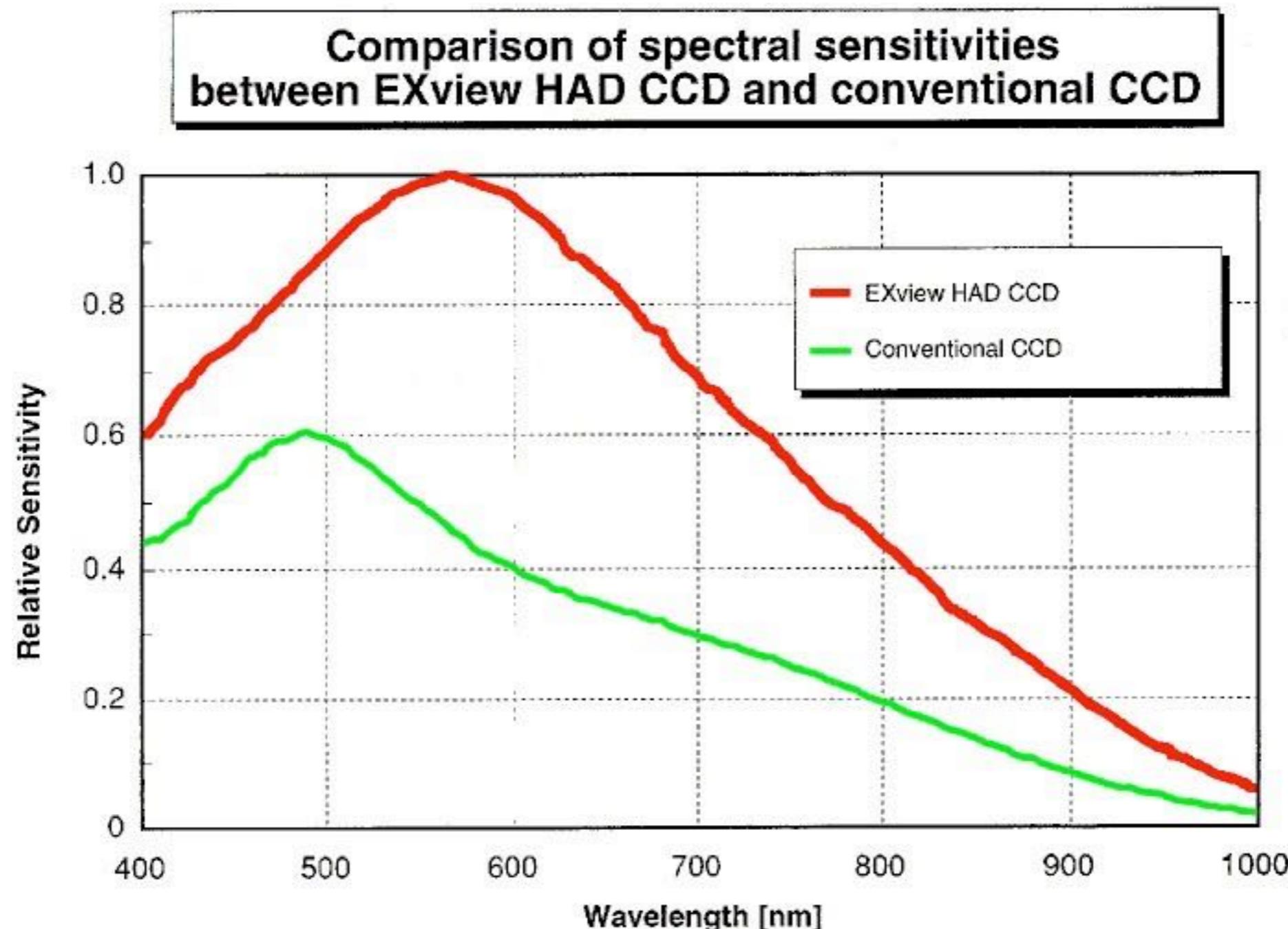


# Canal profundo (“buried channel”)

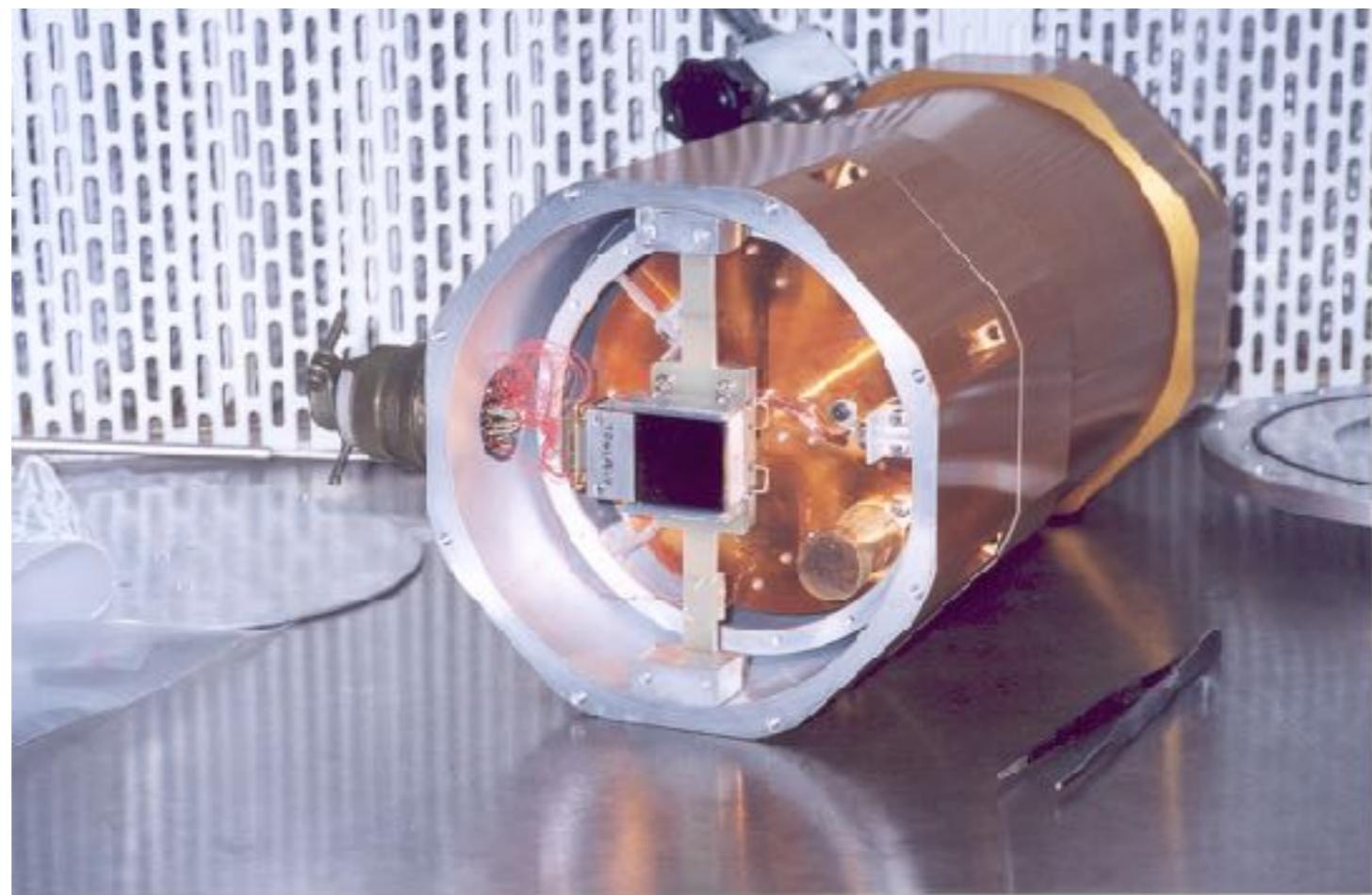




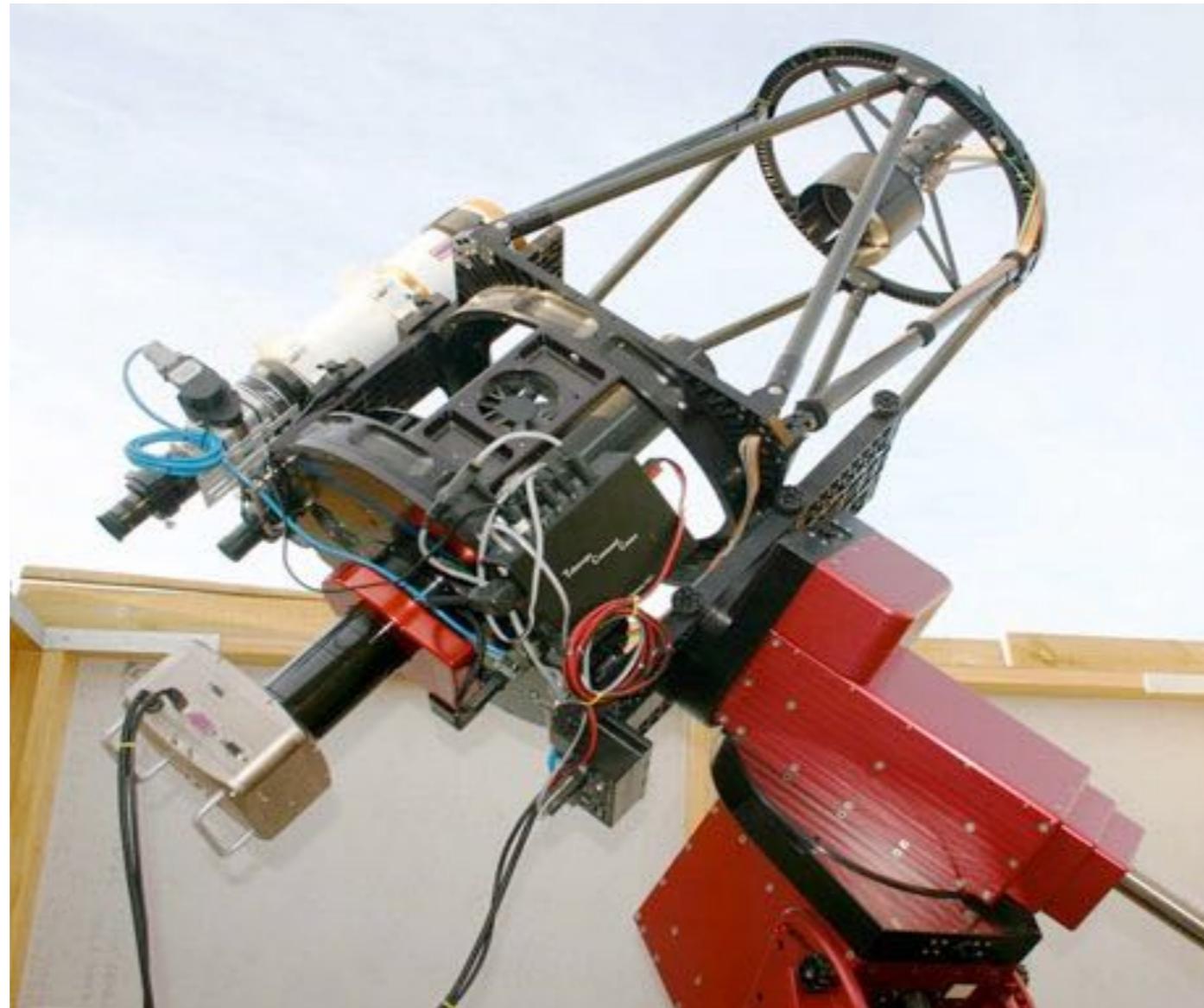
# Comparación QE convencional e iluminado posteriormente



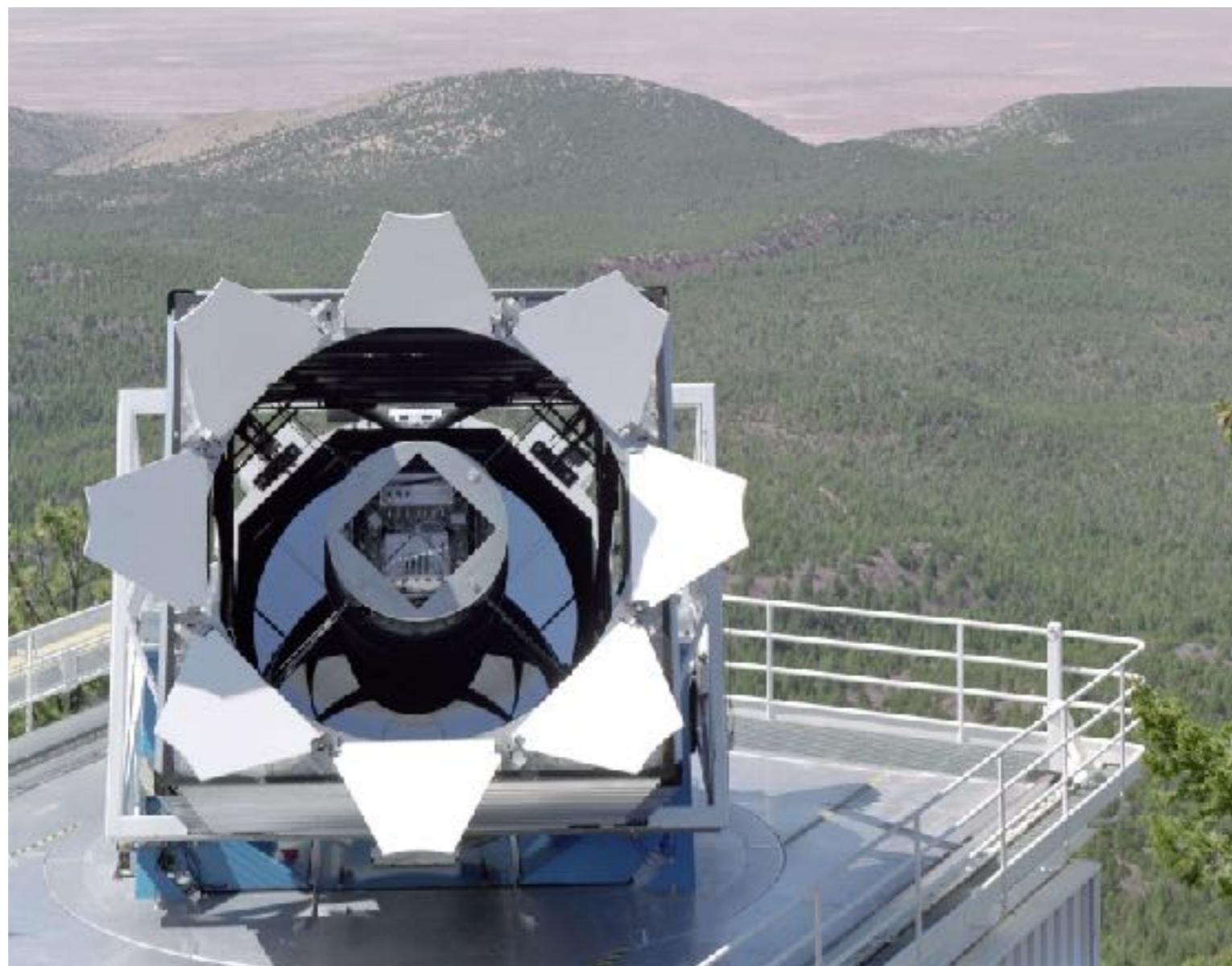
# CCD profesional típico



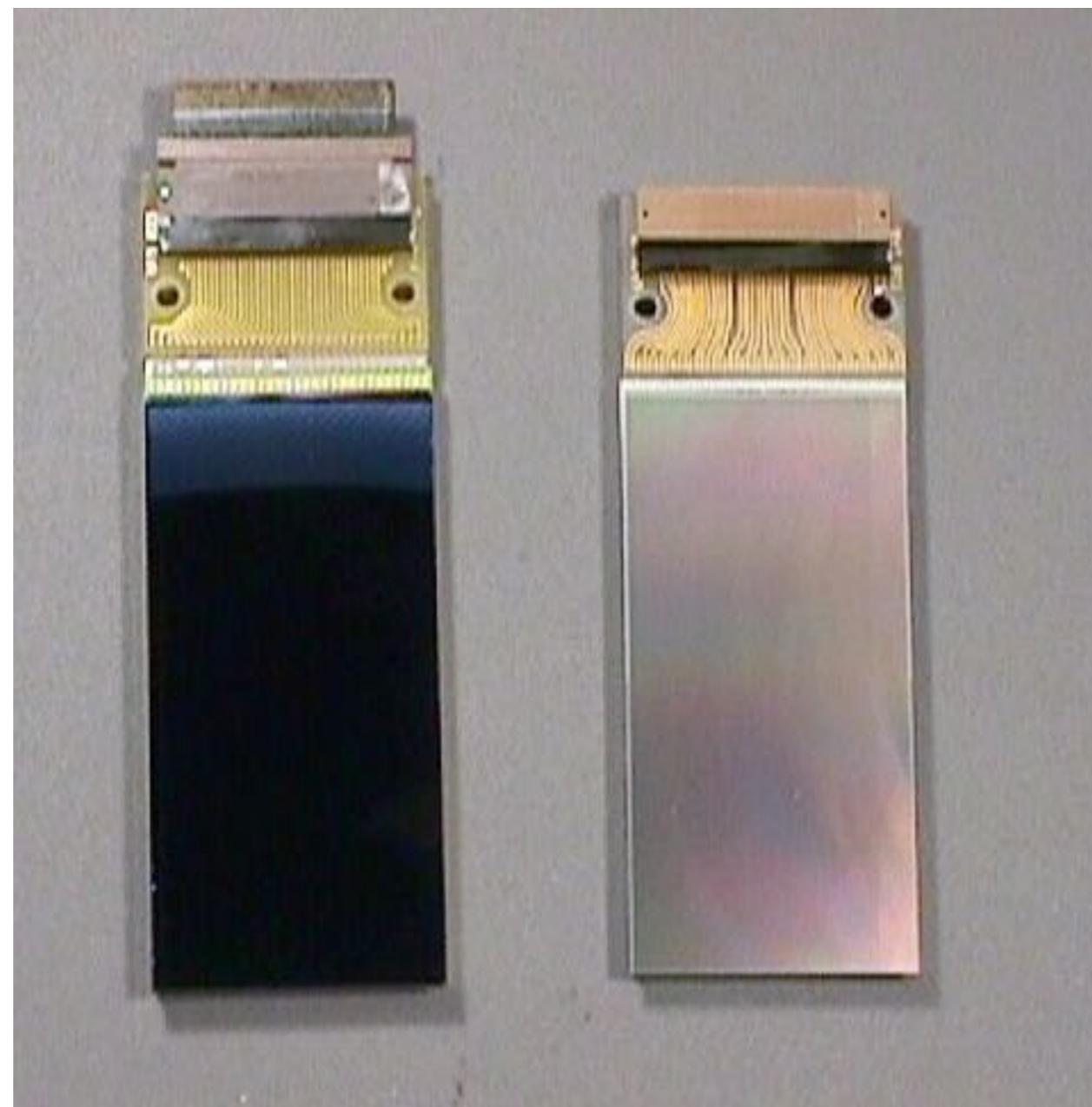
# CCD montado en un telescopio



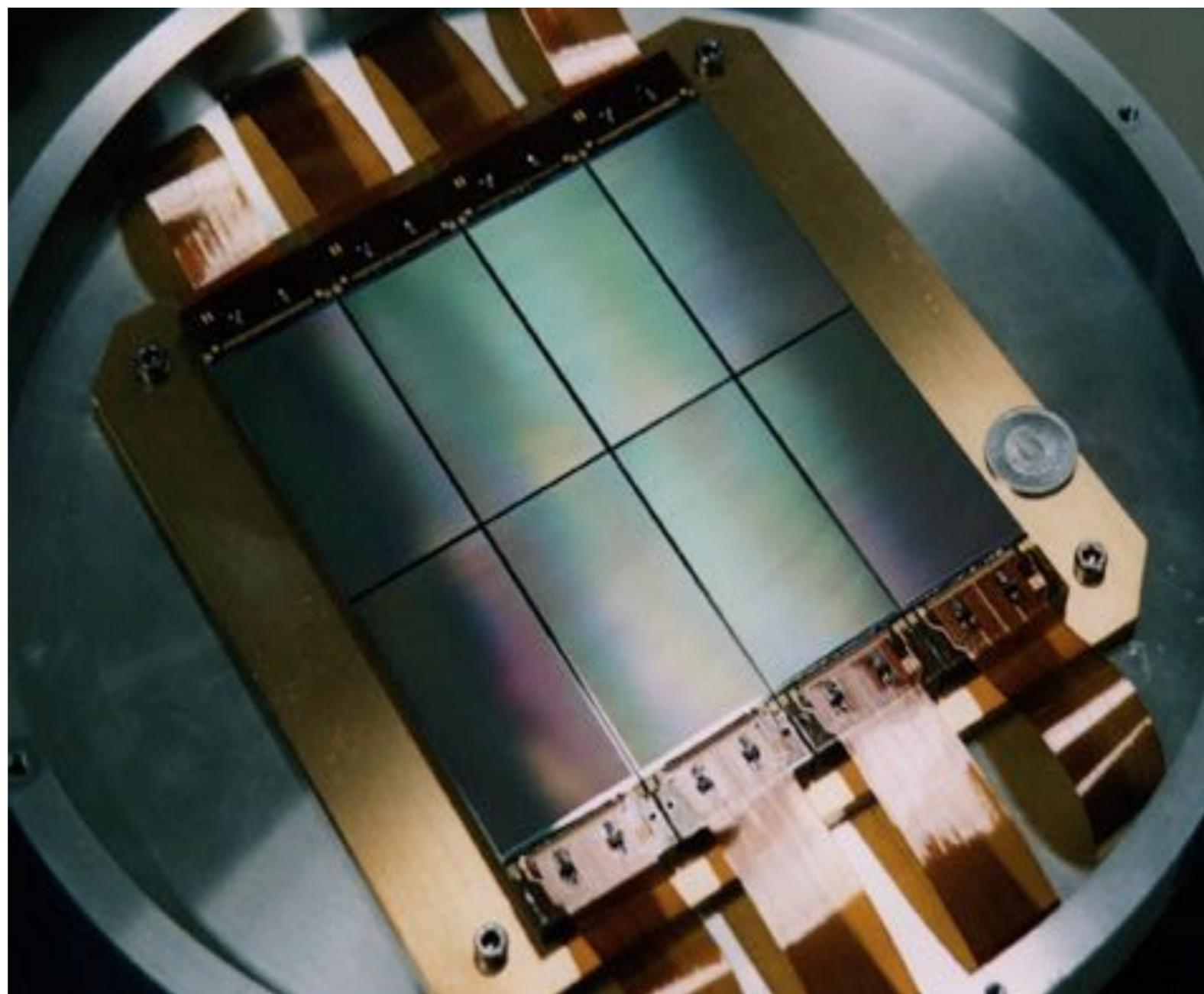
# El SDSS: fotometría y espectroscopia robotizadas



# Illuminado: posterior v.s. anterior



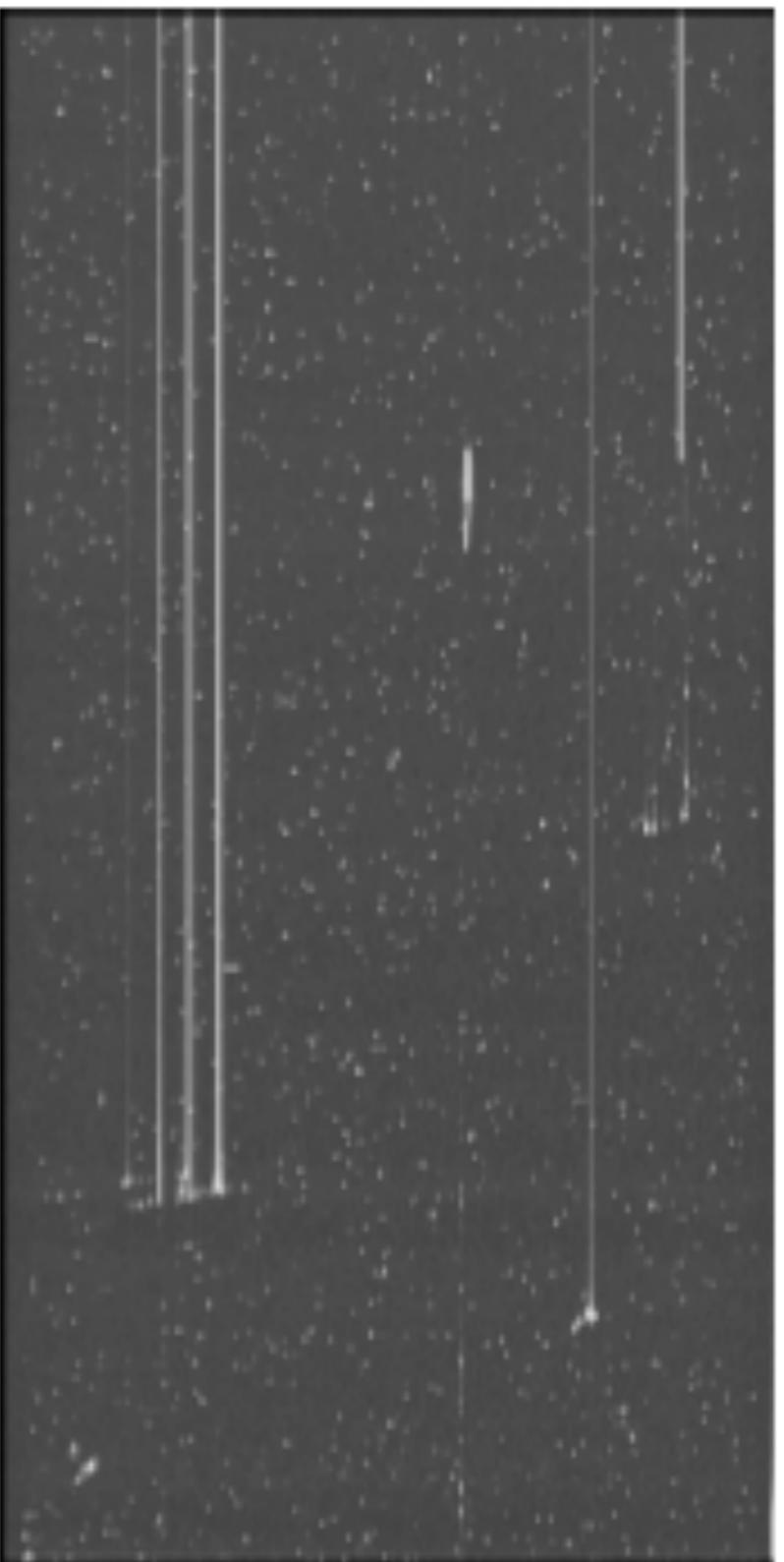
# Mosaico profesional



# Observe la pantalla de campo plano (“flat field”)



**Dark Frame**

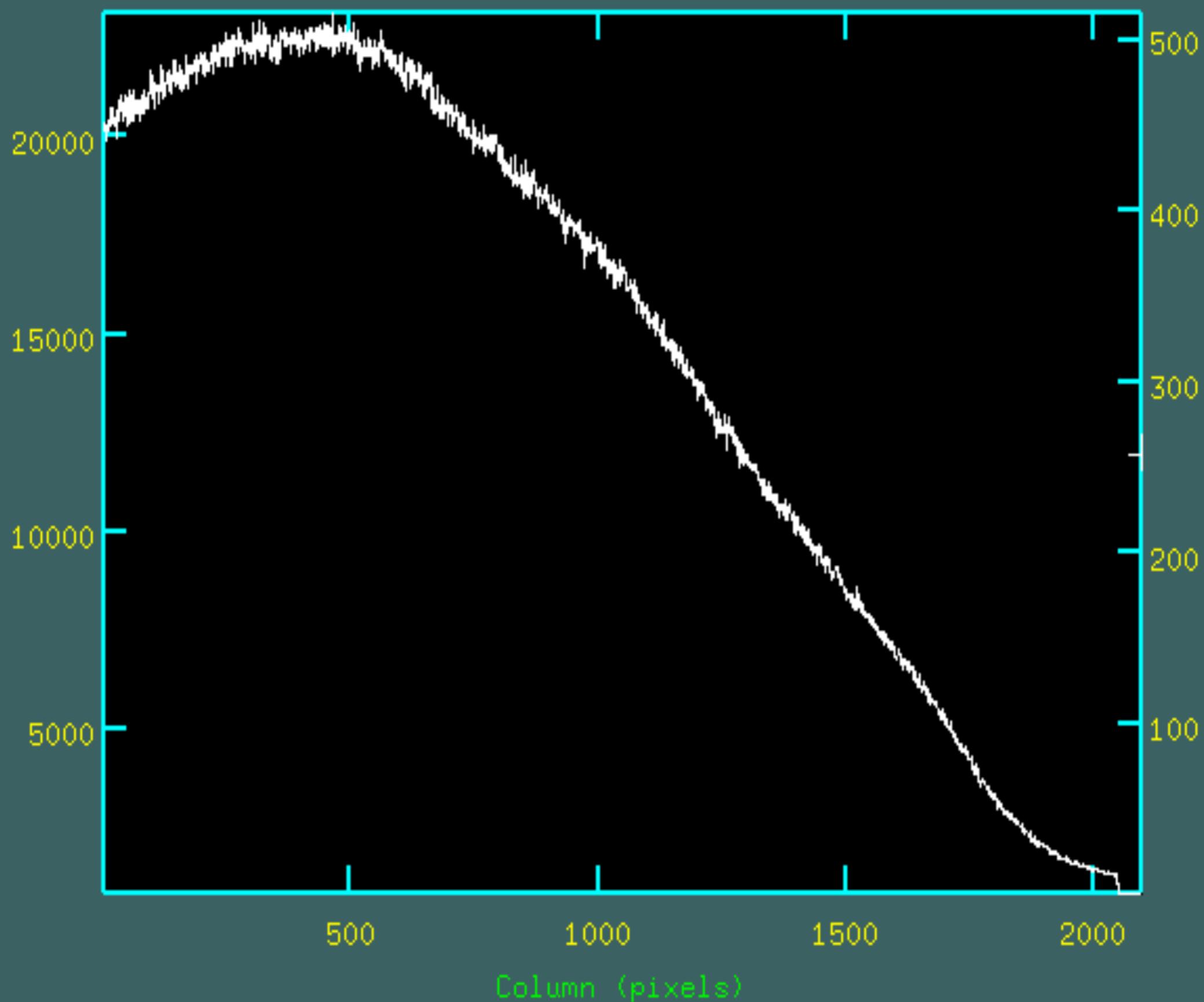


**Flat Field**



Line 258 of ccd014

Quartz



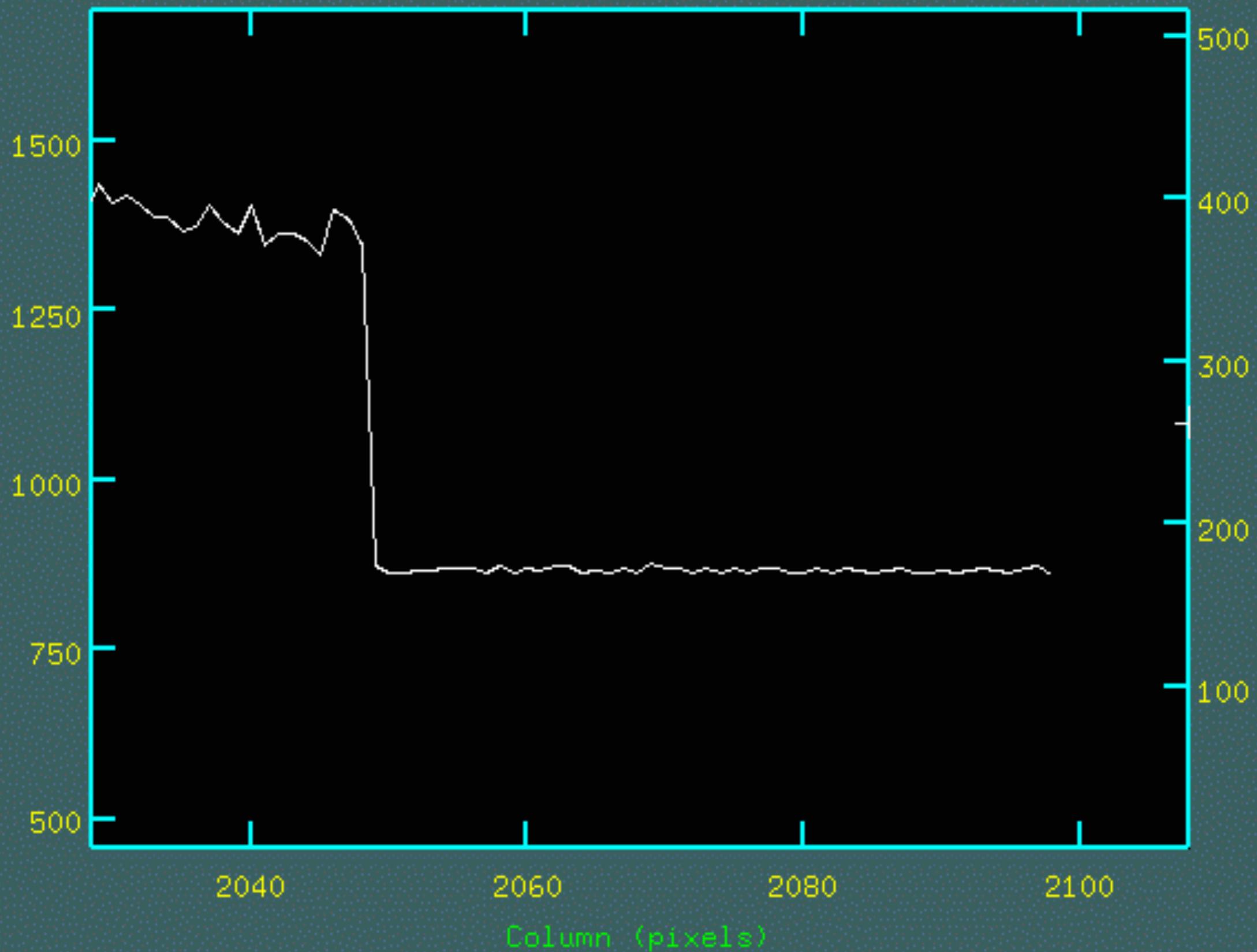
gain:

irafterm

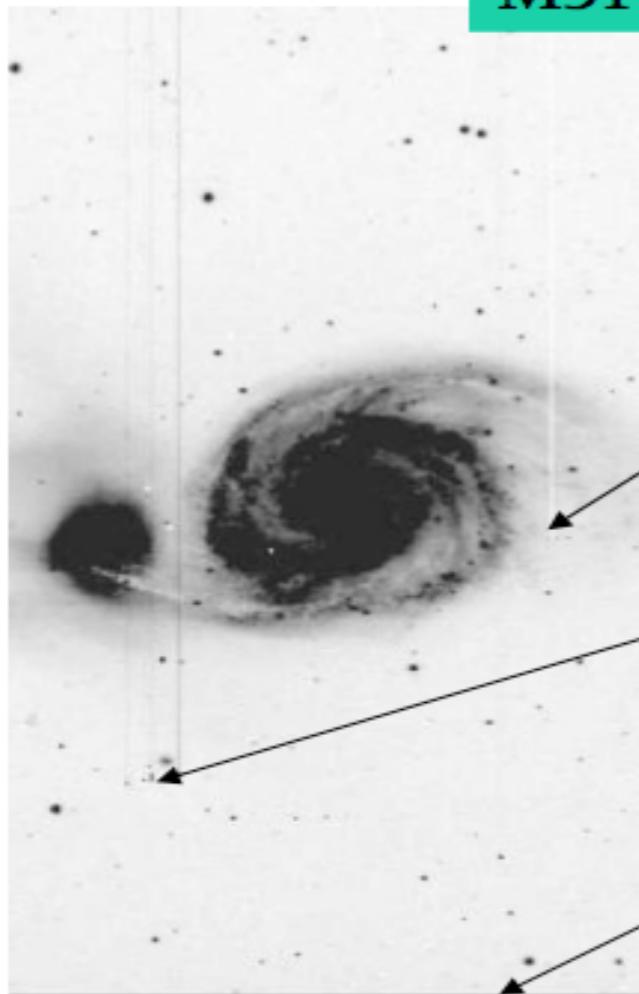
NOAO/IRAF V2.12.2a-EXPORT else@vegemite.astr.cwru.edu Fri 14:26:36 16-Dec-2005

Line 262 of ccd014

Quartz



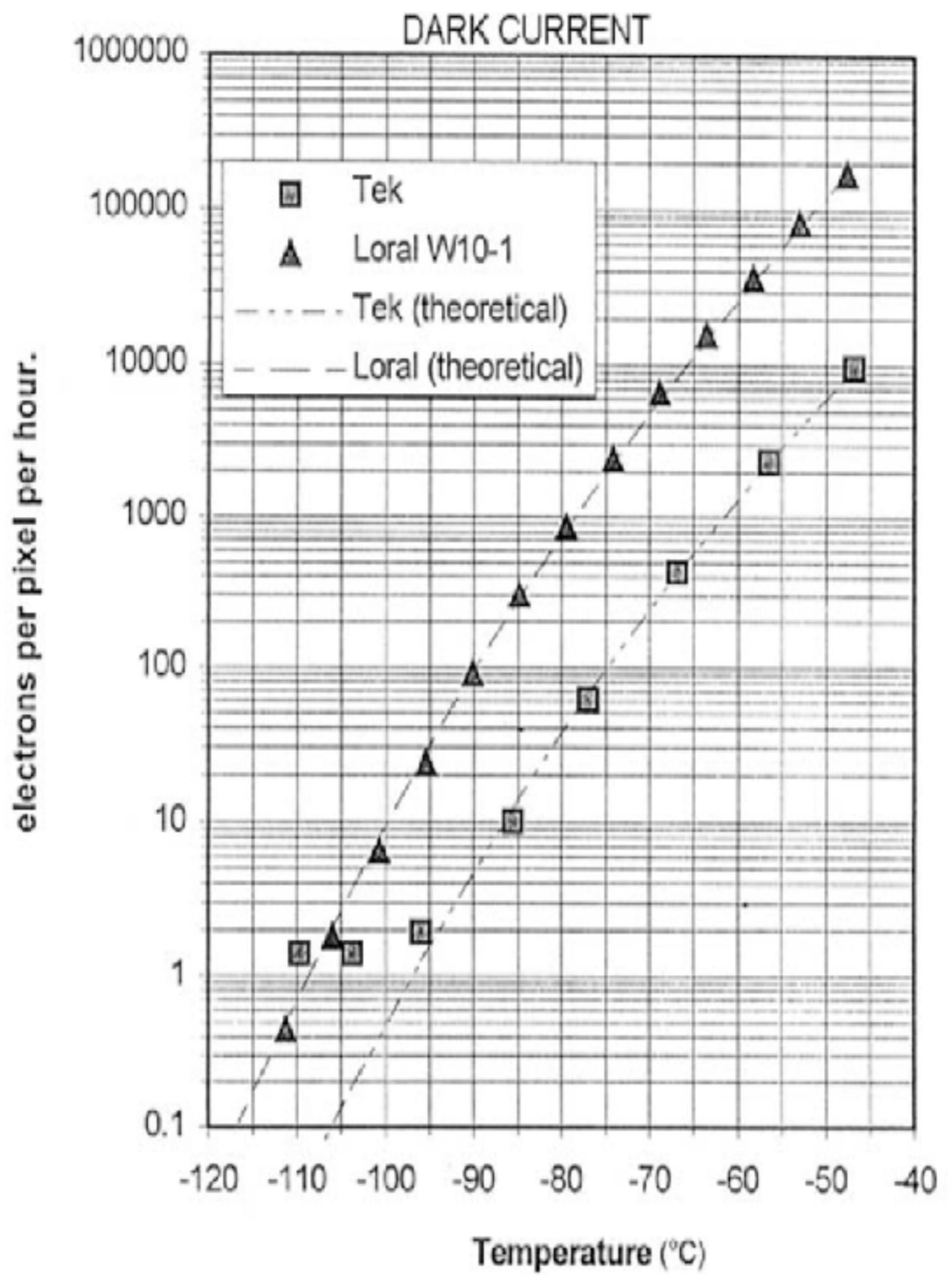
M51

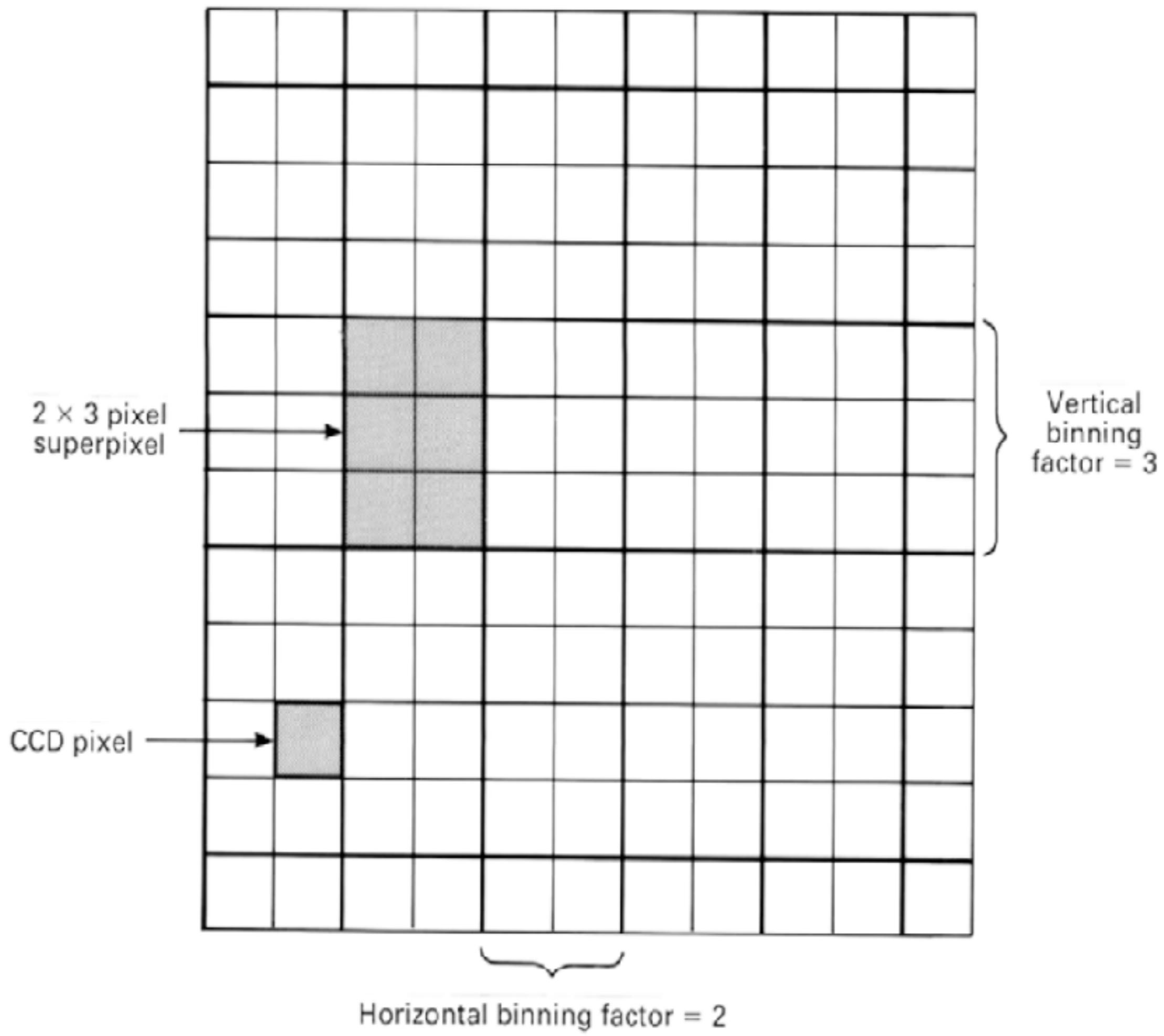


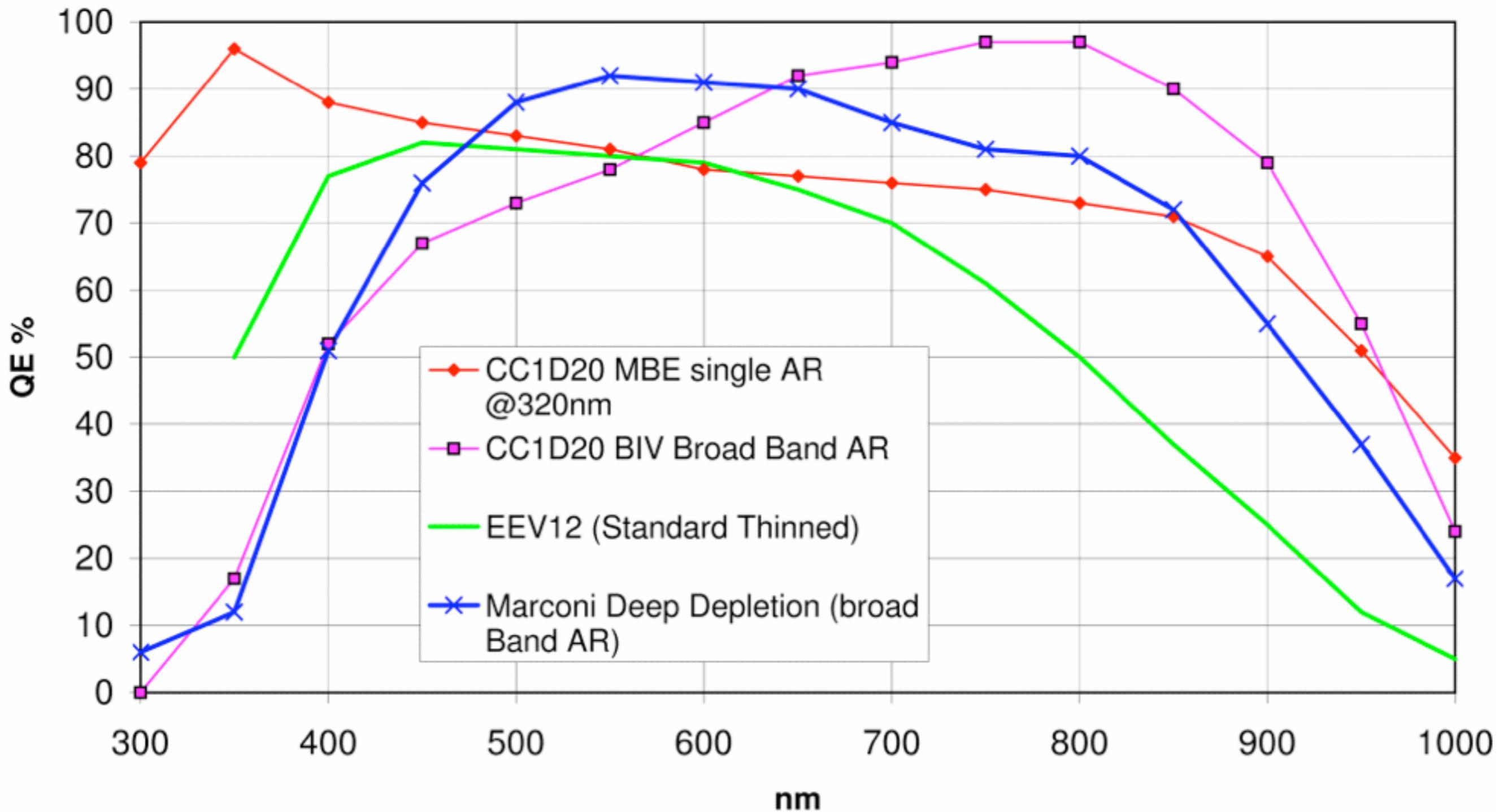
Dark column

Hot spots and bright columns

Bright first image row caused by  
incorrect operation of signal  
processing electronics.





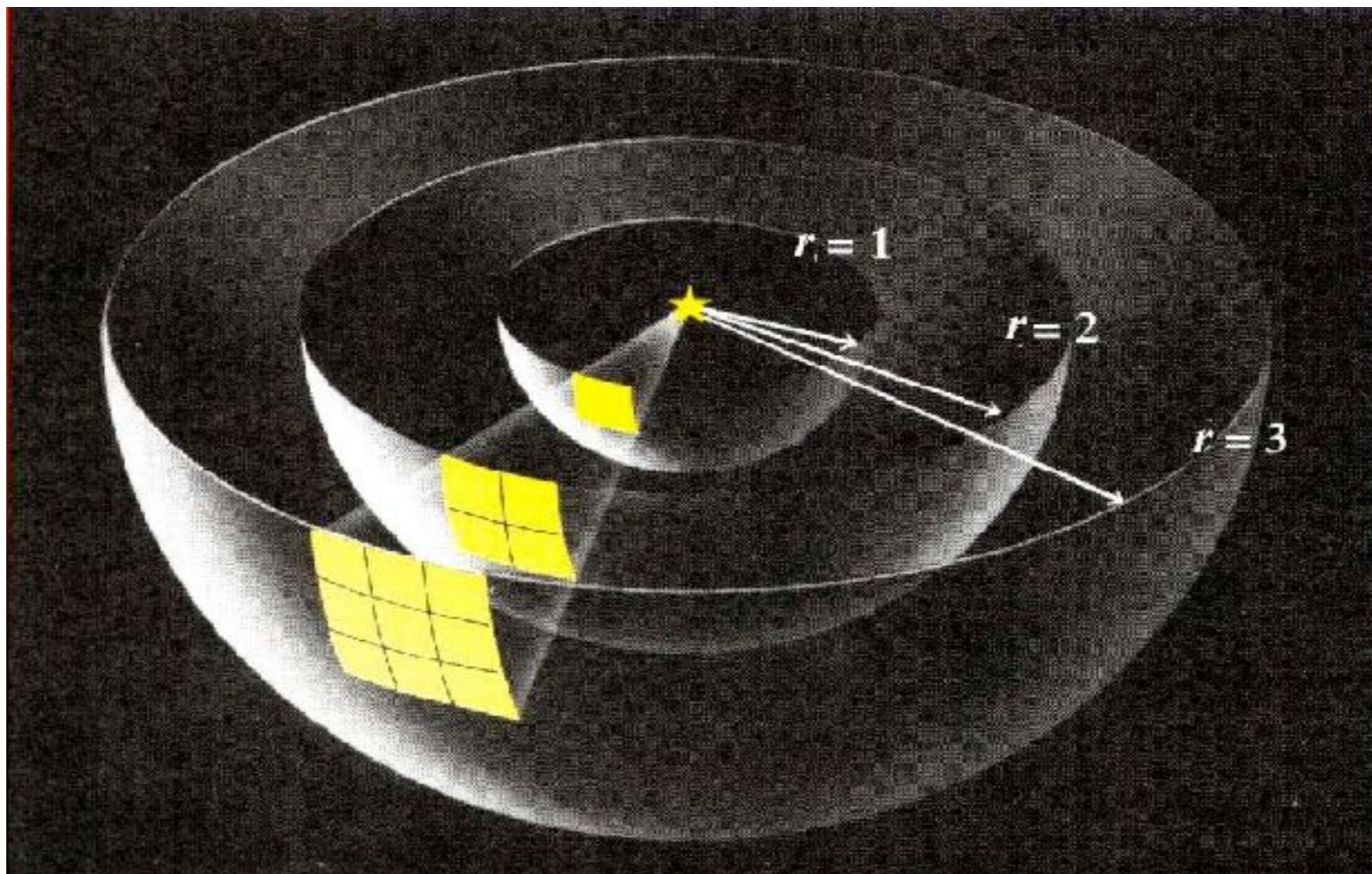


## Overview on wavelength ranges and detectors

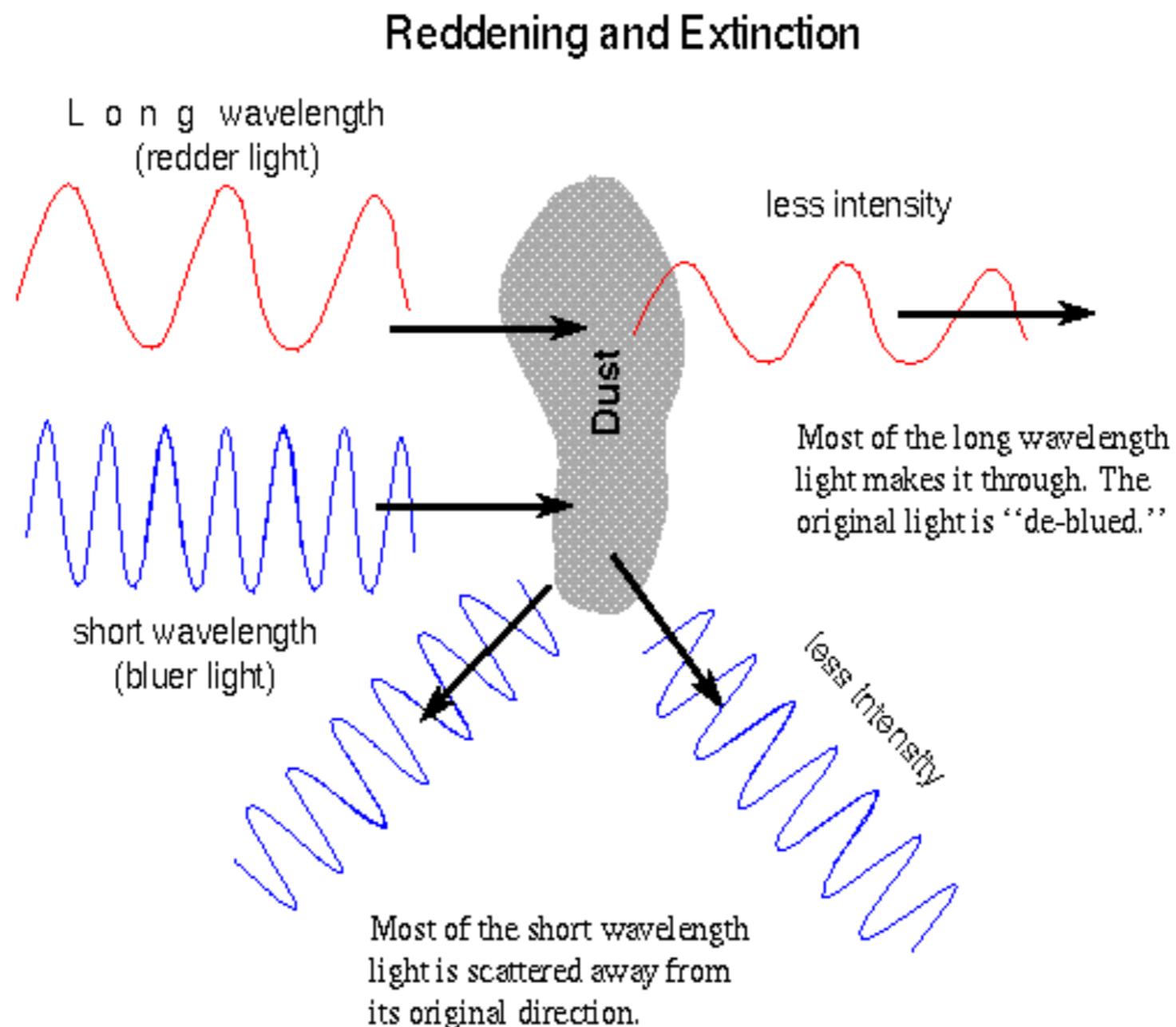
Name	Wavelength	Filter	Detector
optical/visual	0.3-0.7 μm	U,B,V,R	CCD (Si)
'historical' Infrared	0.7-1.0 μm	I, Z	CCD (Si), IR Array (HgCdTe)
near Infrared	1.0-5.5 μm	J,H,K,L,M	IR Array (HgCdTe, InSb)
mid* Infrared	8-25 μm	N,Q	IR Array (SiAs, SiSb)

(\* often called 'thermal' Infrared)

A medida que nos alejamos de la fuente de luz la cantidad de luz que fluye en la unidad de tiempo decae con el cuadrado de la distancia.....



# El polvo afecta fuertemente las longitudes de onda cortas



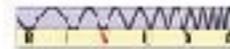
# Magnitud absoluta

- La “magnitud absoluta” se define como la magnitud de una estrella, si esta estuviese a 10 parsecs de distancia:
- $m - M = 5 \log d - 5 + A$
- En donde A es el factor debido a la “extinción” del medio interestelar. Trumpler (1930)
- En donde d está en parsecs.

# Ejemplos de nebulosas con gran extinción en el visible

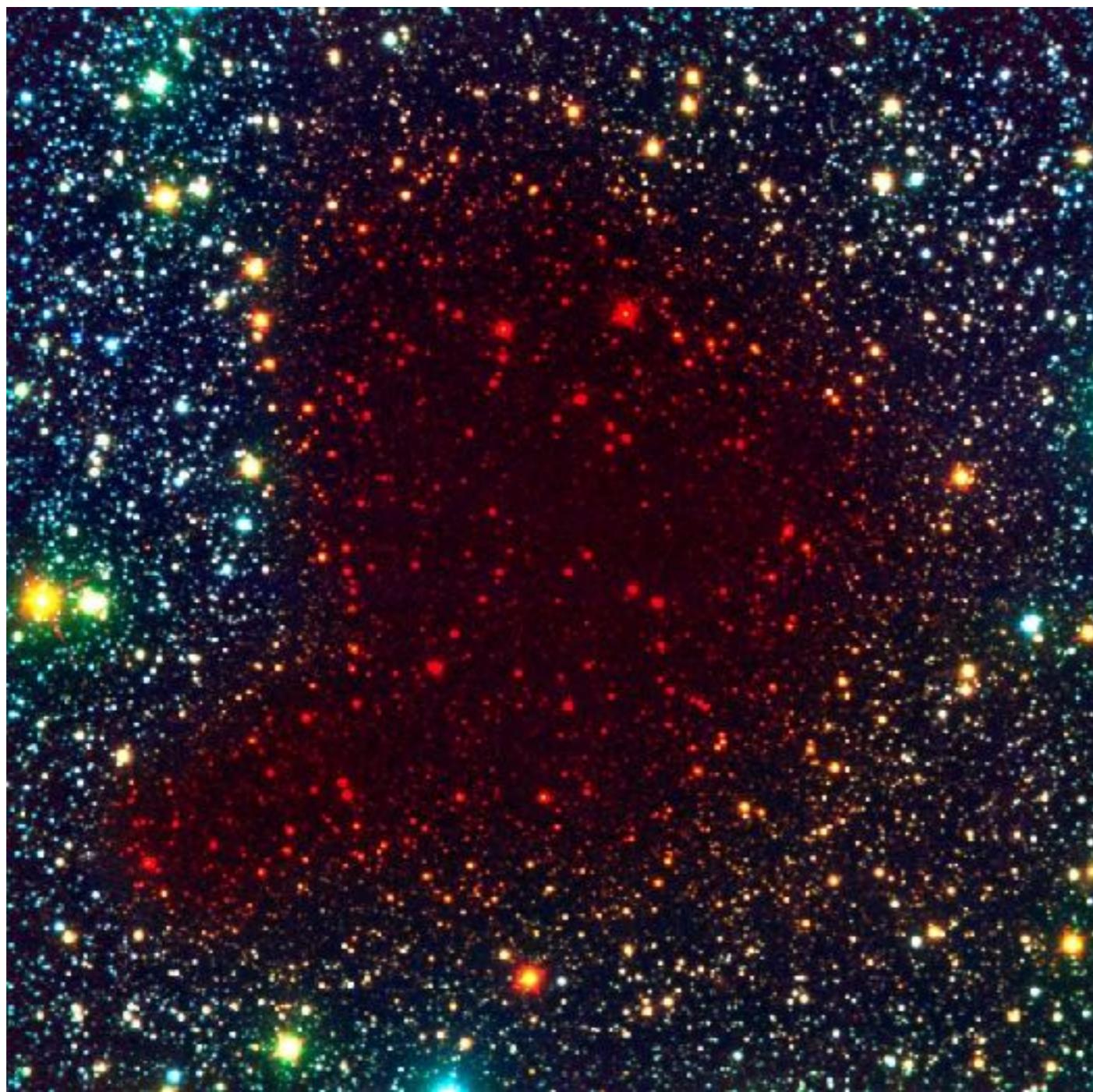


Copyright © 2015 Pearson Education, Inc.



- Dispersión luz (“light scattering”)
- Absorción luz (...posterior re-emisión)

Barnard 68



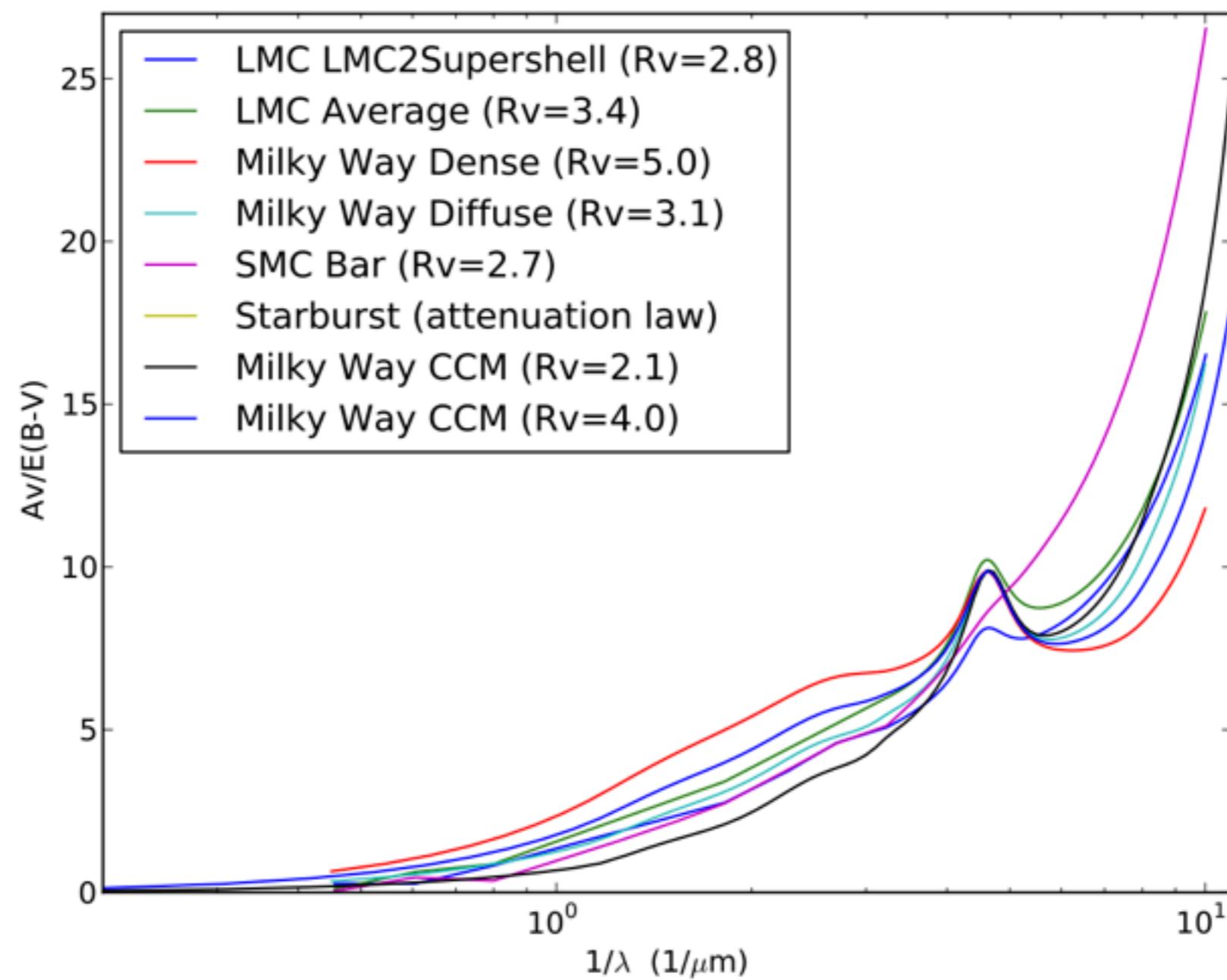
Ophiucus. 500 ly, 0.25 ly diámetro

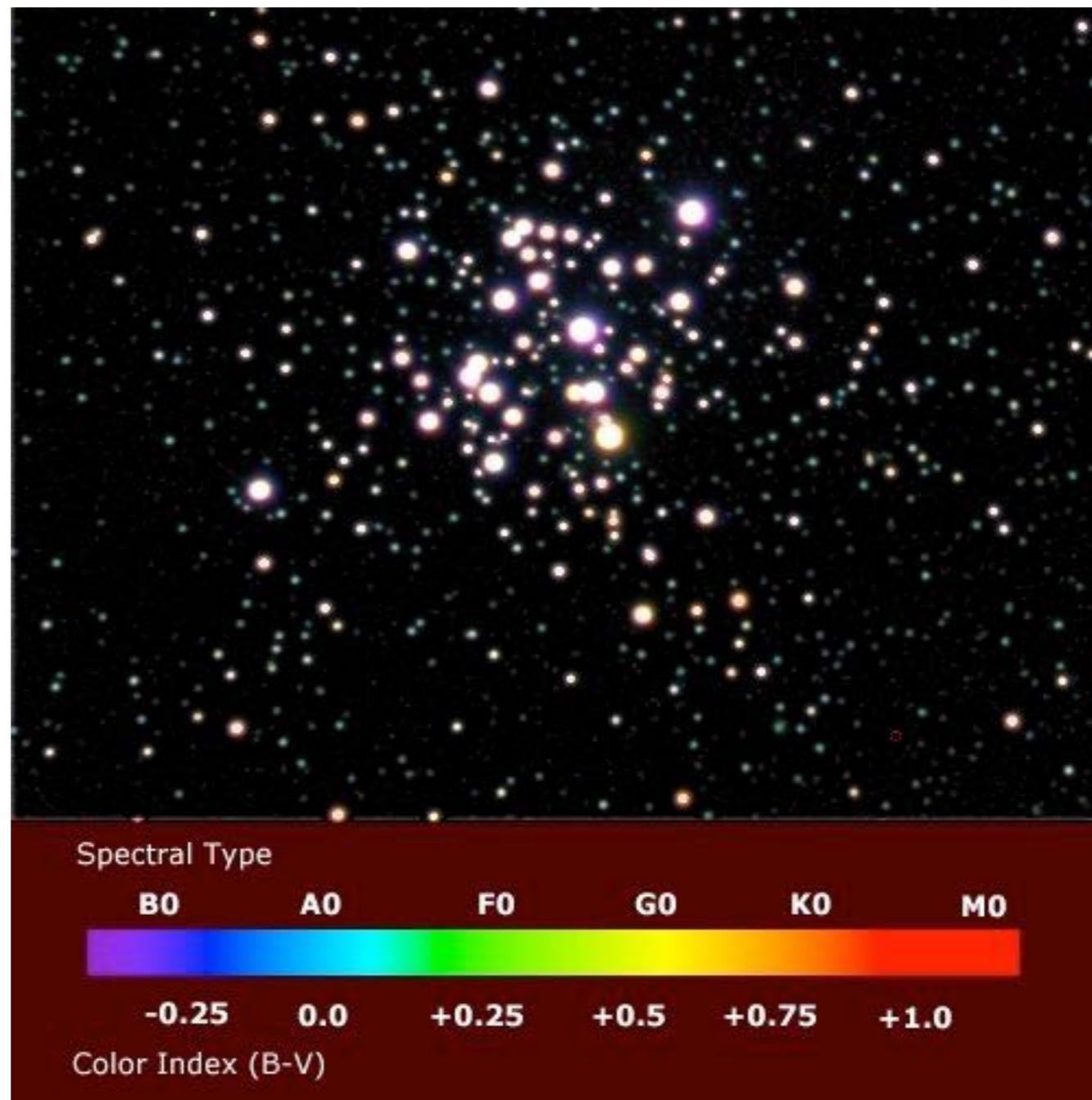
Alfa= 17h22m38.2s  
Delta=-23°49'34"

$$B-M_B=5\log d-5+A_B$$

$$V-M_V=5\log d-5+A_V$$

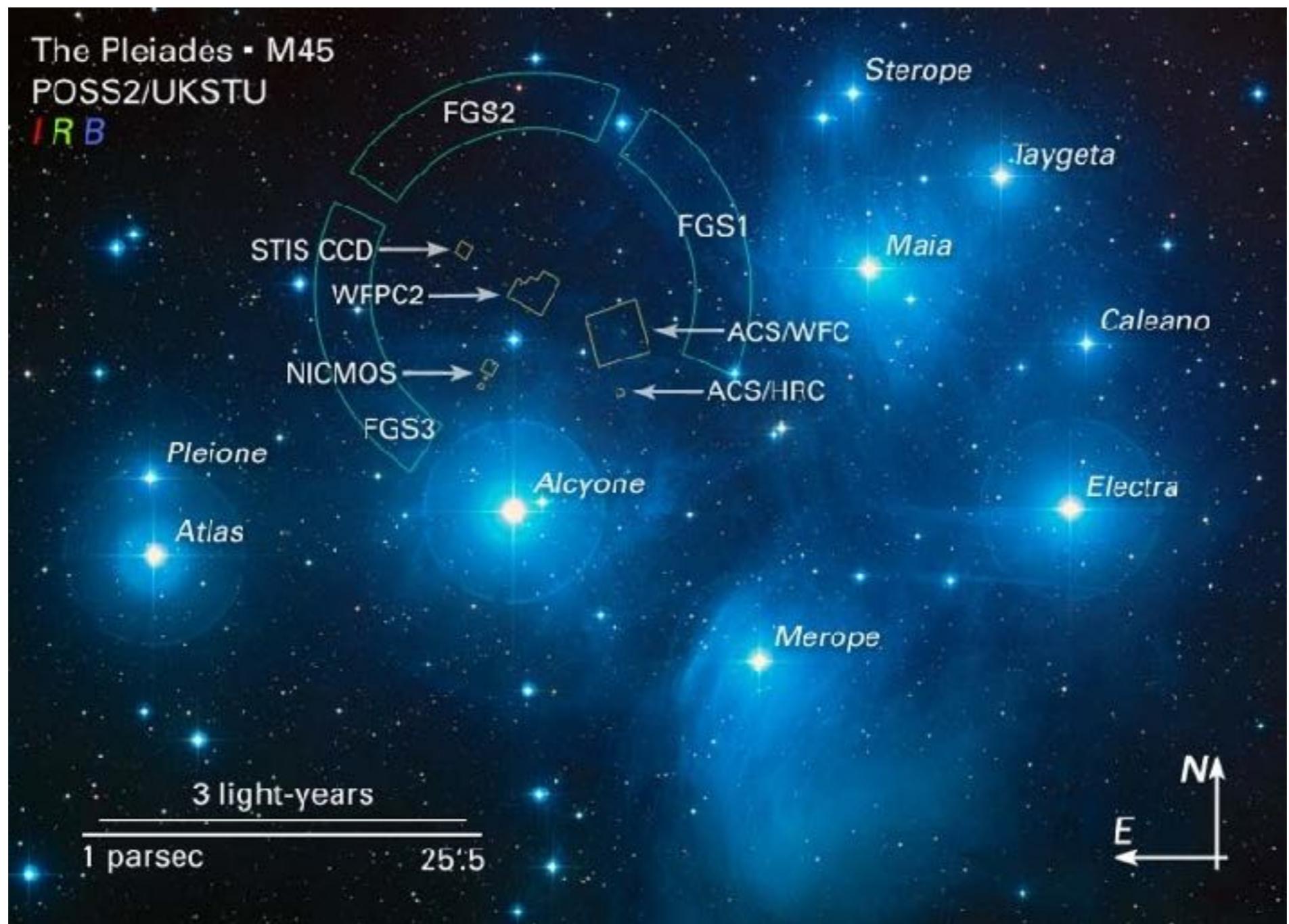
$$B-V=(B-V)_o+E_{B-V}$$



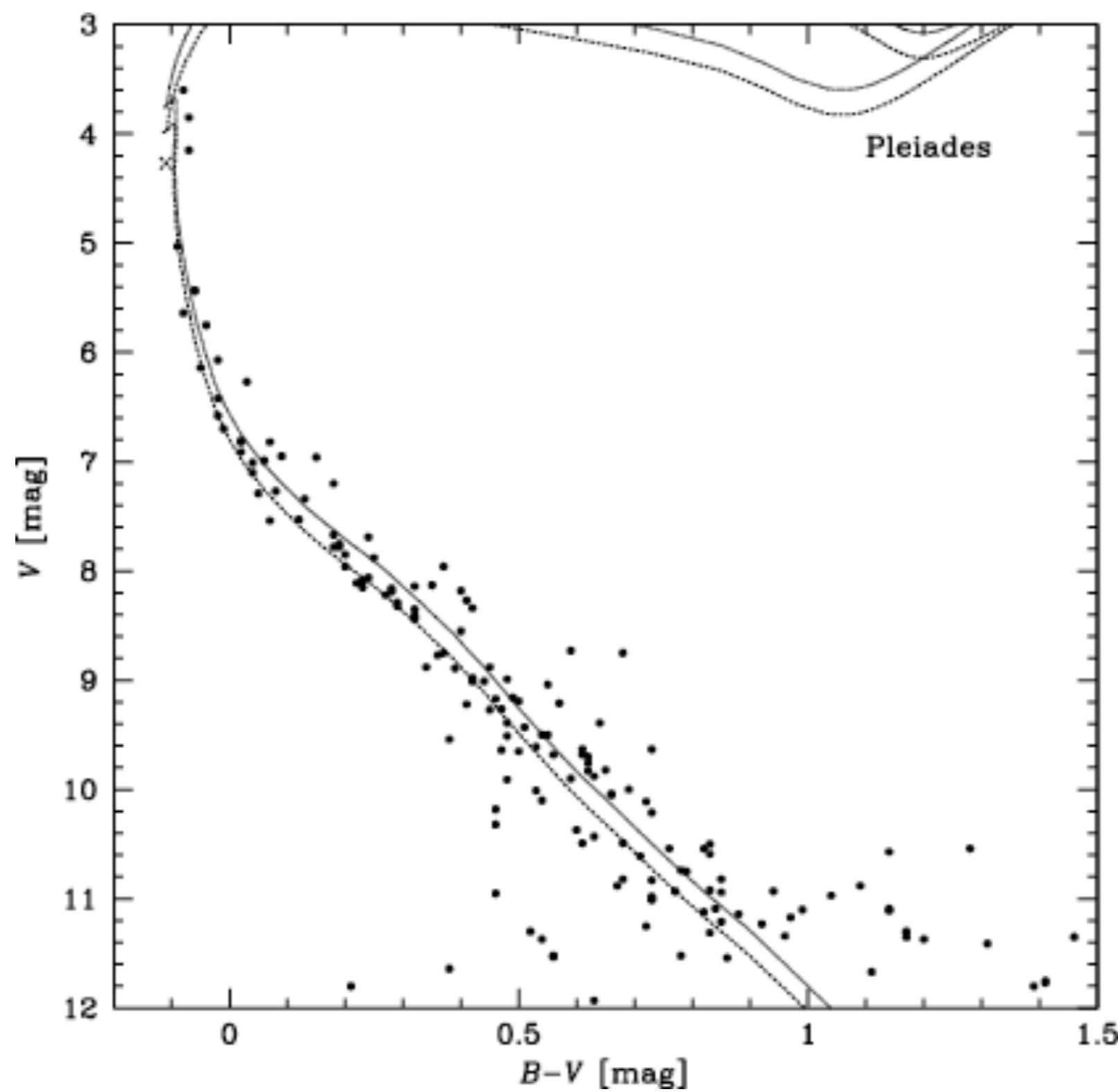


# Ejemplos de cúmulos galácticos: Las Pléyades

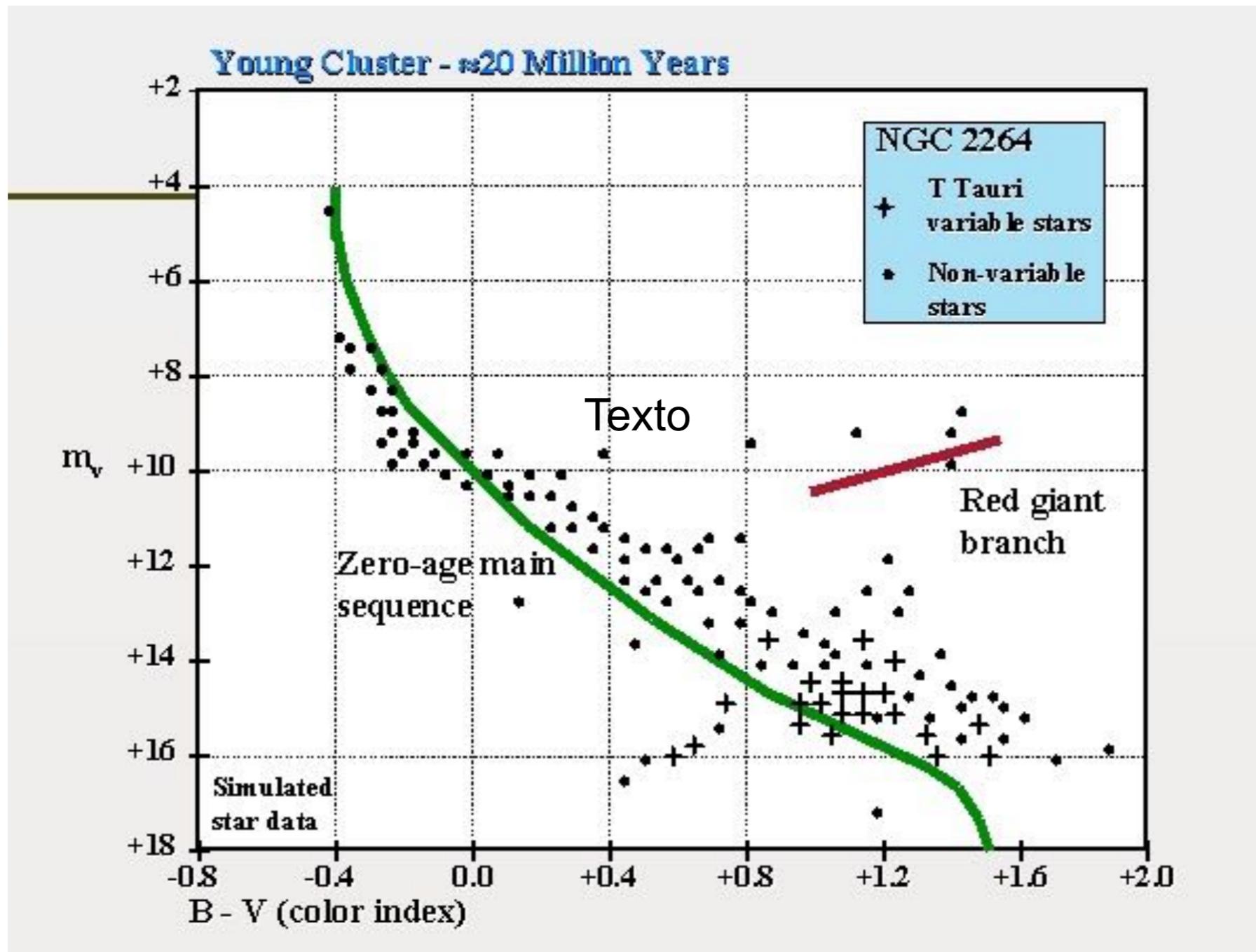




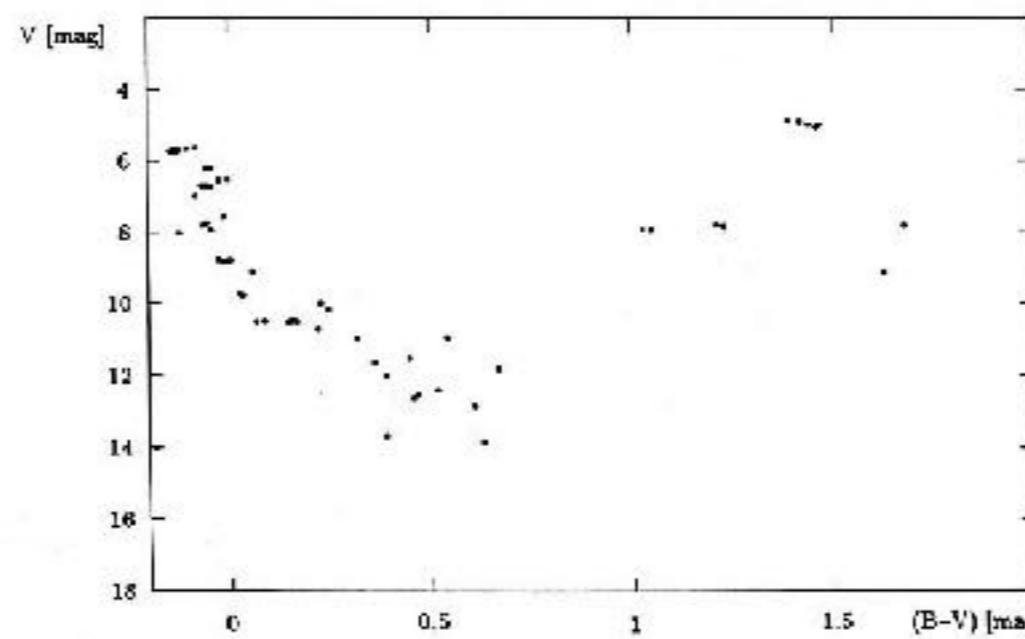
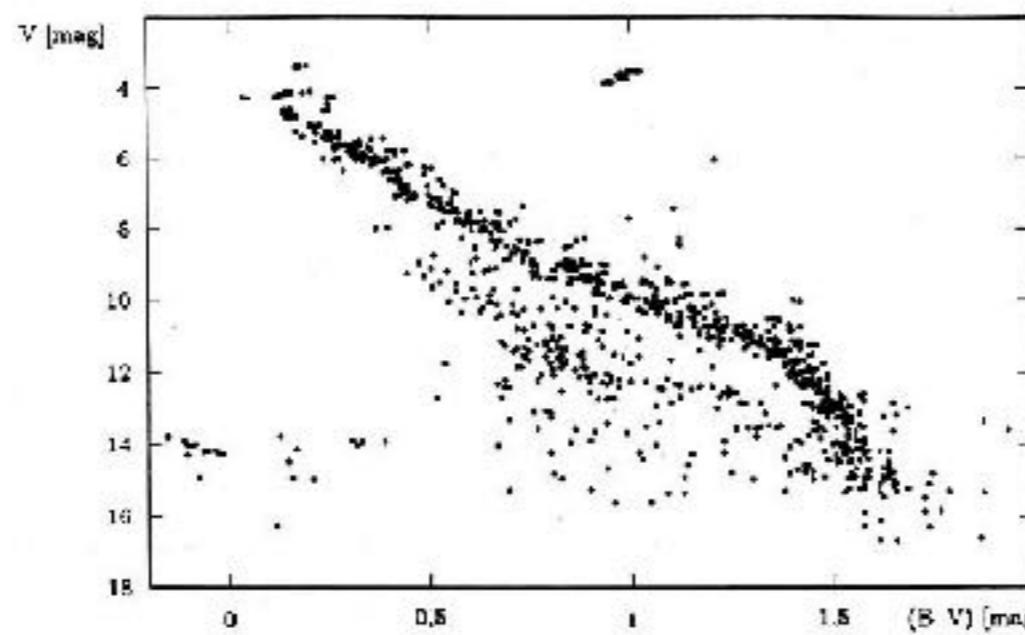
Alcione	h Tauri	2,86	B7 IIIe
Atlas	27 Tauri	3,62	B8 III
Electra	17 Tauri	3,7	B6 III
Maia	20 Tauri	3,86	B7 III
Merope	23 Tauri	4,17	B6 IV ev
Taygeta	19 Tauri	4,29	B6 V
Pleione	28 (BV) Tauri	5,09 (var.)	B8 IV ep
Celaeno	16 Tauri	5,44	B7 IV
Sterope & Asterope	21 & 22 Tauri	5,64 6,41	B8 Ve/B9 V
	18 Tauri	5,65	B8 V

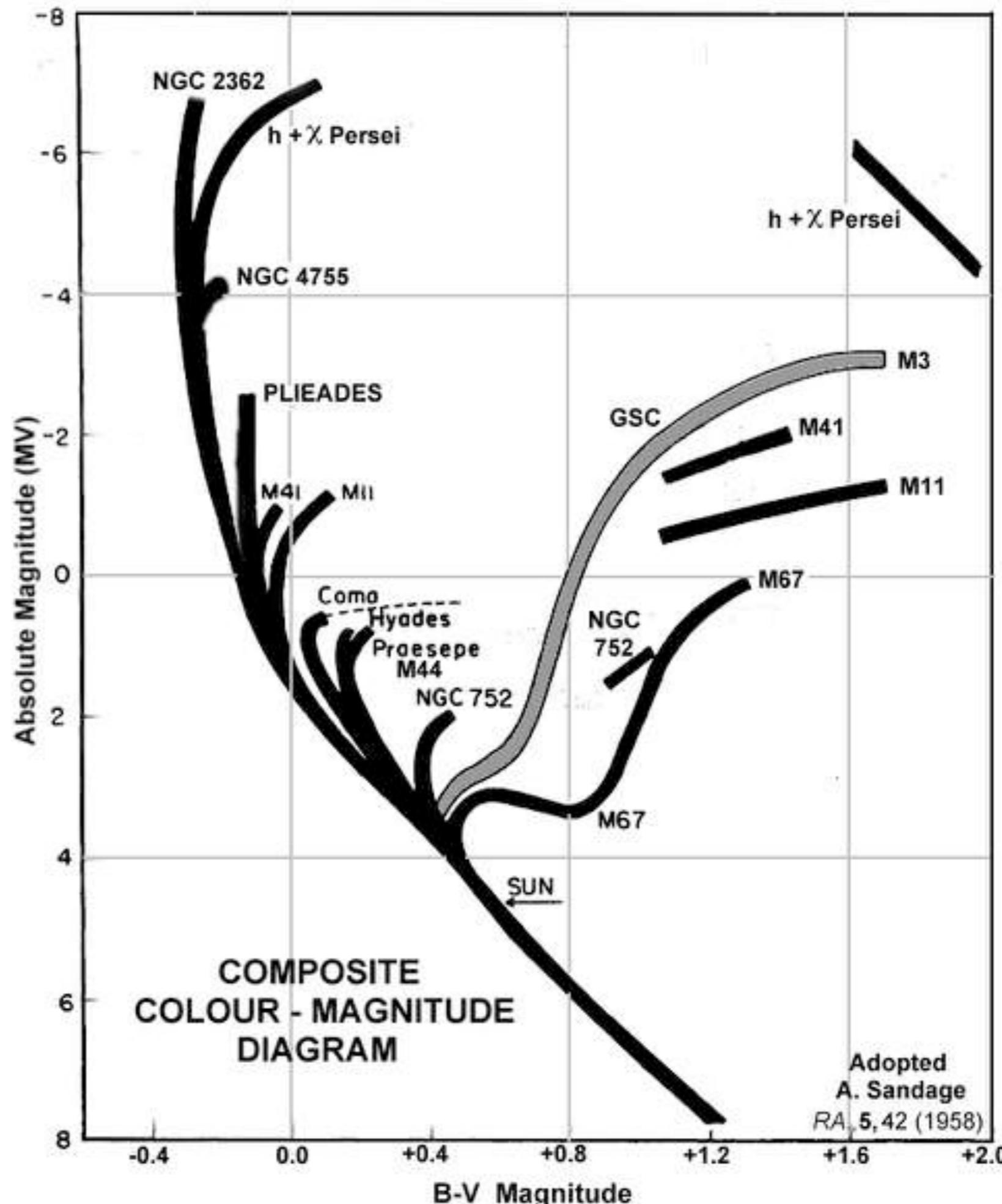


# Diagrama C-M cúmulo joven



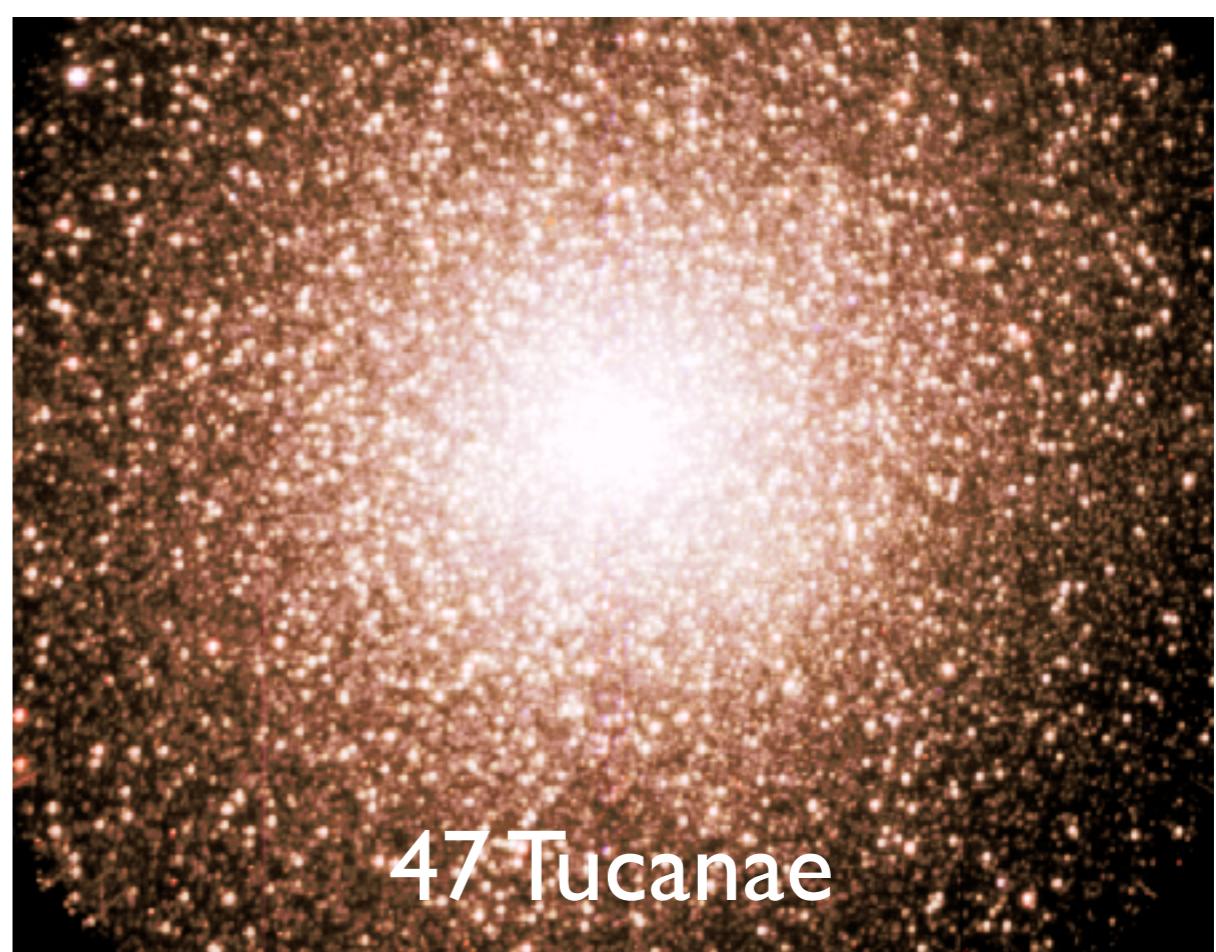
# Diagrama CM cúmulo abierto







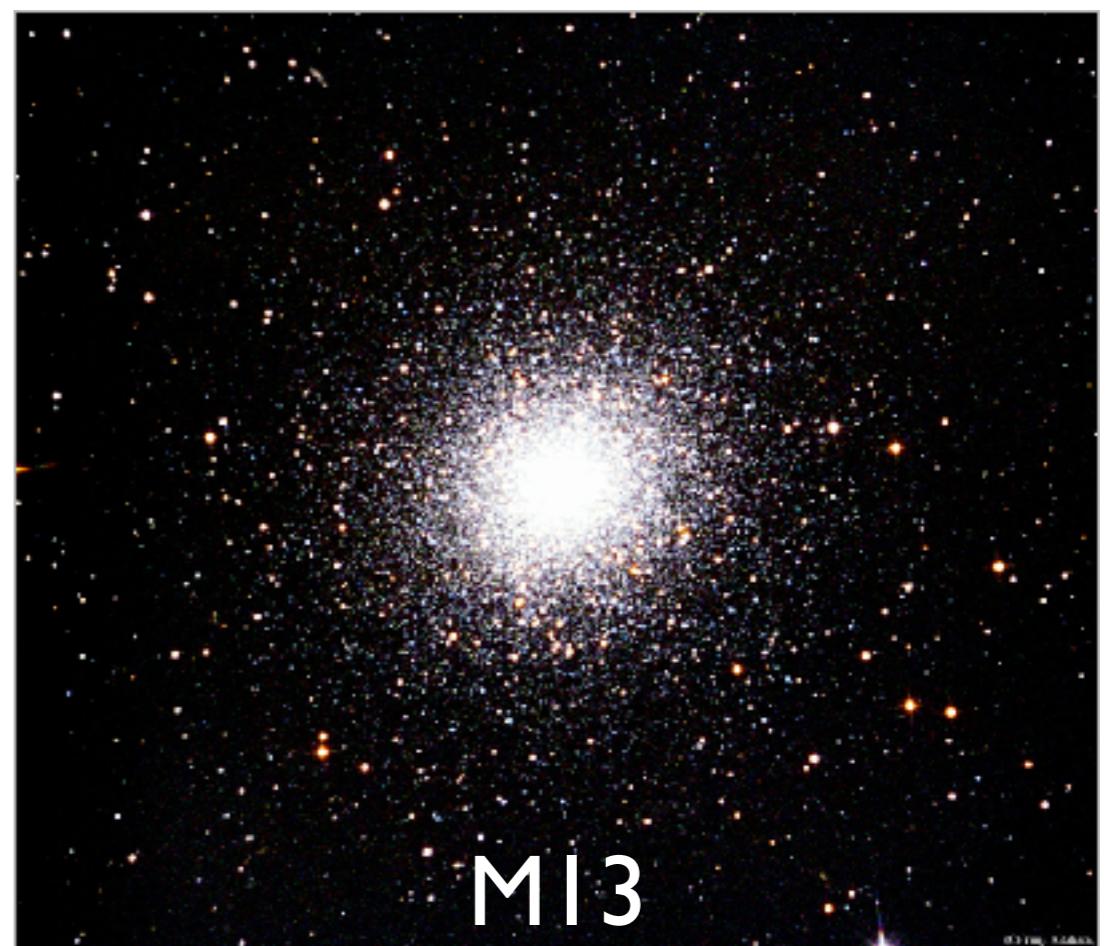
Omega-Centauri



47 Tucanae



M22

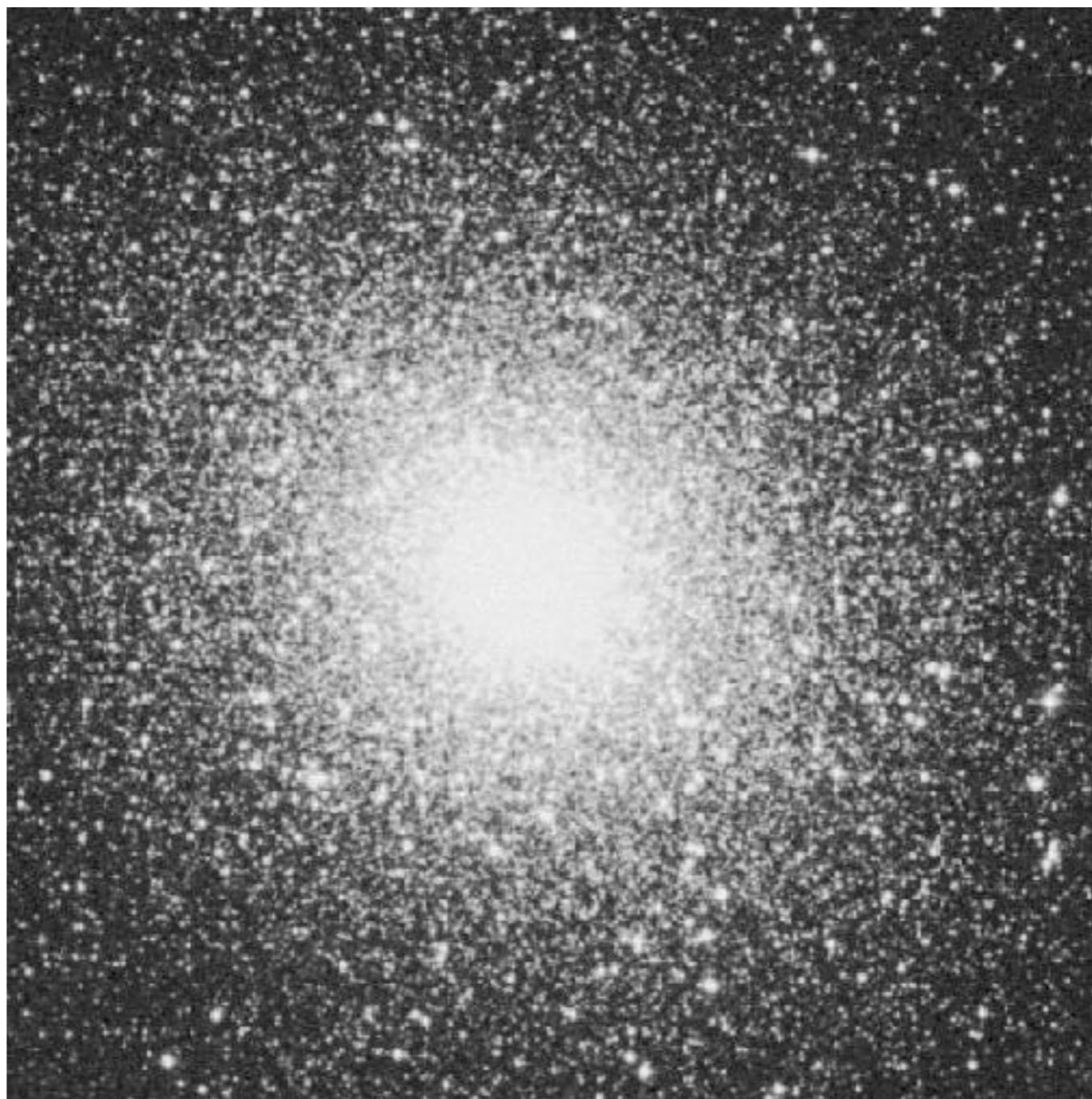


M13

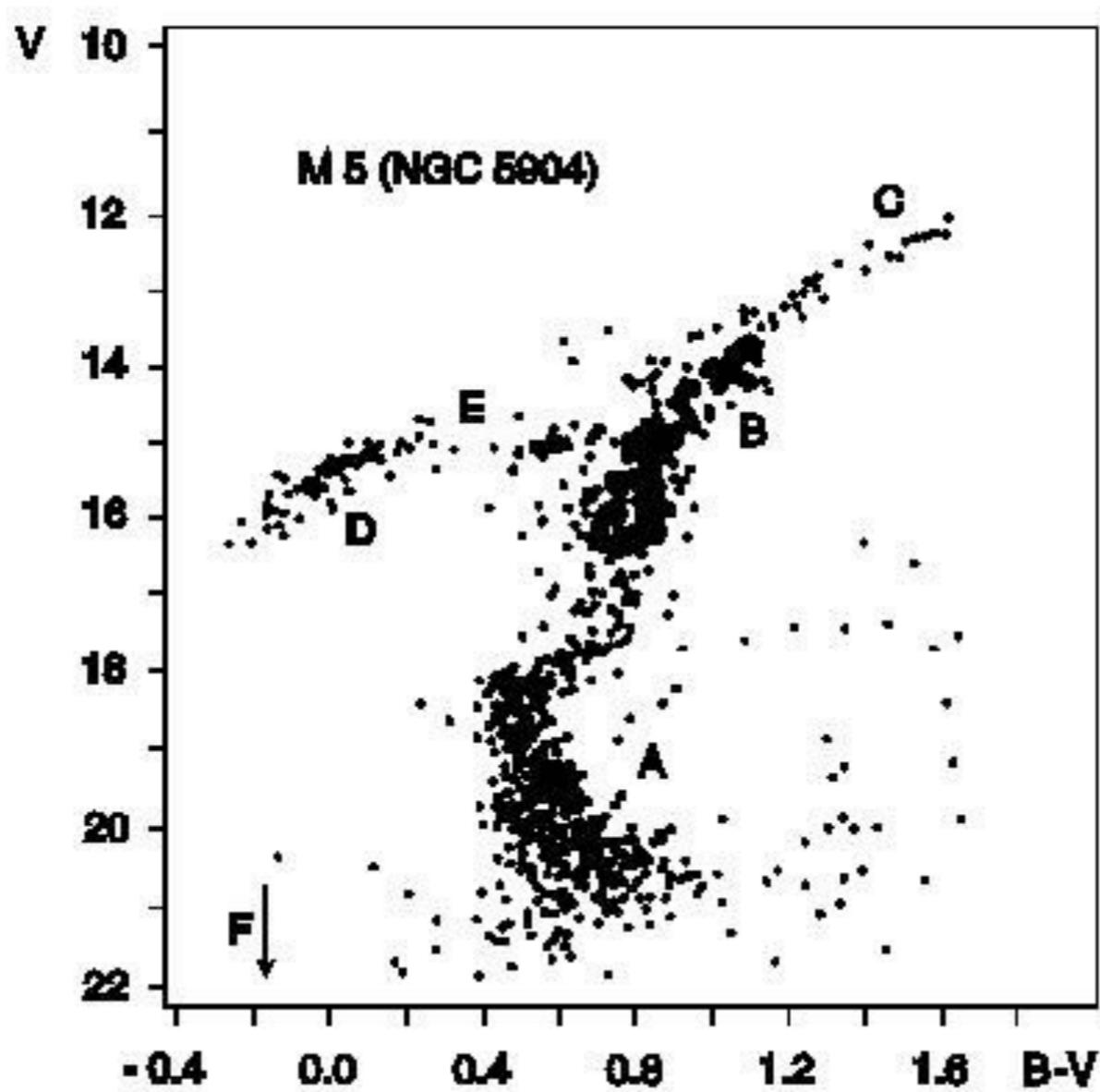
## Early Globular Cluster Discoveries

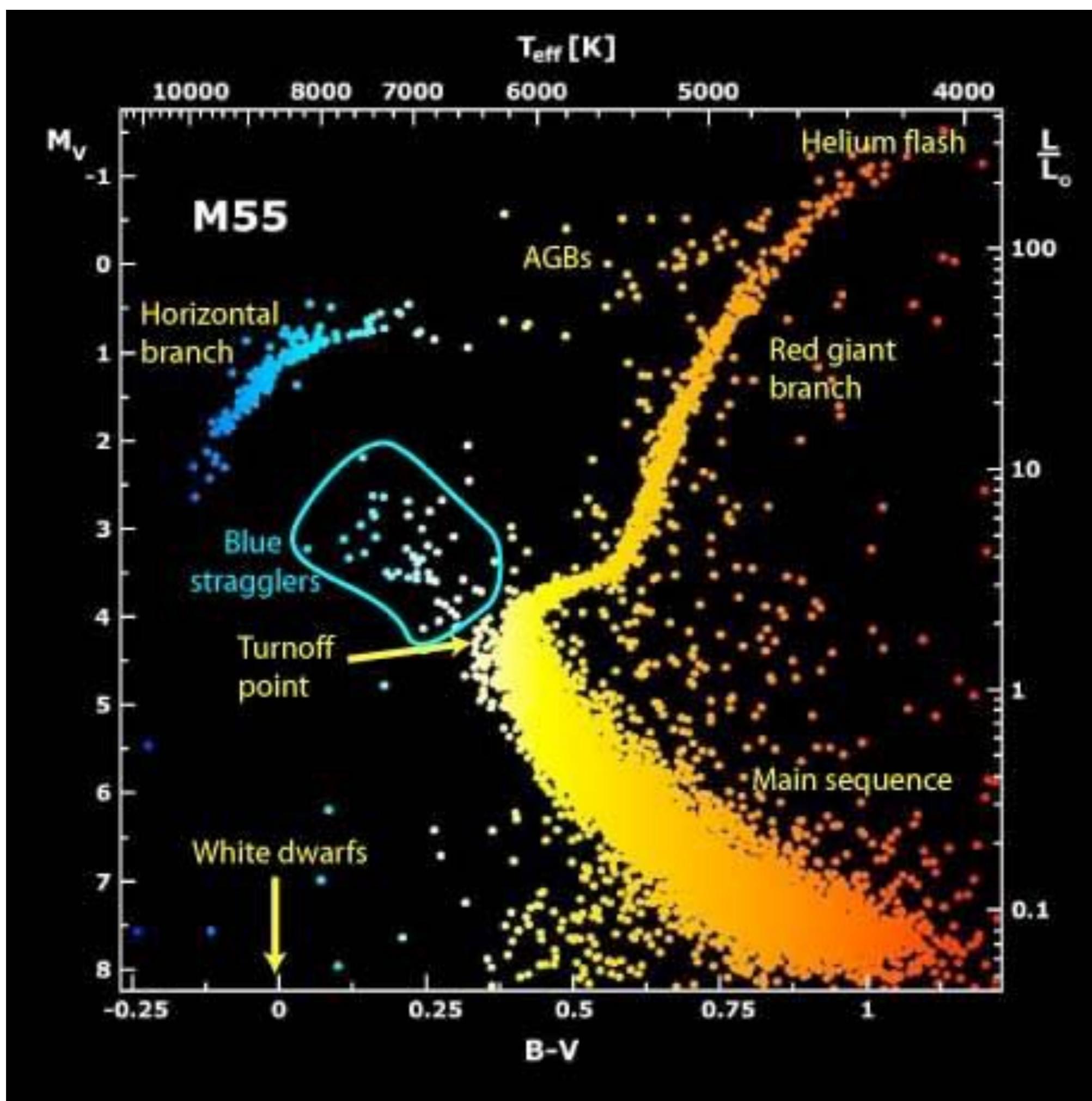
Cluster name	Discovered by	Year
M22	Abraham Ihle	1665
ω Cen	Edmond Halley	1677
M5	Gottfried Kirch	1702
M13	Edmond Halley	1714
M71	Philippe Loys de Chéseaux	1745
M4	Philippe Loys de Chéseaux	1746
M15	Jean-Dominique Maraldi	1746
M2	Jean-Dominique Maraldi	1746

# Cúmulo globular: M5

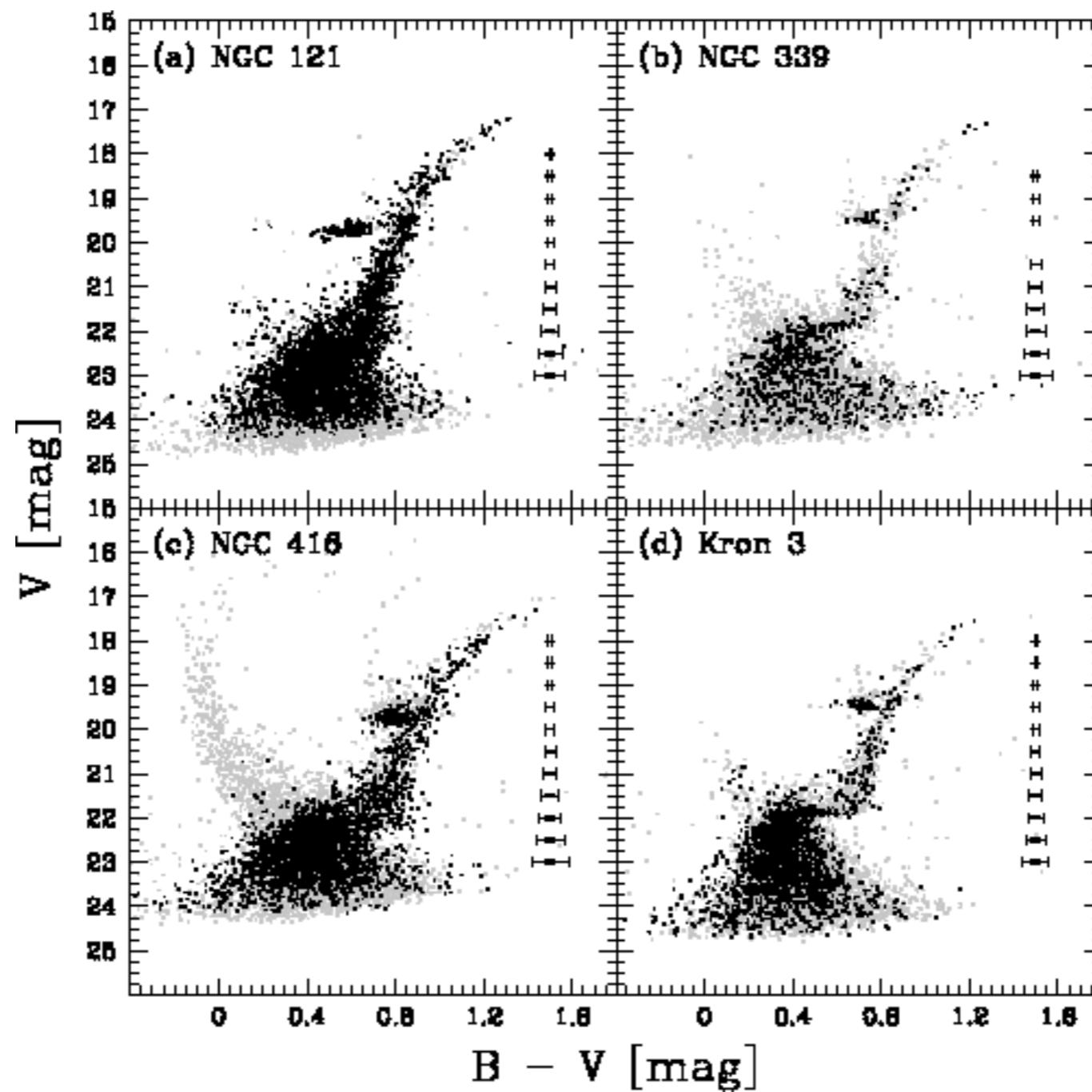


# Diagrama color-magnitud M5

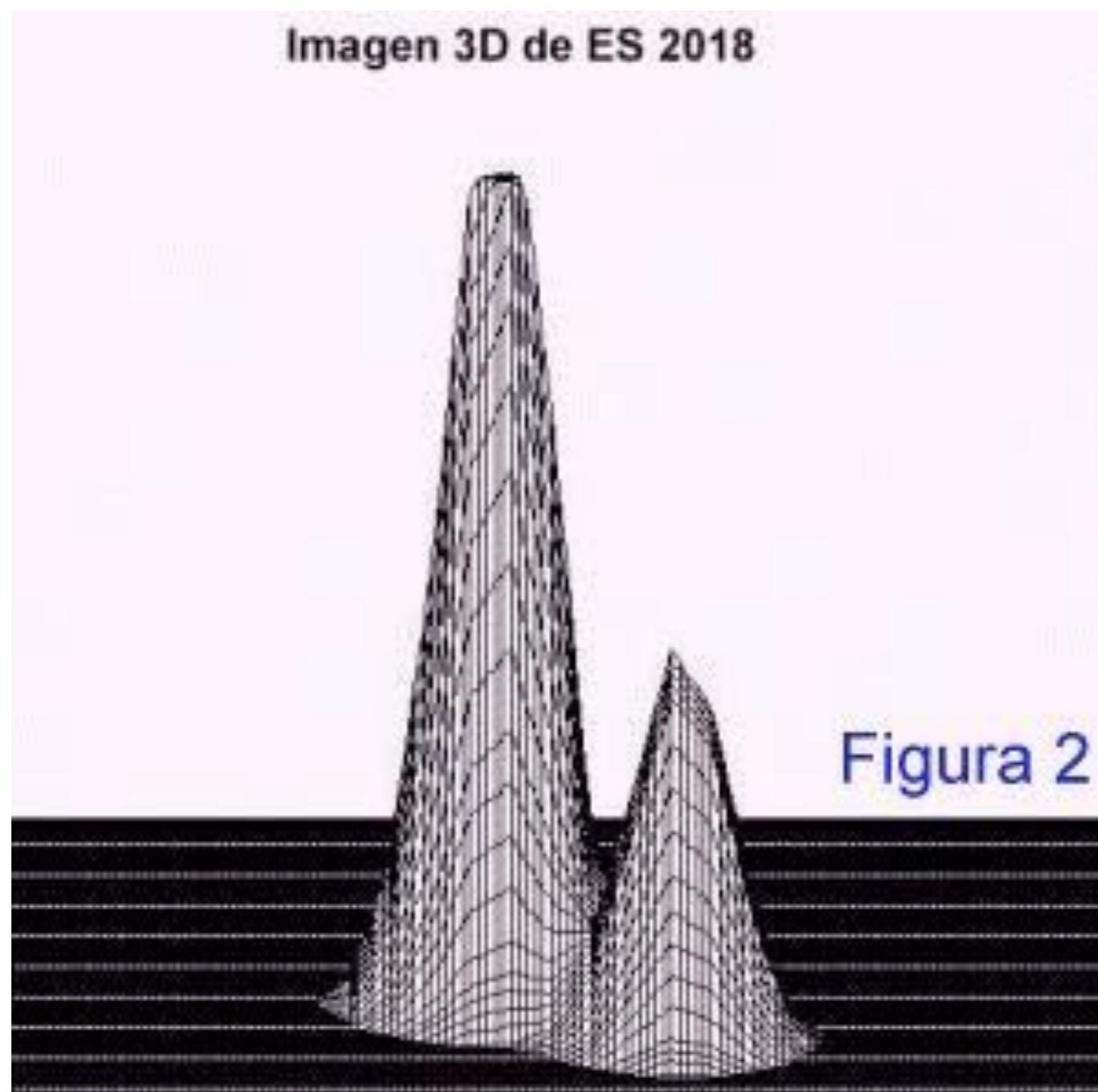




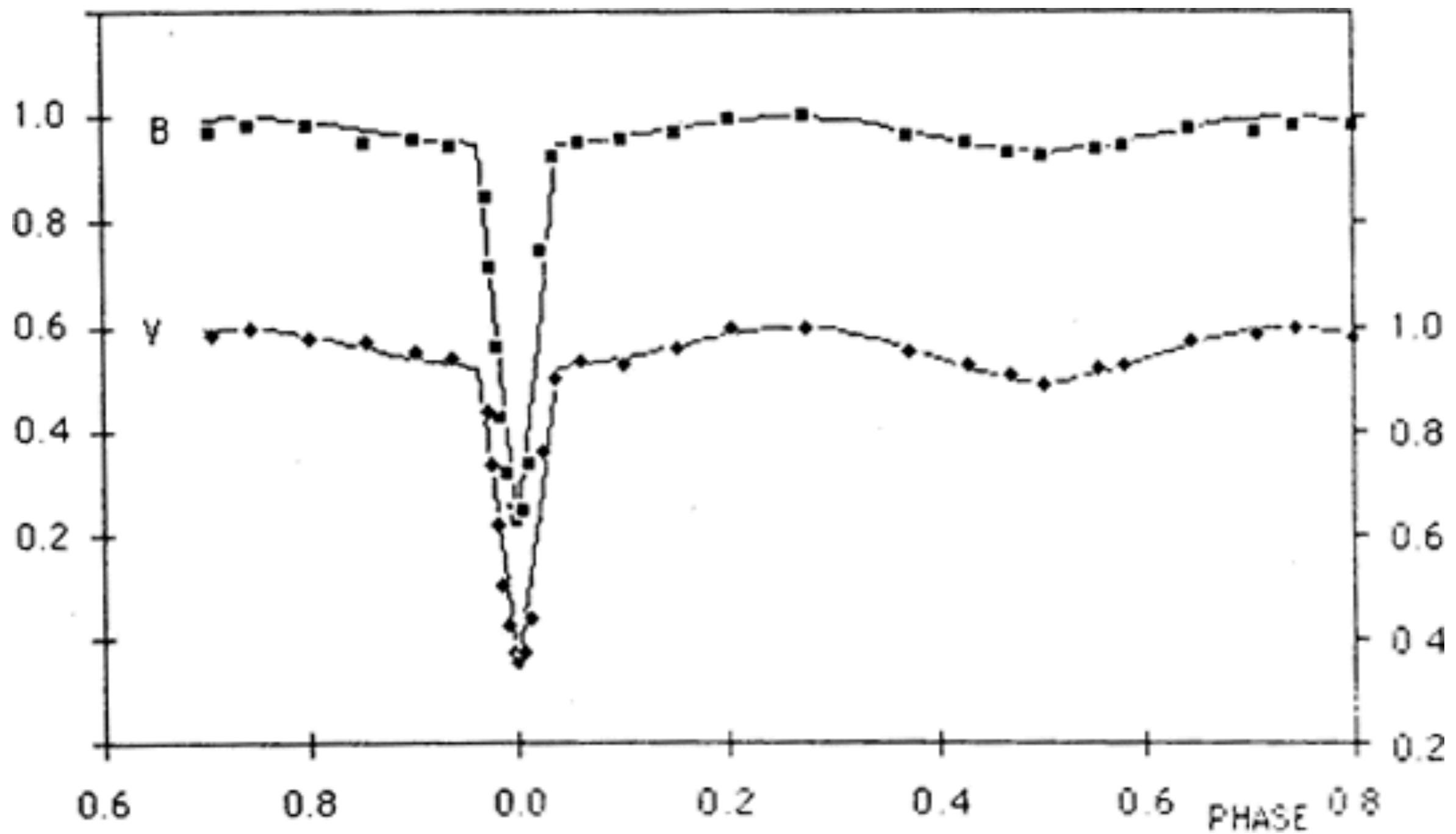
# Diagramas color-magnitud CG



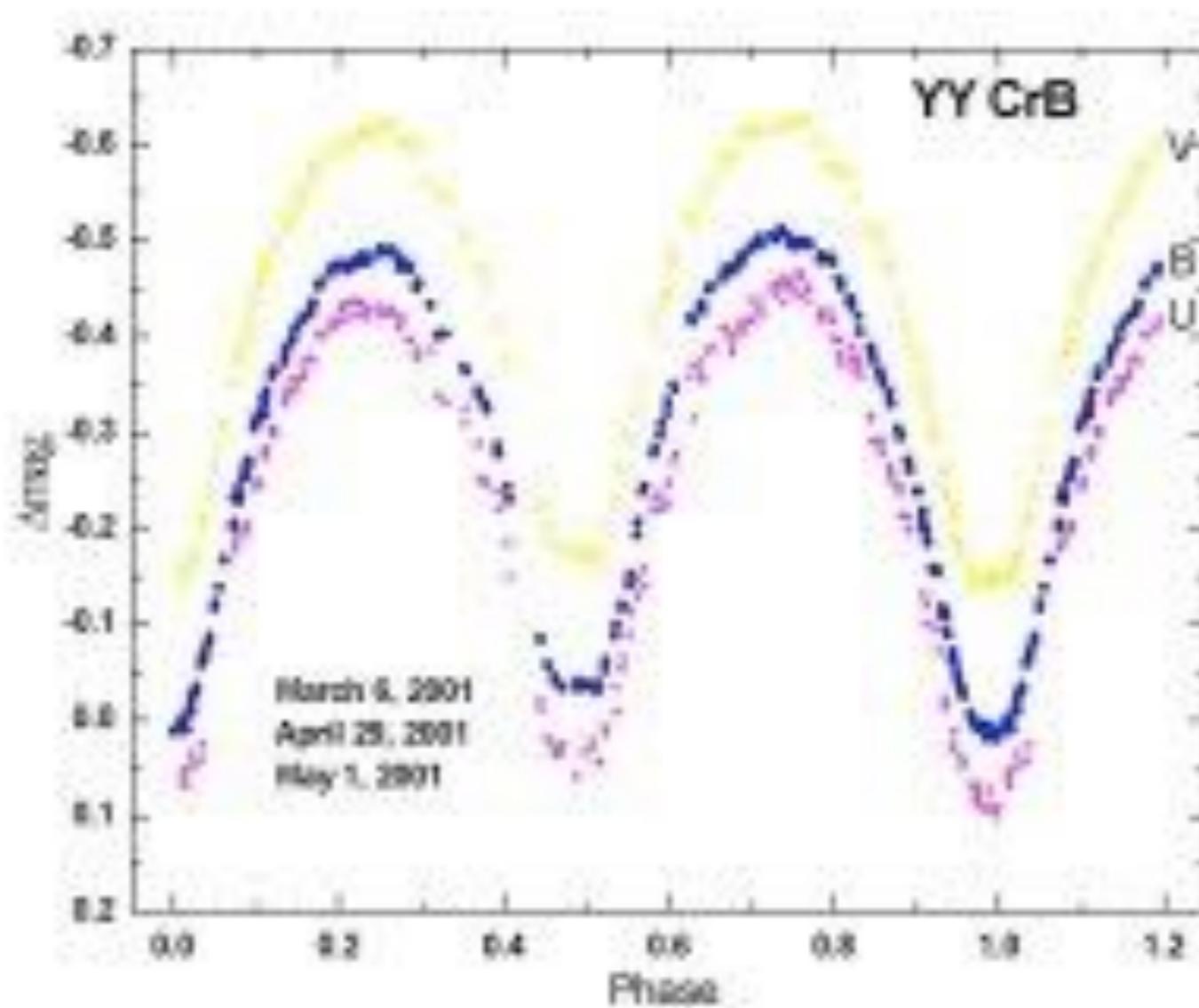
# Estrellas vecinas: PSF



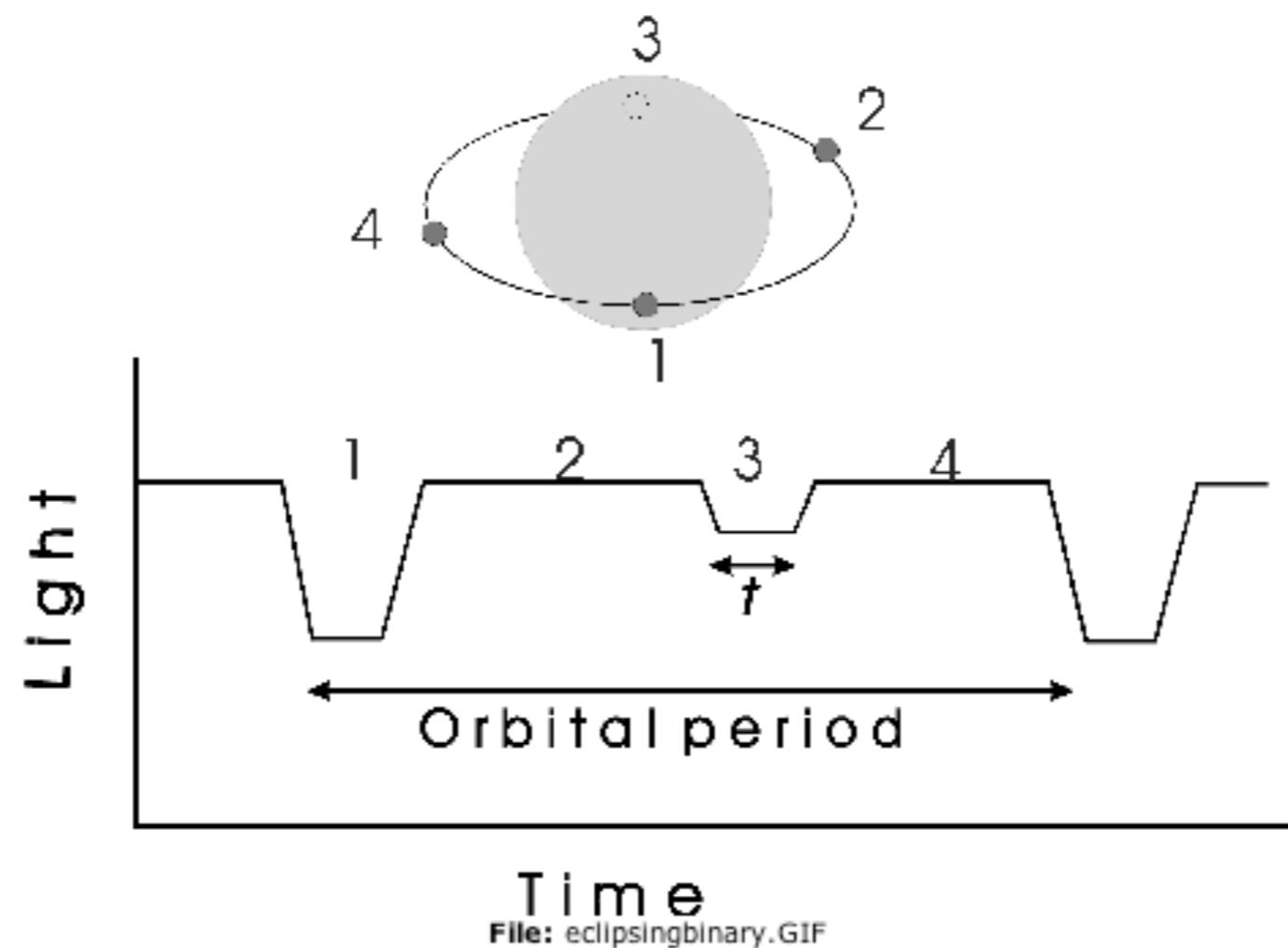
# Estrella variable



# Binaria eclipsante



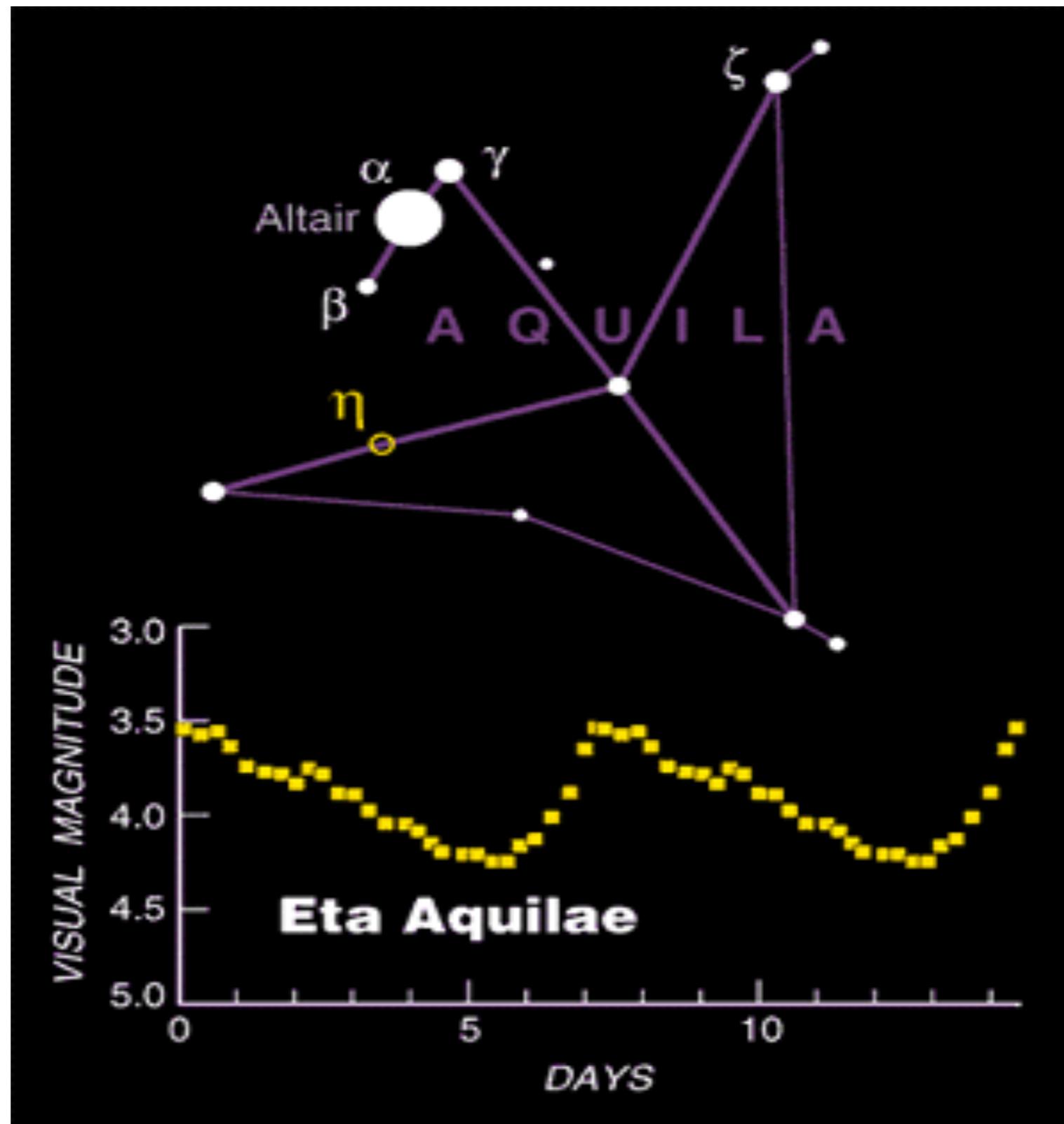
# Binarias fotométricas



# Las cefeidas son un caso interesante!!



# Ejemplo eta del águila





Henrietta Swan Leavitt, 1868-1921

# Annals of the Harvard College Observatory (1908)

## 1777 VARIABLES IN THE MAGELLANIC CLOUDS.

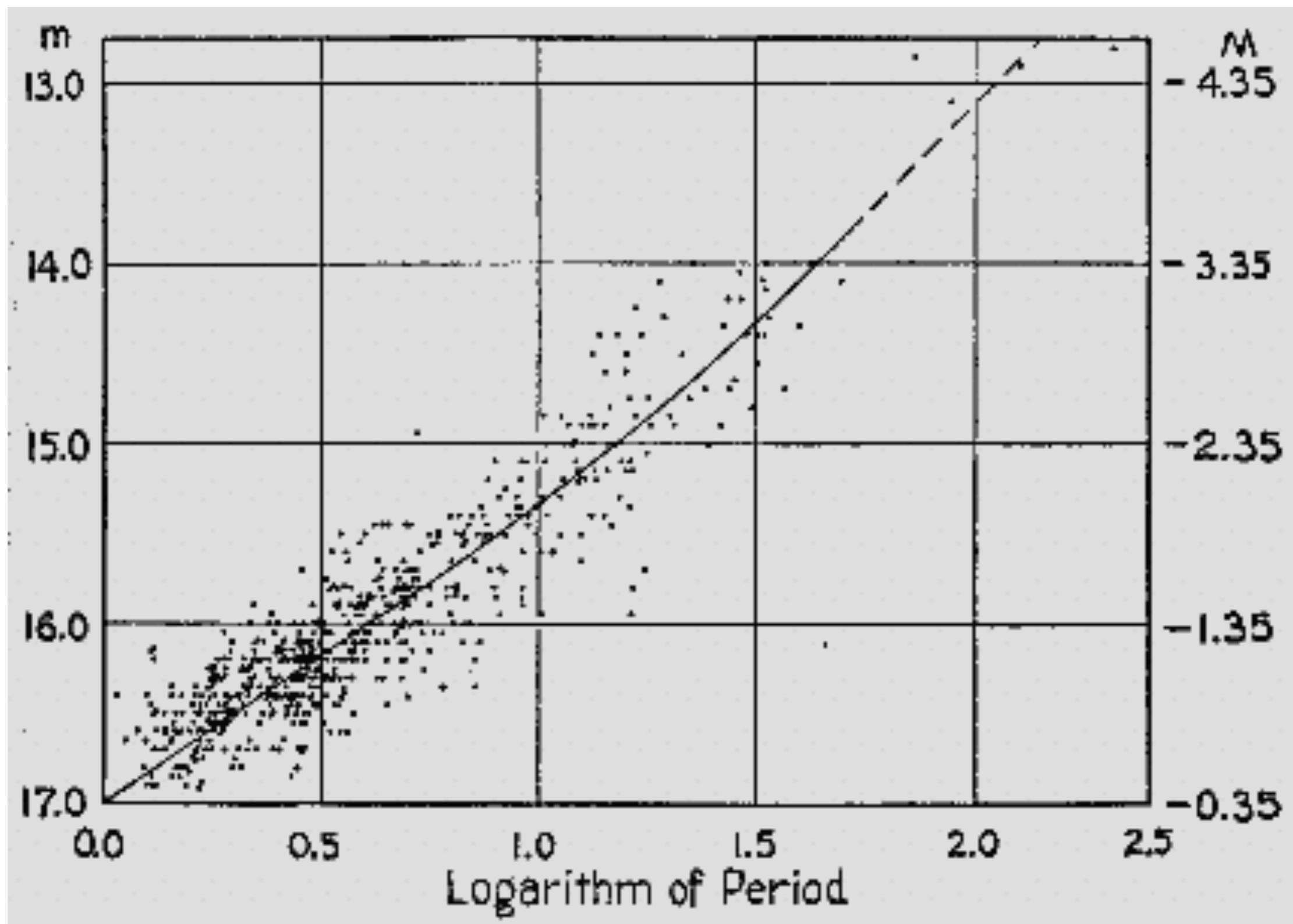
BY HENRIETTA S. LEAVITT.

---

IN the spring of 1904, a comparison of two photographs of the Small Magellanic Cloud, taken with the 24-inch Bruce Telescope, led to the discovery of a number of faint variable stars. As the region appeared to be interesting, other plates were examined, and although the quality of most of these was below the usual high standard of excellence of the later plates, 57 new variables were found, and announced in Circular 79. In order to furnish material for determining their periods, a series of sixteen plates, having exposures of from two to four hours, was taken with the Bruce Telescope the following autumn. When they arrived at Cambridge, in January, 1905, a comparison of one of them with an early plate led immediately to the discovery of an extraordinary number of new variable stars. It was found, also, that plates, taken within two or three days of each other, could be compared with equally interesting results, showing that the periods of many of the variables are short. The number thus discovered, up to the present time, is 969. Adding to these 23 previously known, the total number of variables in this region is 992. The Large Magellanic Cloud has also been examined on 18 photographs taken with the 24-inch Bruce Telescope, and 808 new variables have been found, of which 152 were announced in Circular 82. As much time will be required for the discussion of these variables, the provisional catalogues given below have been prepared.

The labor of determining the precise right ascensions and declinations of nearly eighteen hundred variables and several hundred comparison stars would be very great, and as many of the objects are faint, the resulting positions could not readily be used in locating them. Accordingly, their rectangular coordinates have been employed. A reticule was prepared by making a photographic enlargement of a glass plate ruled accurately in squares, a millimetre on a side. The resulting plate measured 14 × 17 inches, the size of the Bruce plates, and was covered with squares measuring a centimetre on a side. Great care was taken to have the scale uniform in all parts of this plate, which was designed to furnish a standard reticule, not only for the Magellanic

# Relación período-luminosidad

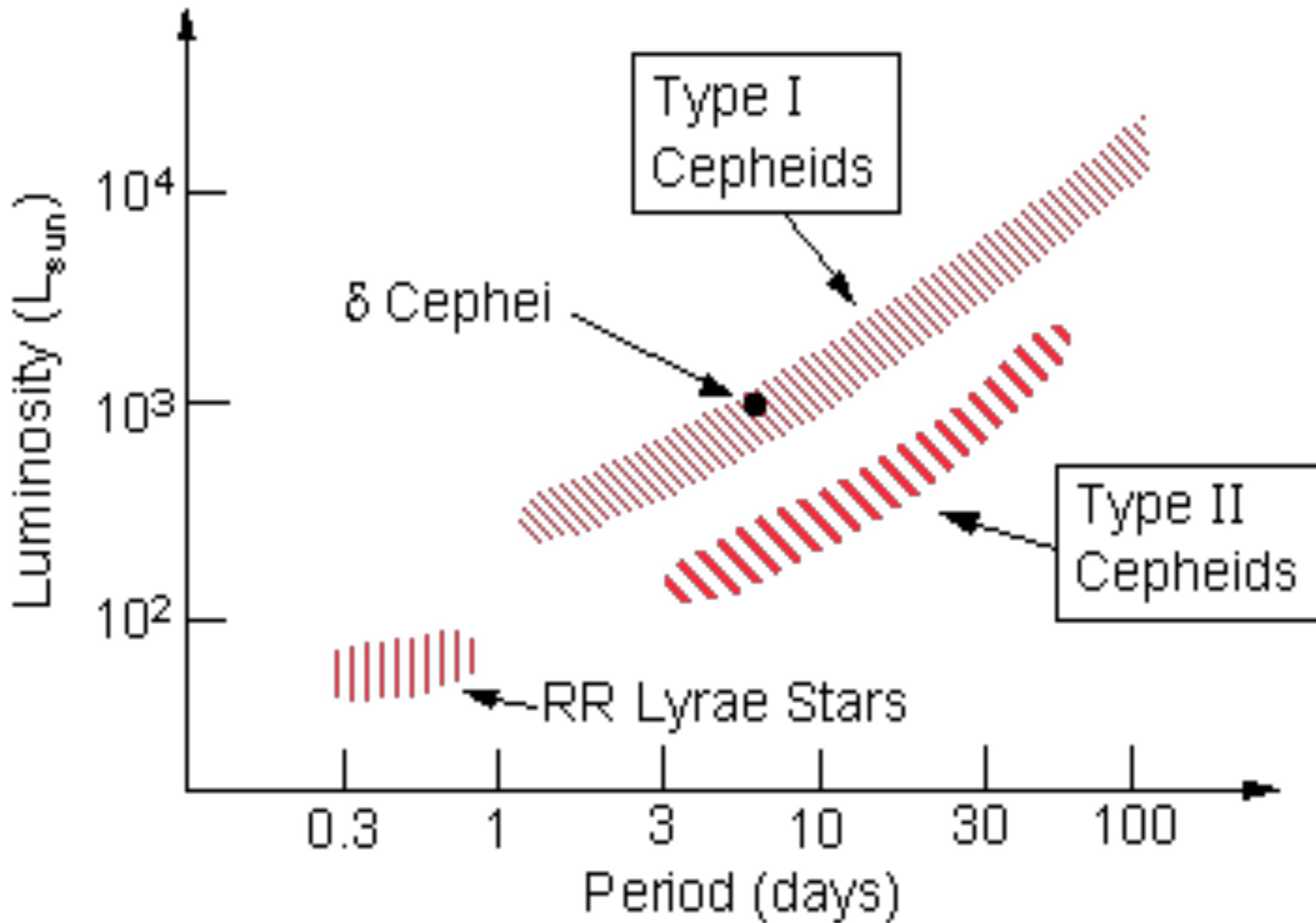


# Relación periodo-luminosidad

- Para estrellas Cefeidas de la población I conocidas como Cefeidas clásicas se tiene:

$$M_V = -2.8 \log P - (1.43 \pm 0.1)$$

# Luminosidad versus período



# Corrección bolométrica

$$M_b = M_V + BC$$

$$V_\odot = -26.75 \quad M_{V,\odot} = 4.82$$

$$L/L_\odot = 10^{0.4(4.75 - M_b)}$$

# Temperatura efectiva de una estrella

$$\frac{L}{4\pi R^2} = \sigma T_{ef}^4, \quad \sigma \simeq 5.67 \times 10^{-8} \text{ } W \text{ } m^{-2} \text{ } K^{-4}$$

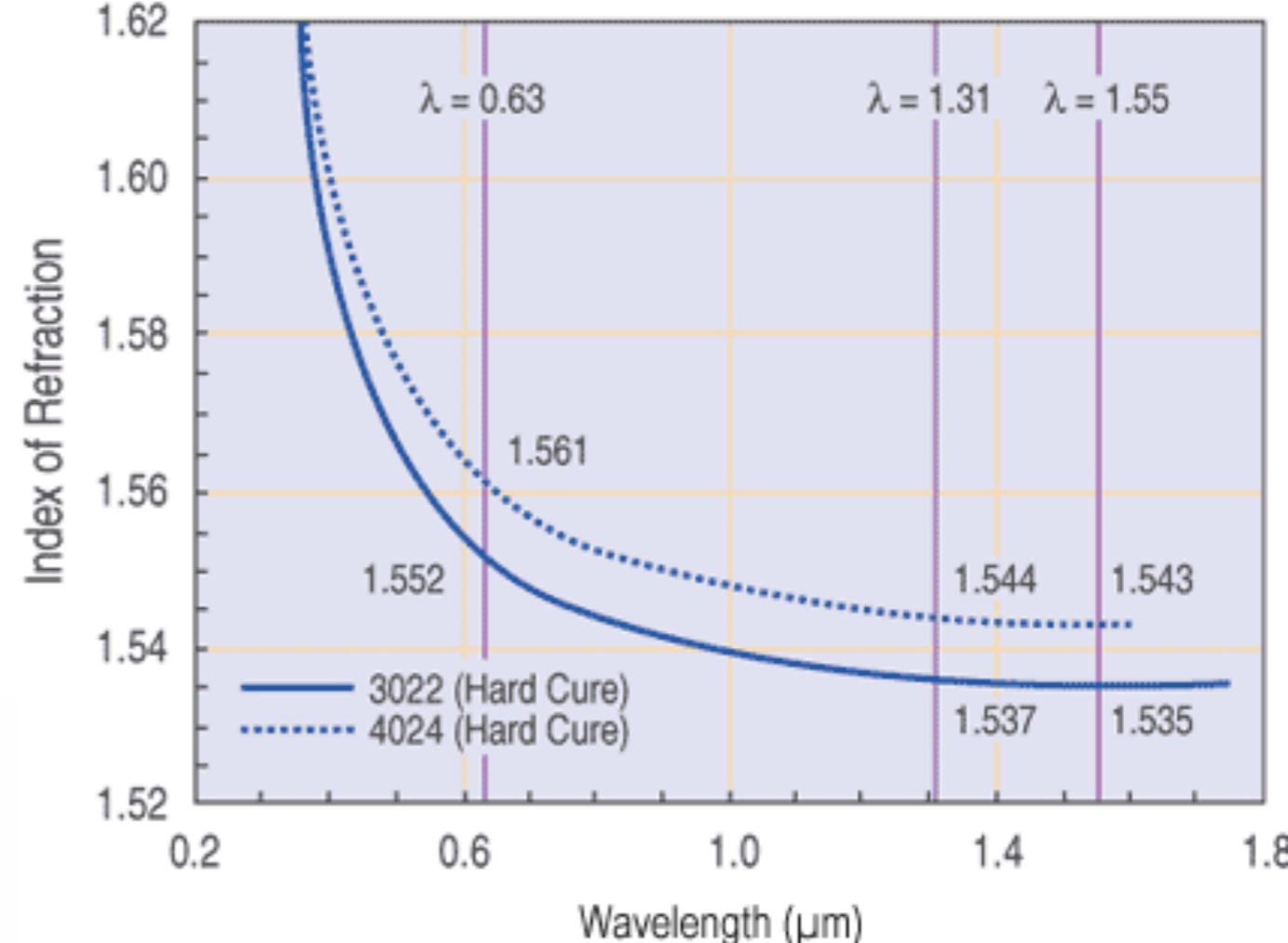
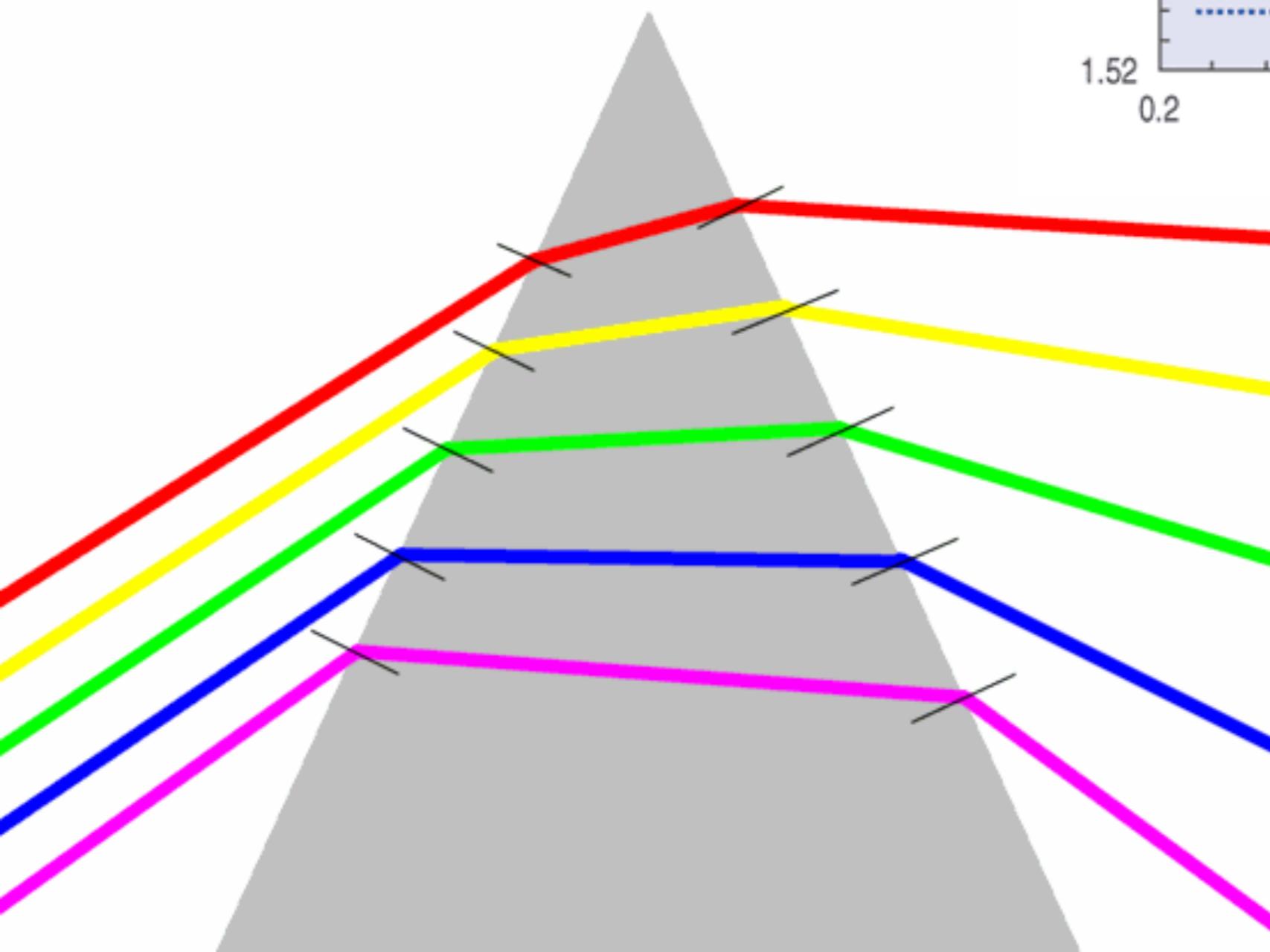
$$T_{ef,\odot} \simeq 5777 \text{K}$$

C. van 't Veer-Menneret y C. Mégessier, A&A vol.309, págs. 879-891 (1996)

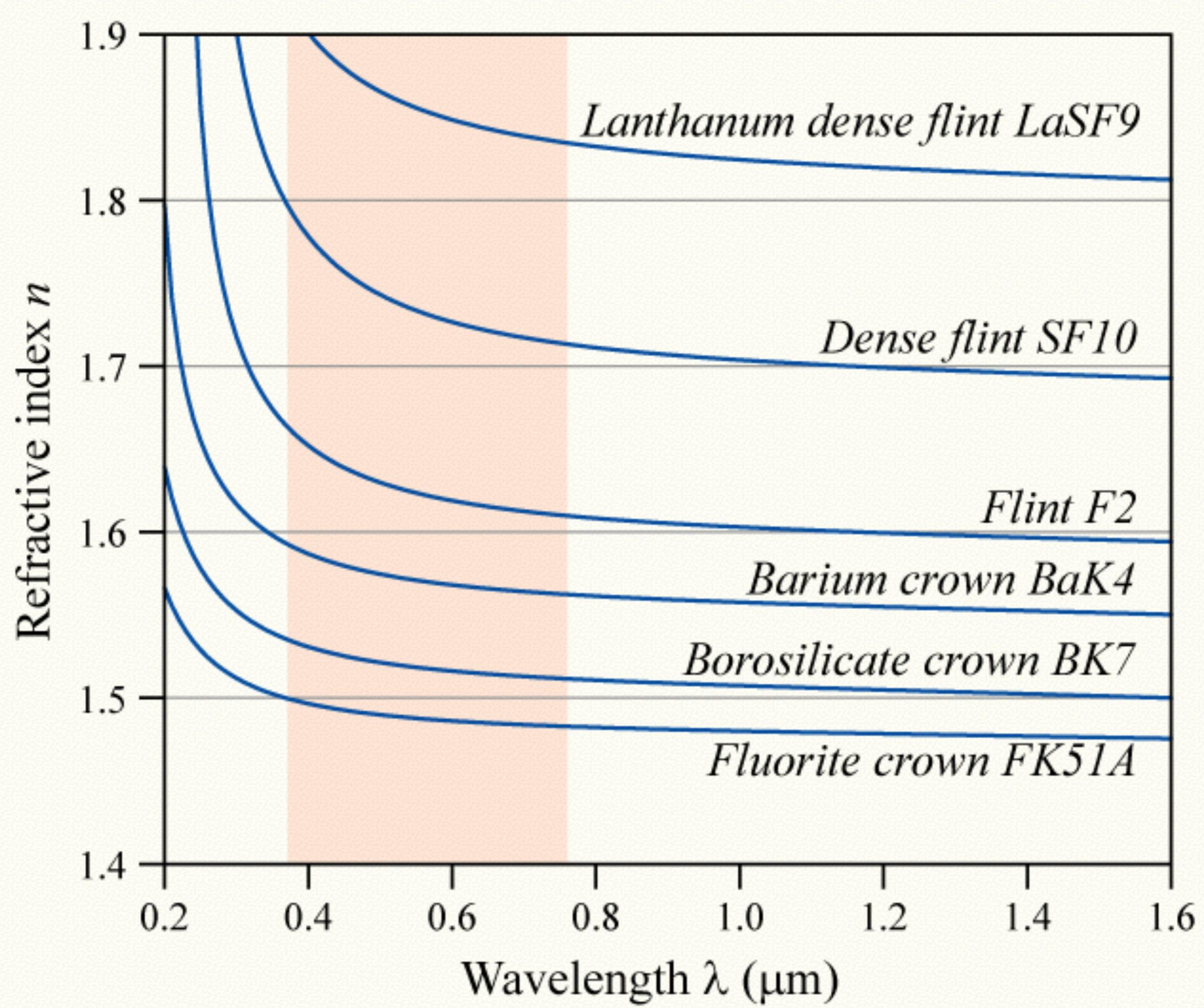
# ¿Qué es espectroscopia?

- La espectroscopia es el uso de la luz, el sonido, o flujo de partículas, para estudiar la materia.
- Nosotros estudiaremos la espectroscopia en la radiación electromagnética.
- Los dispositivos para el estudio de los espectros se denominan espectrógrafos o espectroscopios. Estos últimos usualmente son utilizados en la observación visual de los espectros (luz visible).

El índice de refracción de un medio transparente depende de la longitud de onda.



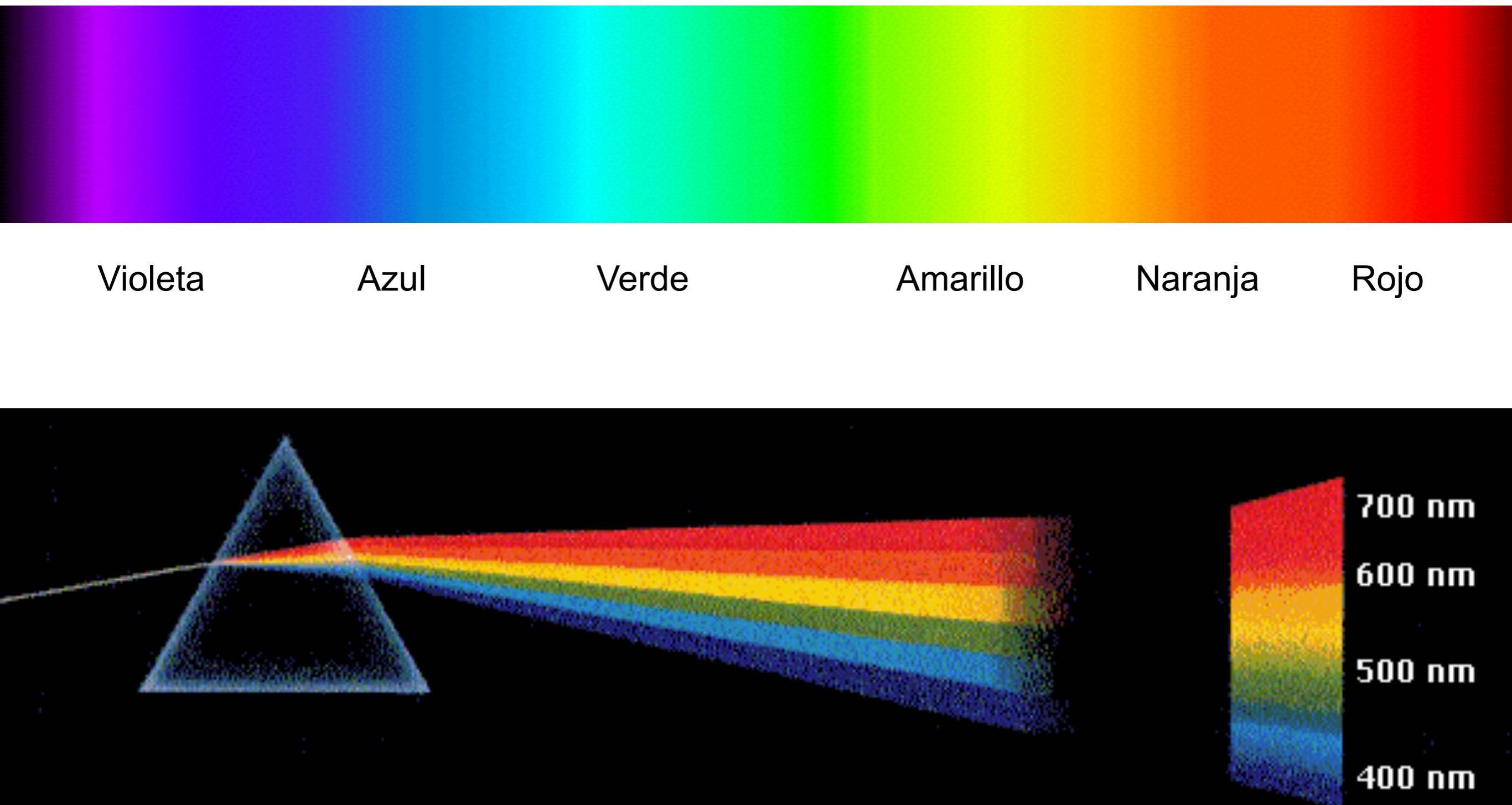
Consecuencia: los colores se dispersan, es decir, cada uno a la salida del prisma toma una dirección.



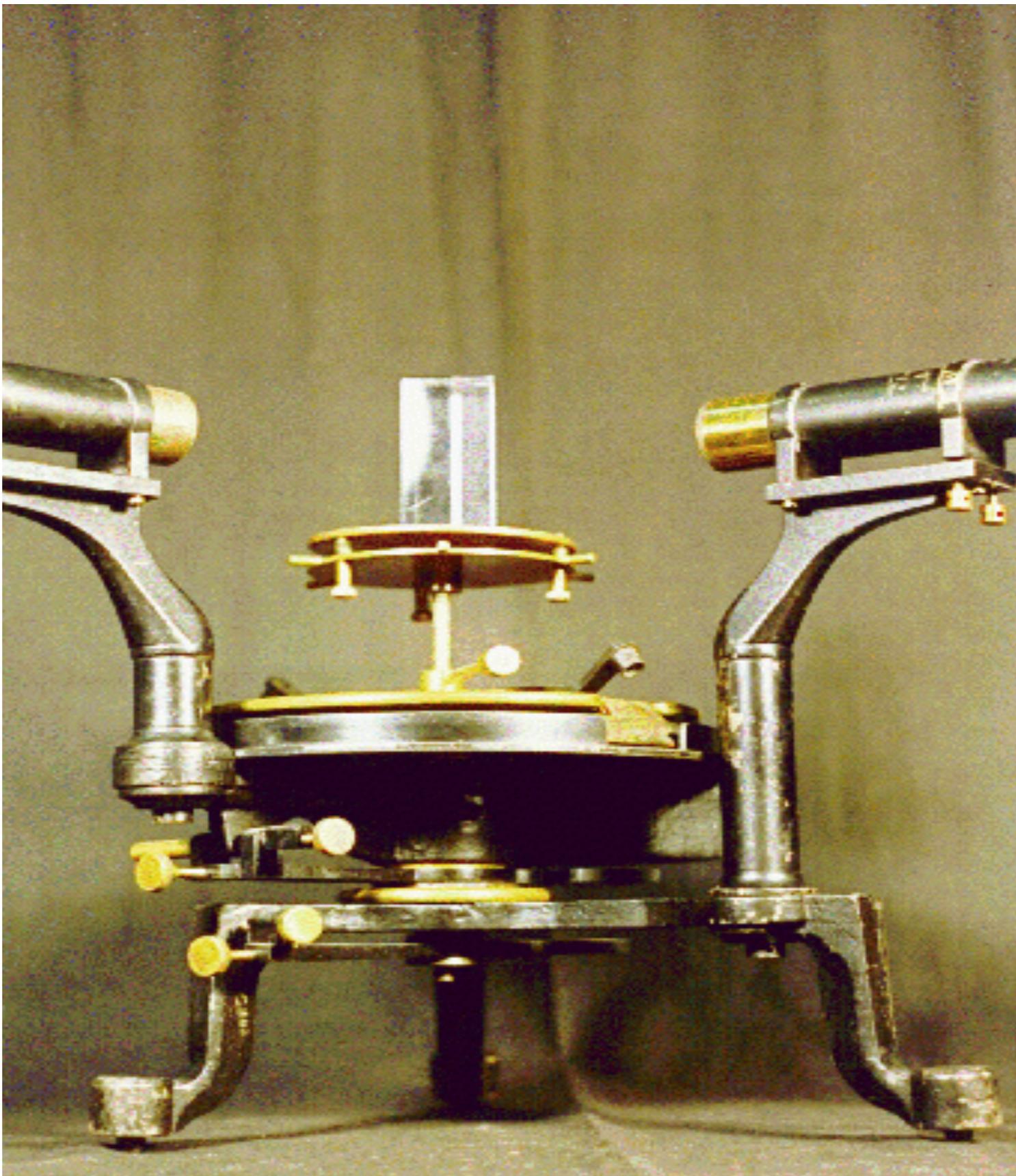
Newton (1666,1704): el espectro es la descomposición de la imagen del Sol en los colores que emite



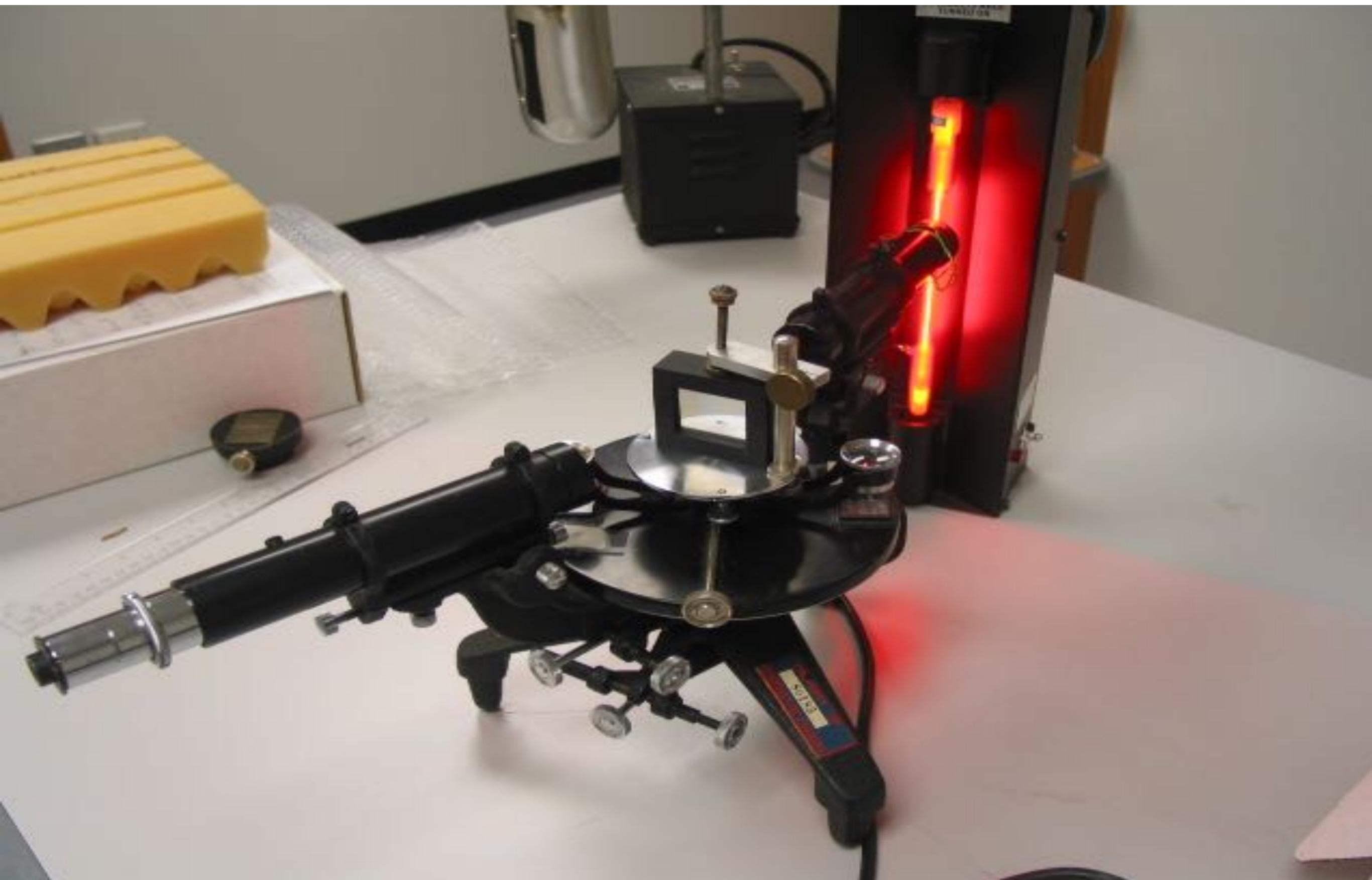
# Espectro continuo



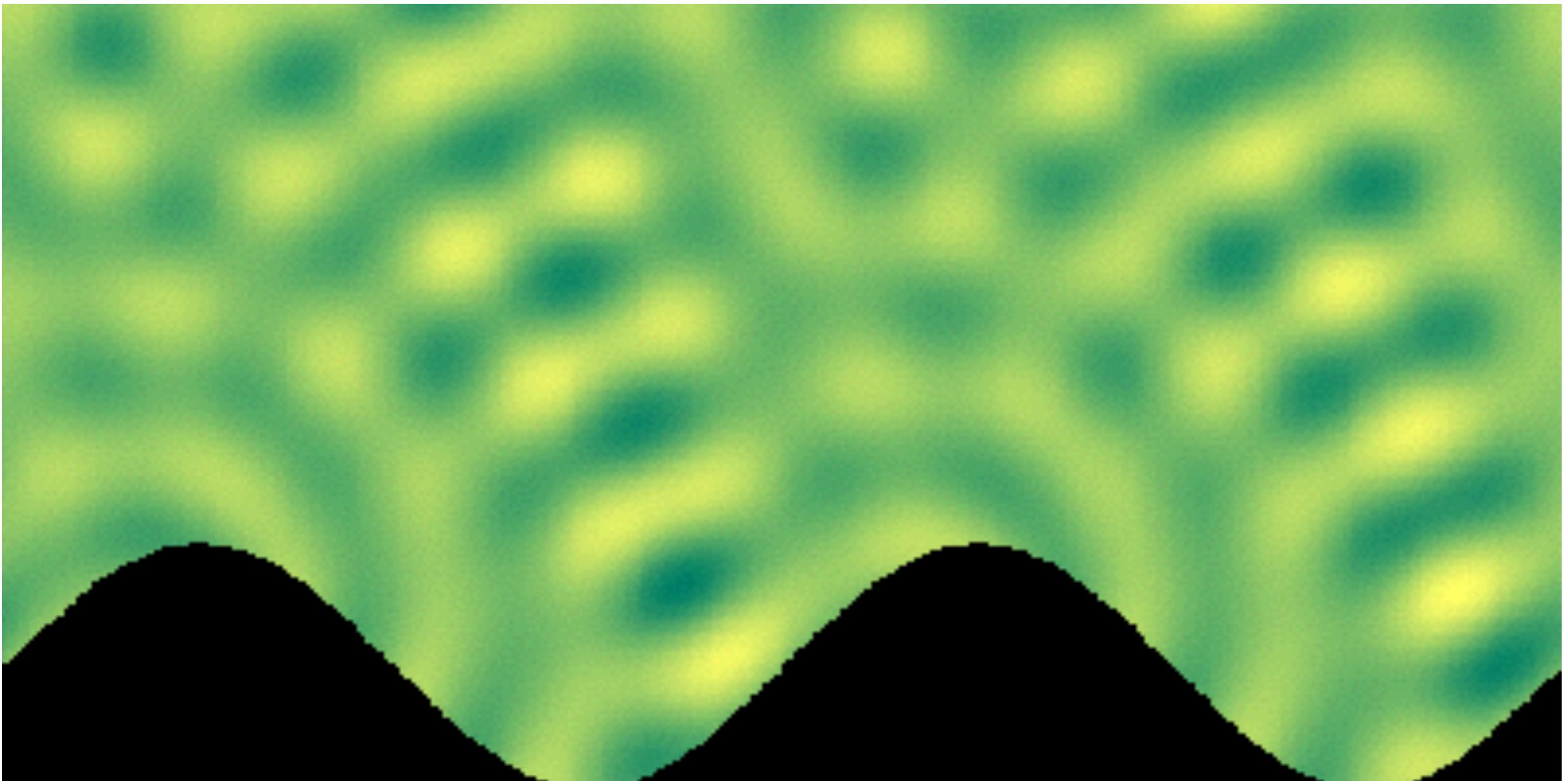
# Espectroscopio a prisma



# Espectroscopio óptico



# Rejilla de difracción



$O^{-1} [E^3 nm]$

2

4

6

8

8

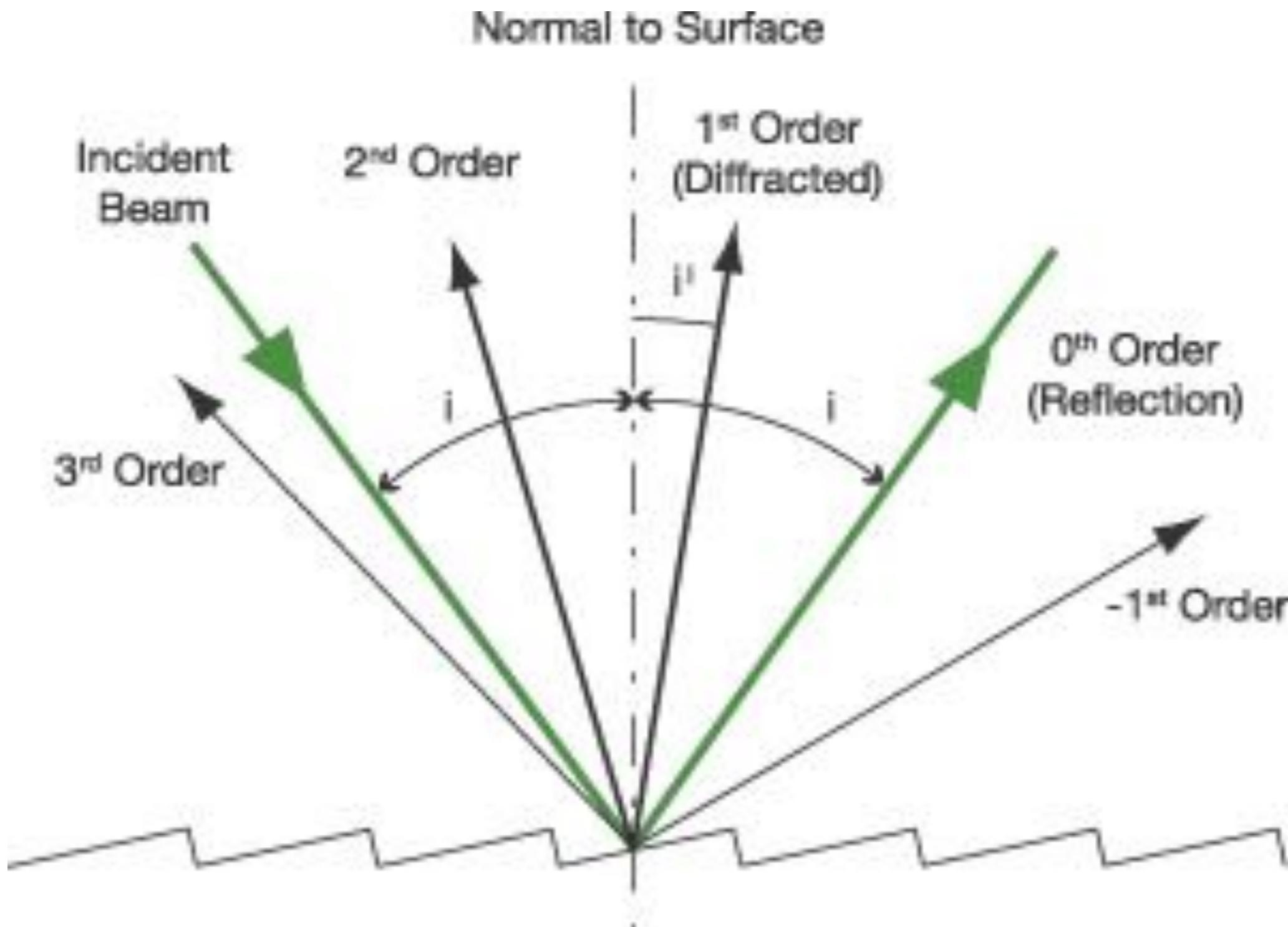
0

2

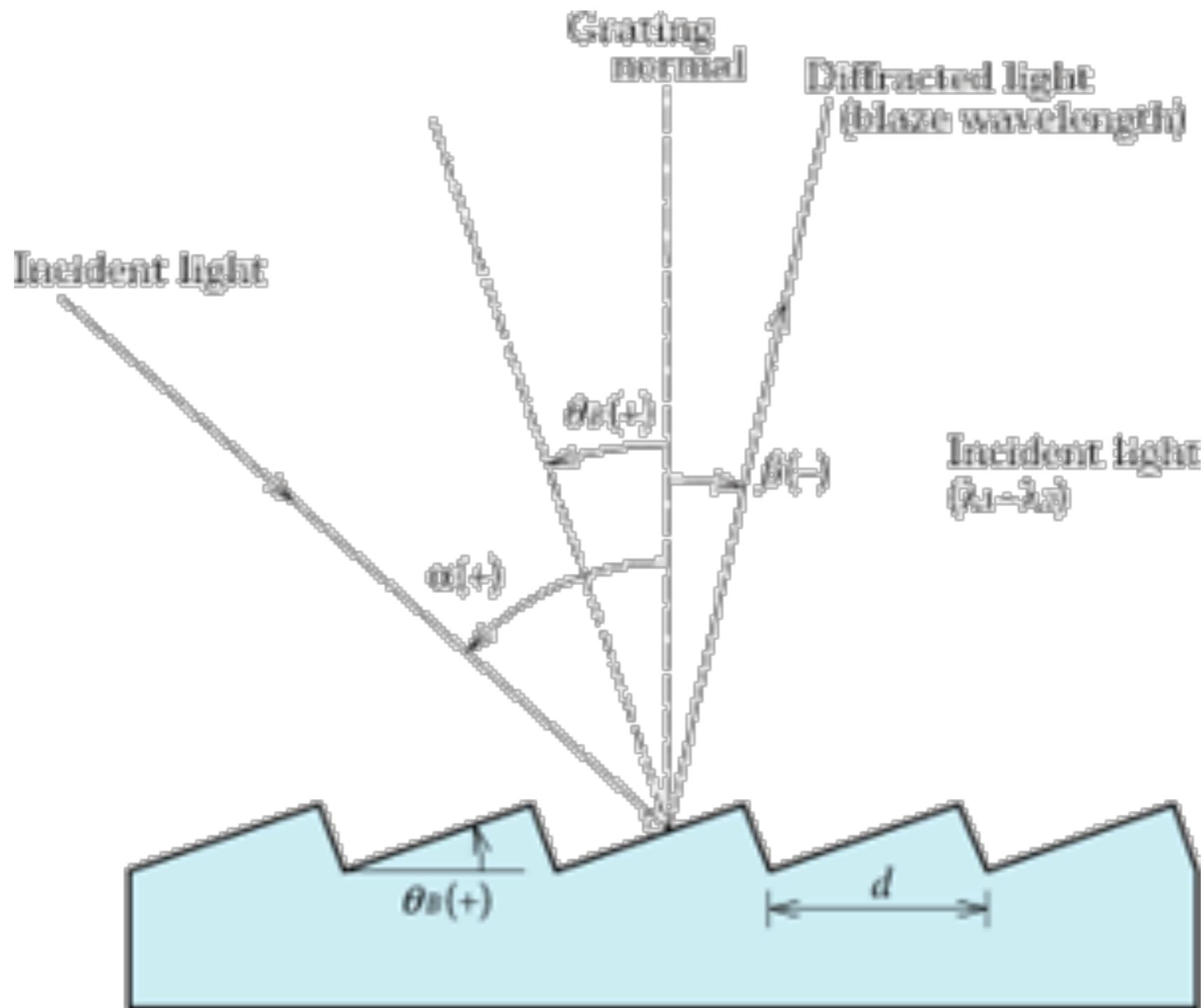
4

6

# Rejilla de difracción: principio



# Ángulo *Blaze* de una rejilla de difracción.



# Ecuación de la rejilla

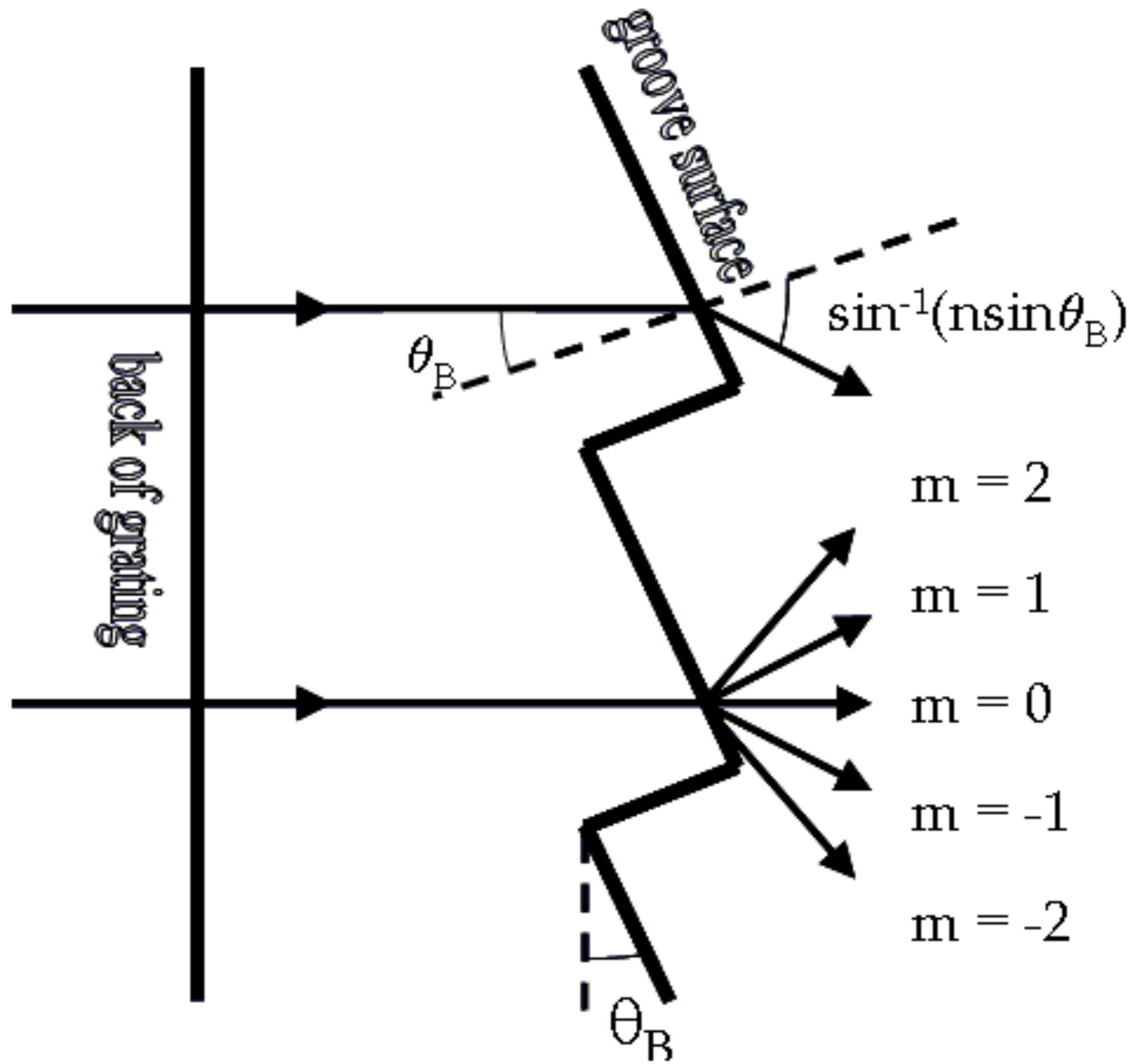
$$a(\sin \alpha - \sin \beta) = m\lambda$$

Siendo:  $m$  orden de difracción (entero)

$\alpha$  Ángulo de incidencia

$\beta$  Ángulo de dispersión

$a$  distancia entre líneas



# Relación angular de dispersión

$$\frac{d\beta}{d\lambda} = \frac{m}{a \cos \lambda}$$

# Relación lineal de dispersión

$$\frac{d\lambda}{dx} = \frac{a \cos \beta}{mF}$$

# Resolución espectral

Definición:

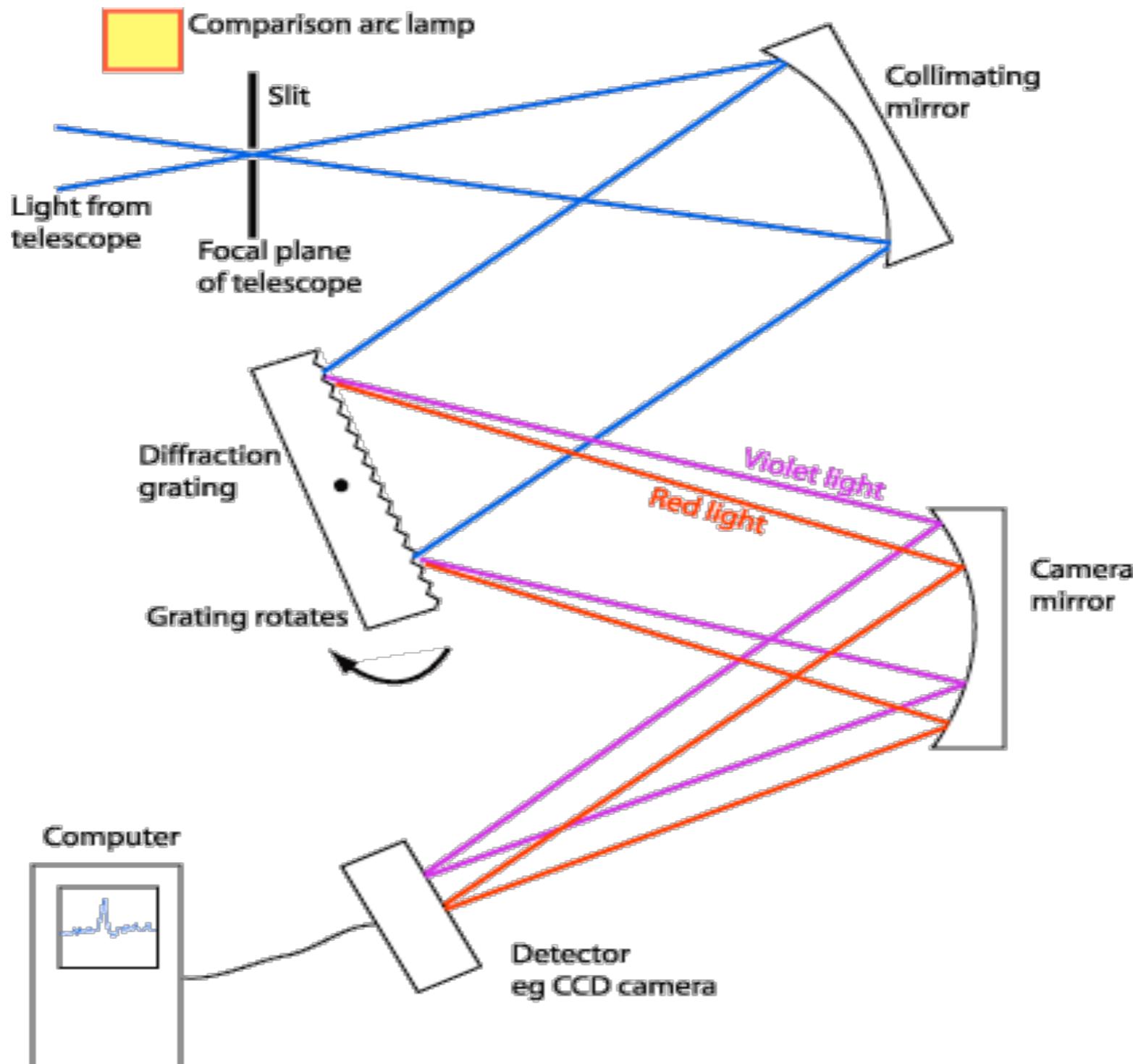
$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$$

En una rejilla de difracción:

$$R = mp$$

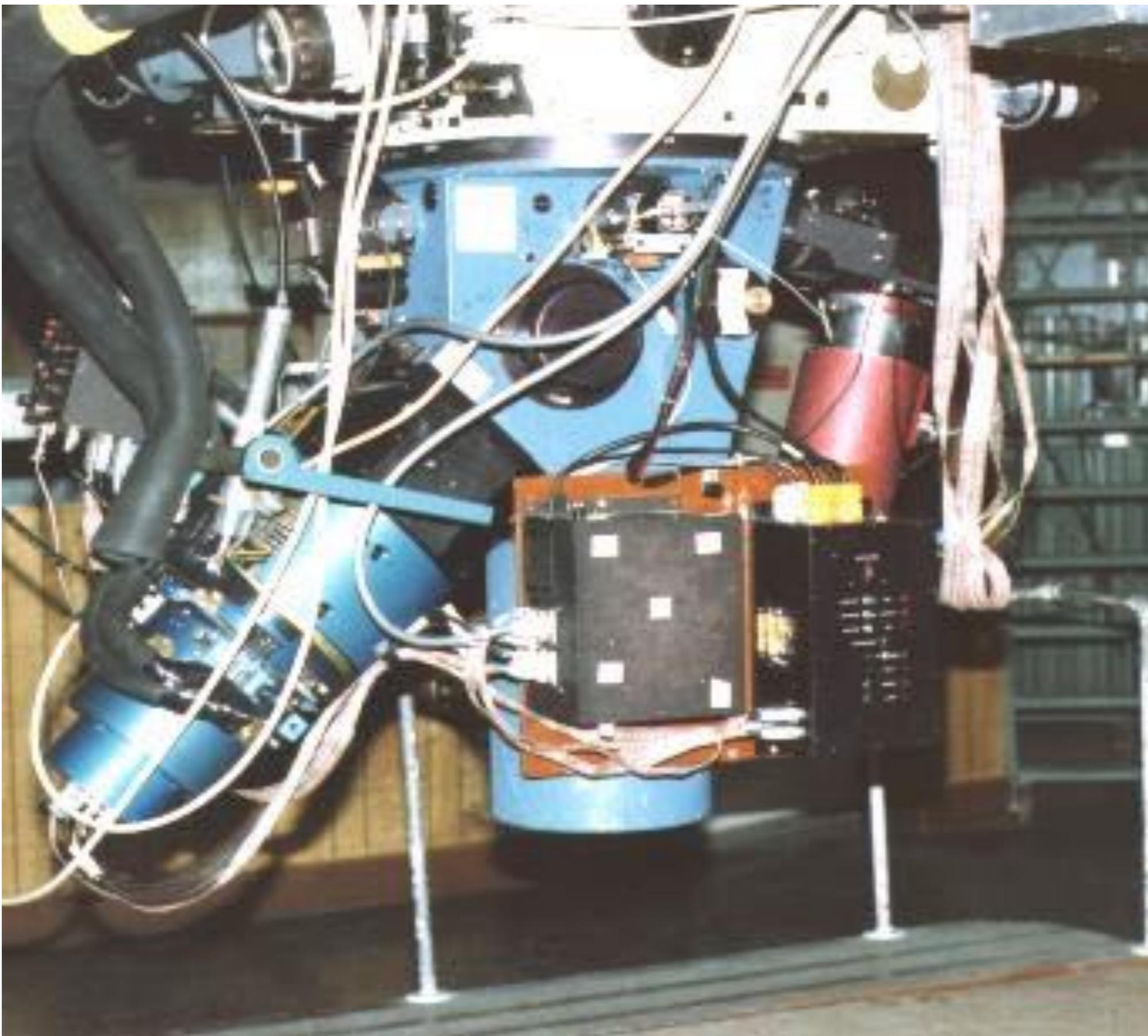
en donde  $m$  es el orden de la difracción y  $p$  es el número total de surcos (grooves)

# Espectrógrafo profesional: esquema sistema

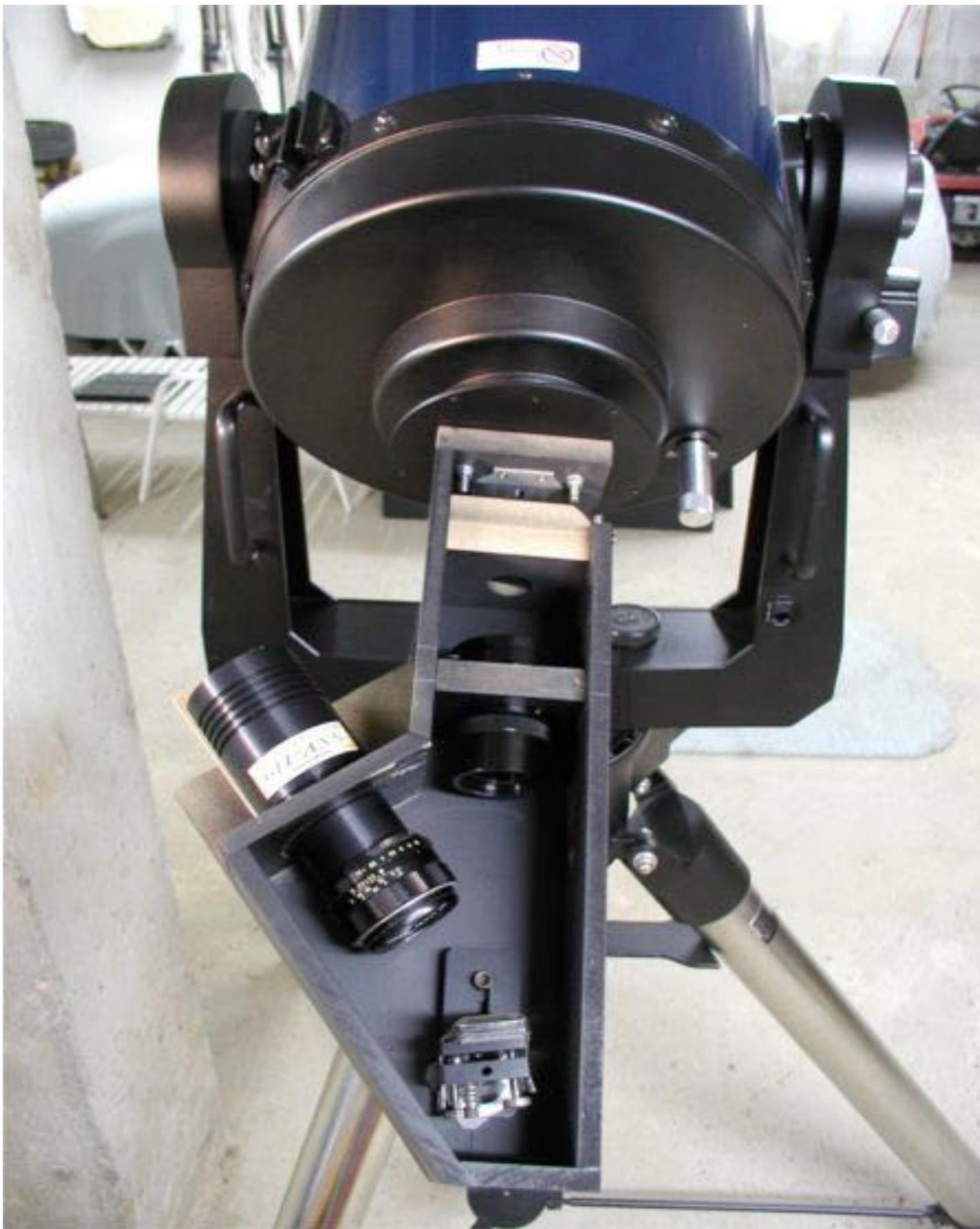


A Schematic Diagram of a Slit Spectrograph

# Espectrógrafo en telescopio



# Versión amateur



# Friedrich William Herschel descubrió el IR en 1800

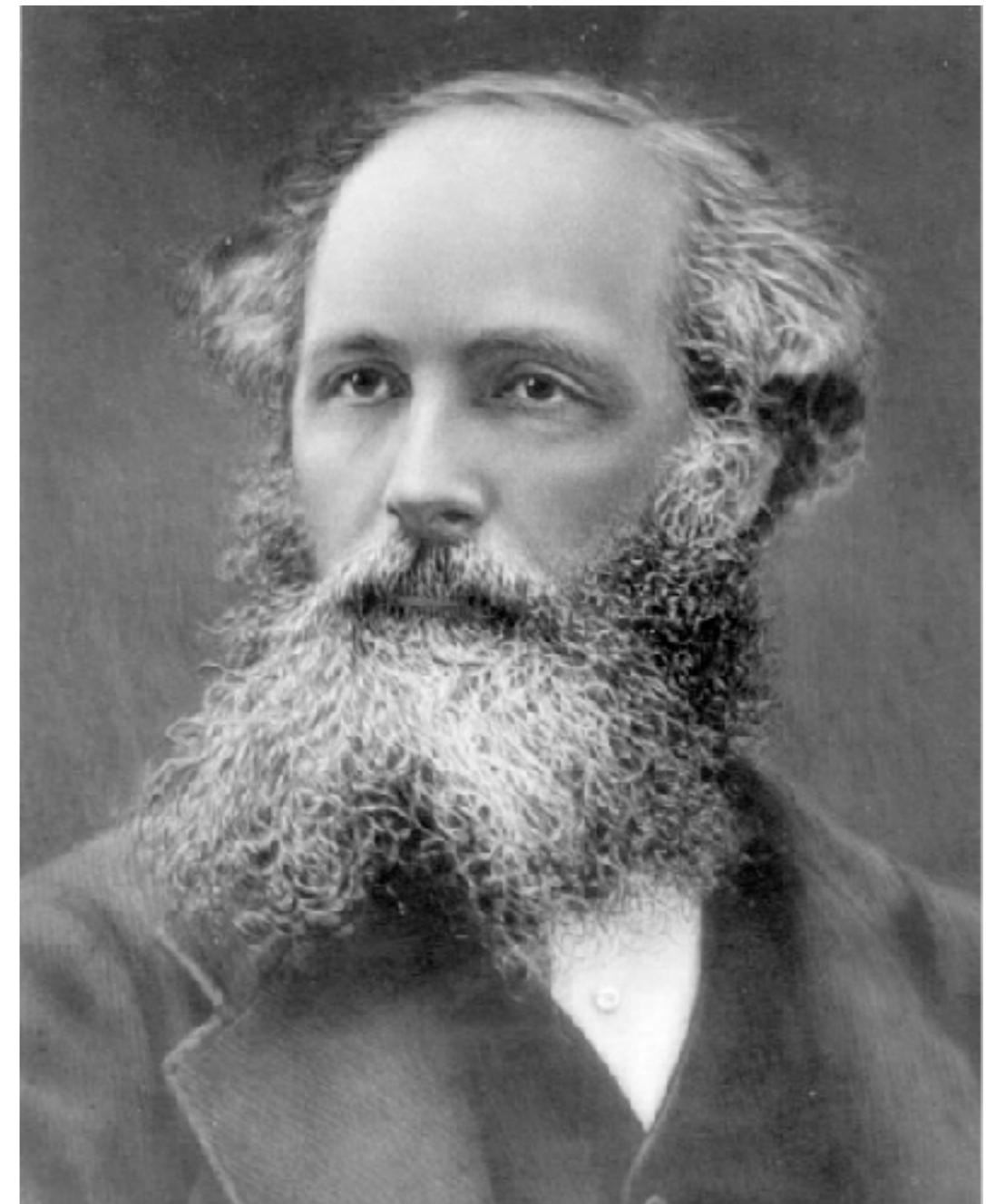


Johan Wilhelm Ritter (1801)  
descubrió el UV con AgCl en el espectro





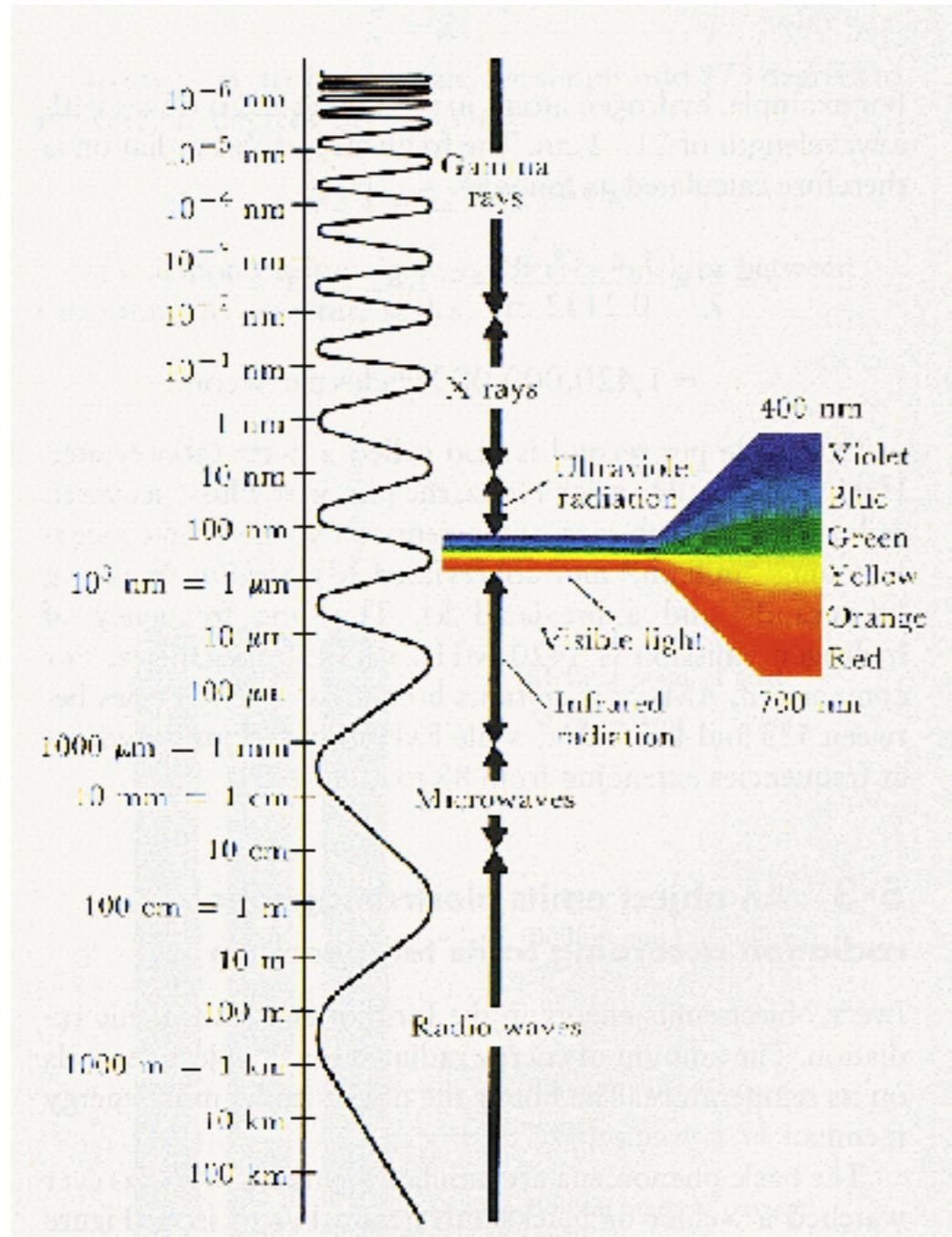
Heinrich Hertz (1857-1894)



James Clerk Maxwell (1831-1879)

**A dynamical theory of the electromagnetic field (Maxwell 1864)**

# Longitud de onda versus región



En el vacío:

$$\lambda\nu = c$$

en donde

$\lambda$  es la longitud de onda

$\nu$  es la frecuencia y

$$c = 299792458 \text{ m/s}$$

es la velocidad de la luz en el vacío.

William Hyde Wollaston (1802)  
descubrió las líneas oscuras en el espectro  
del Sol

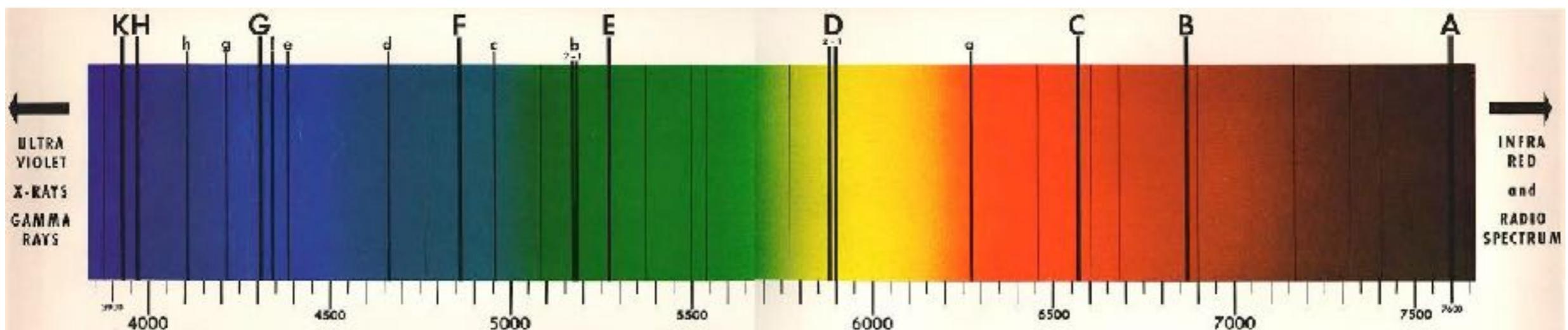


# Líneas de Fraunhofer (1814) en el espectro solar



Joseph von Fraunhofer, 1787-1826.

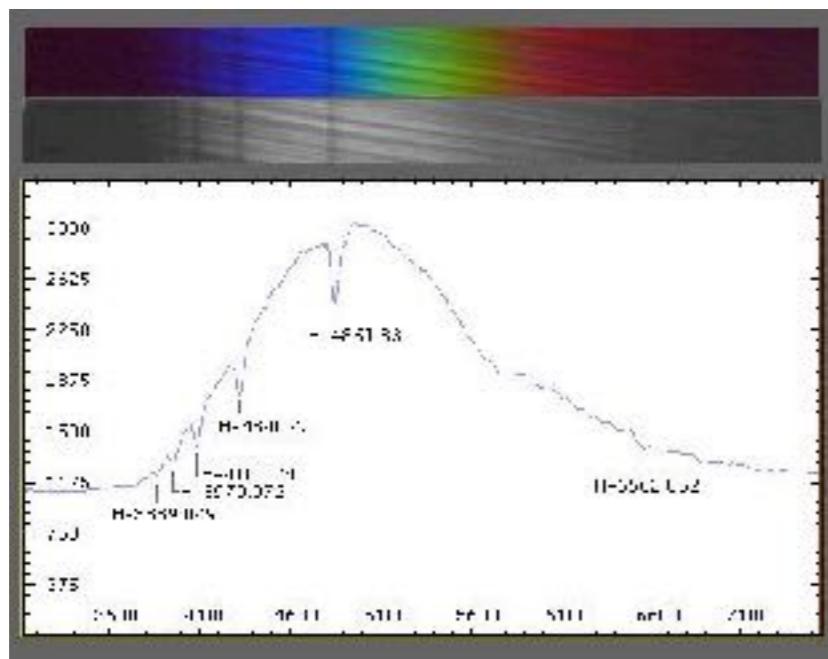
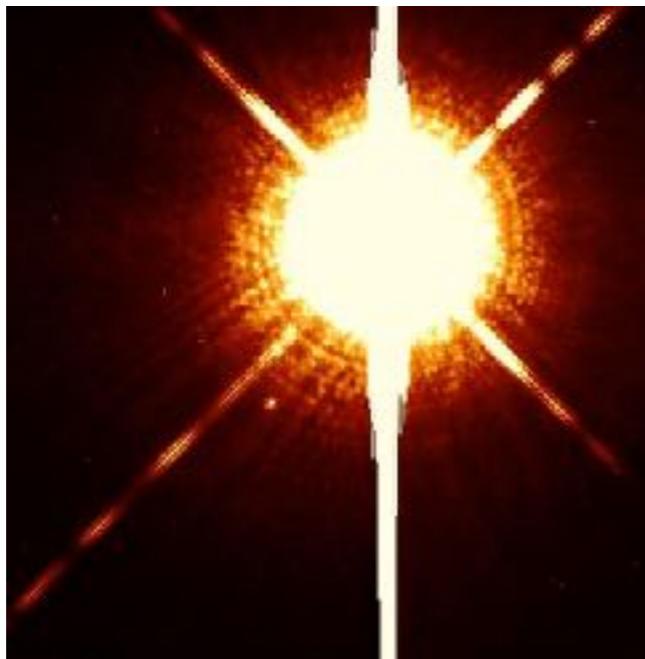
# Líneas de Fraunhofer prominentes



Se menciona que Fraunhofer llegó a contabilizar 574 líneas

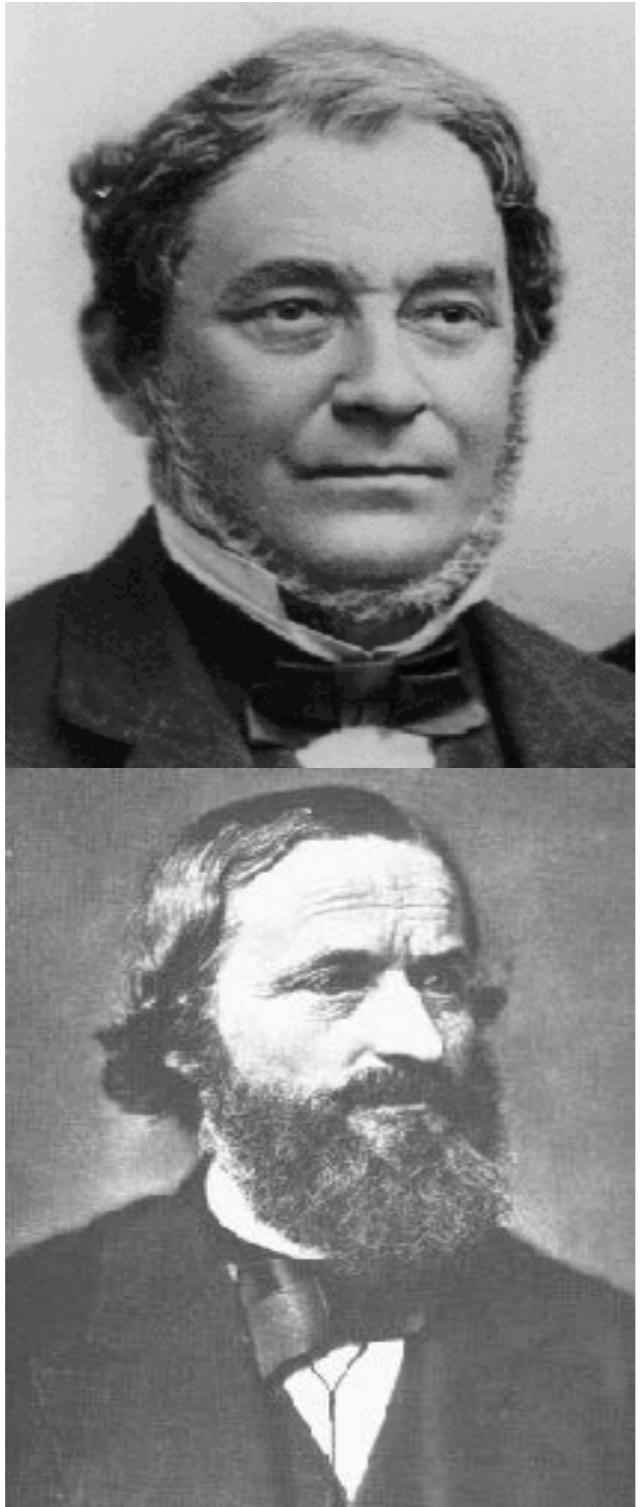
<b>Designation</b>	<b>Element</b>	<b>Wavelength (nm)</b>	<b>Designation</b>	<b>Element</b>	<b>Wavelength (nm)</b>
y	O <sub>2</sub>	898.765	c	Fe	495.761
Z	O <sub>2</sub>	822.696	F	H $\beta$	486.134
A	O <sub>2</sub>	759.370	d	Fe	466.814
B	O <sub>2</sub>	686.719	e	Fe	438.355
C	H $\alpha$	656.281	G'	H $\gamma$	434.047
a	O <sub>2</sub>	627.661	G	Fe	430.790
D <sub>1</sub>	Na	589.592	G	Ca	430.774
D <sub>2</sub>	Na	588.995	h	H $\delta$	410.175
D <sub>3</sub> or d	He	587.5618	H	Ca <sup>+</sup>	396.847
e	Hg	546.073	K	Ca <sup>+</sup>	393.366
E <sub>2</sub>	Fe	527.039	L	Fe	382.044
b <sub>1</sub>	Mg	518.362	N	Fe	358.121
b <sub>2</sub>	Mg	517.270	P	Ti <sup>+</sup>	336.112
b <sub>3</sub>	Fe	516.891	T	Fe	302.108
b <sub>4</sub>	Mg	516.733	t	Ni	299.444

# Sirius: tiene un espectro diferente al del Sol



- El primer espectroscopista estelar fue Fraunhofer quien descubrió que los espectros del Sol y de Sirius son diferentes!!

# Bunsen & Kirchhoff

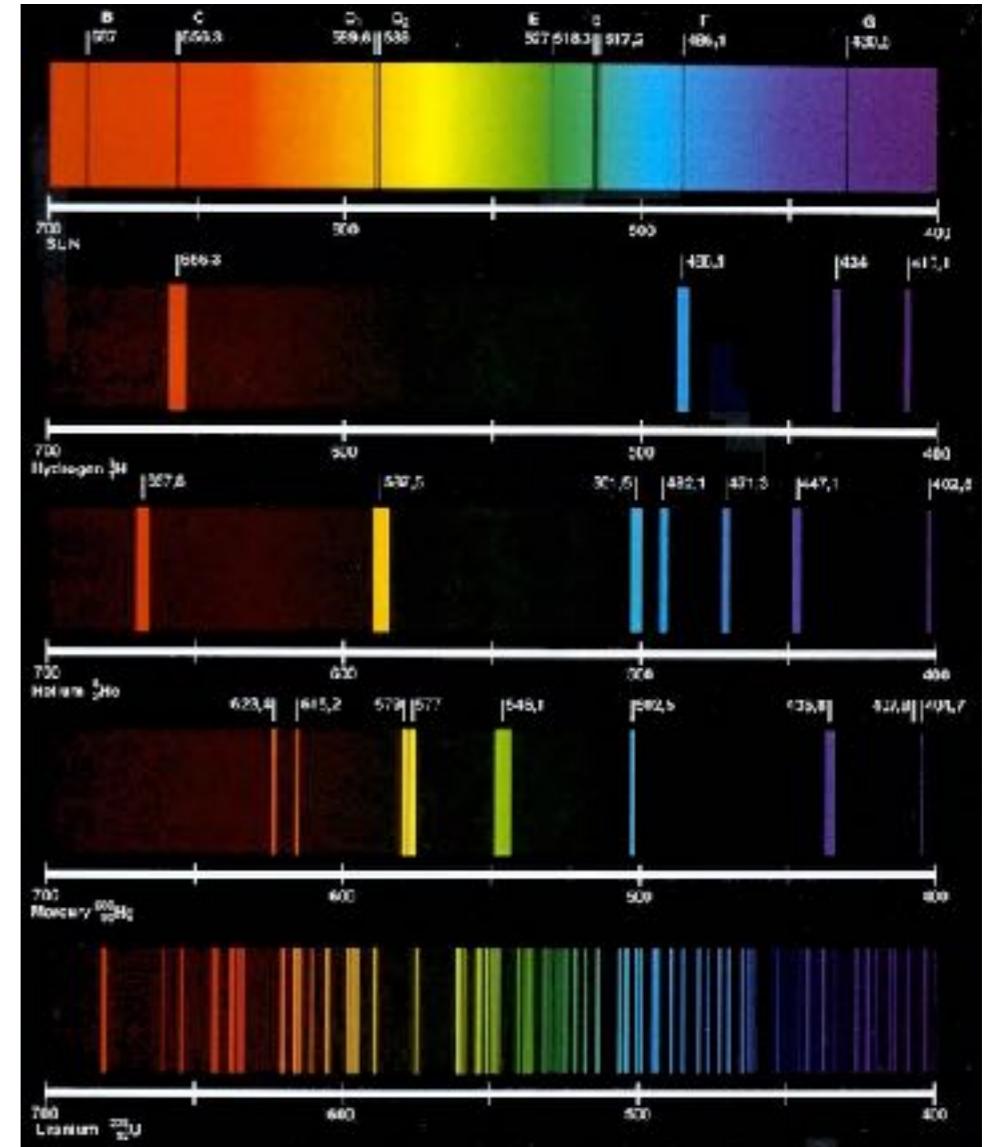


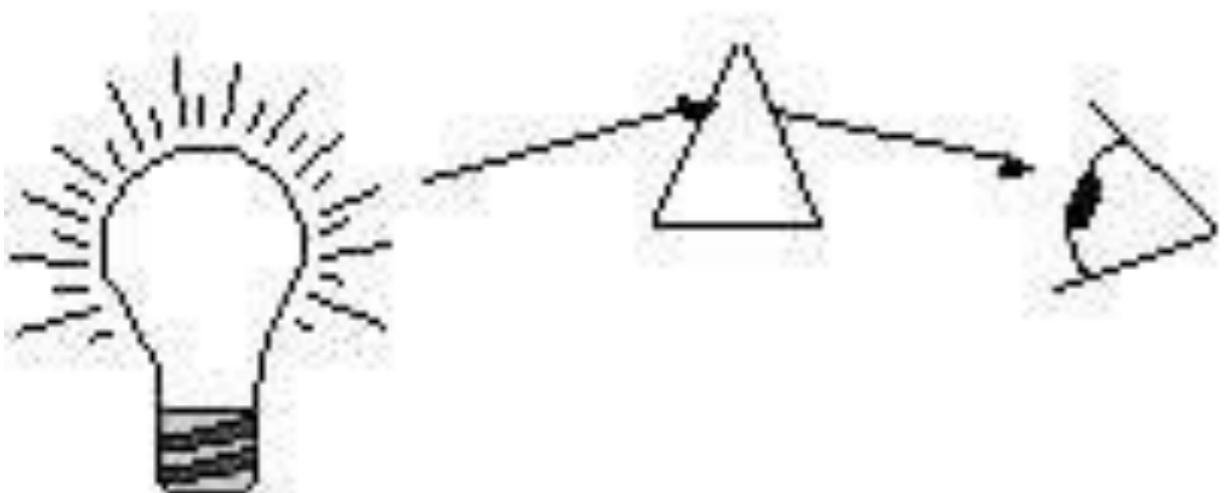
- Juntos estudiaron a partir de 1859 los espectros característicos de las sustancias químicamente puras.
- Las sustancias calientes y densas producían un espectro continuo.

# Bunsen & Kirchhoff

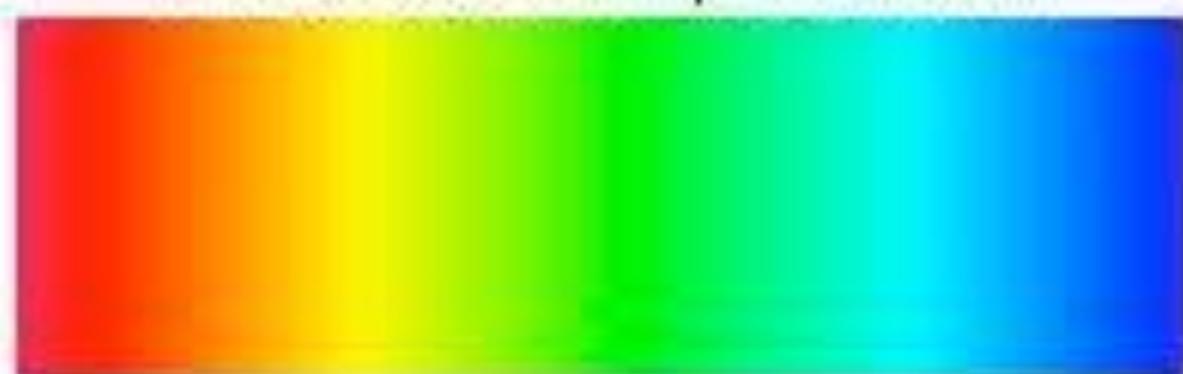


- Gas tenue caliente: emite espectro discreto característico
- Gas tenue frío: absorción discreta característica
- Gas denso cálido, o sólidos o líquidos calientes: espectro continuo.

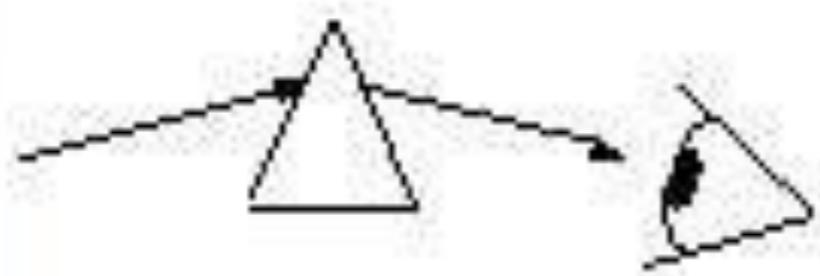




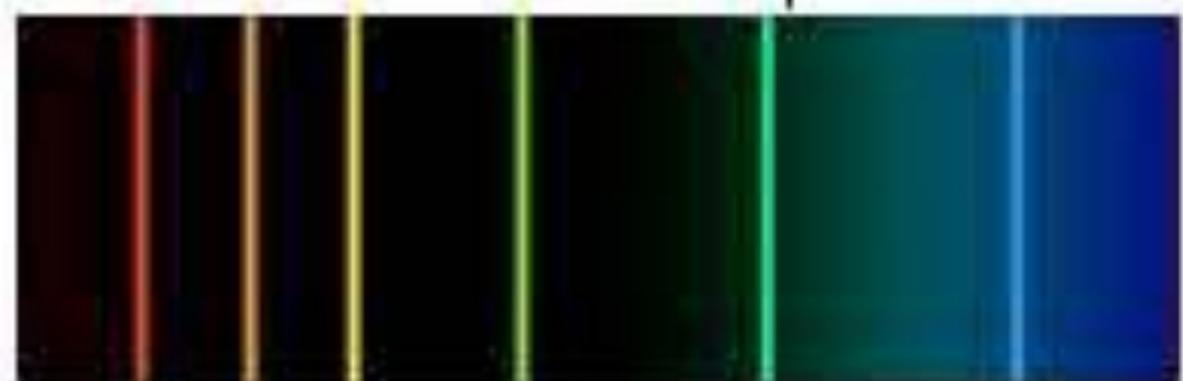
Continuum Spectrum



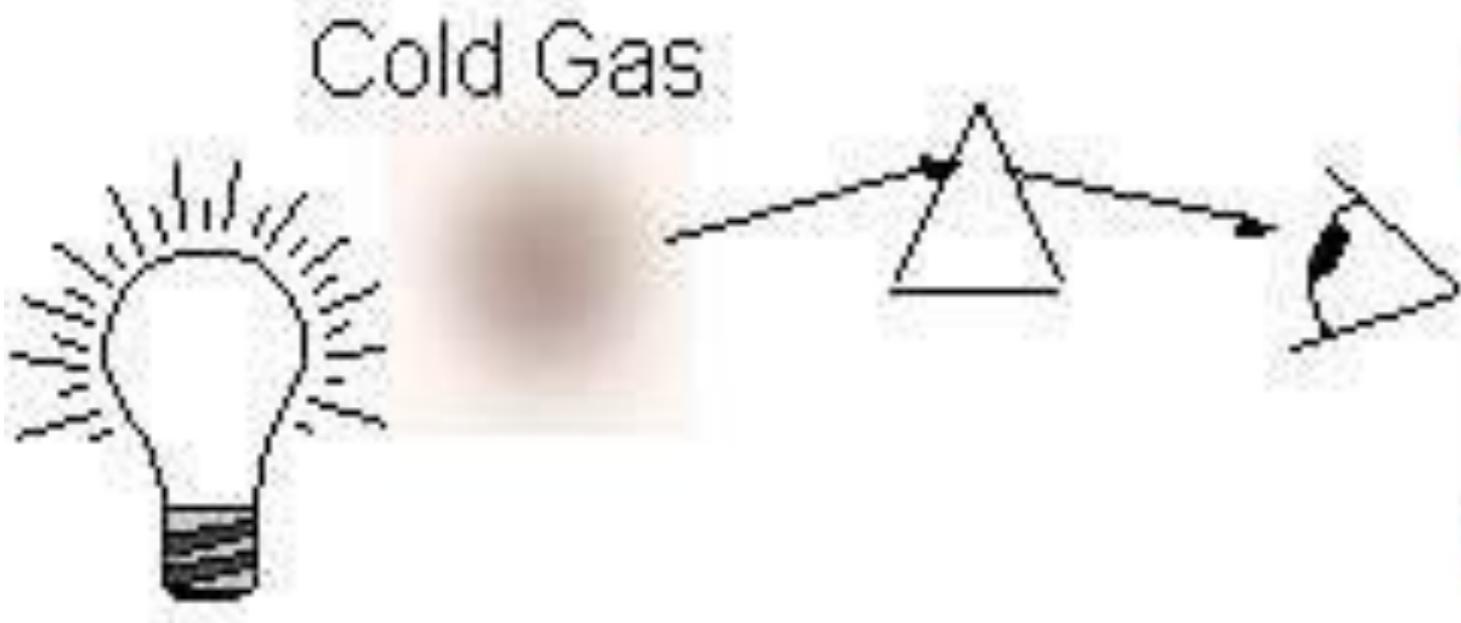
Hot Gas



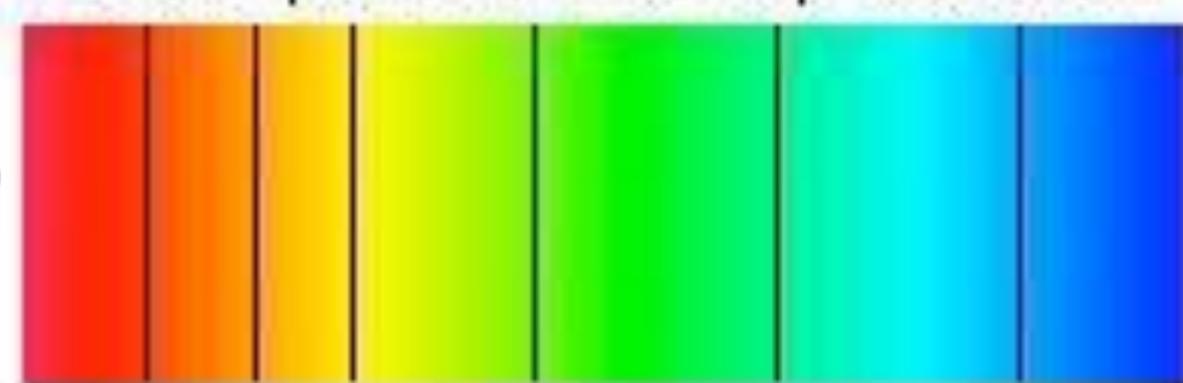
Emission Line Spectrum



Cold Gas



Absorption Line Spectrum



# Espectro del hidrógeno con $\lambda$

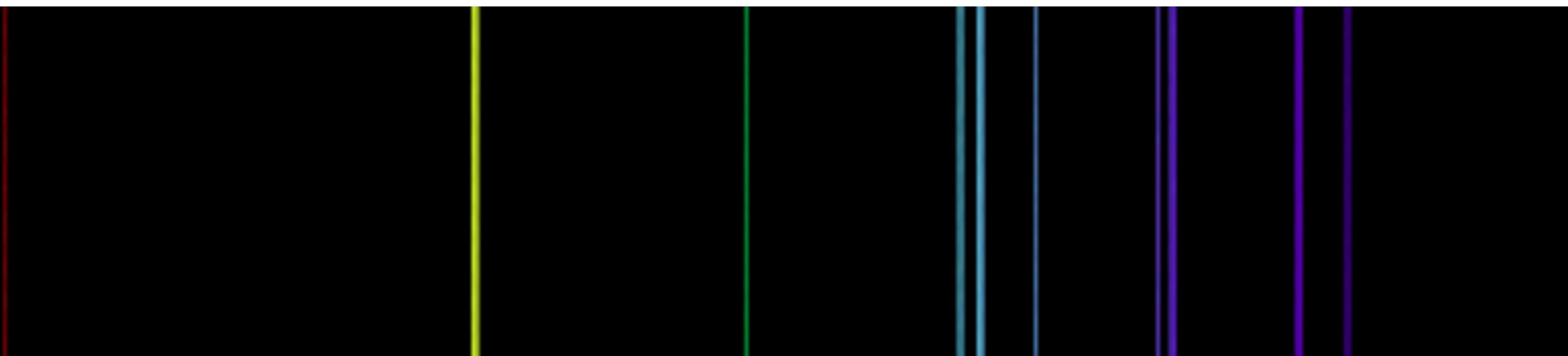


H $\delta$    H $\gamma$   
(410)(434)

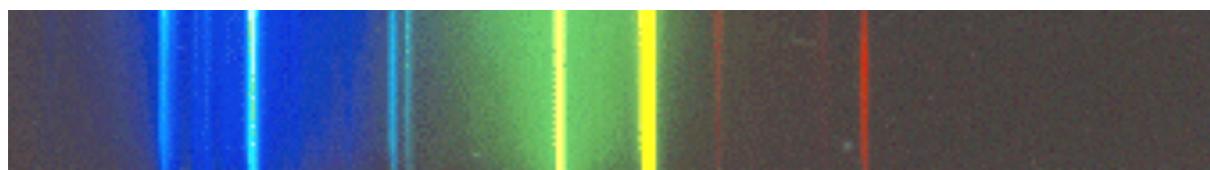
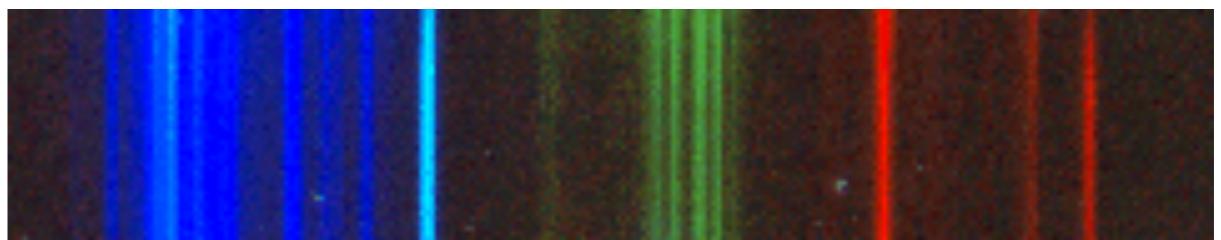
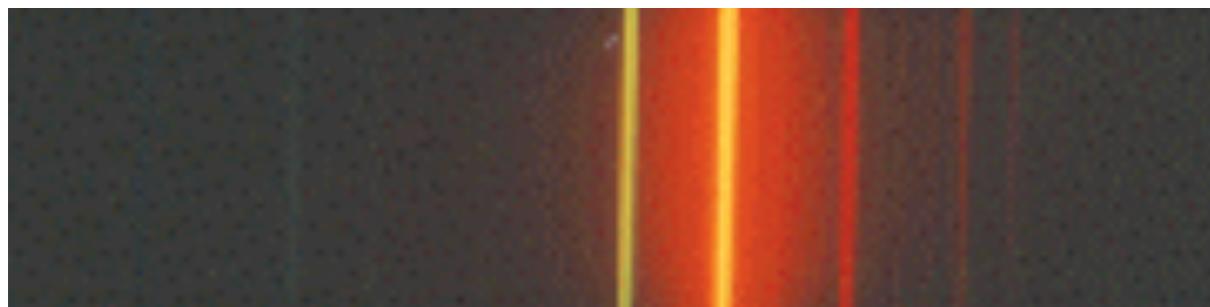
H $\beta$   
(486)

H $\alpha$   
(656)

# Espectro del helio (He)



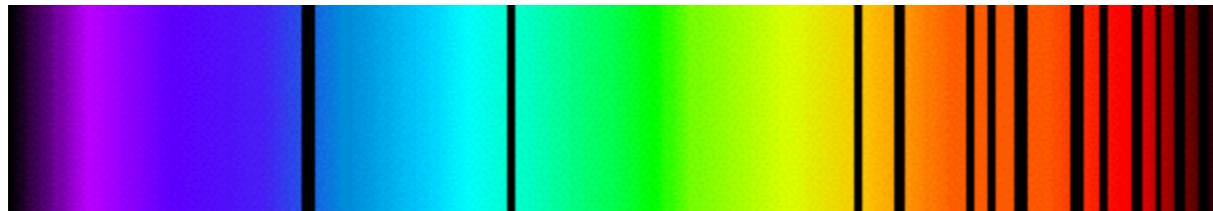
# Espectros Na, Ar, Hg, Ba



# Espectros discretos característicos de las sustancias químicamente puras



- Allí en donde se emite un fotón de cierto color, se absorbe un fotón del mismo color:



$$\lambda_{\text{emi}} = \lambda_{\text{abs}}$$

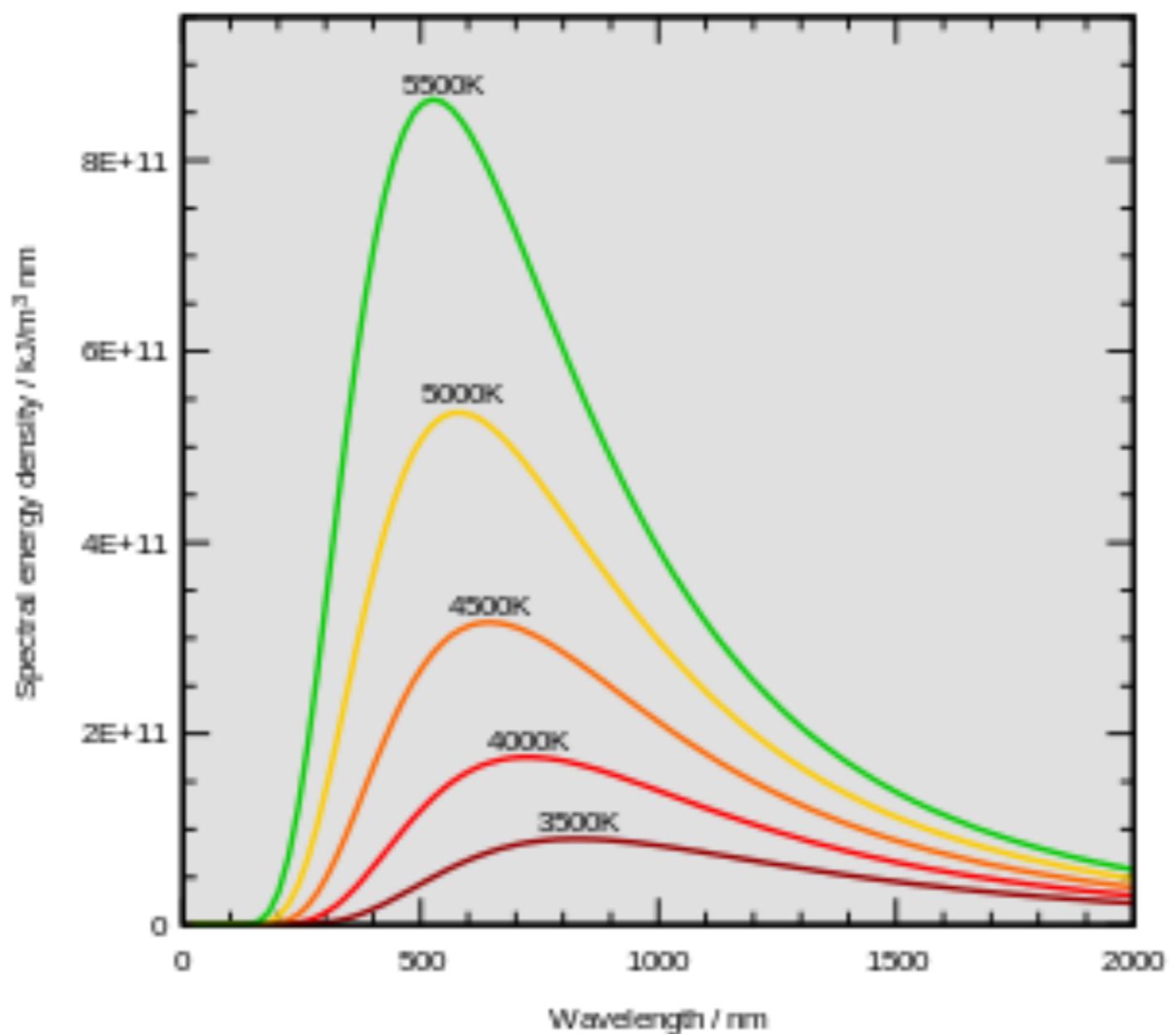
## Ley de radiación de Kirchhoff (1860)

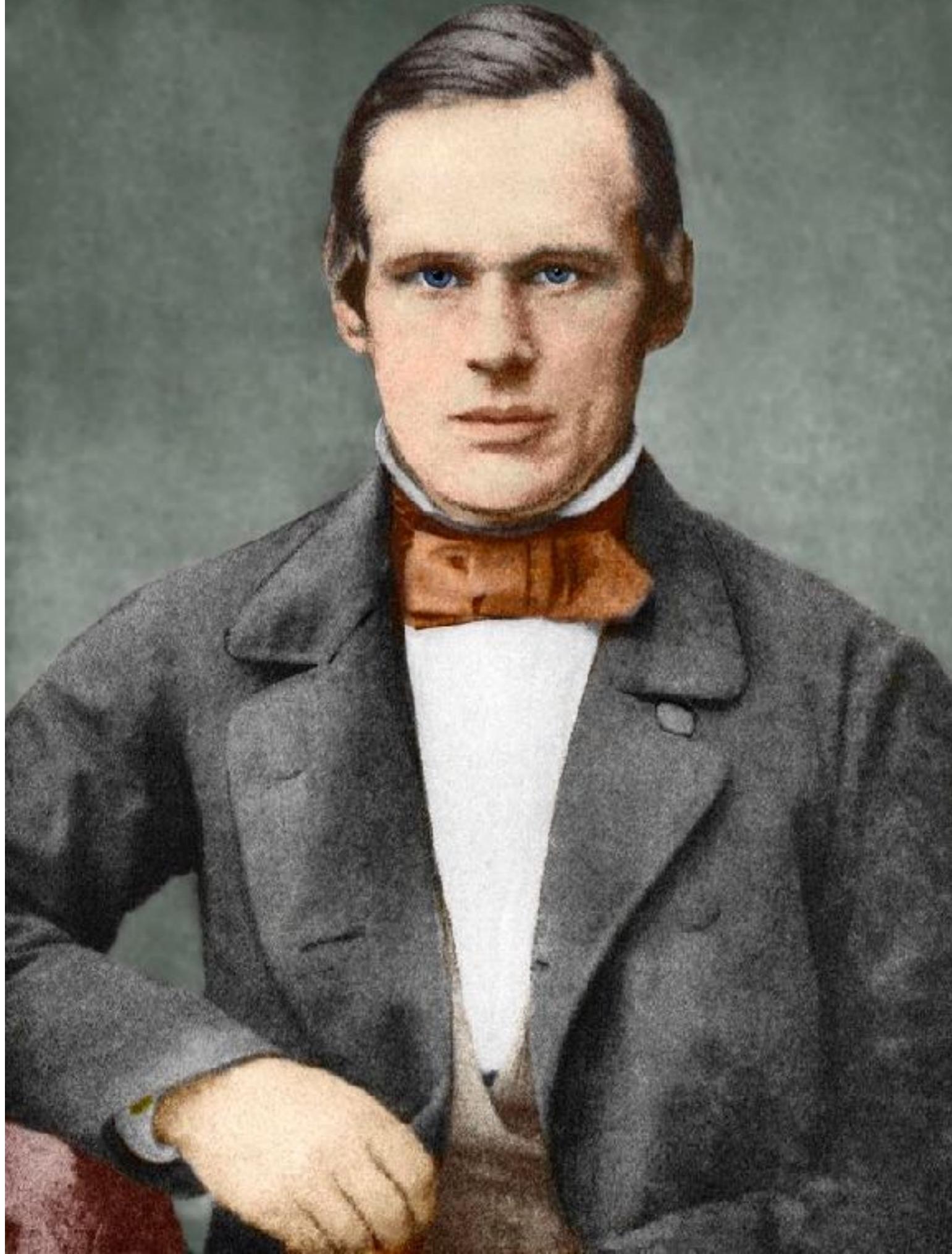
Para un cuerpo de material arbitrario en equilibrio que emita y absorba radiación electromagnética, la razón entre la potencia emitida y la absorción de radiación, es una **función** que depende tan solo de la longitud de onda y la temperatura del cuerpo.

### Función Fuente

#### ***Cuerpo Negro: Kirchhoff (1862)***

Gustav Robert Kirchhoff 1824-1887





Anders Jonas Ångström  
1814-1864

*Recherches sur le spectre solaire*  
1868

En este trabajo  
reportó las longitudes  
de onda de más de  
mil líneas del espectro  
solar en términos del  
0.1 millonésimos del  
milímetro.

# Ley de Stefan-Boltzmann

- Encontrada por Josef Stefan (1835-1893) en 1879 con base en las medidas experimentales hechas por John Tyndall (1820-1893) con gases.
- Derivada teóricamente por Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906) en 1884 (R: radiancia).

$$R = \sigma T^4$$



John Tyndall (1820-1893)



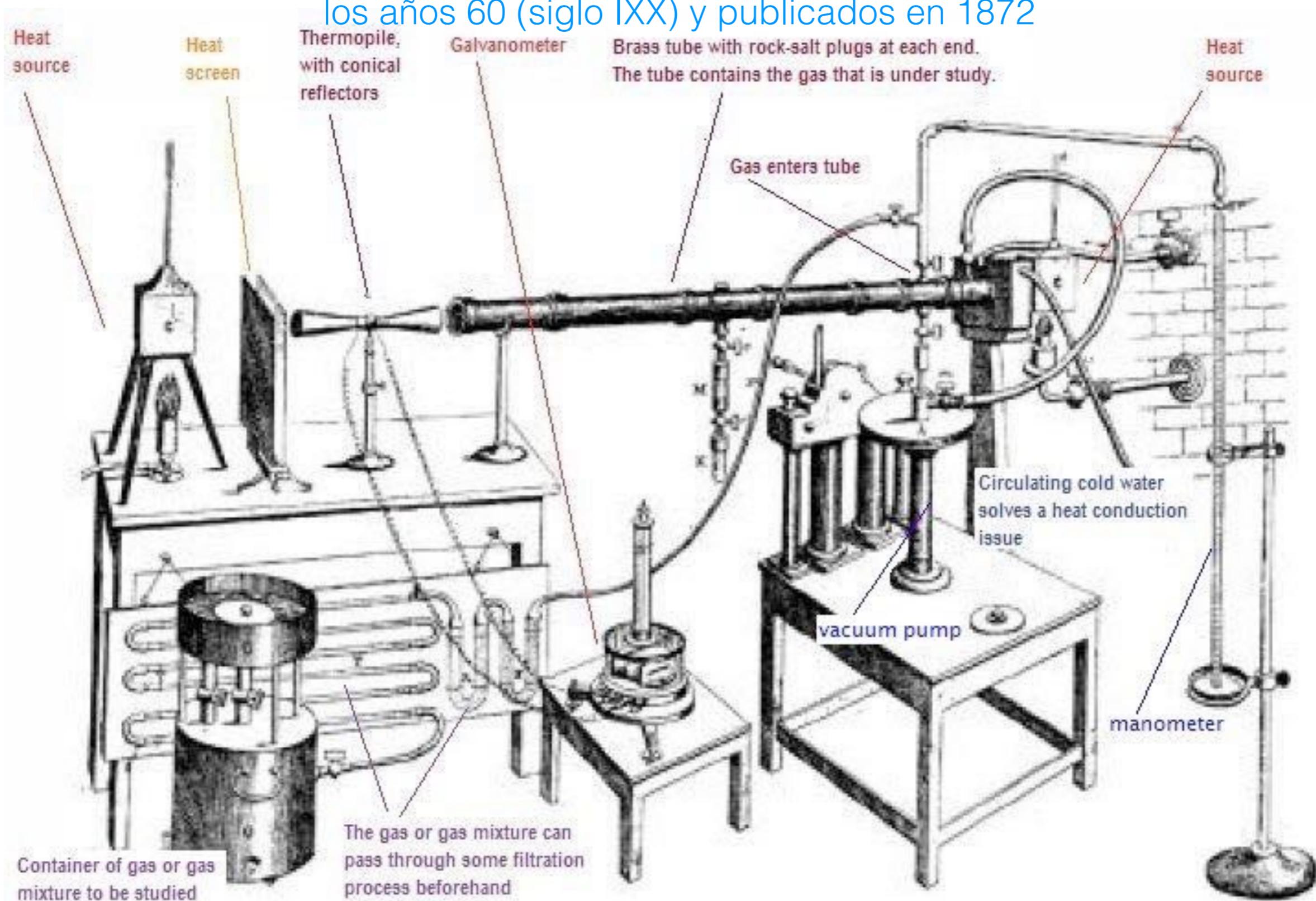
Josef Stefan (1835-1893)



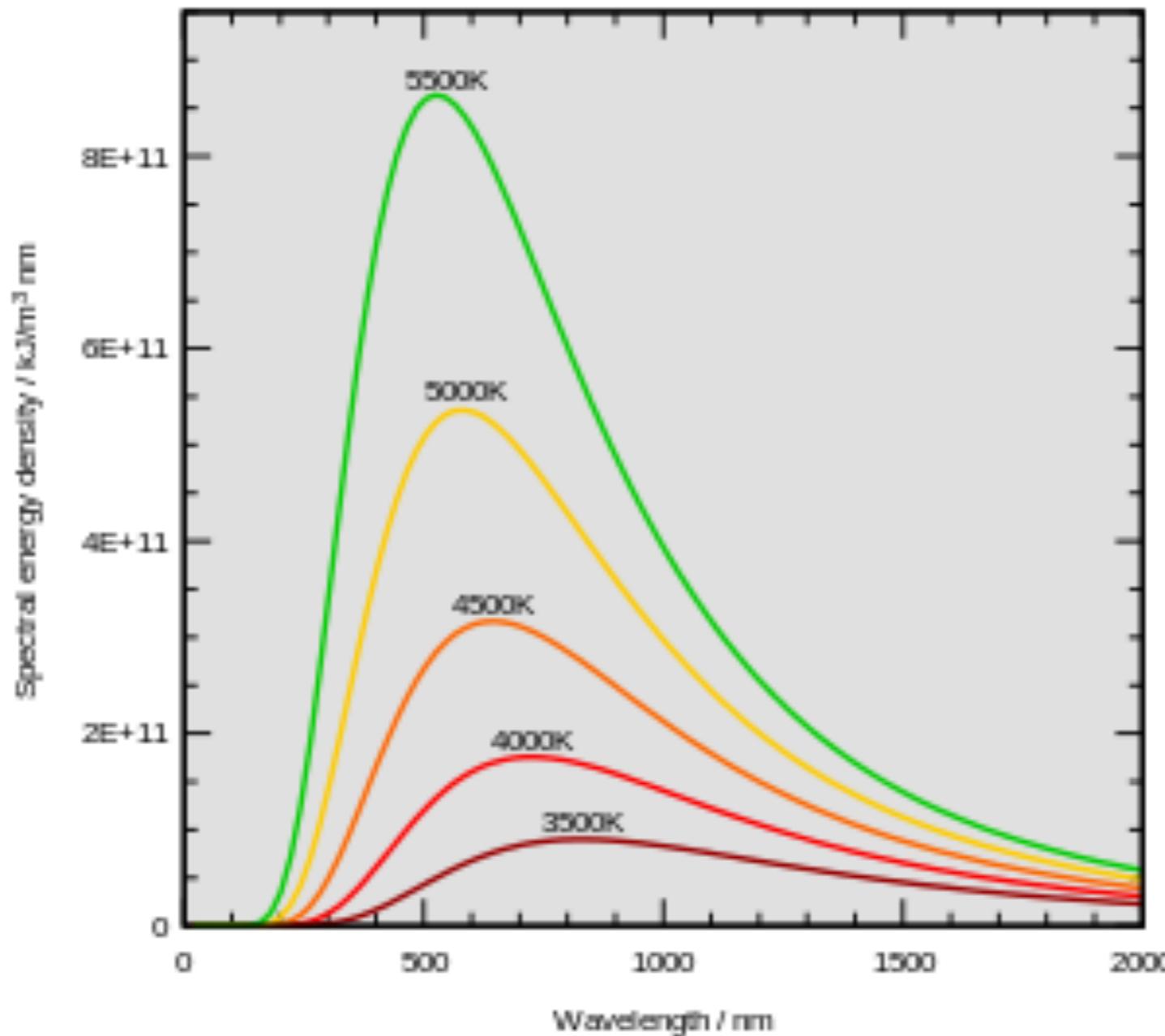
Ludwig Boltzmann (1844-1906)

$$\sigma = 5.670367(13) \times 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$$

Arreglo experimental de Tyndall para medir la absorción de calor en gases. Trabajos realizados durante la década de los años 60 (siglo IXX) y publicados en 1872



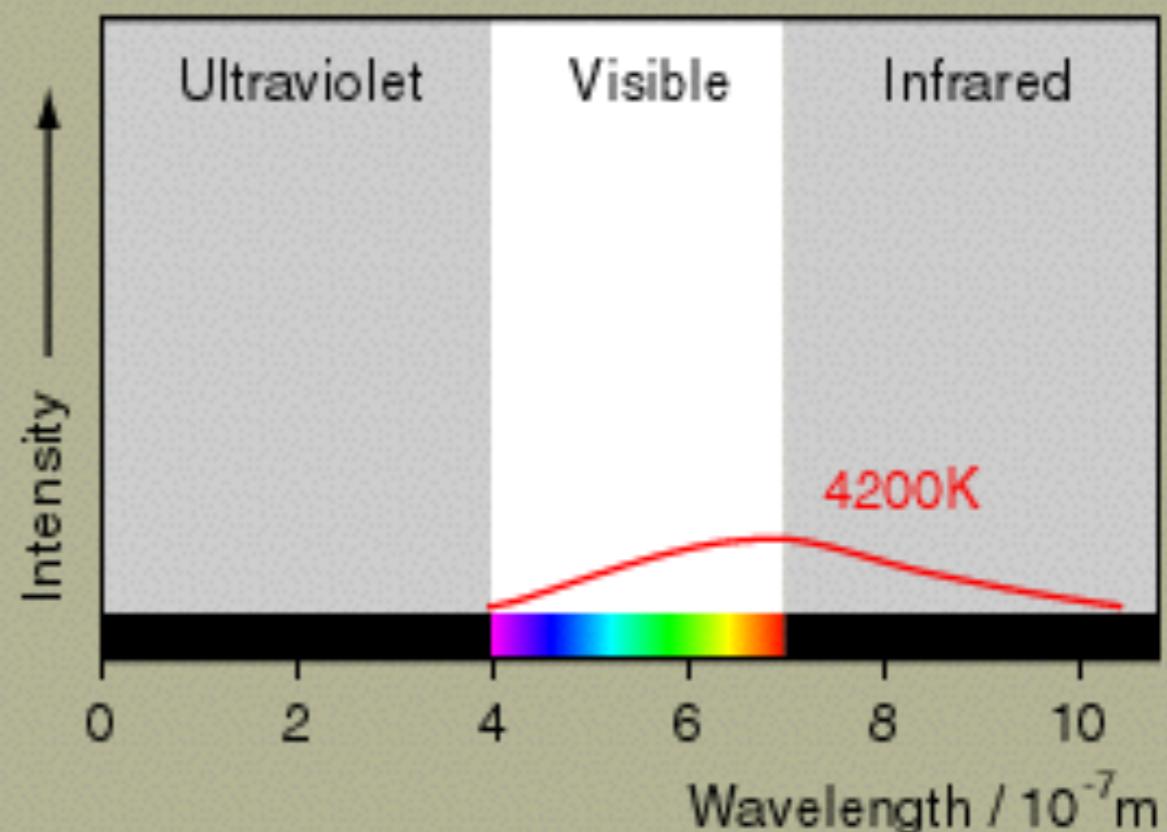
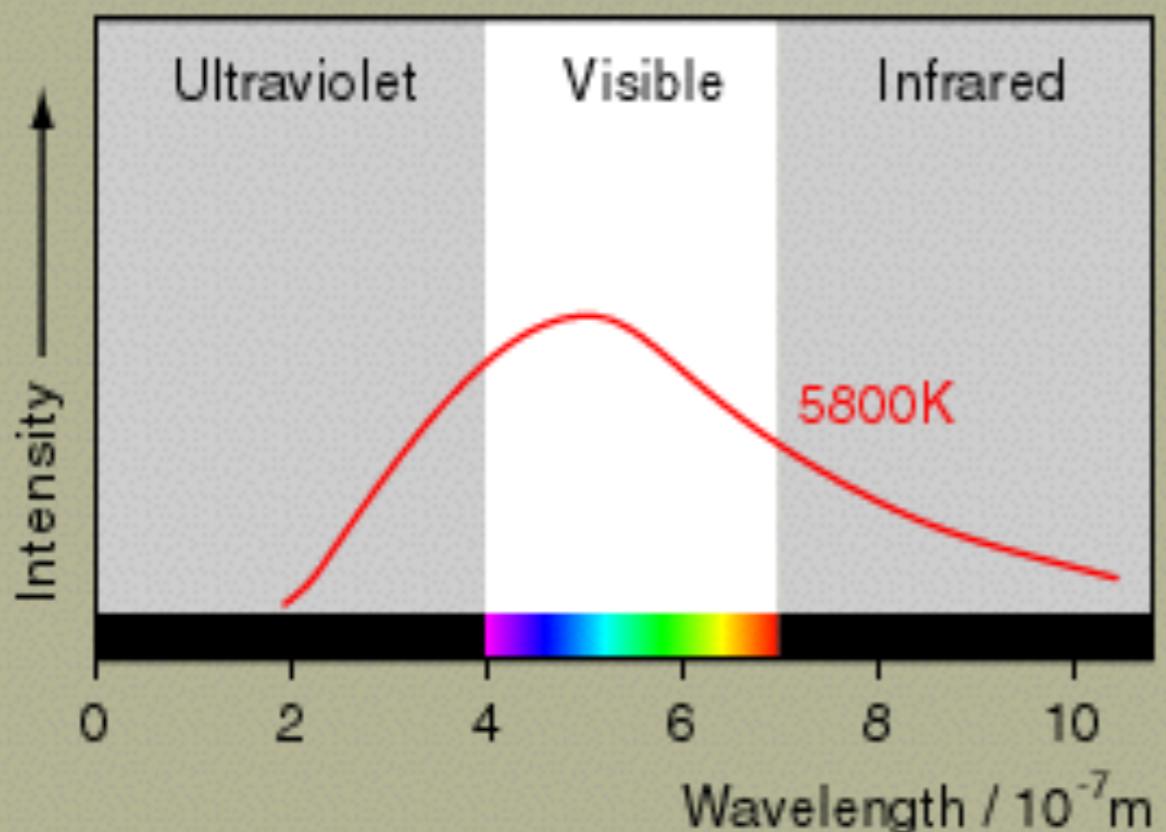
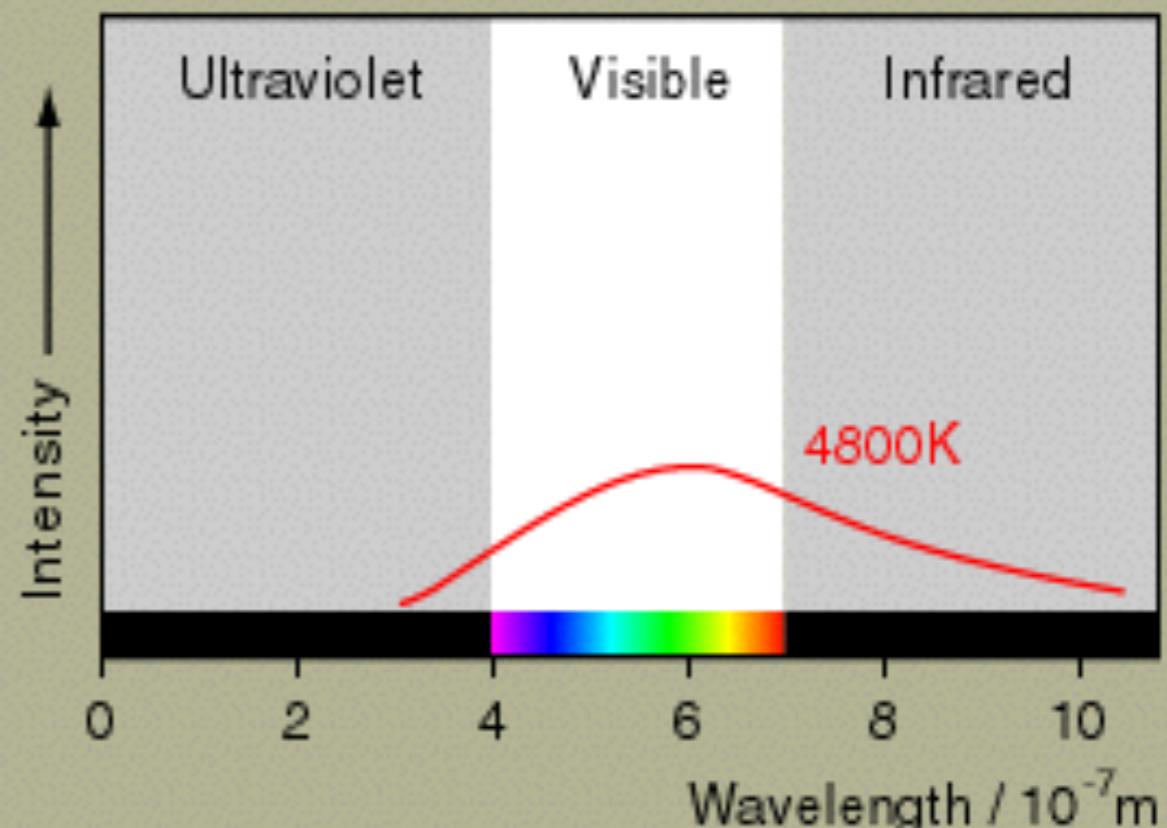
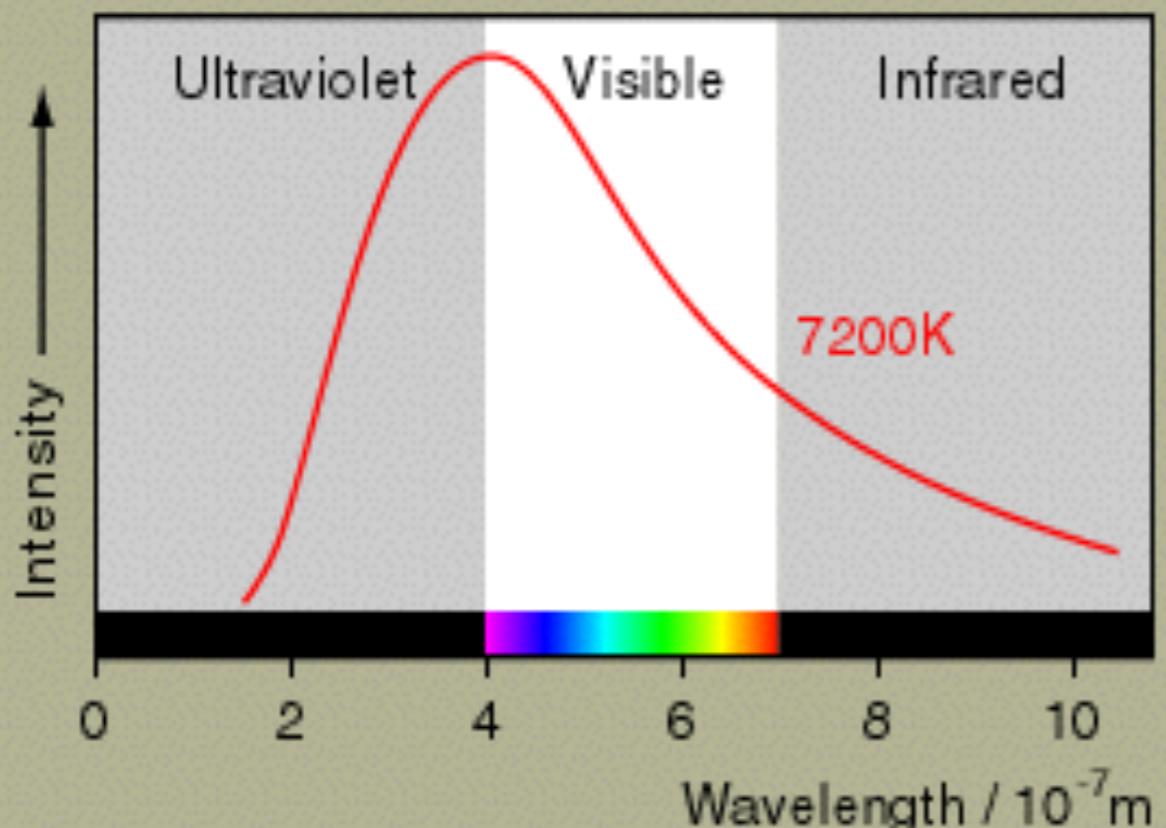
# Ley del desplazamiento de Wien (1893)

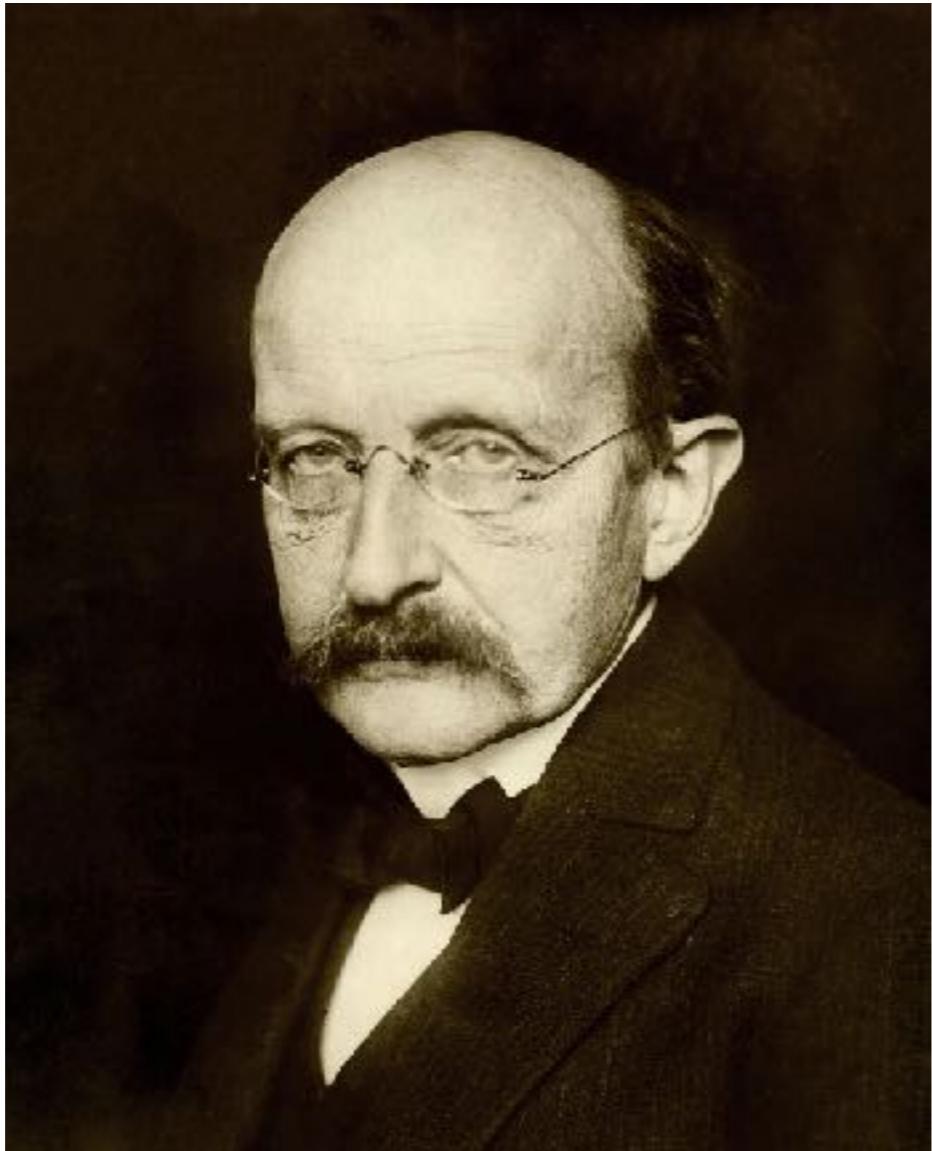


Wilhelm Carl Weder Otto  
Fritz Franz **Wien** (1864-1928)

$$\lambda_{\max} T = b : \text{constante}$$

$$b = 2.8977729(17) \times 10^{-3} \text{ m K}$$





## Max Karl Ernst Ludwig **Planck** (1858-1947)

*Über irreversible Strahlungsvorgänge*  
Annalen der Physik, volumen 306, #1, 1900

Cinco escritos previos con base en las exposiciones hechas en el seno de la academia de ciencias de Berlín con el mismo nombre. Sitzungsberichte der königliche Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Febrero 4, Julio 8, Diciembre 16 de 1897, Julio 7 de 1898, y Mayo 18 de 1899.

4. *Ueber irreversible Strahlungsvorgänge;*  
von Max Planck.

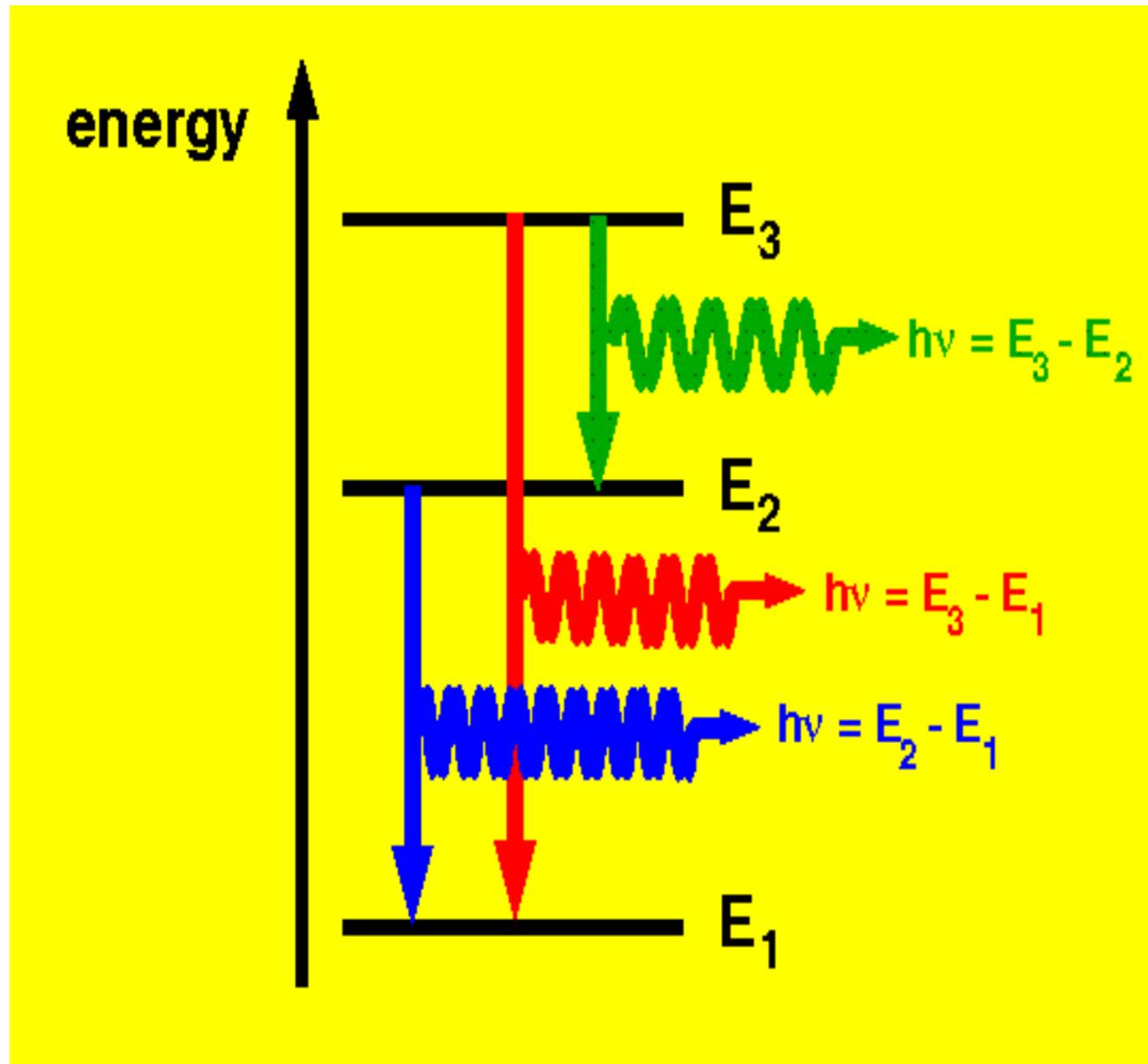
(Nach den Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften zu Berlin vom 4. Februar 1897, 8. Juli 1897, 16. December 1897, 7. Juli 1898, 18. Mai 1898 und nach einem auf der 71. Naturf.-Vers. in München gehaltenen Vortrage  
für die Annalen bearbeitet vom Verfasser.)

---

Die nachfolgende Arbeit enthält eine Darlegung der Hauptergebnisse meiner unter dem obigen Titel veröffentlichten Untersuchungen über die Bedeutung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik für die Erscheinungen der Wärmestrahlung, vom Standpunkt der elektromagnetischen Lichttheorie betrachtet.

Dass auch die strahlende Wärme den Forderungen des zweiten Hauptsatzes Genüge leistet, dass z. B. die gegenseitige Zustrahlung verschieden temperirter Körper immer im Sinne einer Ausgleichung ihrer Temperaturen erfolgt, ist wohl allgemein unbestritten, und schon G. Kirchhoff hat hierauf seine Theorie des Emissions- und Absorptionsvermögens der Körper gegründet. Daher macht es die fortschreitende Erkenntnis der elektromagnetischen Natur der Wärmestrahlung zur dringenden Aufgabe, den zweiten Hauptsatz der Wärmetheorie in seiner Anwendung auf die strahlende Wärme rein elektromagnetisch zu begreifen und womöglich auch zu beweisen. Erste Voraussetzung hierbei ist natürlich, dass man die Erscheinungen der Emission und Absorption strahlender Wärme als elektromagnetische Vorgänge auffasst, dass man also die Emission von Wärmestrahlen als bedingt ansieht durch die Aussendung elektromagnetischer Wellen von Seiten gewisser elementarer Oszillatoren, die man sich in irgend einem Zusammenhang mit den ponderablen Atomen der strahlenden Körper denken mag, und ferner, dass man die Absorption strahlender Wärme nicht etwa als Folge eines galvanischen Leitungswiderstandes oder irgend einer Art Reibung, sondern lediglich als Resonanzphänomen auffasst, indem die genannten Oszillatoren nicht nur Wellen aussenden, sondern auch durch auffallende Wellen zu Schwingungen angeregt werden. Hierin liegt zugleich in-

# Hipótesis de Planck (1900)

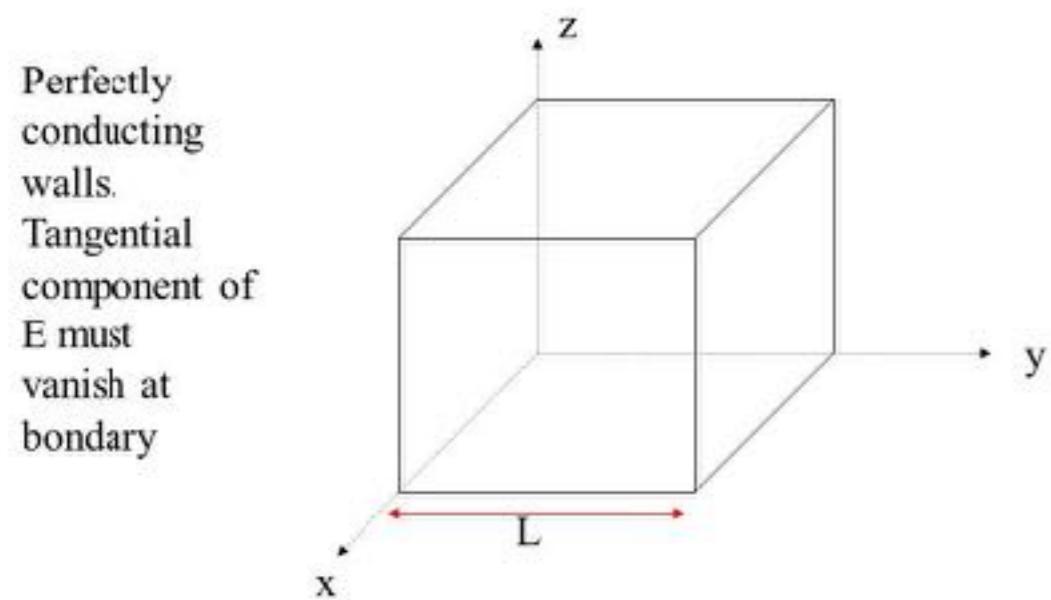


Energía permitida de los osciladores

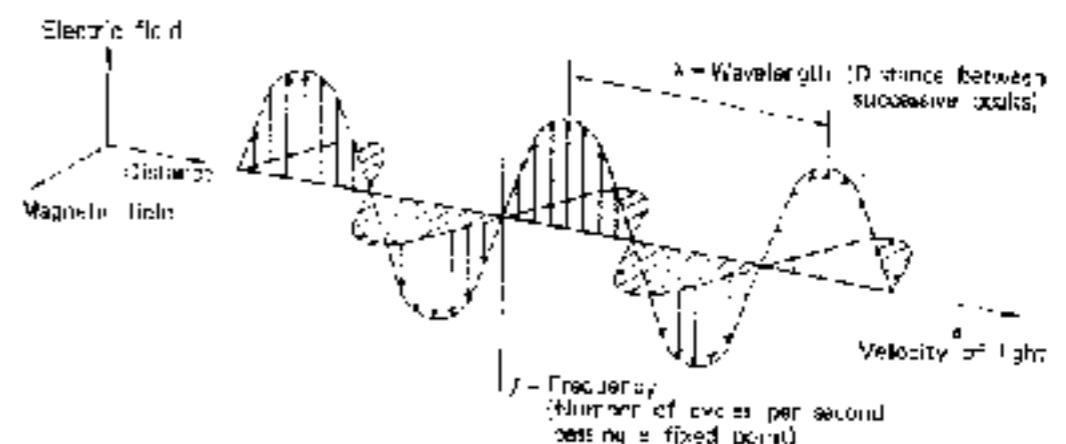
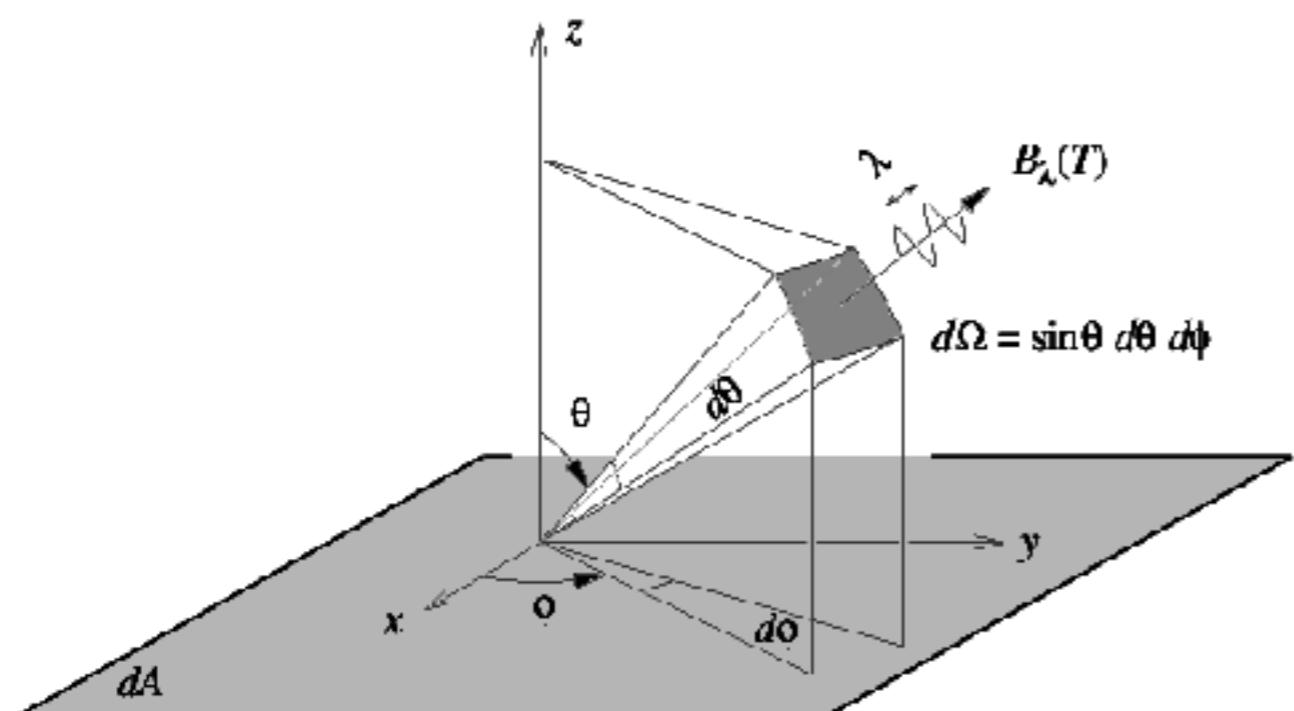
$$E_n = n h \nu$$

$$h = 6.62607040(81) \times 10^{-34} \text{ Js}$$

# Density of Field Modes in a Cavity



Ondas estacionarias



Onda electromagnética

Distribución de Boltzmann-Gibbs (caso continuo):

$$P(E) dE = A \exp[-E/(k_B T)] dE$$

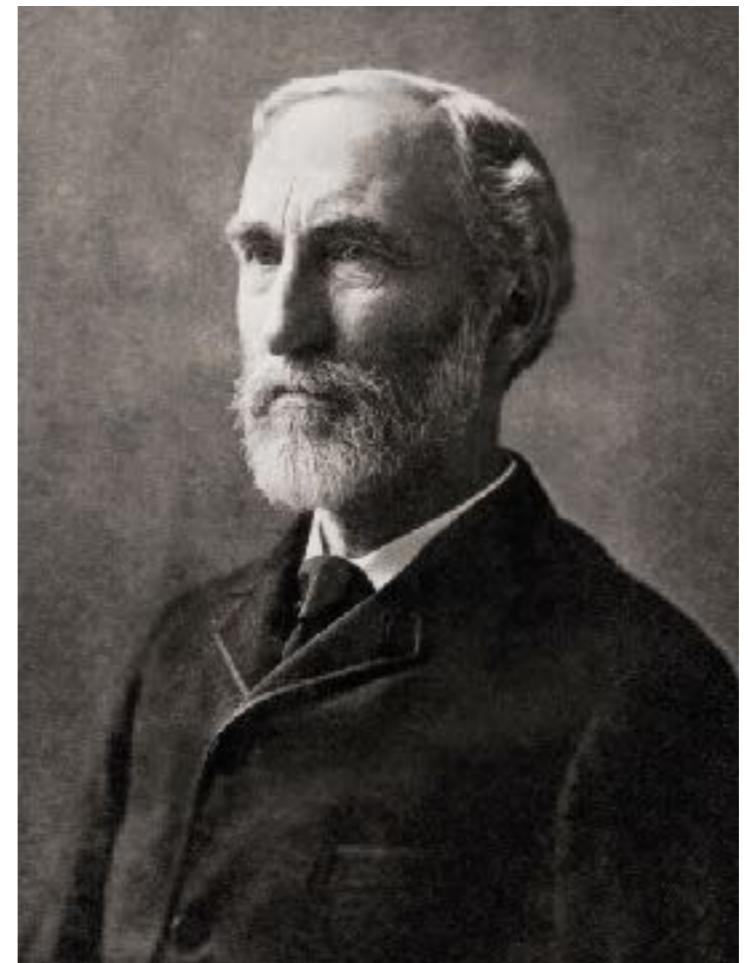
En donde A es una constante de “normalización”:

Constante de Boltzmann:

$$k_B = R/N_A = 1.38064852(79) \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$$

En otras unidades:

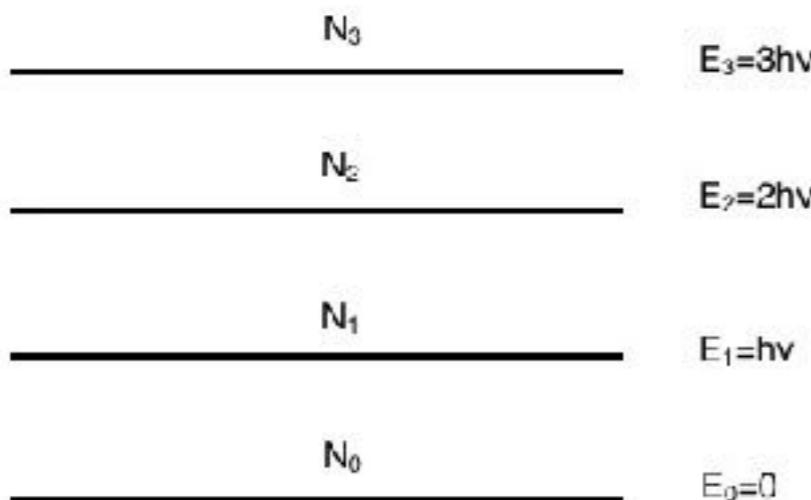
$$k_B = 8.6173303(50) \times 10^{-5} \text{ eV K}^{-1}$$



Josiah Willard Gibbs (1839-1903)

Hipótesis de Planck: los osciladores responsables de absorber o de emitir radiación de cierta frecuencia en el cuerpo negro, solo podrán tener energías proporcionales a la frecuencia de la radiación, de modo tal que la energía involucrada en una proceso de absorción o de emisión, es un número entero de veces un valor dado de energía.

$$E_{n\nu} = n h \nu$$



Promedio de la energía de los osciladores con la hipótesis de Planck:

$$\bar{E}_\nu = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} A E_{n\nu} e^{-E_{n\nu}/k_B T}}{\sum_{n=0}^{\infty} A e^{-E_{n\nu}/k_B T}}$$

Obteniéndose:

$$\bar{E}_\nu = \frac{h\nu}{\exp(\frac{h\nu}{k_B T}) - 1}$$

Encontramos entonces la densidad de energía monocromática de Planck, en términos de la frecuencia:

$$u_\nu = \frac{8\pi}{c^3} \frac{h\nu^3}{\exp(\frac{h\nu}{k_B T}) - 1}$$

Si se tiene la condición:  $\frac{h\nu}{k_B T} \ll 1$ ,

se obtiene la expresión de Rayleigh Jeans como primera aproximación, ya que en ese caso:

$$\exp\left(\frac{h\nu}{k_B T}\right) \simeq 1 + \frac{h\nu}{k_B T}$$

Es decir, se obtiene:

$$u_\nu \simeq \frac{8\pi k_B T}{c^3} \nu^2$$

Observamos además que la energía media también se aproxima a la expresión del caso continuo  $k_B T$  cuando se da la condición que condujo a la aproximación de Rayleigh-Jeans.

Si queremos ver la expresión de la densidad monocromática de energía de la radiación en el interior del cuerpo negro en función de la longitud de onda, tenemos en cuenta que:

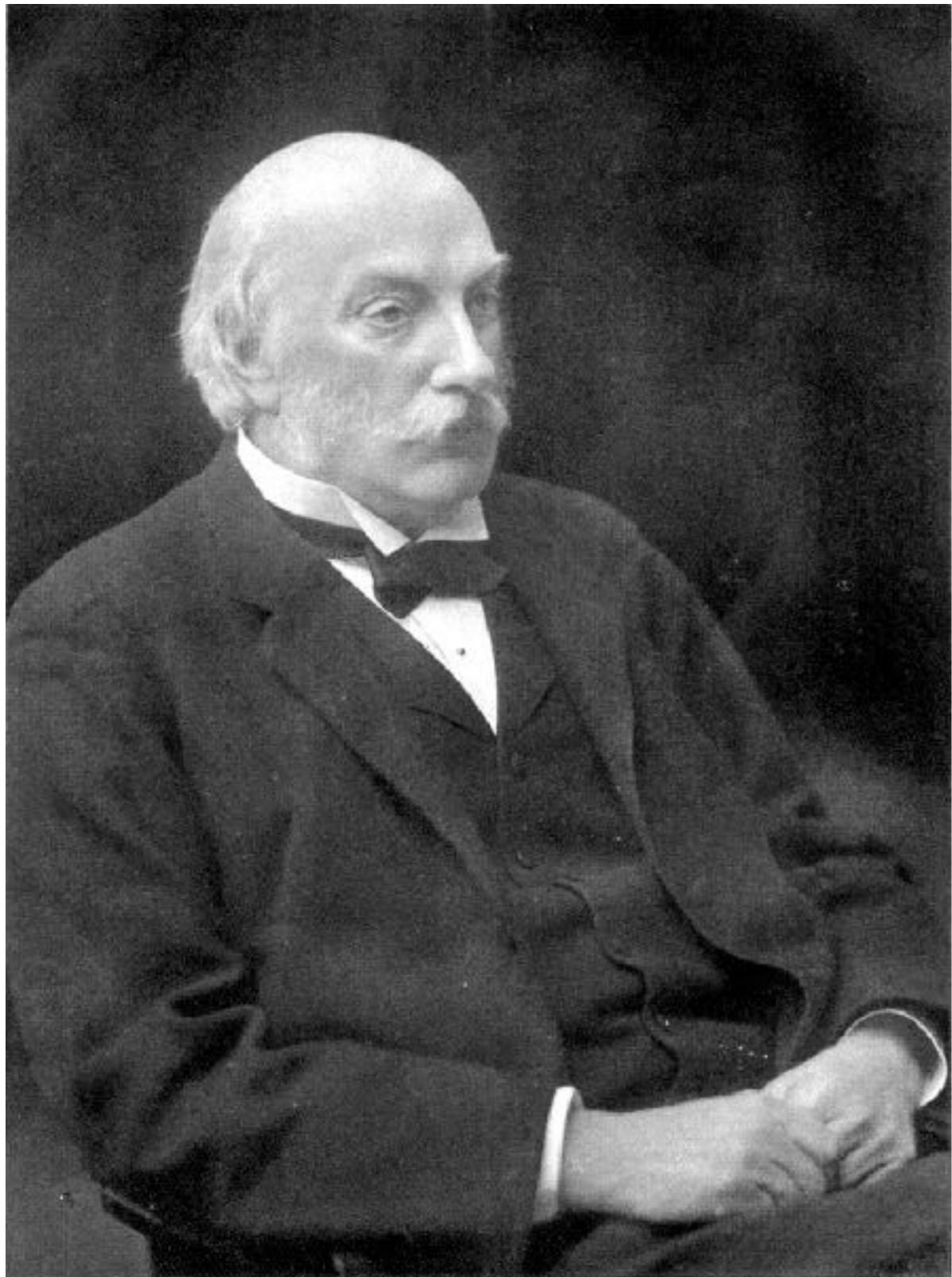
$$u_\nu |d\nu| = u_\lambda |d\lambda|, \nu = c/\lambda, |d\nu| = (c/\lambda^2) |d\lambda|$$

Por tanto:

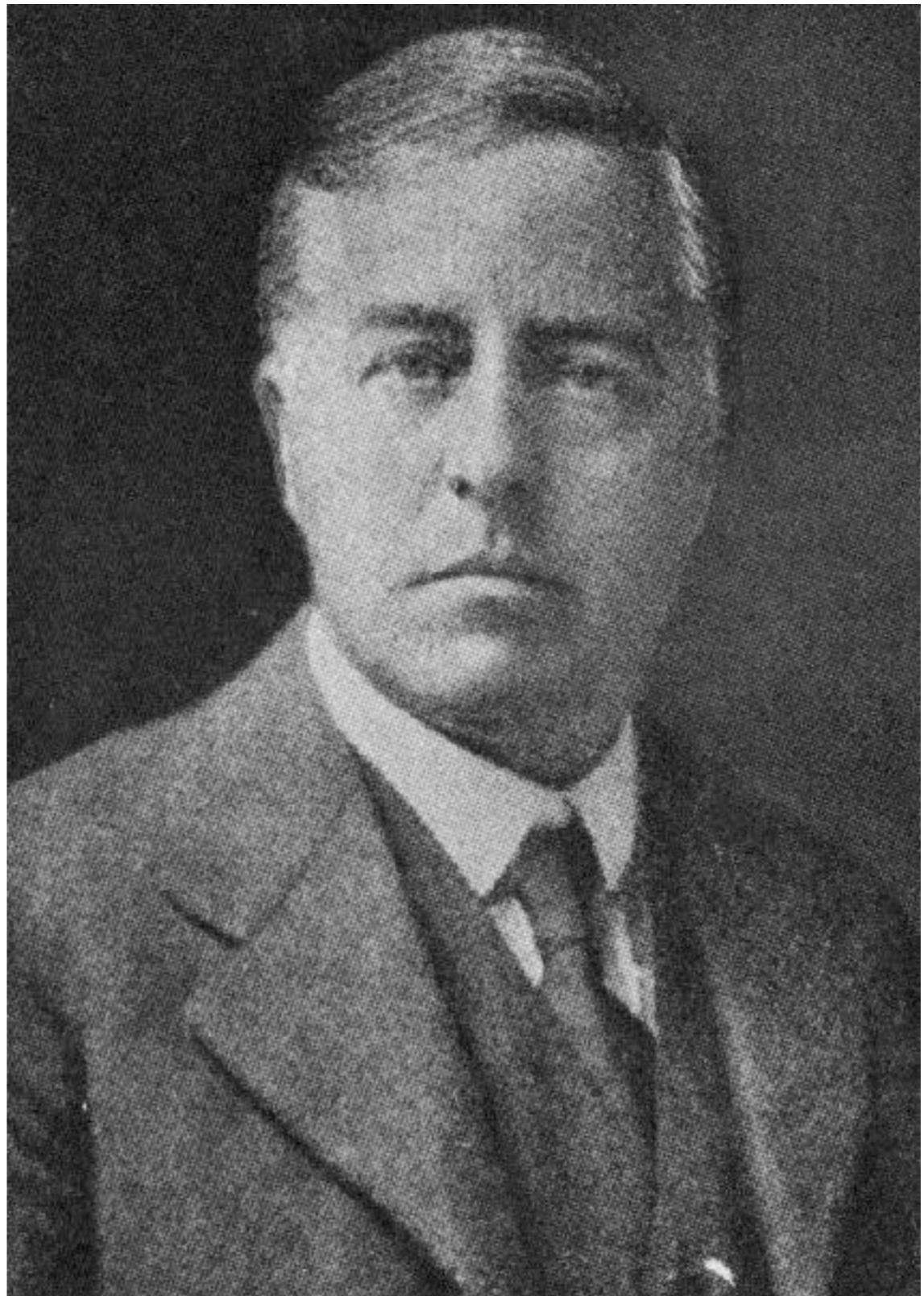
$$u_\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5 \left[ \exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 1 \right]}$$

En este caso, la aproximación de Rayleigh-Jeans que se obtiene es:

$$u_\lambda \simeq \frac{8\pi k_B T}{\lambda^4}$$



John William Strutt (1842-1919)  
Tercer Barón de **Rayleigh**



James Hopwood **Jeans** (1877-1946)

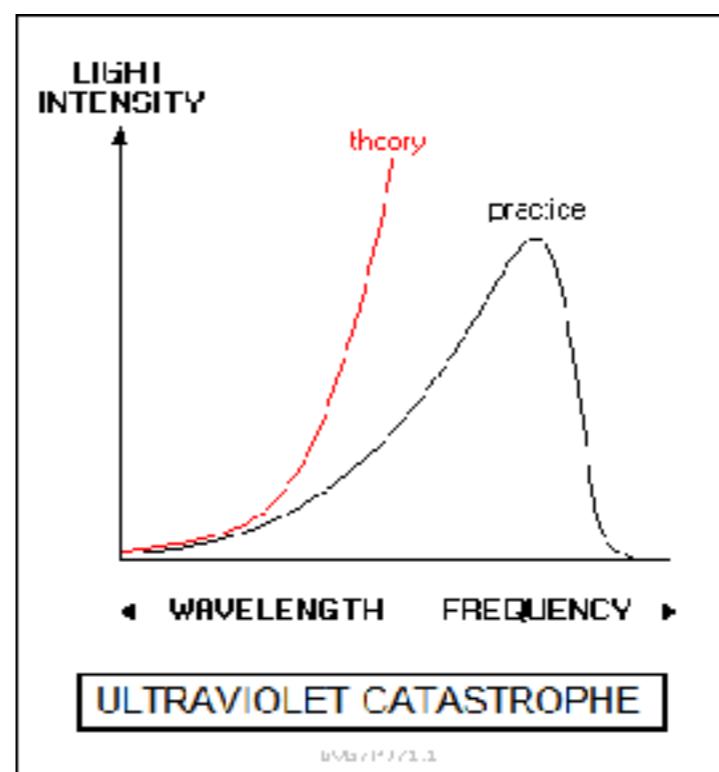
Caso continuo fue considerado por Rayleigh (1900) & Jeans (1905)

$$\bar{E} = \int_0^{\infty} E P(E) dE = k_B T$$

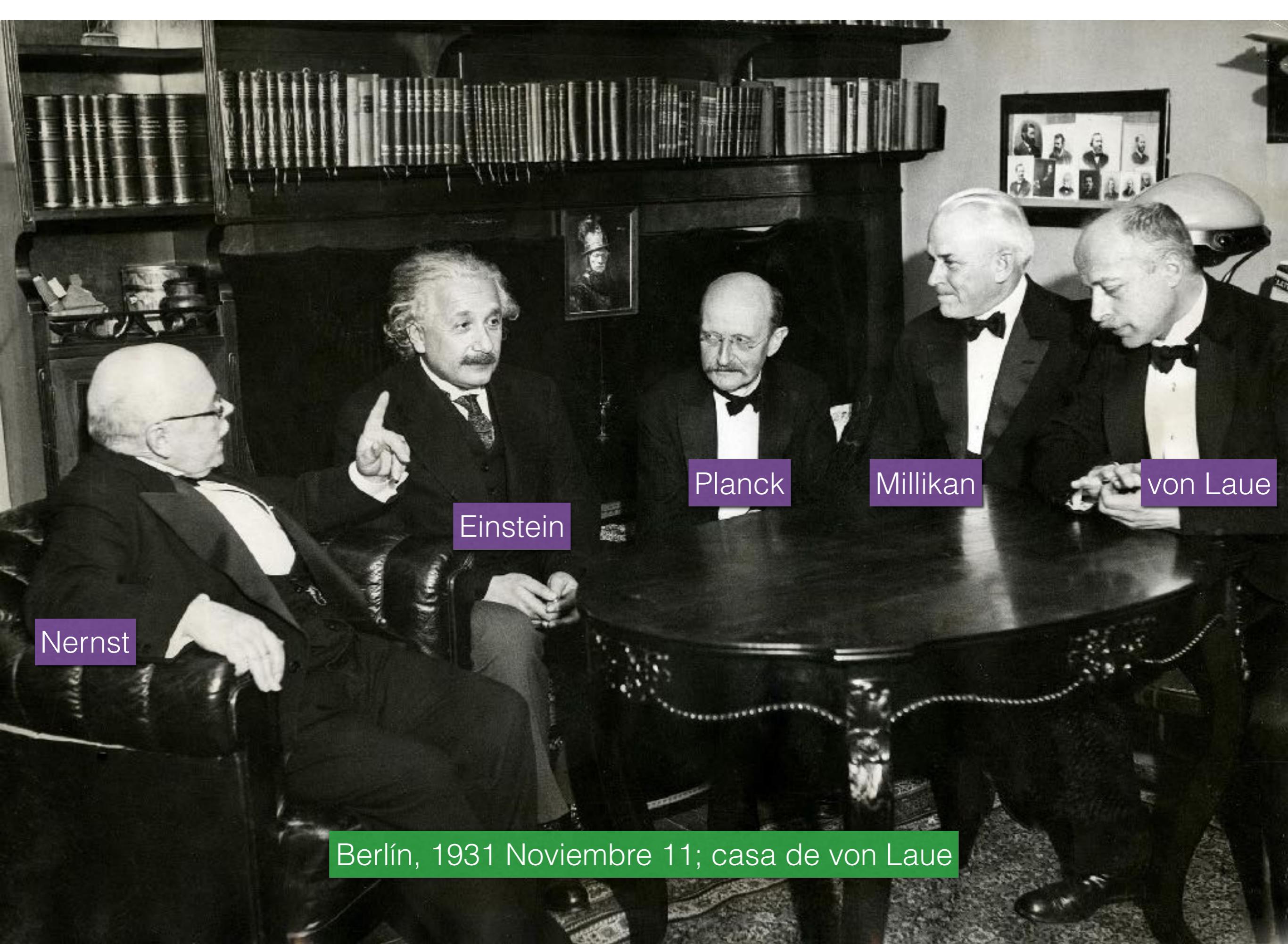
En este caso la energía media de los osciladores es independiente de la frecuencia de la radiación (emitida/absorbida). Combinando este valor medio de la energía de los osciladores con la densidad monocromática de nodos, obtenemos la ley de Rayleigh-Jeans del cuerpo negro:

$$u_{\nu} = \frac{8\pi}{c^3} k_B T \nu^2$$

Término “catástrofe ultravioleta”: Ehrenfest (1911)



Paul Ehrenfest (1880-1933)



Nernst

Einstein

Planck

Millikan

von Laue

Berlín, 1931 Noviembre 11; casa de von Laue



Quinta Conferencia Solvay, 1927

Électrons et Photons

# Comparación continuo Sol con el de un cuerpo negro (Temperatura de color)

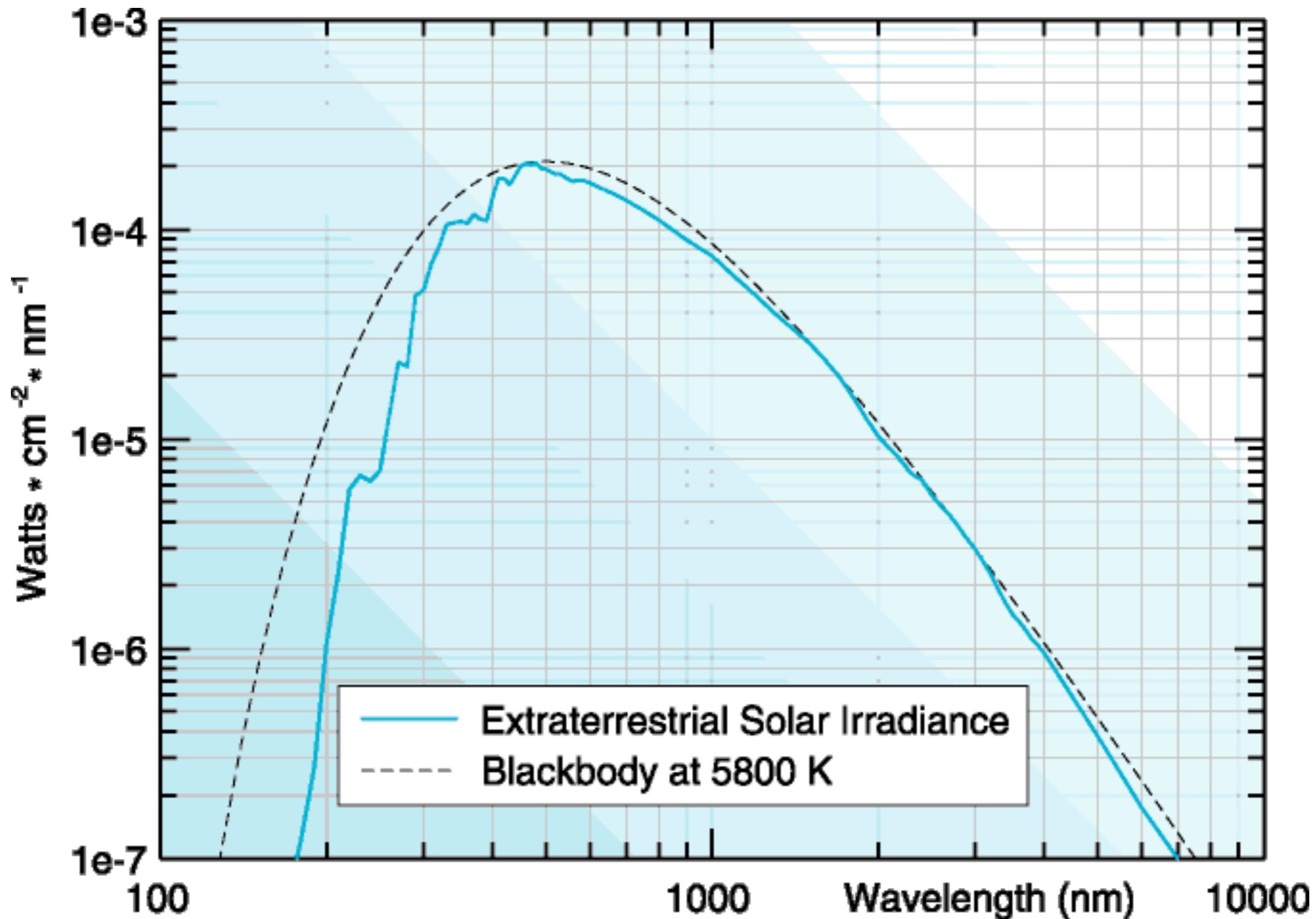
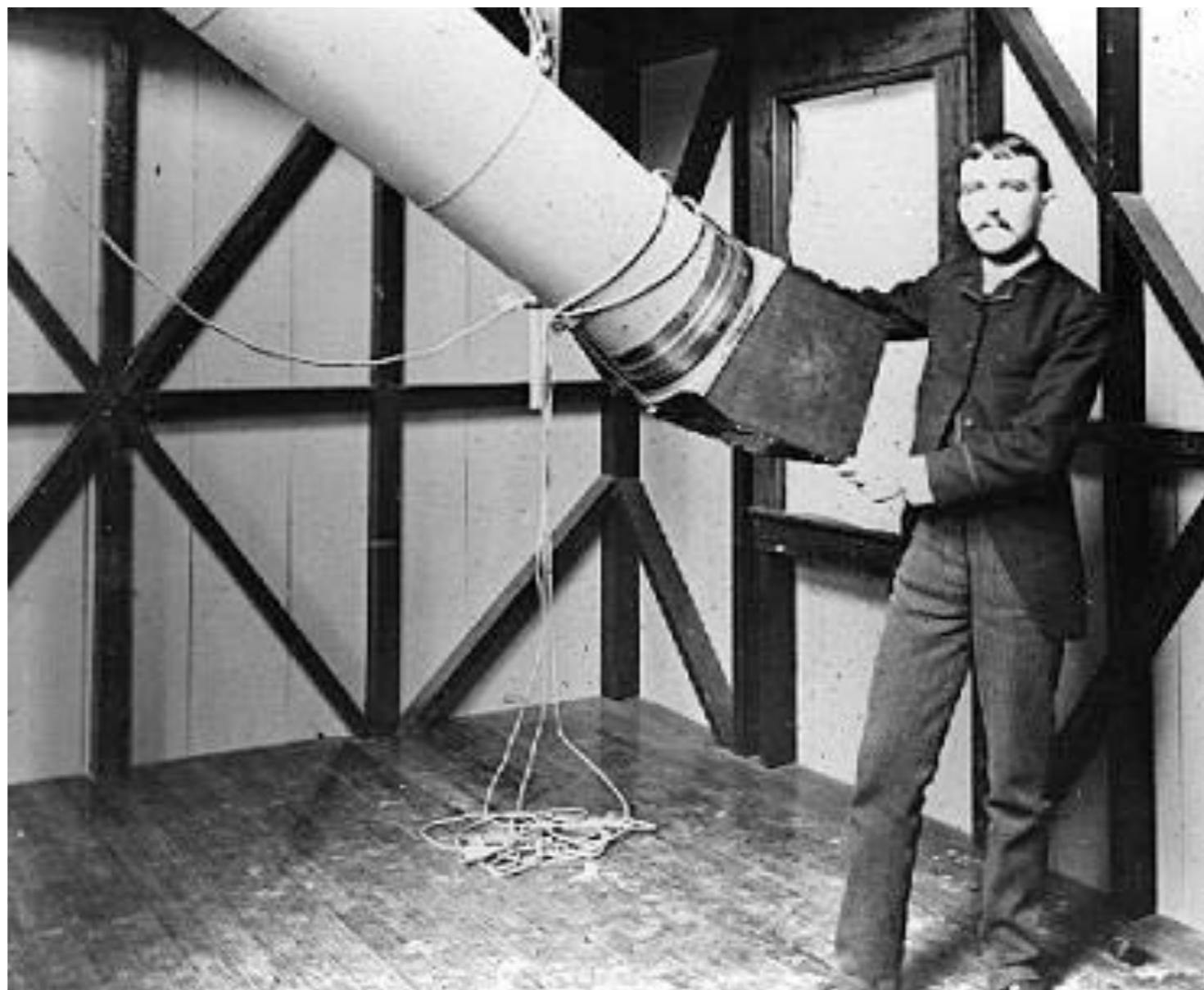


Fig. 5.7 Extraterrestrial solar irradiance compared to a blackbody.

# Henry Draper

primer astrofotógrafo espectral (Vega, 1872)



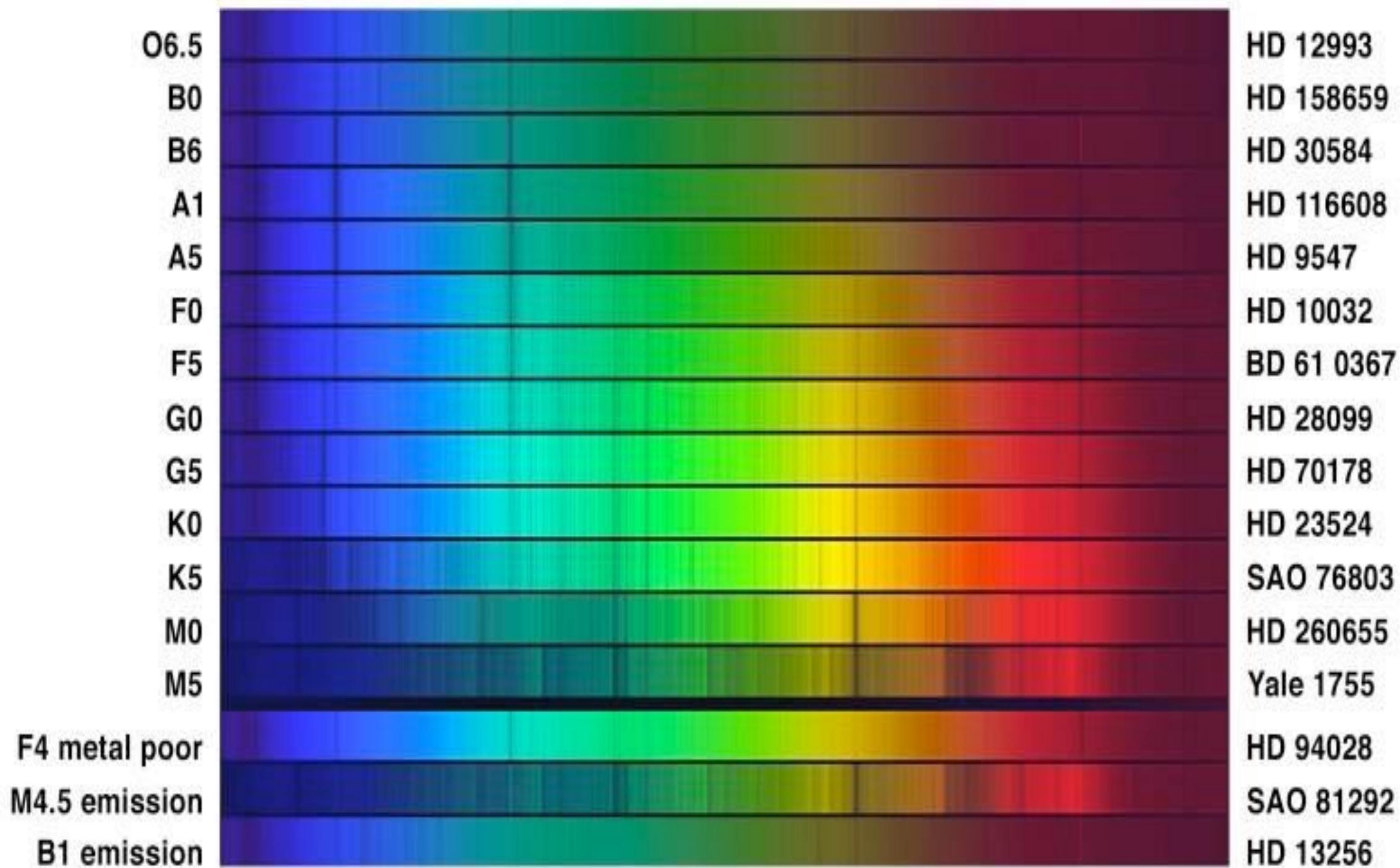
Henry Draper (1837-1882) SI neg. 48,235

# Los que hicieron el catálogo HD



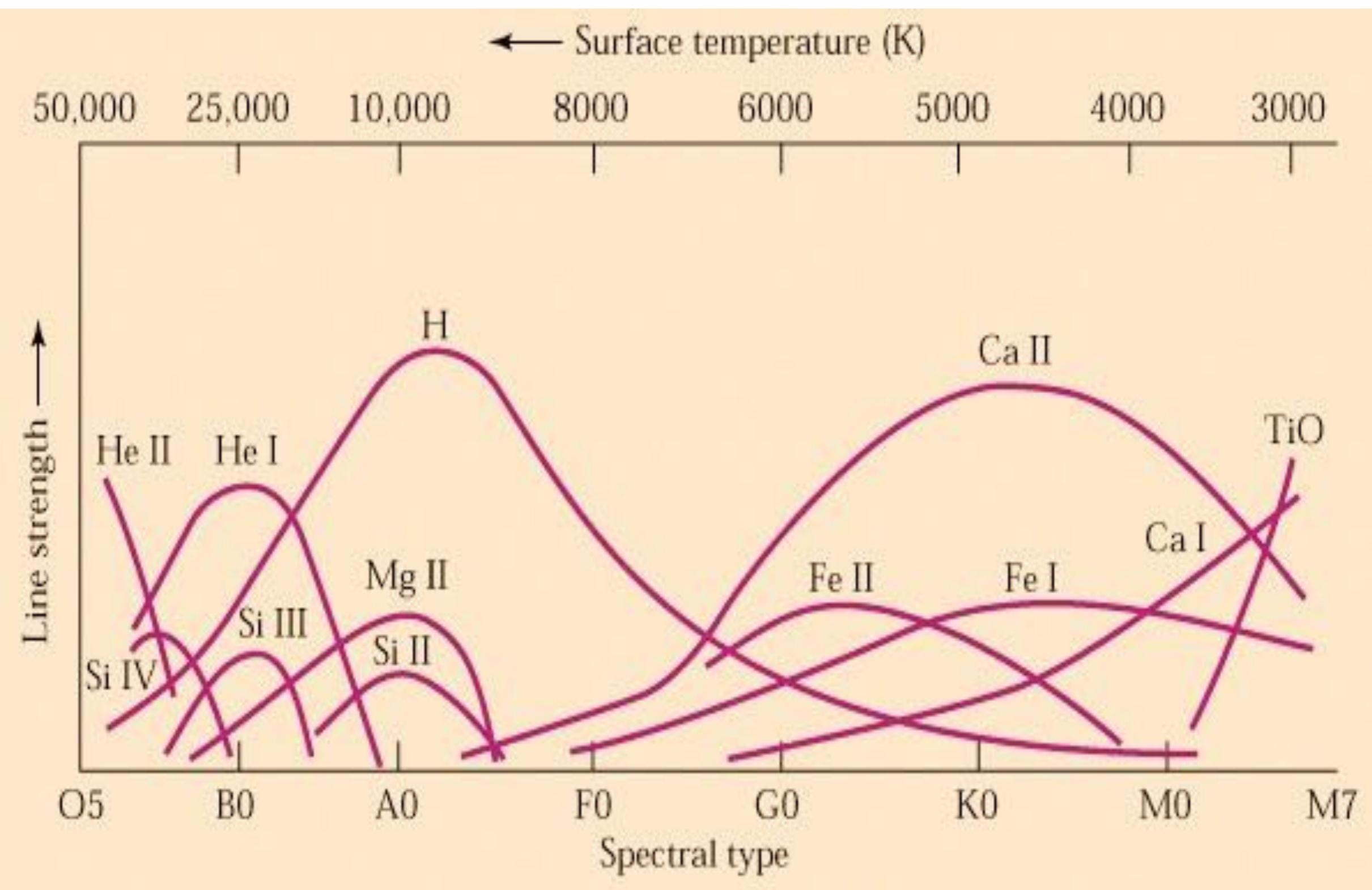
- El profesor Edward Pickering con Annie Jump Canon, Williamina Fleming y Antonia Maury, entre los más destacados, realizaron el estudio de los espectros estelares y produjeron el catálogo HD

# Clasificación espectral



## *Spectral Class Characteristics*

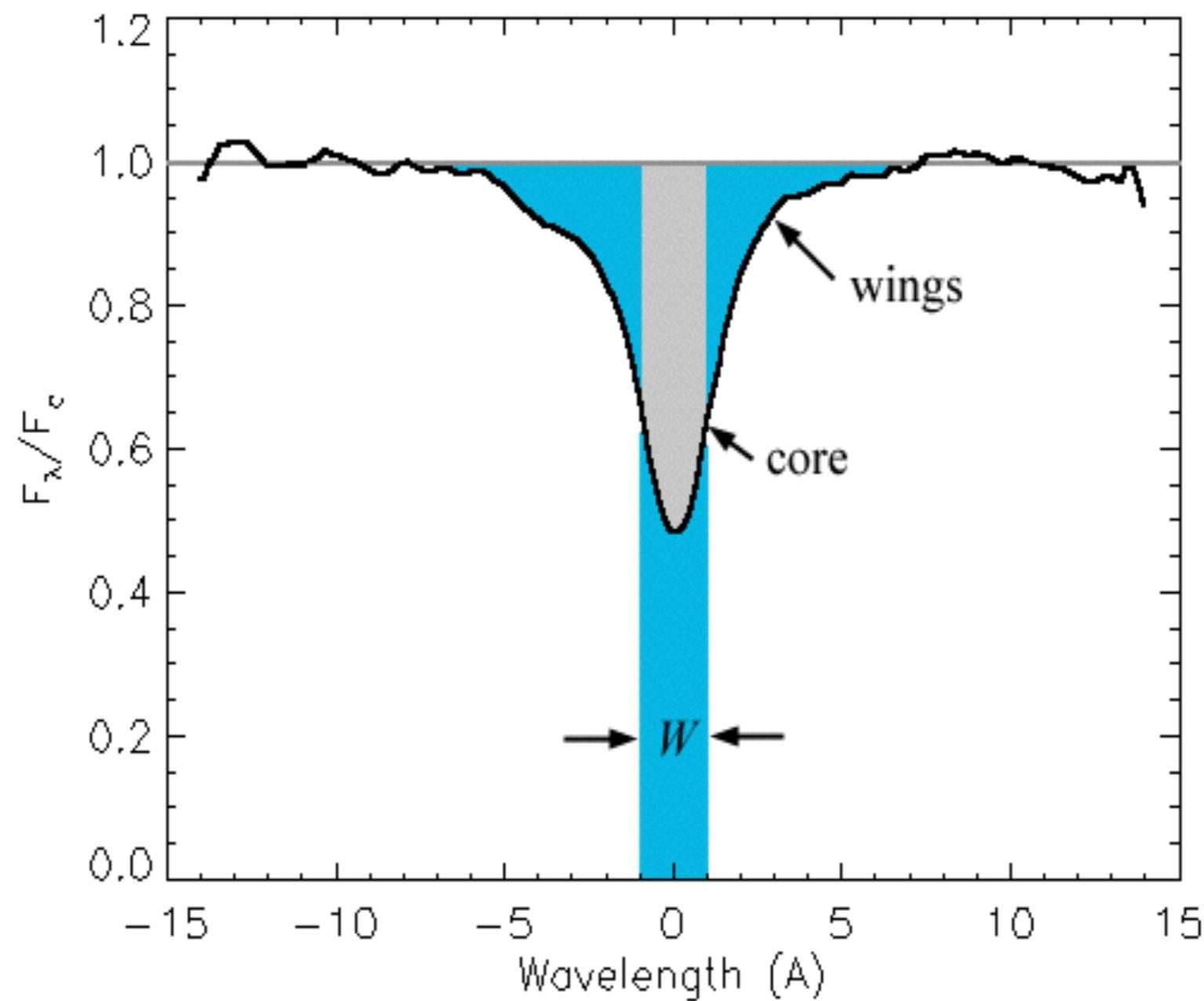
Spectral Class	Intrinsic Color	Surface Temperature (K)	Prominent Absorption Lines
O	Blue	41,000	$\text{He}^+$ , $\text{O}^{++}$ , $\text{N}^{++}$ , $\text{Si}^{++}$ , $\text{He}$ , $\text{H}$
B	Blue	31,000	$\text{He}$ , $\text{H}$ , $\text{O}^+$ , $\text{C}^+$ , $\text{N}^+$ , $\text{Si}^+$
A	Blue-white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



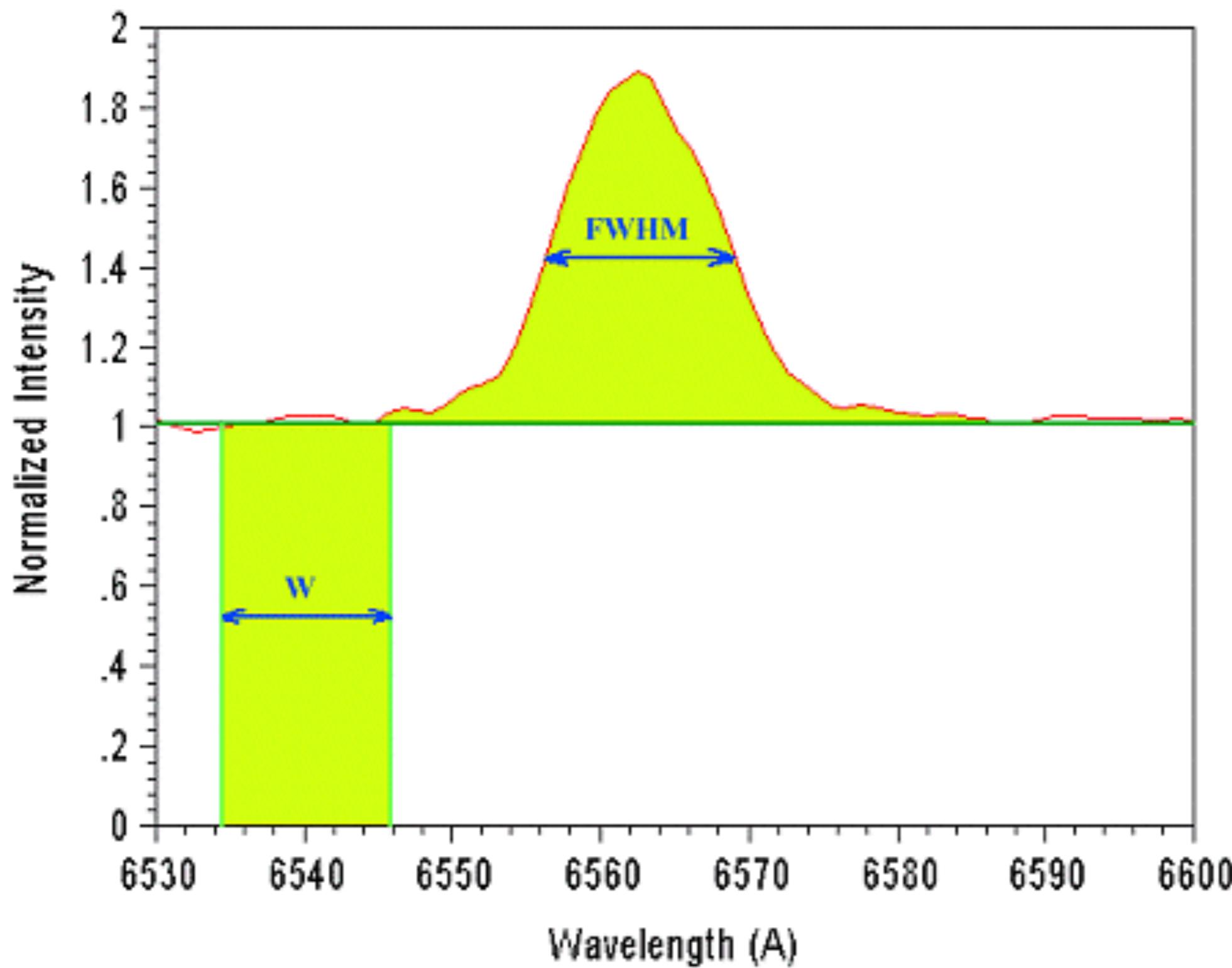
# Cecilia Payne-Gaposchkin (1925)

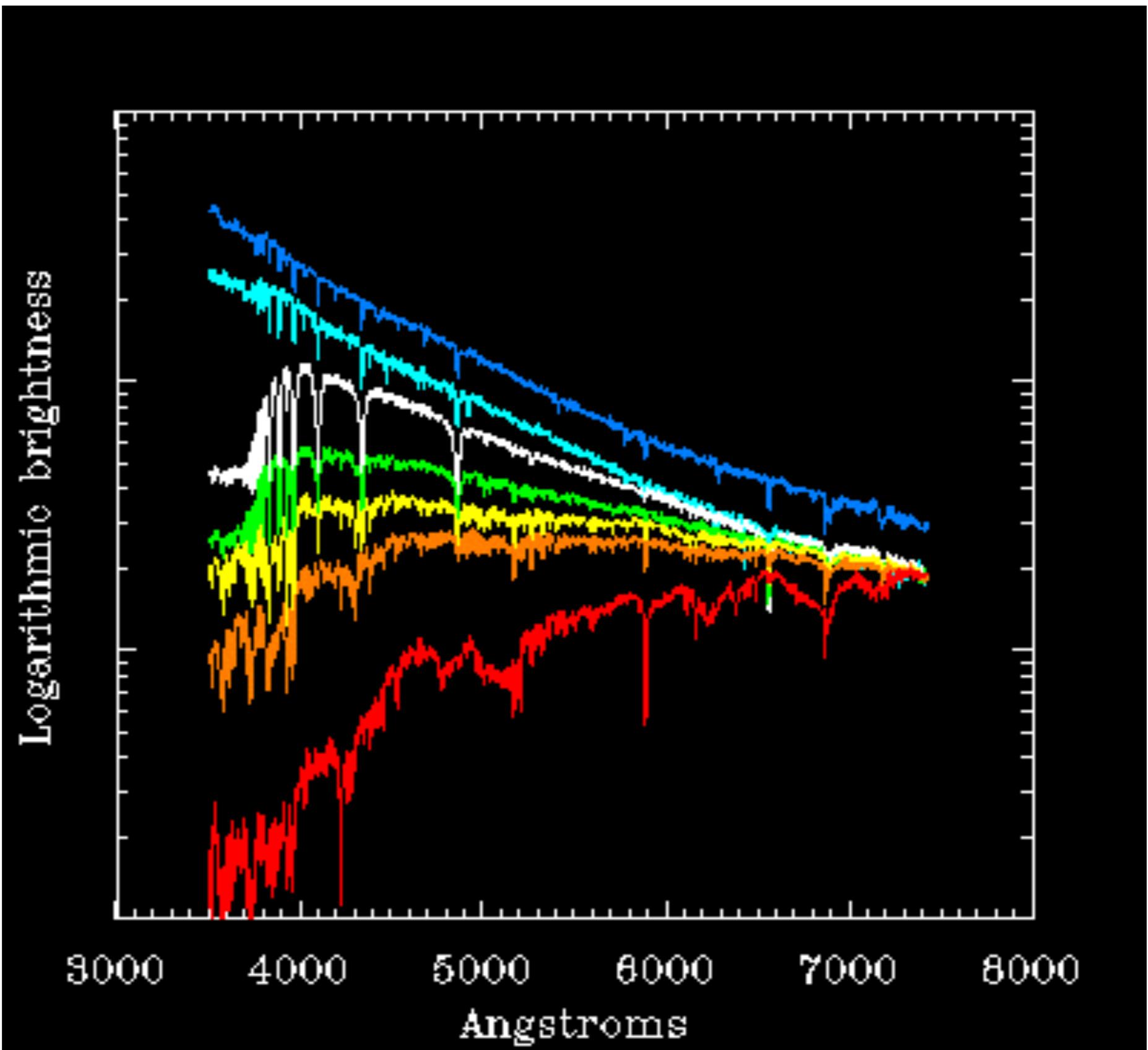


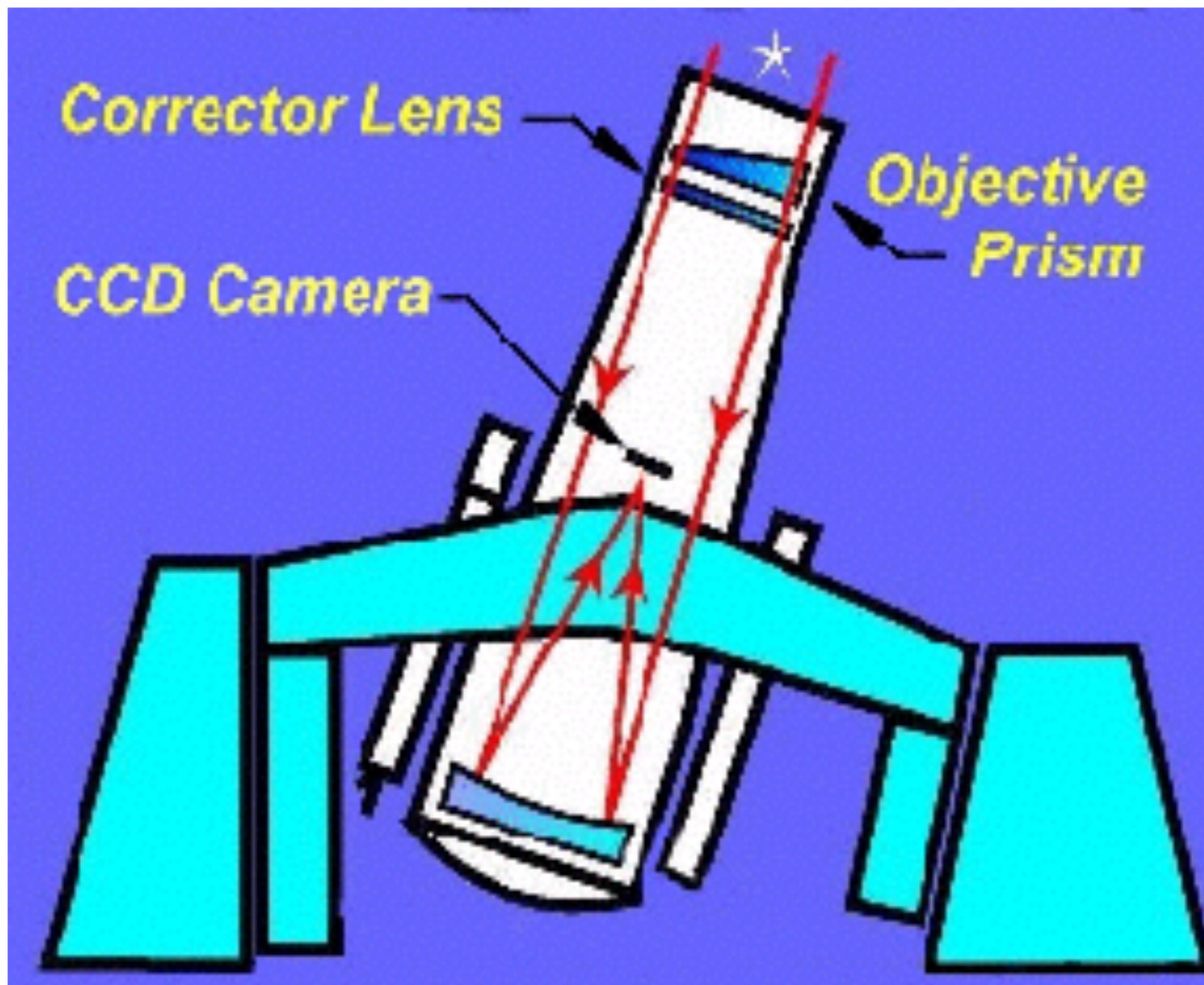
# Ancho equivalente de la línea



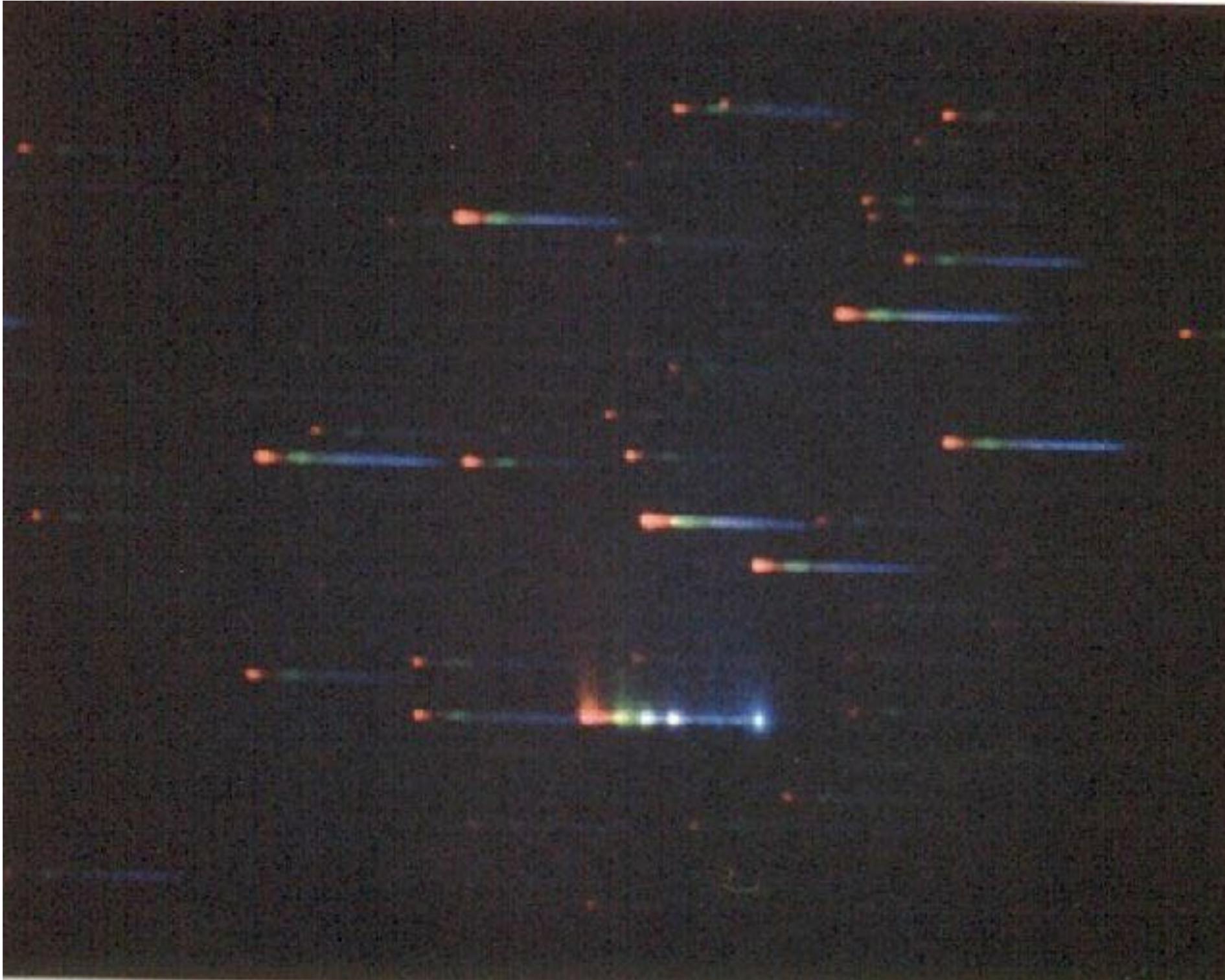
# FWHM versus EW







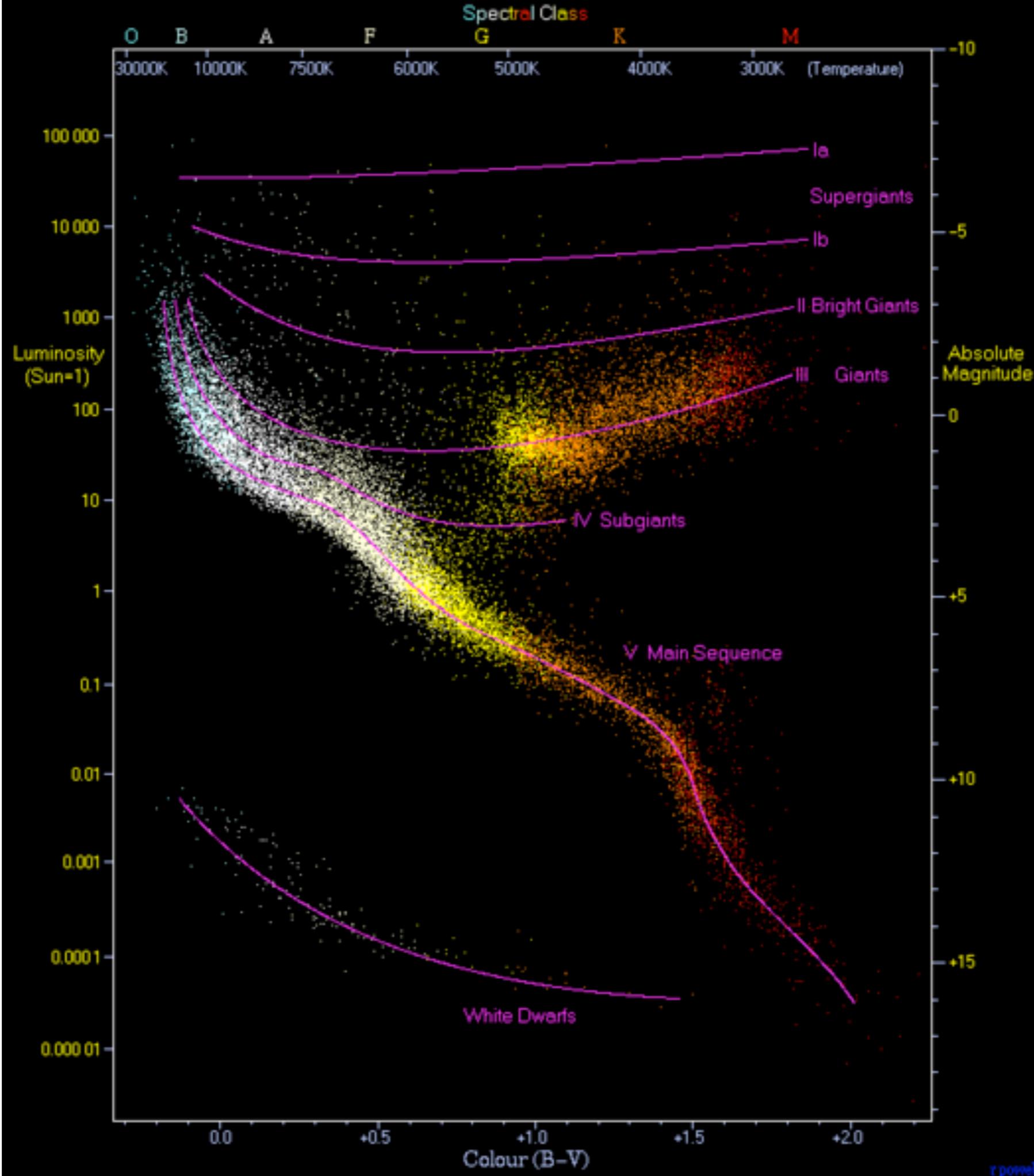
Con prisma objetivo se obtienen muchos espectros estelares a la vez en una sola foto



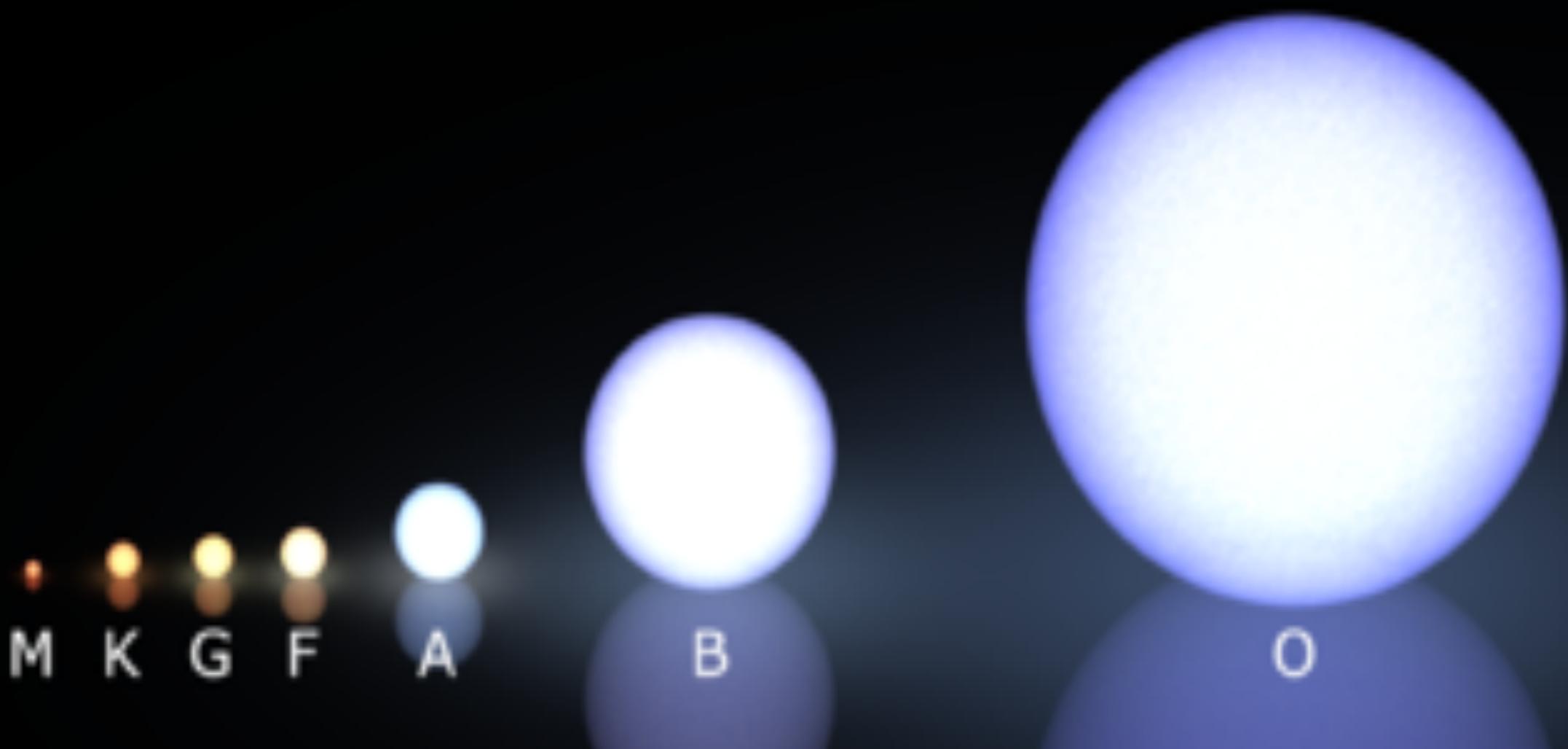
# Ejnar Hertzsprung (1911) & Henry Norris Russell (1913)



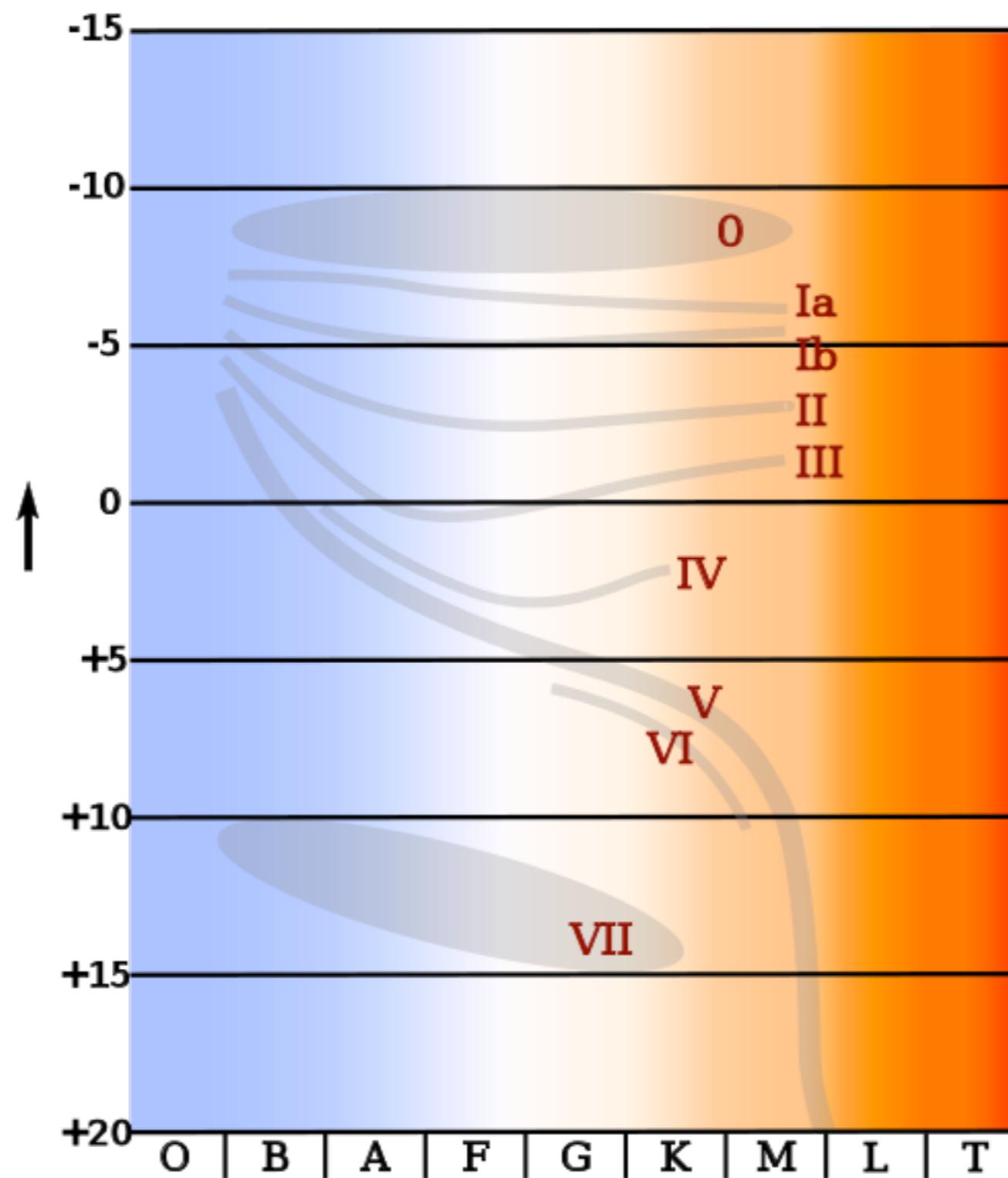
- Desarrollaron en forma independiente un diagrama bidimensional en donde se posiciona a las estrellas según su magnitud absoluta visual y tipo espectral: diagrama HR.



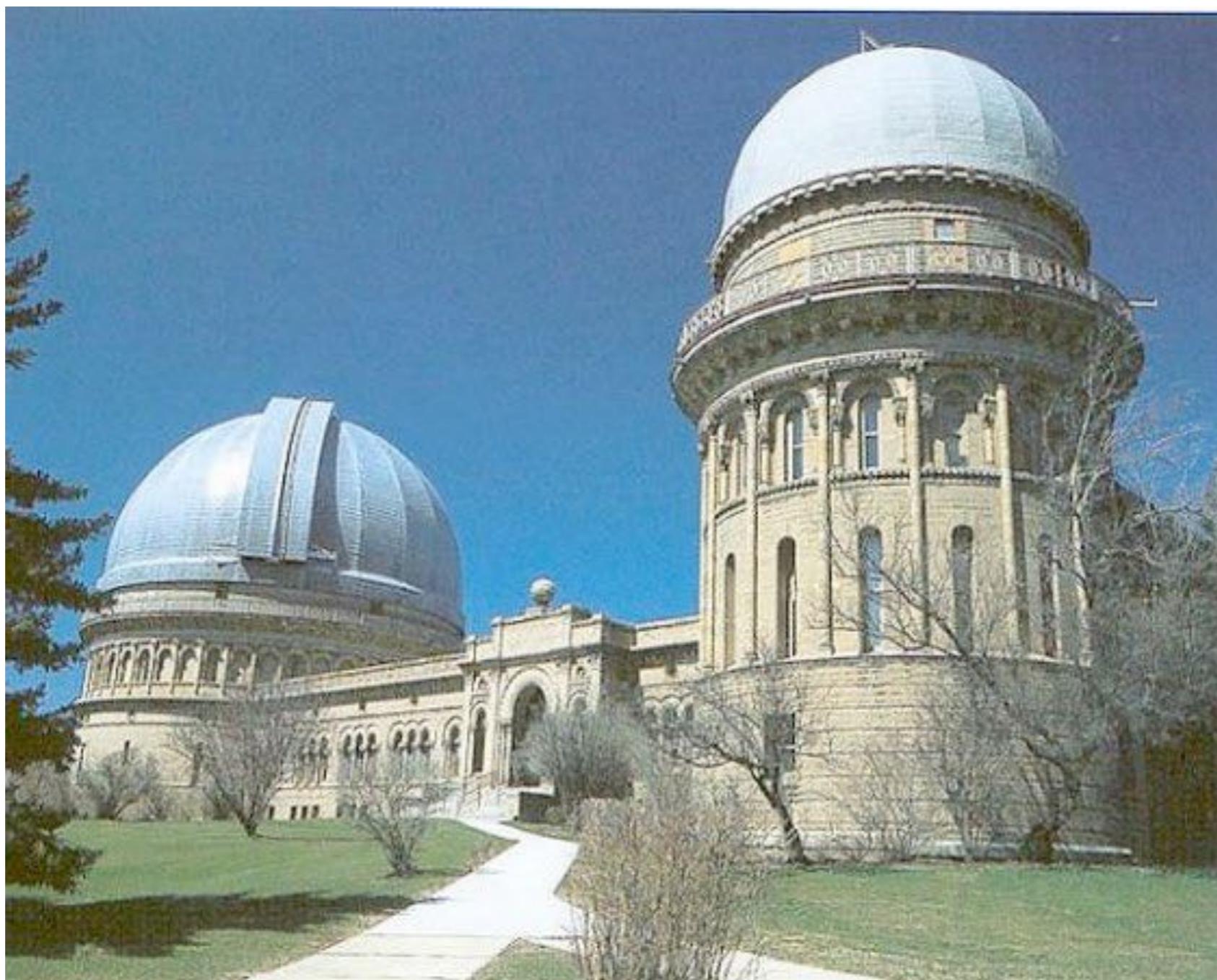
# Tamaños relativos estrellas de la secuencia principal, de diferentes tipos espectrales



# Clasificación espectral de Yerkes



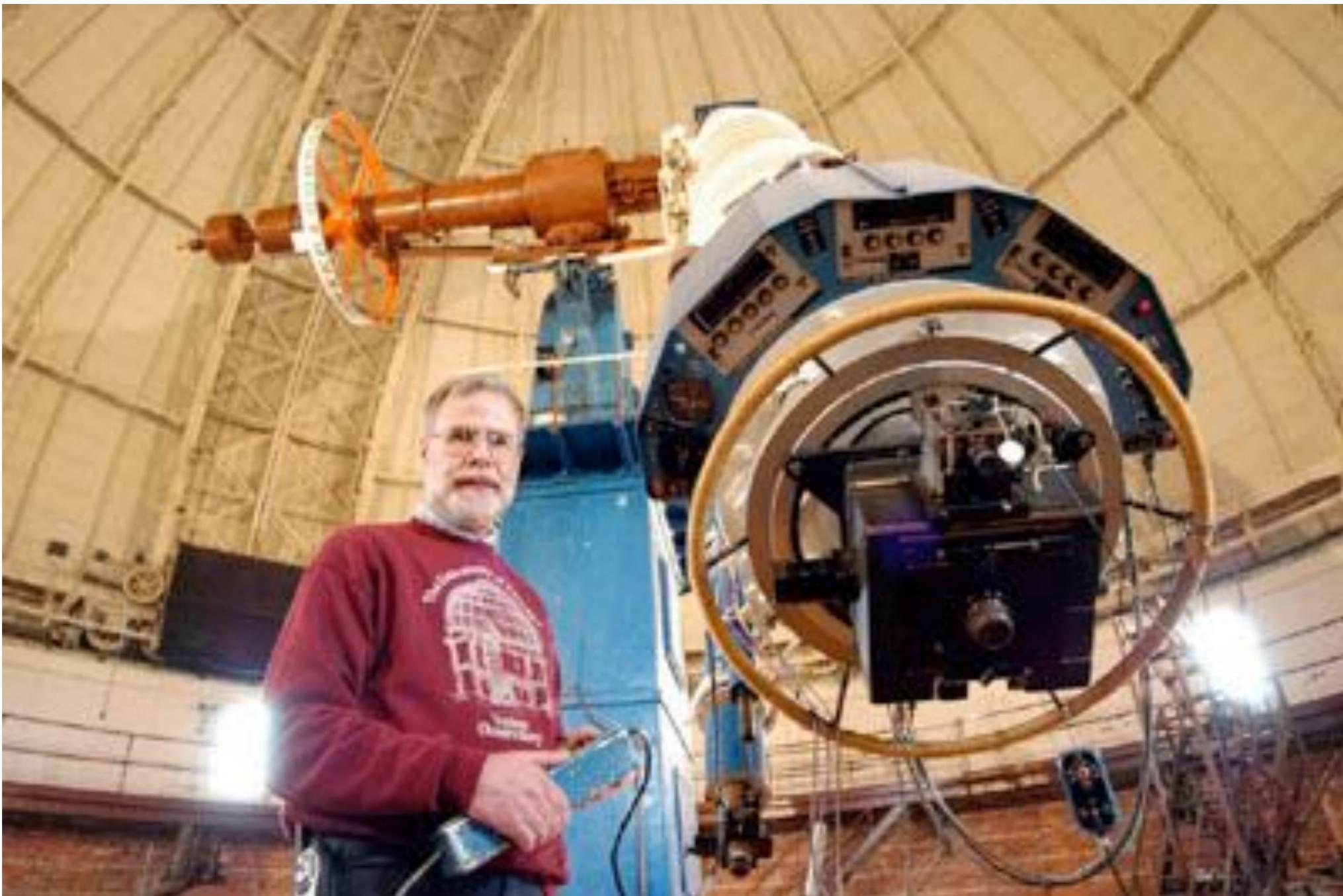
# Cúpulas observatorio de Yerkes



# El refractor de Yerkes



# Instrumentación moderna en el gran refractor (1m) de Yerkes



# Serie de Balmer (1885)

•  $n_1=2$      $H\alpha : 3 \rightarrow 2$     6563Å

$H\beta : 4 \rightarrow 2$     4861Å

$H\epsilon : 7 \rightarrow 2$     3970Å

$H\delta : 6 \rightarrow 2$     4102Å

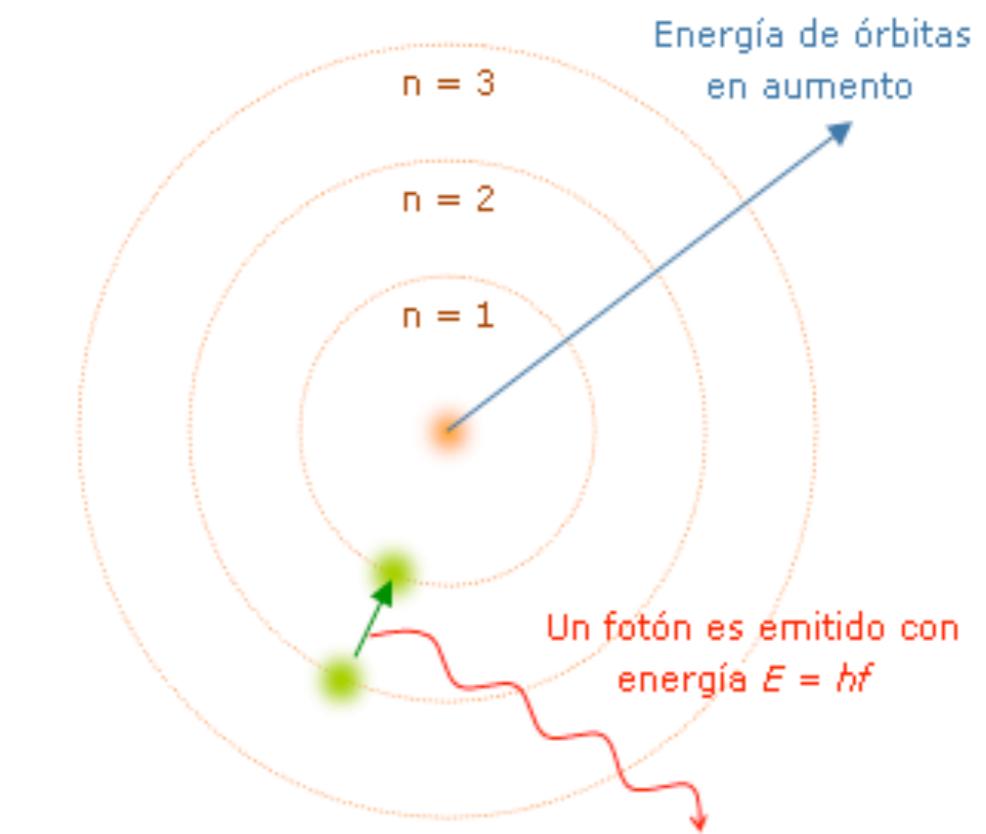
$H\gamma : 5 \rightarrow 2$     4341Å

Límite de Balmer:     $H\epsilon : \infty \rightarrow 2$     3646Å

# Fórmula de Rydberg

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

# Modelo atómico de Bohr (1913)



- Niveles de energía exactos. Allí no emisión
- Salto de nivel: absorbe o emite fotón

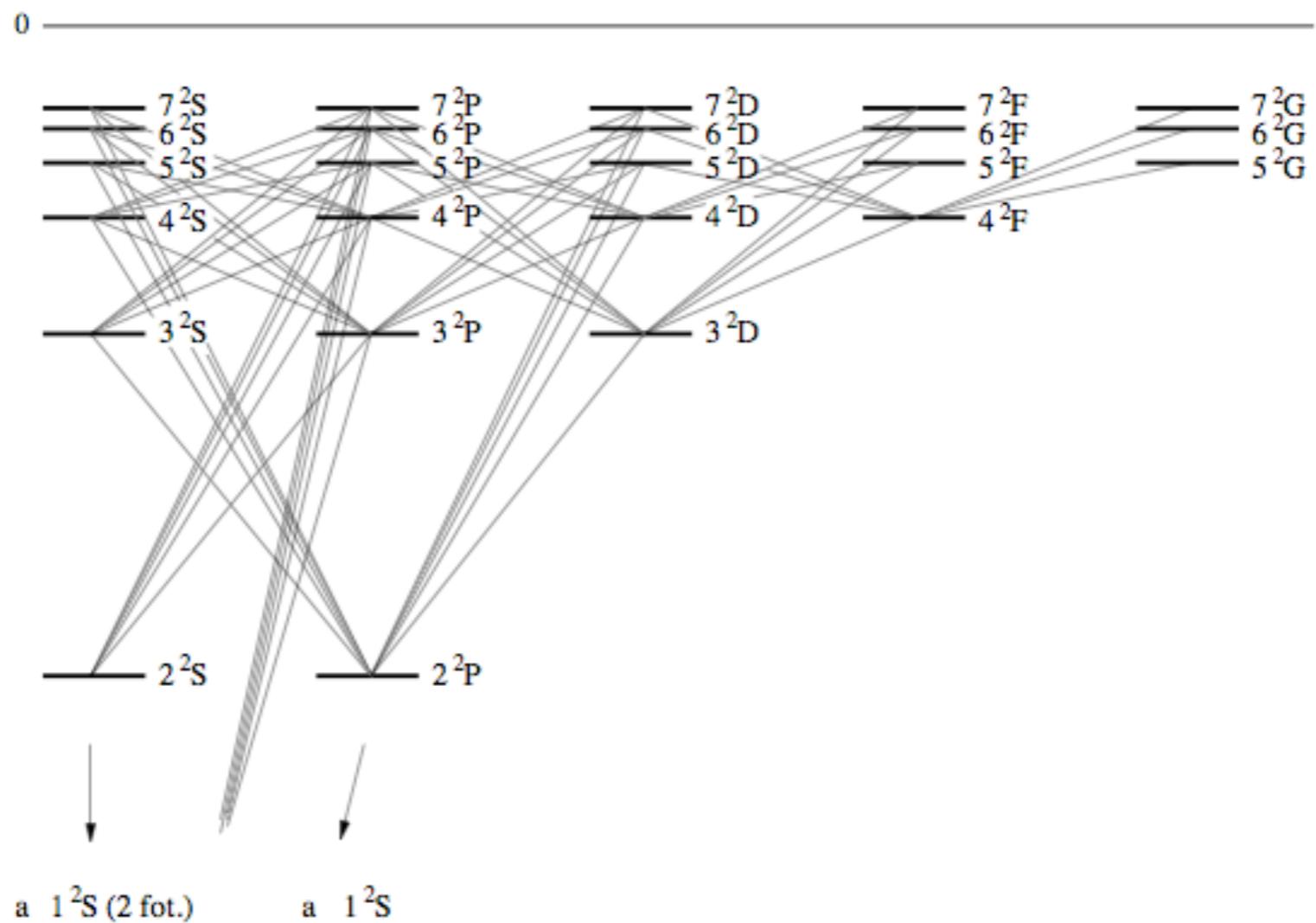
# Niveles de energía permitidos en el modelo de Bohr

$$mv_n r_n = n \frac{h}{2\pi}$$

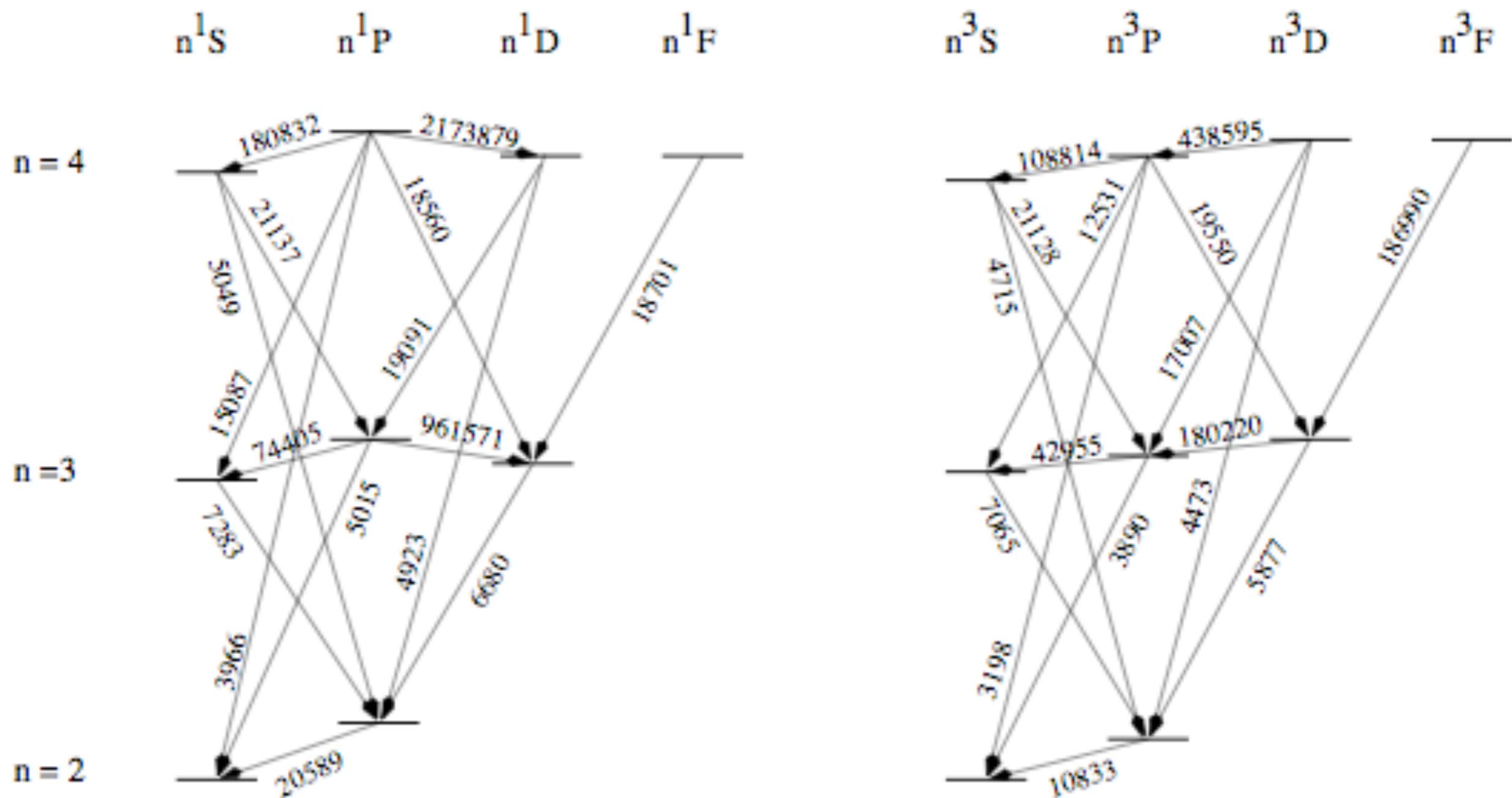
$$E_n = -\frac{Z^2 R_E}{n^2}$$

$$R_H = \frac{1}{2} (m_e c^2) \alpha^2 \approx 10\,973\,732.6 \text{ m}^{-1}$$

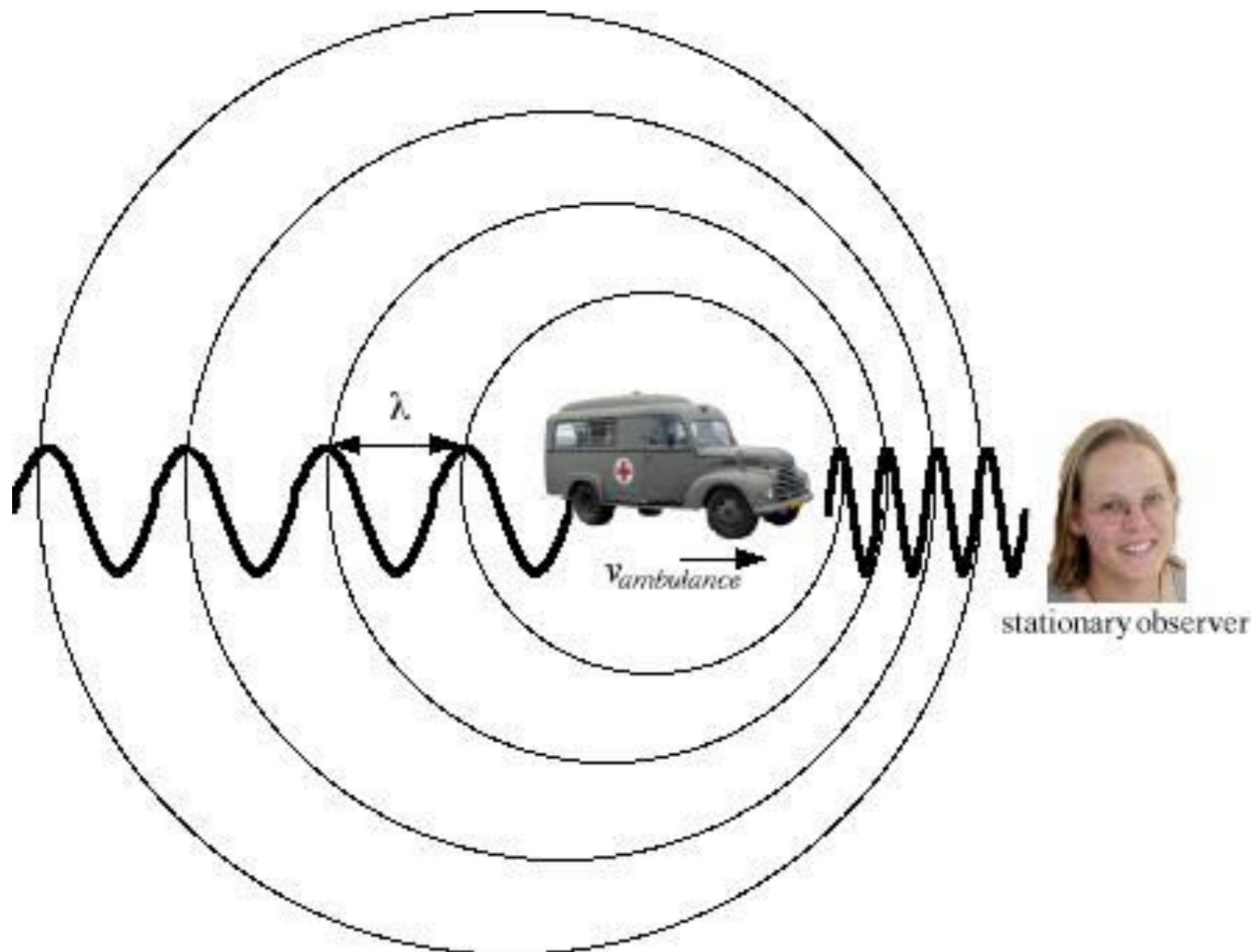
# Niveles de energía: átomo H



# Diagrama Grotiano: He I



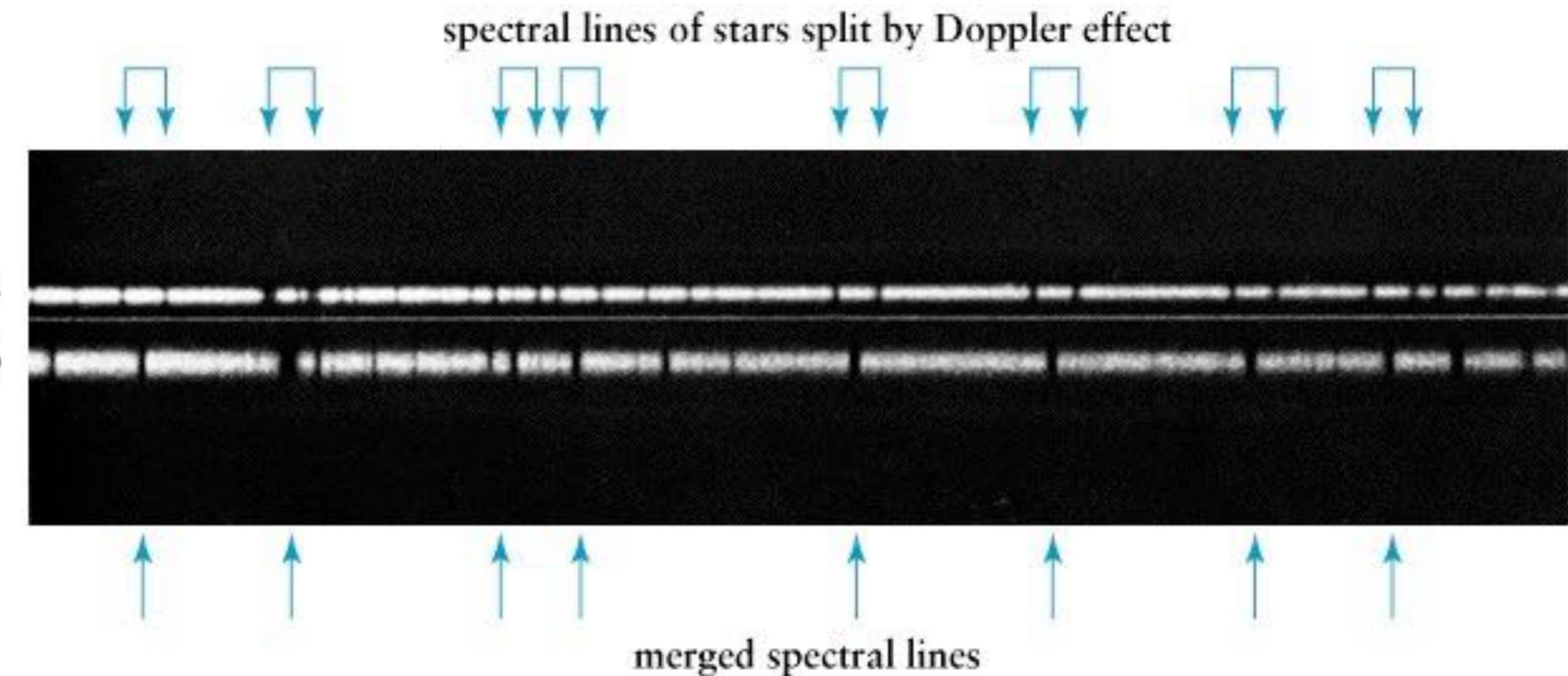
# Efecto Doppler



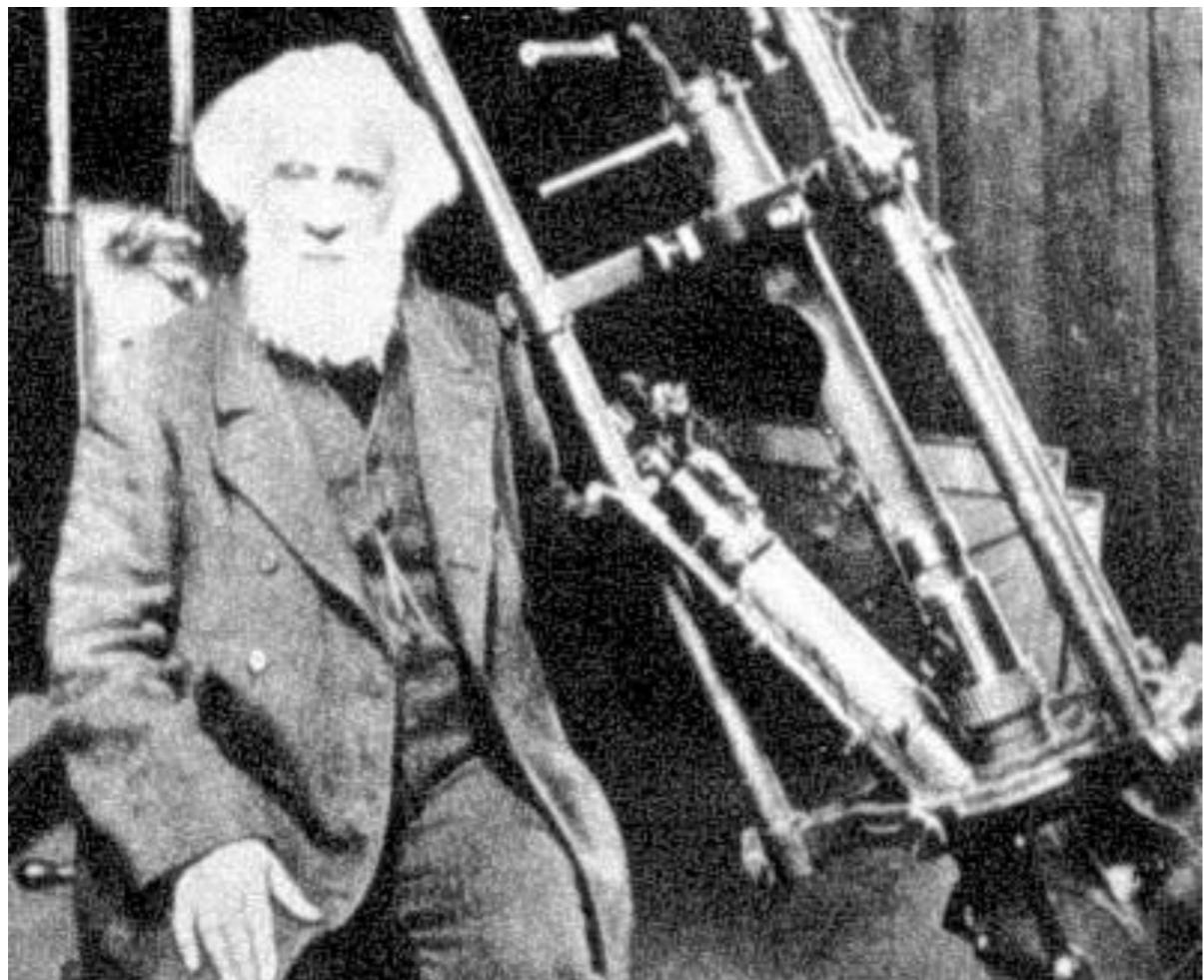
# Doppler no-relativista

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \equiv \frac{v_r}{c}$$

# Efecto Doppler en binarias

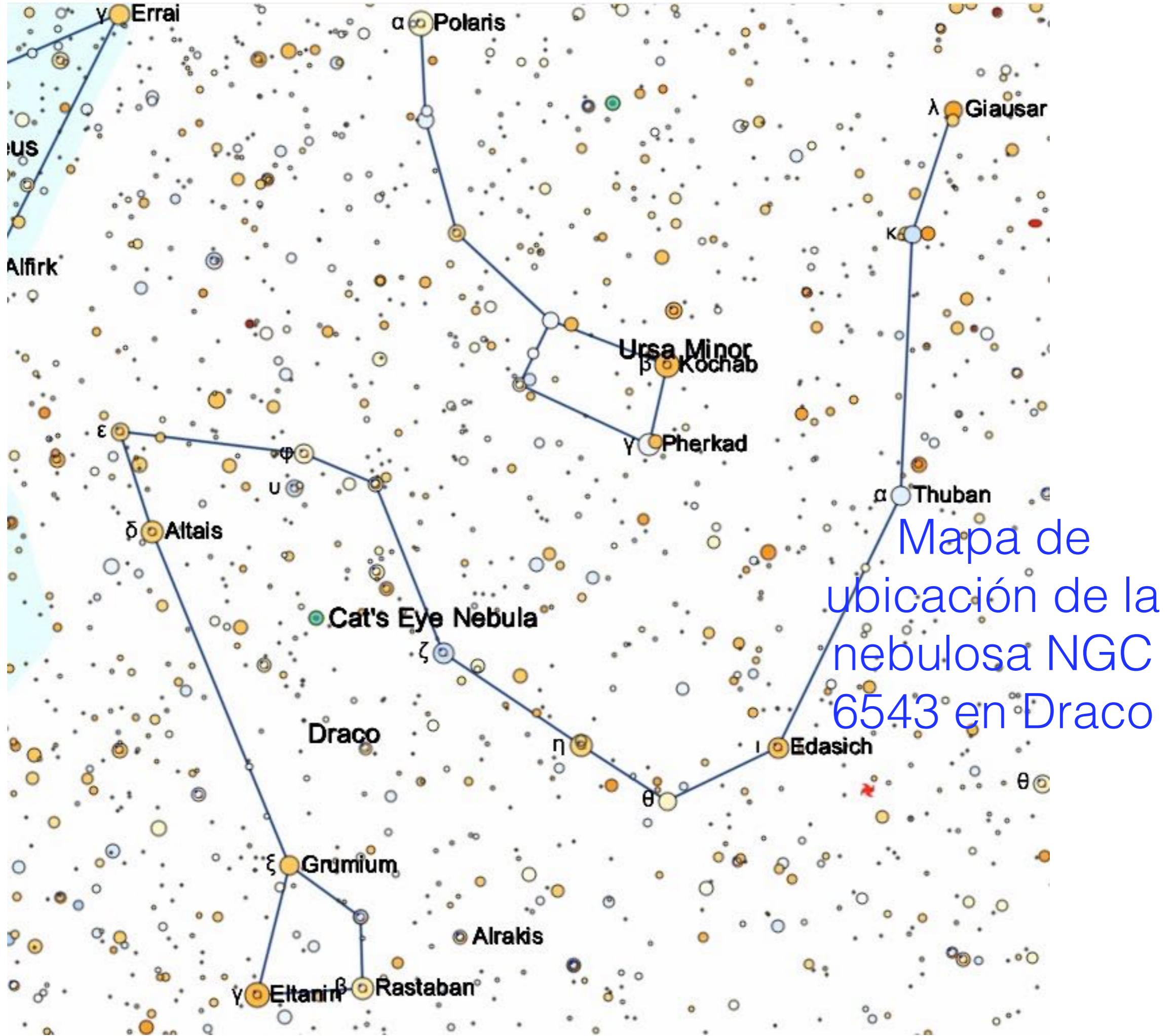


# Espectros de nebulosas fotoionizadas



Sir William Huggins

Fue el primero en observar el espectro de una nebulosa de emisión (NGC6543) en la noche del 29 de Agosto de 1864. Observó **una sola línea!** el nebulium!!



Mapa de  
ubicación de la  
nebulosa NGC  
6543 en Draco



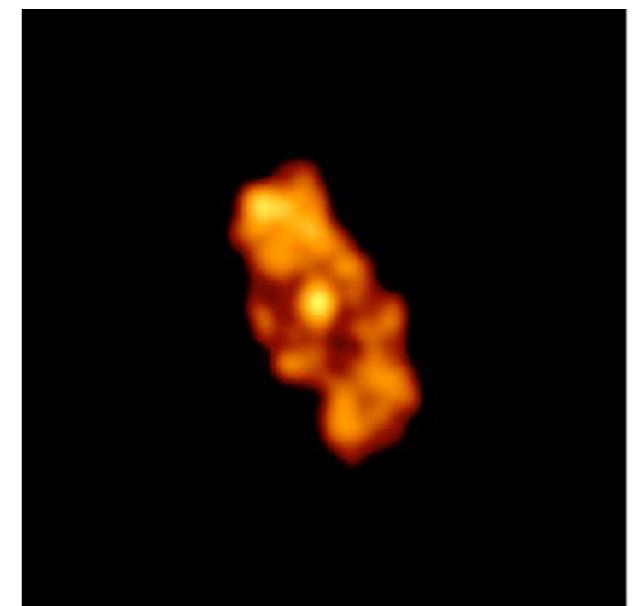
Nebulosa planetaria Ojo de Gato (“Cat’s Eye nebula”), NGC 6543. En la constelación de Draco, 3262ly; 9<sup>m</sup>.8

La imagen de la izquierda es una composición de imagen del HST y del telescopio Chandra en rayos X.

Fotos NASA

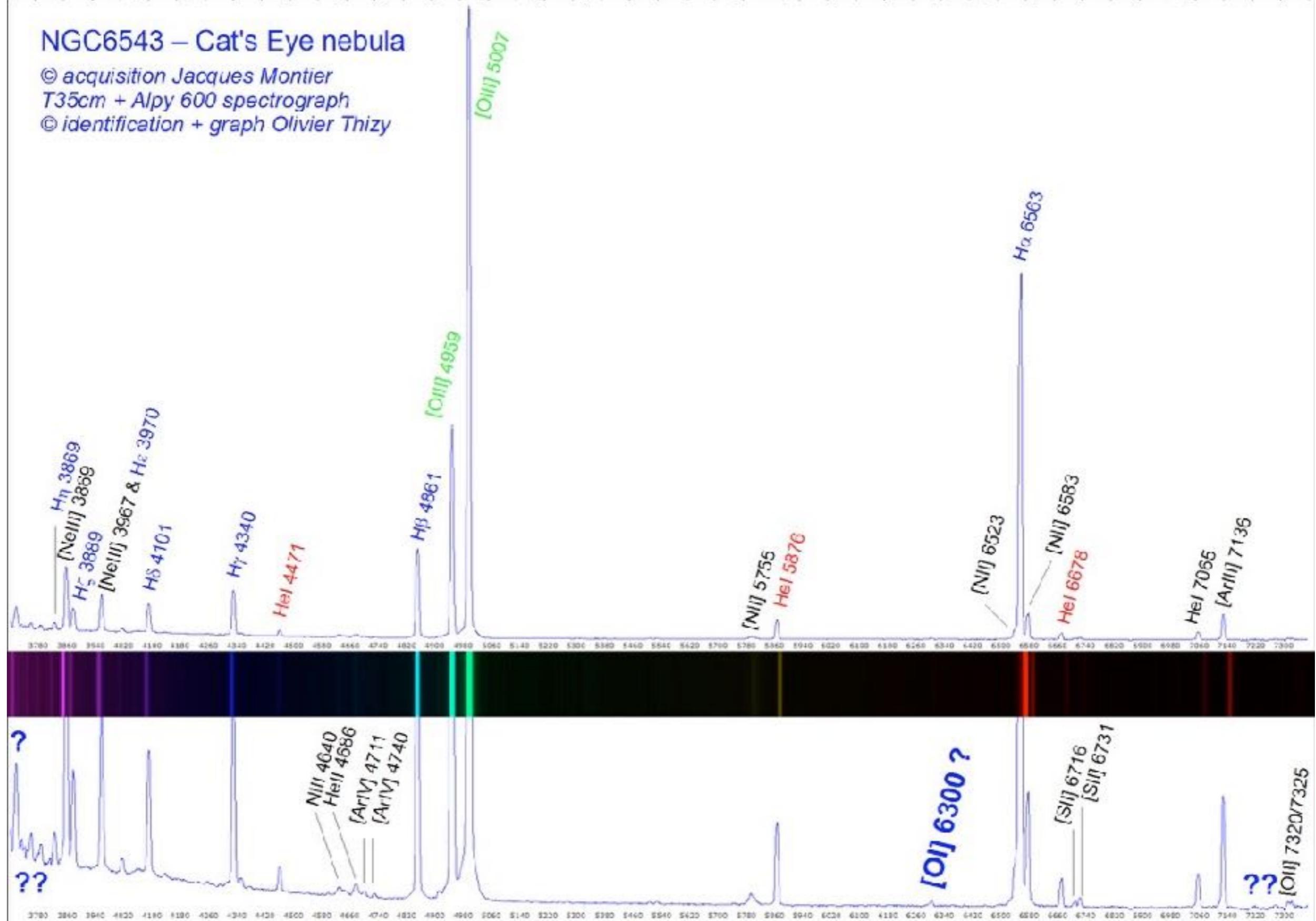
Se observan  
detalles  
concéntricos

Imagen  
tomada en  
rayos X por el  
telescopio  
Chandra



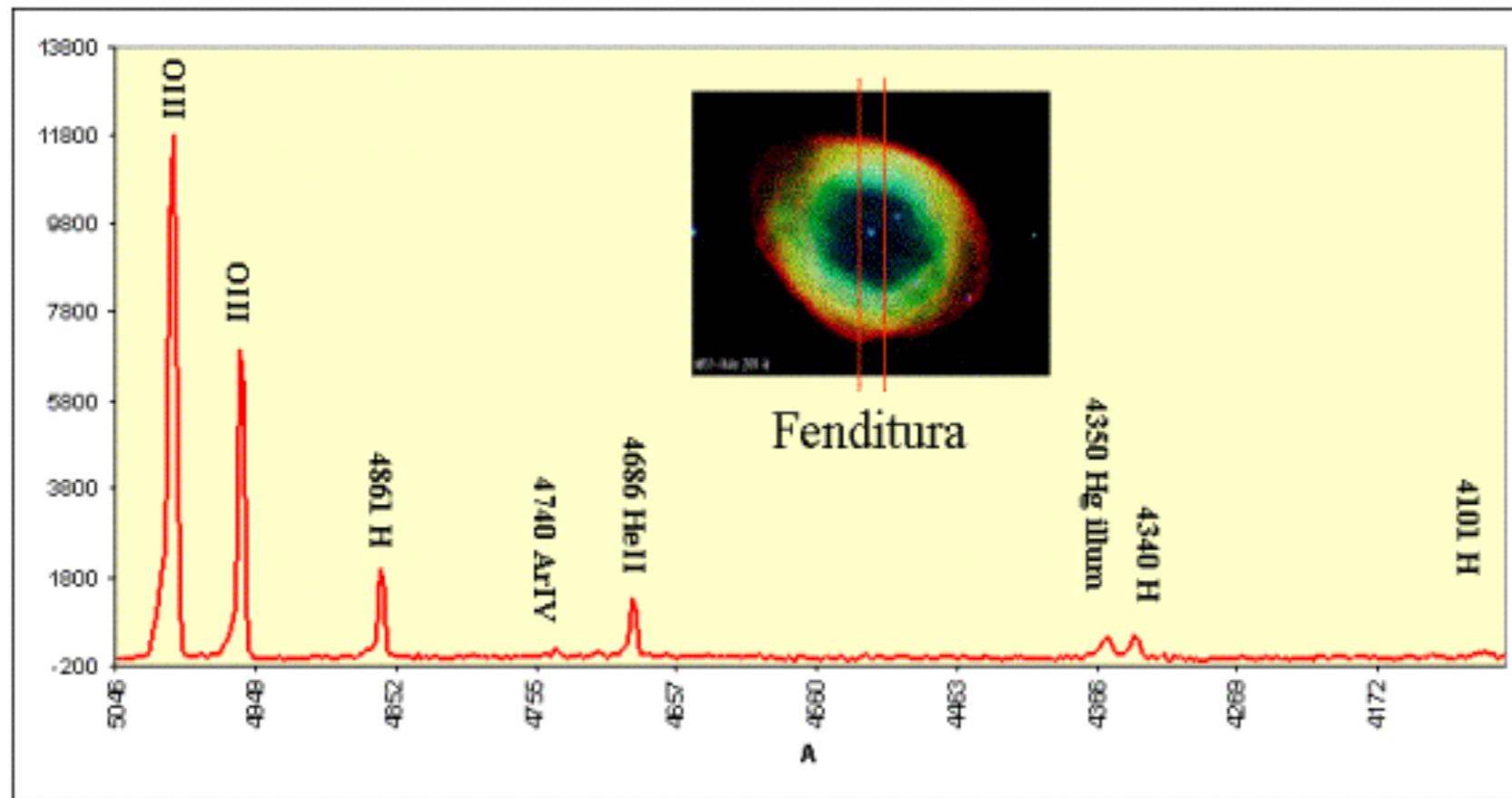
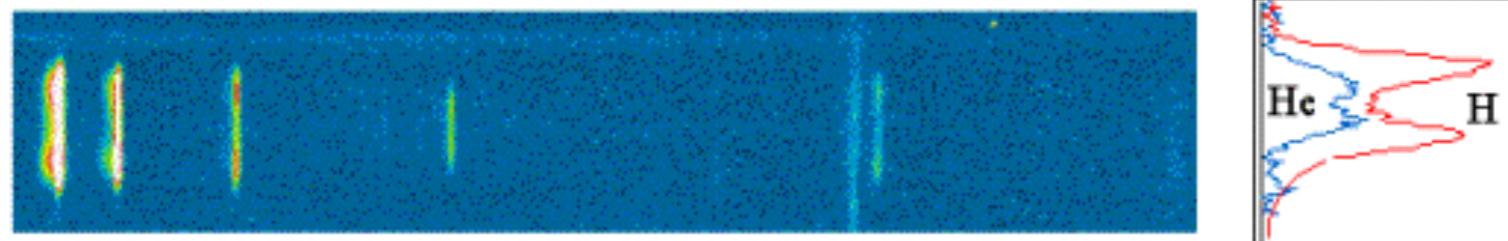
# NGC6543 – Cat's Eye nebula

© acquisition Jacques Montier  
T35cm + Alpy 600 spectrograph  
© identification + graph Olivier Thizy



# Nebulosa planetaria:M57

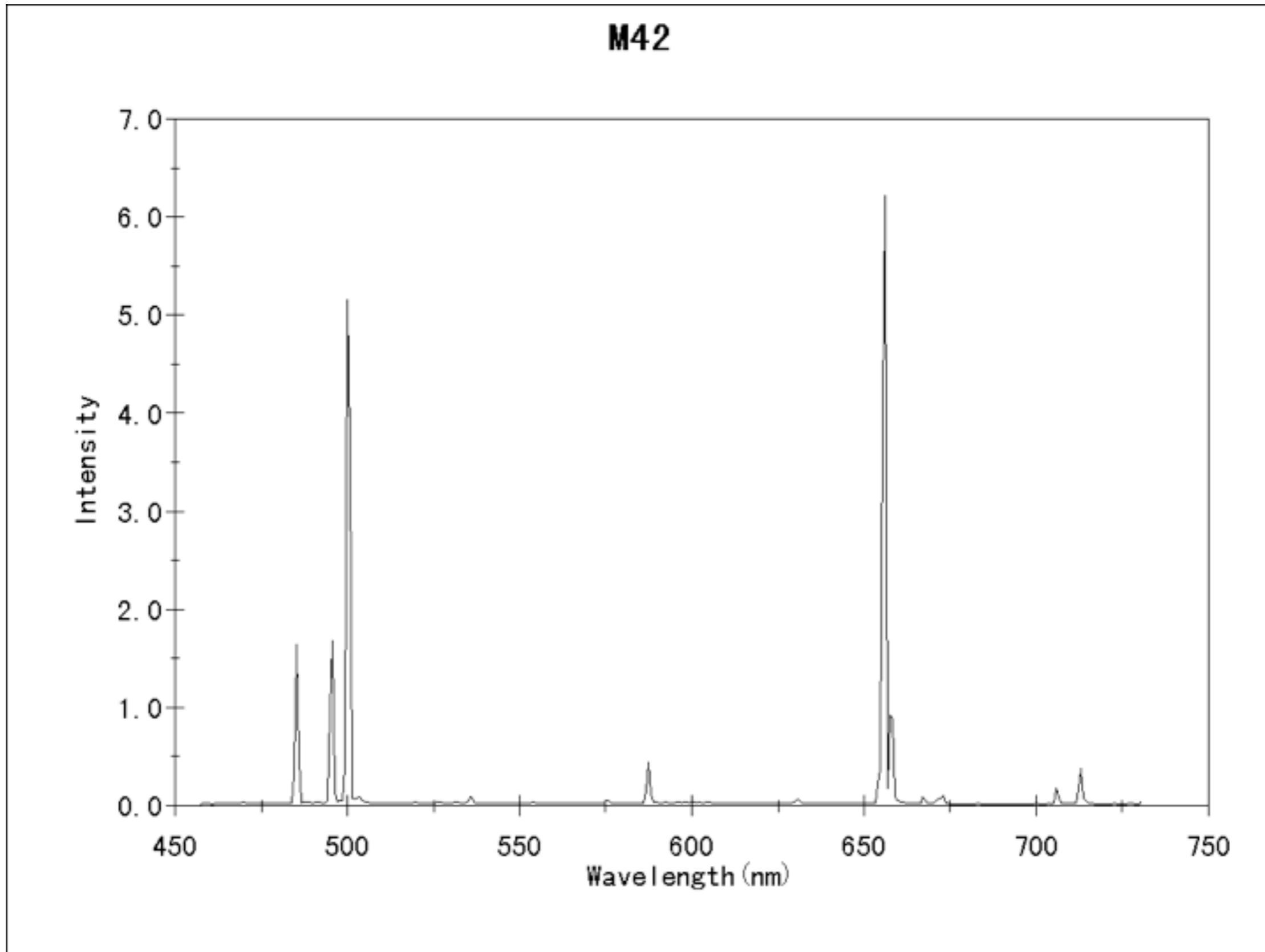
## M 57 visible spectrum



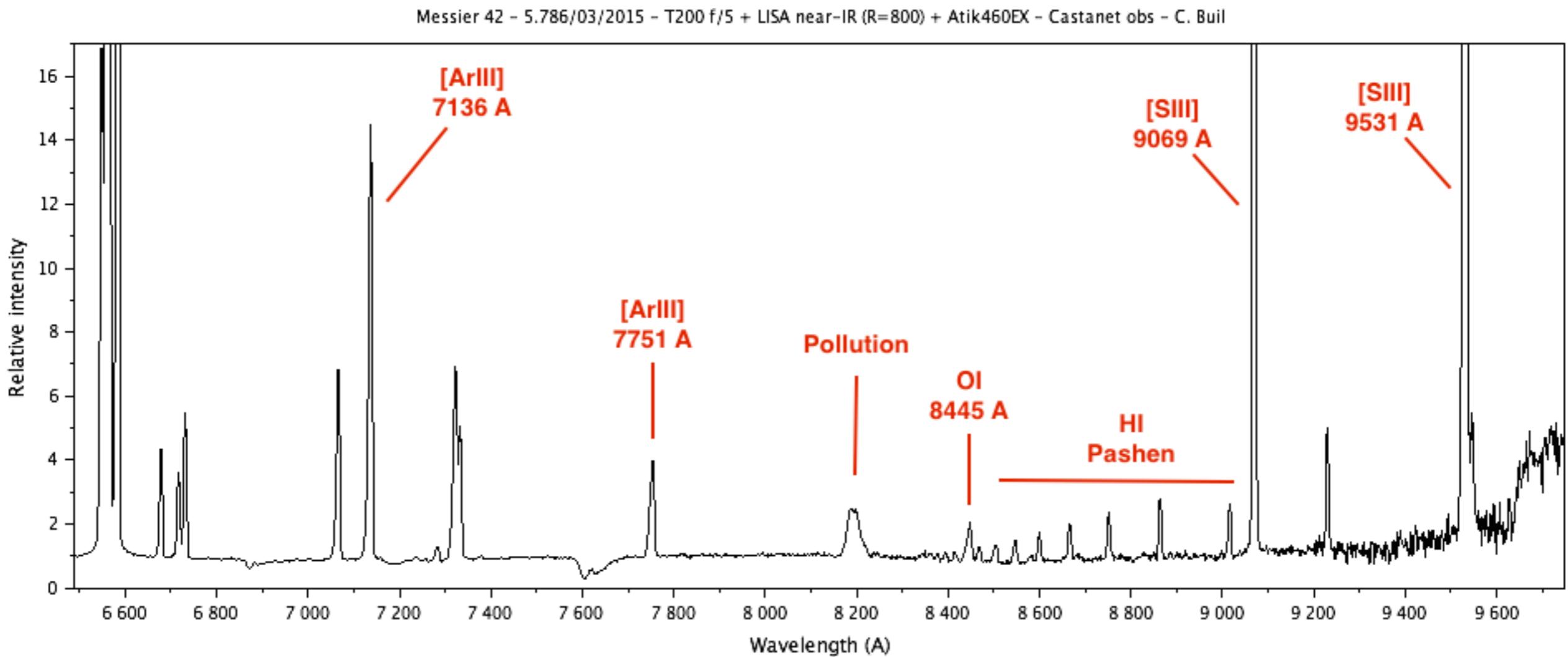
# Región HII:M42



# Espectro de la nebulosa H II: M42



# Espectro de M42 zona entre H-alfa y NIR



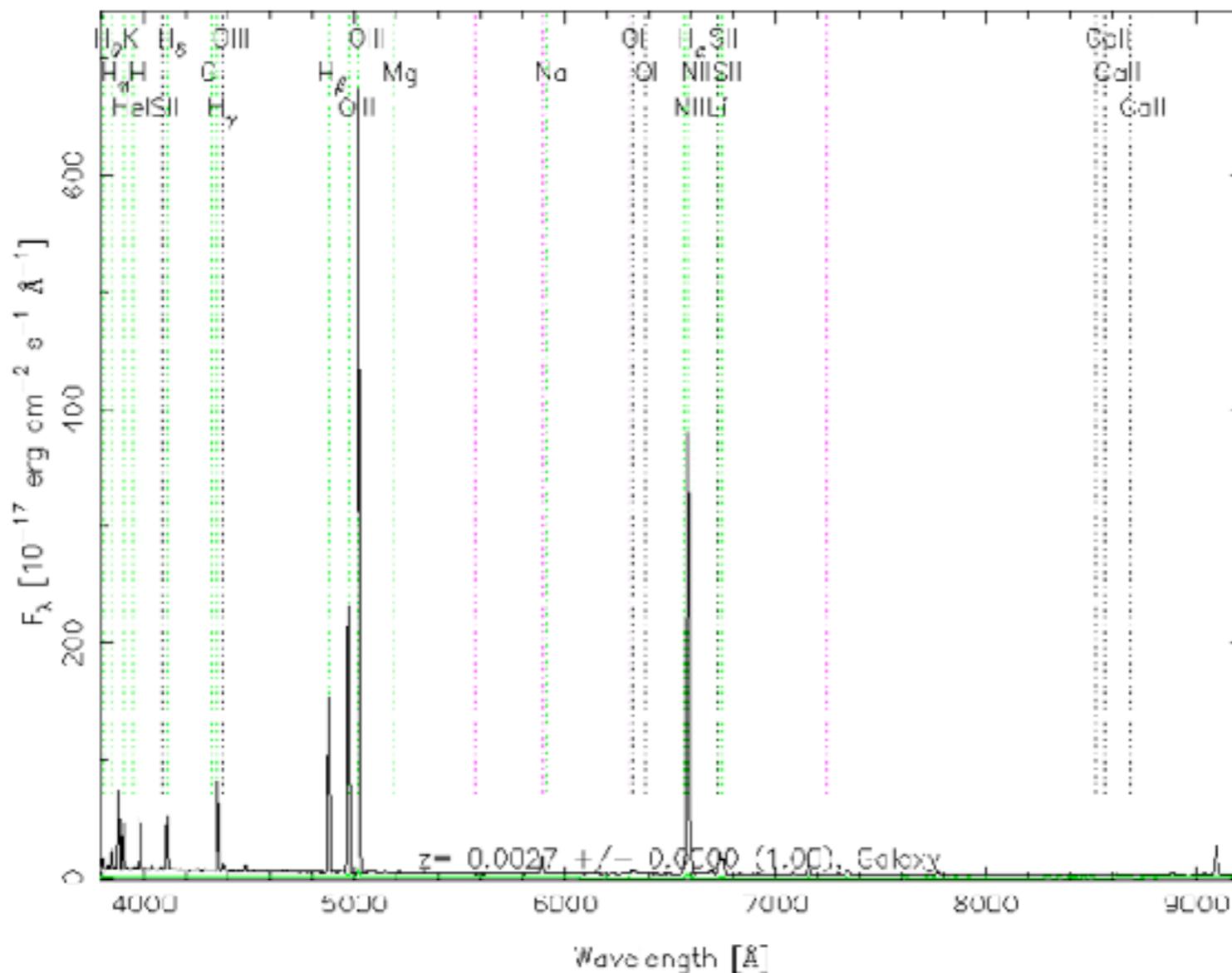
# Lagoon Nebula (M8)



Es una de las regiones HII más grandes alcanzando un diámetro de unos 150 años-luz. Se encuentra a 1250 pc.

# Espectros de región HII extragaláctico en NGC3319

RA=109.82340, DEC=41.70197, MJD=53047, Plate=1361, Fiber=222



Nov. 1911.		<i>The Spectrum of Nebulium.</i>						49		
J.	Catalogue.	R.	1900.	Dec.	Date.	F.	D.	Grades.	N.	
593	Anon.	6 13 11	+ 37 53		1911 644	192°2	4'77	9'2	10'2	1
					644	185°9	4'56	9'3	10'4	1
594	Anon.	20 10	+ 11 9		773	96°5	2'33	9'5	11'8	1
					773	93°3	2'60	9'5	11'6	1
	AC				773	297°3	6'97	9'5	13'0	1
					773	295°4	6'90	9'5	12'8	1
595	+ 11° 11'3	21 55	+ 11 30		773	39°1	4'98	9'2	9'2	1
					773	37°9	5'02	9'3	9'3	1
596	+ 2° 13'8	36 53	+ 2 15		773	43°7	4'93	9'2	9'2	1
597	+ 2° 13'1	37 11	+ 2 11		773	46°5	4'97	9'0	9'6	1
598	Anon.	37 53	+ 2 30		773	25°8	3'92	9'5	11'9	1
599	Anon.	49 27	+ 14 58		773	111°5	2'19	9'4	11'7	1
600	+ 15° 13'7	6 51 23	+ 14 57		773	60°8	3'45	9'0	9'7	1
					773	60°4	3'40	9'0	9'7	1

*Notes:*  
Is 14 October 1911.

#### *The Spectrum of Nebulium.* By J. W. Nicholson, M.A., D.Sc.

In an account of a possible view of the constitution of matter, communicated to the British Association at Portsmouth, the existence of certain elements with the simplest possible type of atom was taken for granted. One of these was provisionally called nebulium, and identified with the unknown source of some, or perhaps all, of the nebular spectrum lines which cannot be ascribed to hydrogen or helium. The present paper is devoted to a preliminary examination of this hypothesis, and the results which are obtained appear to indicate that a dynamical system which can give rise to these spectral lines has been found.

The main conception involved in the structure of these simple atoms is that of the nature of positive electricity. This is supposed to exist in small spherical volume distributions of uniform density, whose radius is small in comparison even with that of an electron, a reversal of the more generally accepted view. The mass of these positive units is very large in comparison with that of an electron, and gives rise to nearly the whole mass of an atom. The atom is called "simple" when it contains only one positive unit and a single ring of electrons rotating round it.

The atom of nebulium, a hypothetical element predicted by the theory, when electrically neutral, contains four electrons, each with a charge— $e$ —rotating uniformly at equal distances in a circle round a positive nucleus whose charge is  $4e$ . If one electron be missing, the other three can take up equidistant positions and rotate in a new orbit, the system then consisting of an atom of

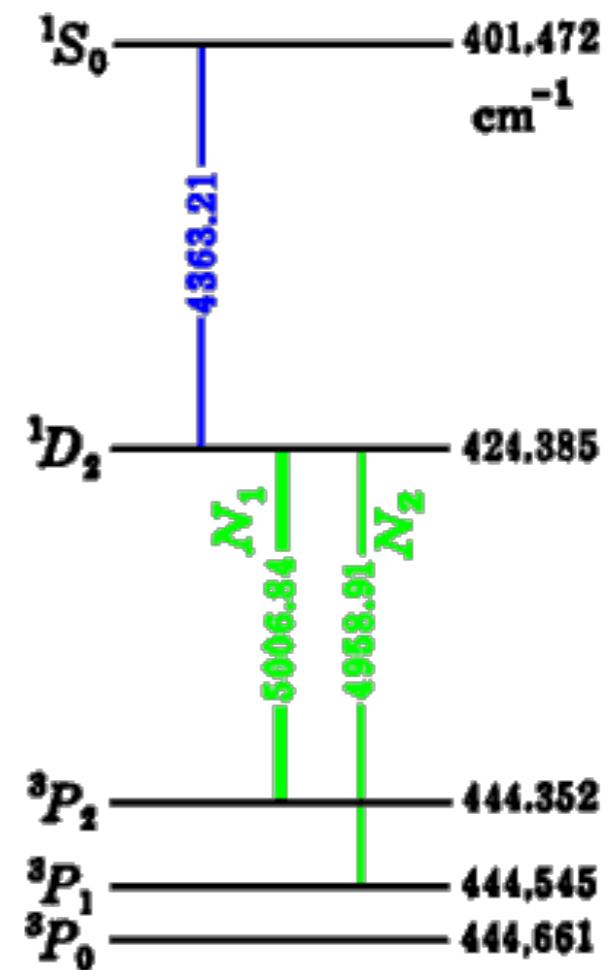
Inicialmente se creyó en la existencia del “nebulium”. Por ejemplo en este artículo publicado en el MNRAS, volumen 49 año 1911. Autor J.W. Nicholson.

Nebulium alpha: 5007 Å, beta 4959 Å, gamma 4069 Å.

# Interpretación de las líneas del “nebulium”

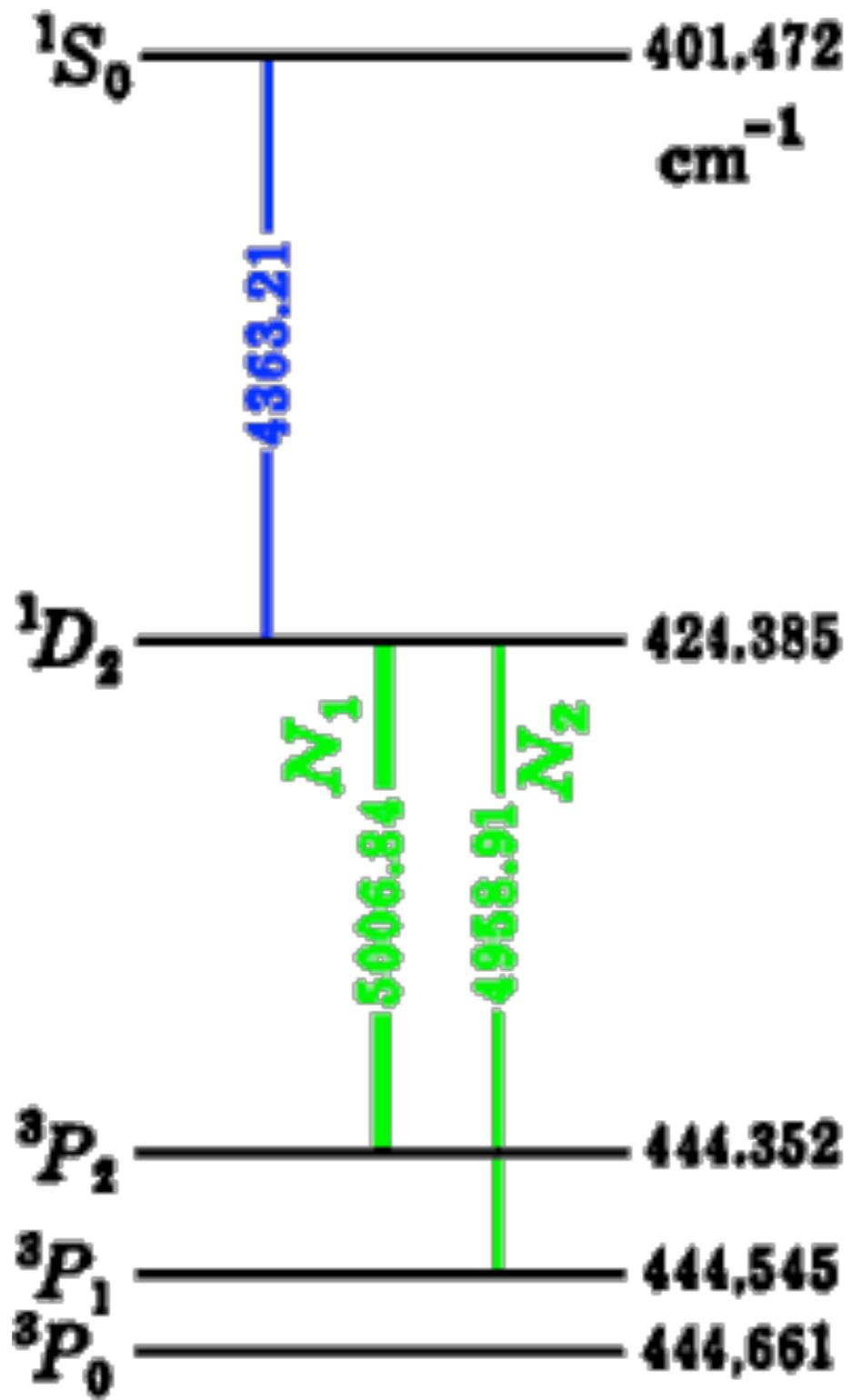


The Origin of the nebulium spectrum  
Nature, October 1, 1927, pag. 473.



Ira Sprague Bowen (1898-1973)

# Niveles de energía del O<sup>+2</sup>



Líneas observadas en nebulosas

- [OIII] 5006.8
- [OIII] 4958.9
- [OIII] 4363.2

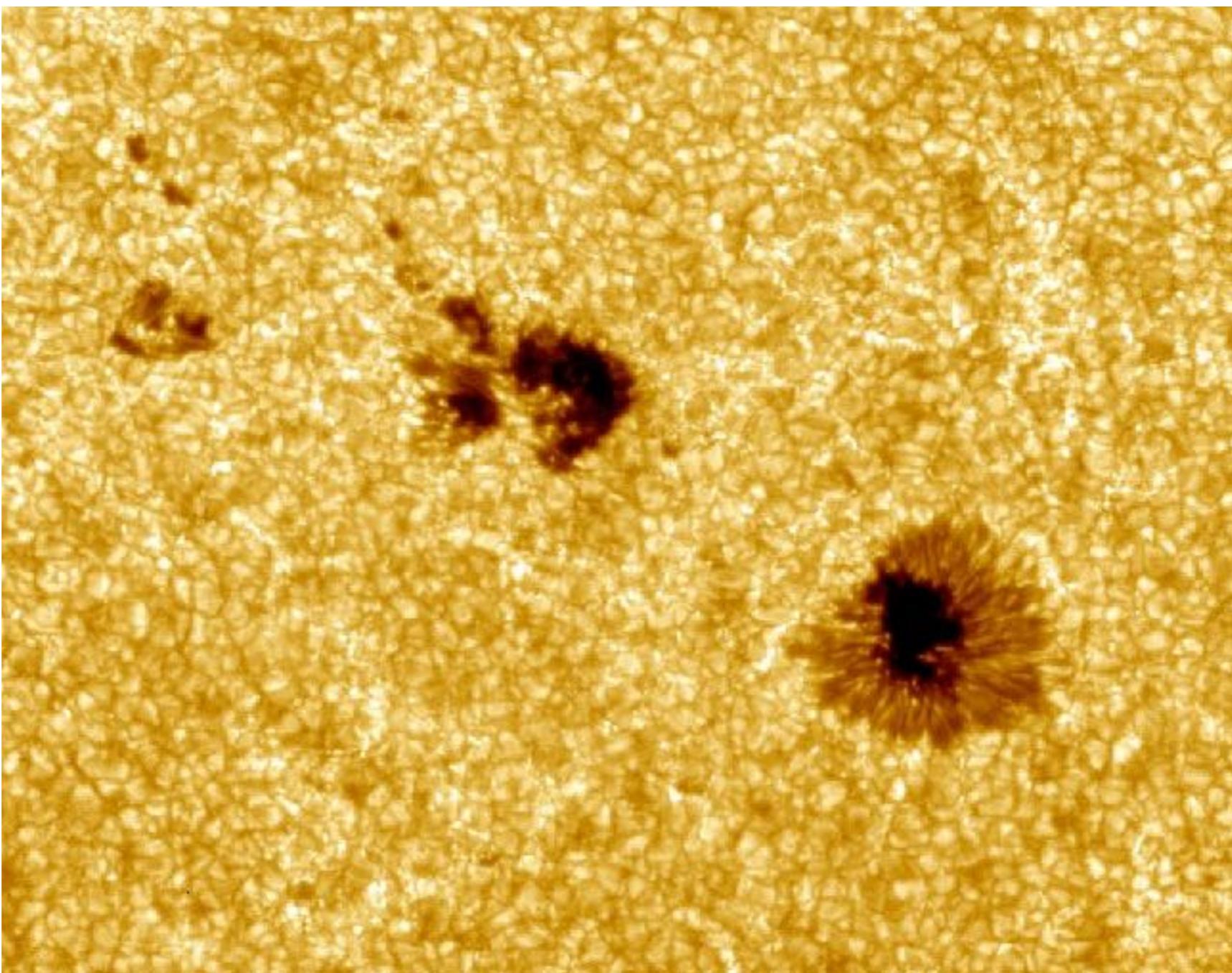


**Coronium:** fue un supuesto elemento químico sugerido en 1887 por A. Grünwald, con base en las observaciones del espectro de la corona solar durante un eclipse total del Sol, el 7 de Agosto de 1869. La línea fue detectada en espectros tomados durante ese evento por Charles August Young (1834-1908) y William Harkness (1837-1903). La interpretación como líneas prohibidas del  $\text{Fe}^{+13}$  fue dada por Walter Grotian y Bengt Edlén en la década de los 30 del siglo XX.

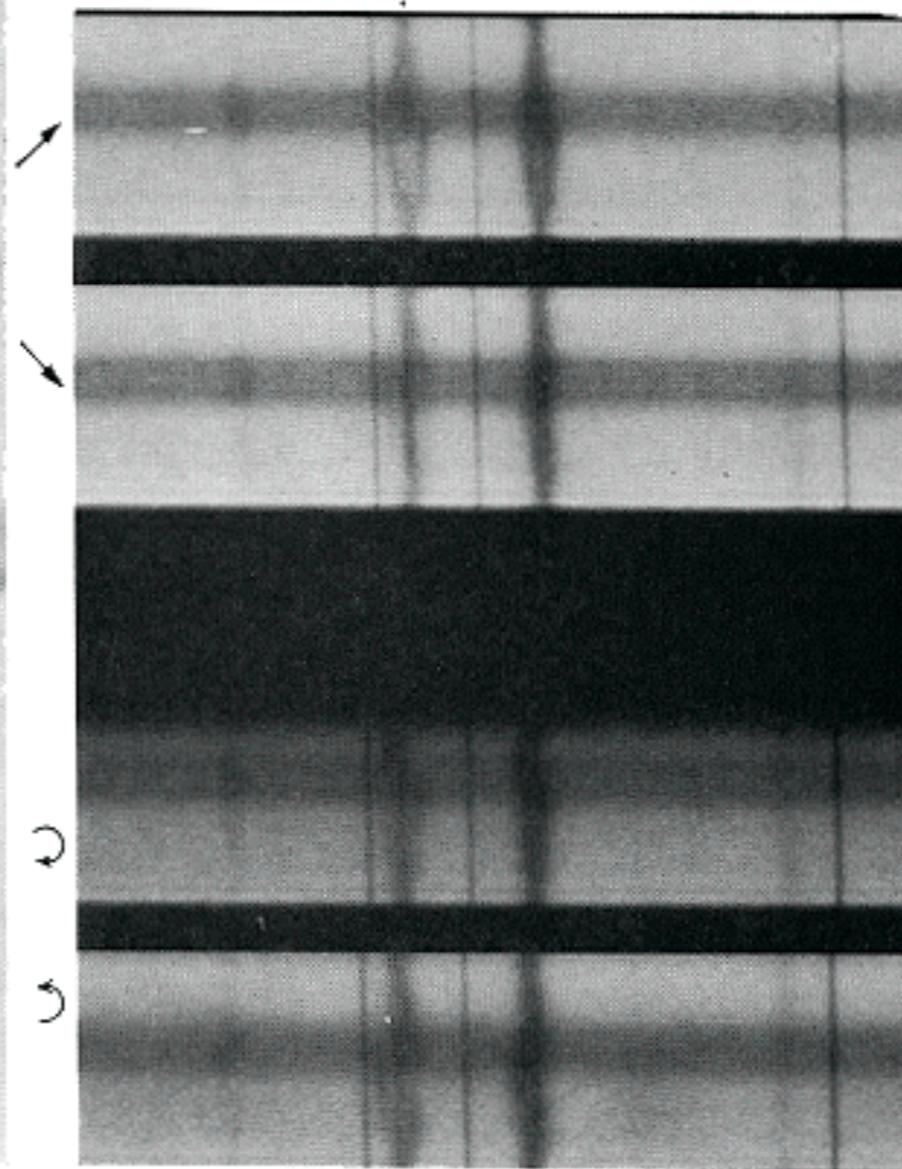
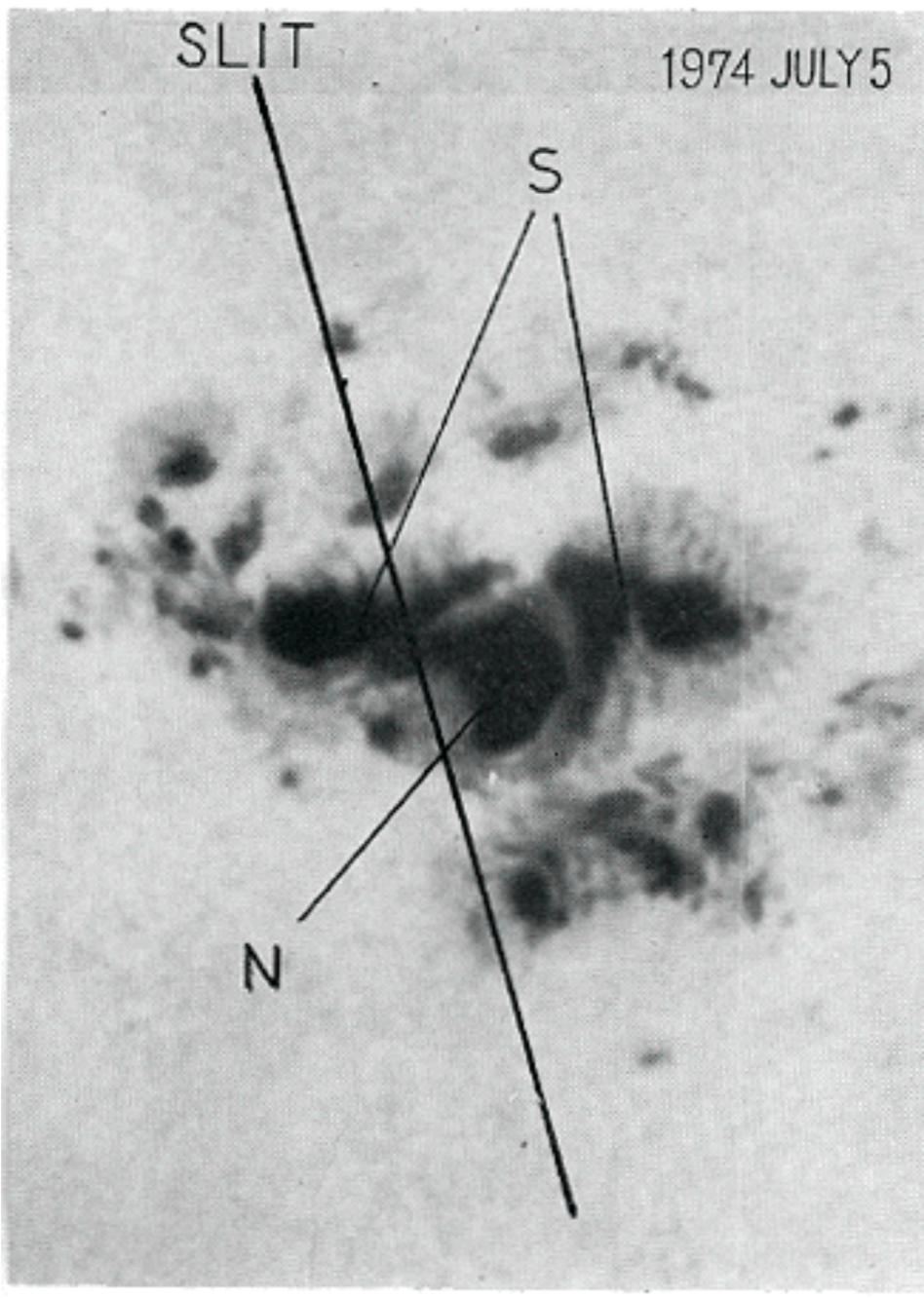
Valores de las líneas (extraído del NIST):  
[http://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines\\_form.html](http://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html)

Observed Wavelength Air (Å)	Ritz Wavelength Air (Å)	Rel. Int. (?)	$A_{ki}$ (s <sup>-1</sup> )	Acc.	$E_i$ (cm <sup>-1</sup> )	$E_k$ (cm <sup>-1</sup> )	Lower Level Conf., Term, J	Upper Level Conf., Term, J	Type	TP Ref.	Line Ref.
5 302.86	5 302.9+		6.02e+01	C	0.0 - 18	852.5	3s <sup>2</sup> 3p 2P° 1/2	3s <sup>2</sup> 3p 2P° 3/2	M1	T4907	L15833
	5 302.86		1.5e-02	D	0.0 - 18	852.5	3s <sup>2</sup> 3p 2P° 1/2	3s <sup>2</sup> 3p 2P° 3/2	E2	T4907	

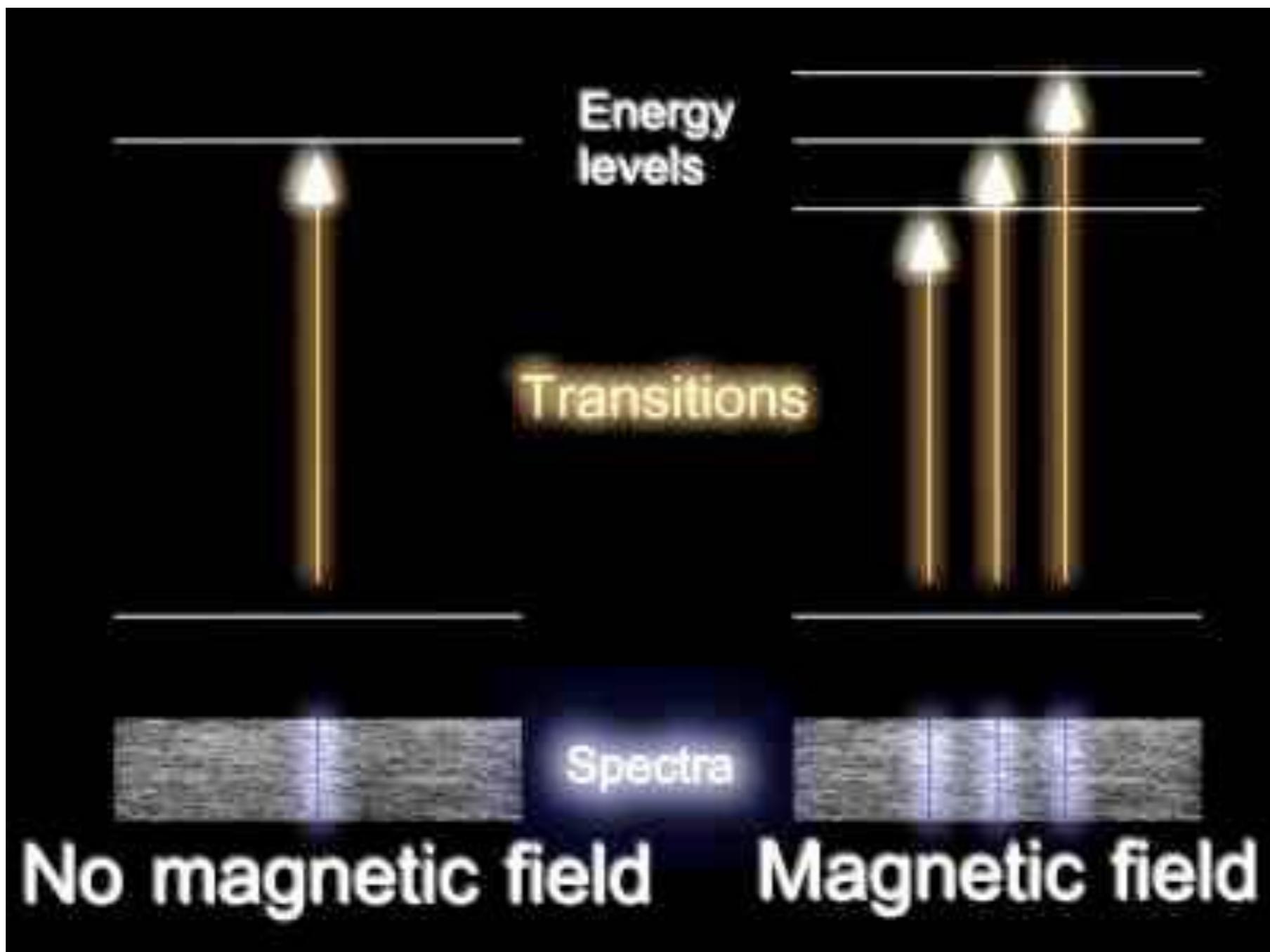
Manchas:campo magnético intenso->efecto Zeeman



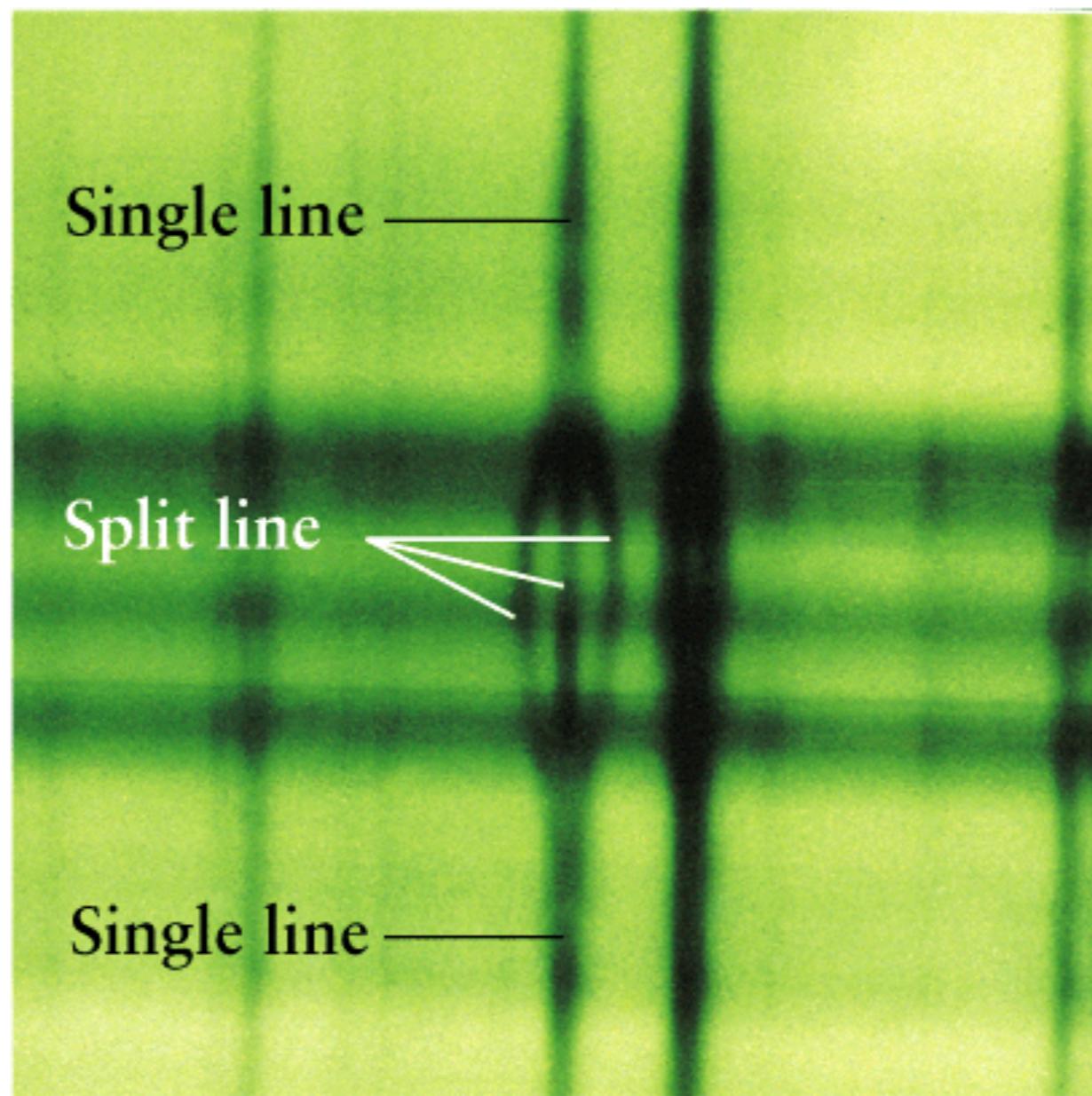
# Manchas solares: campo magnético alto



# Campo magnético: desdobra niveles



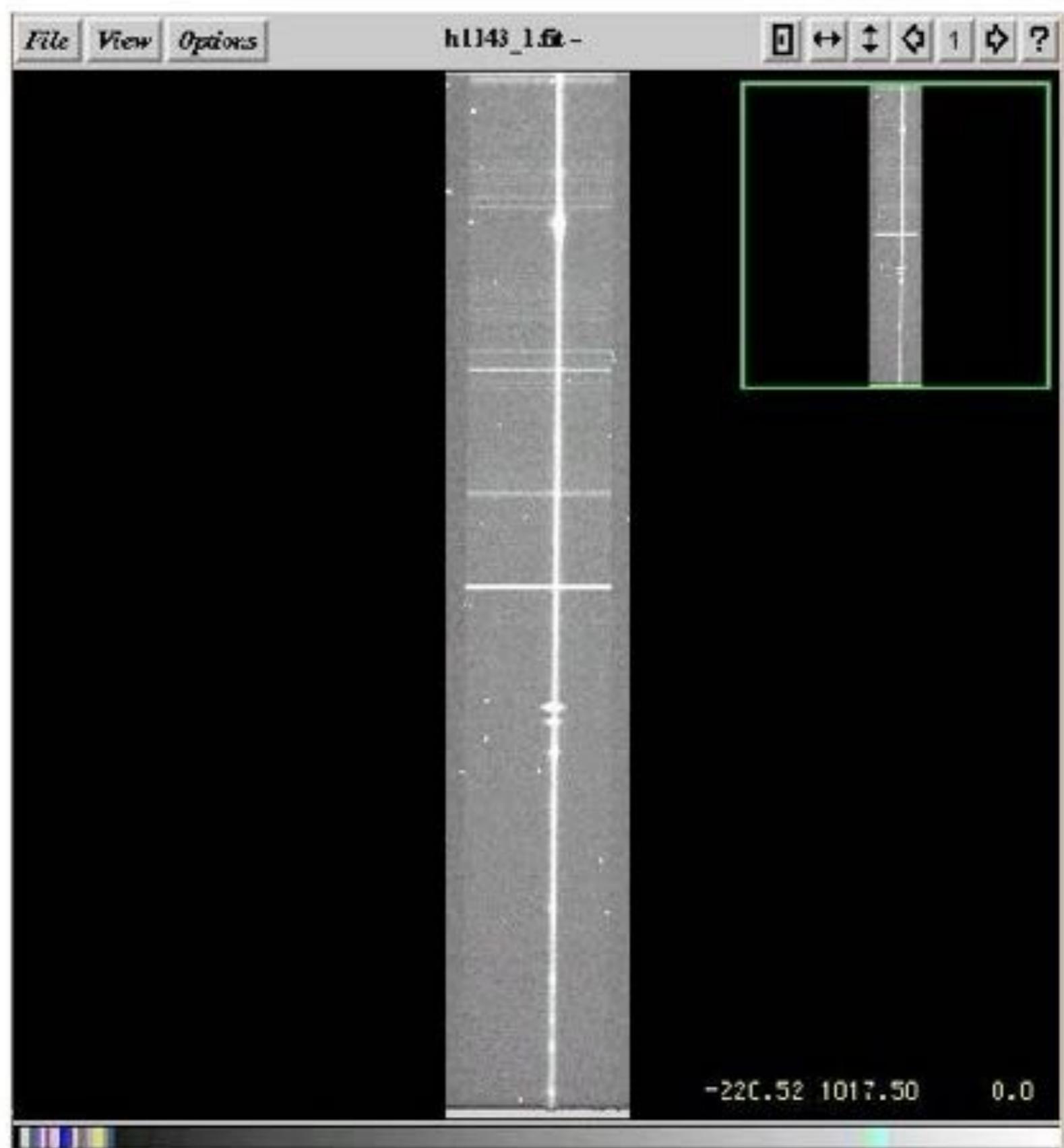
# Visualización espectral efecto-Z



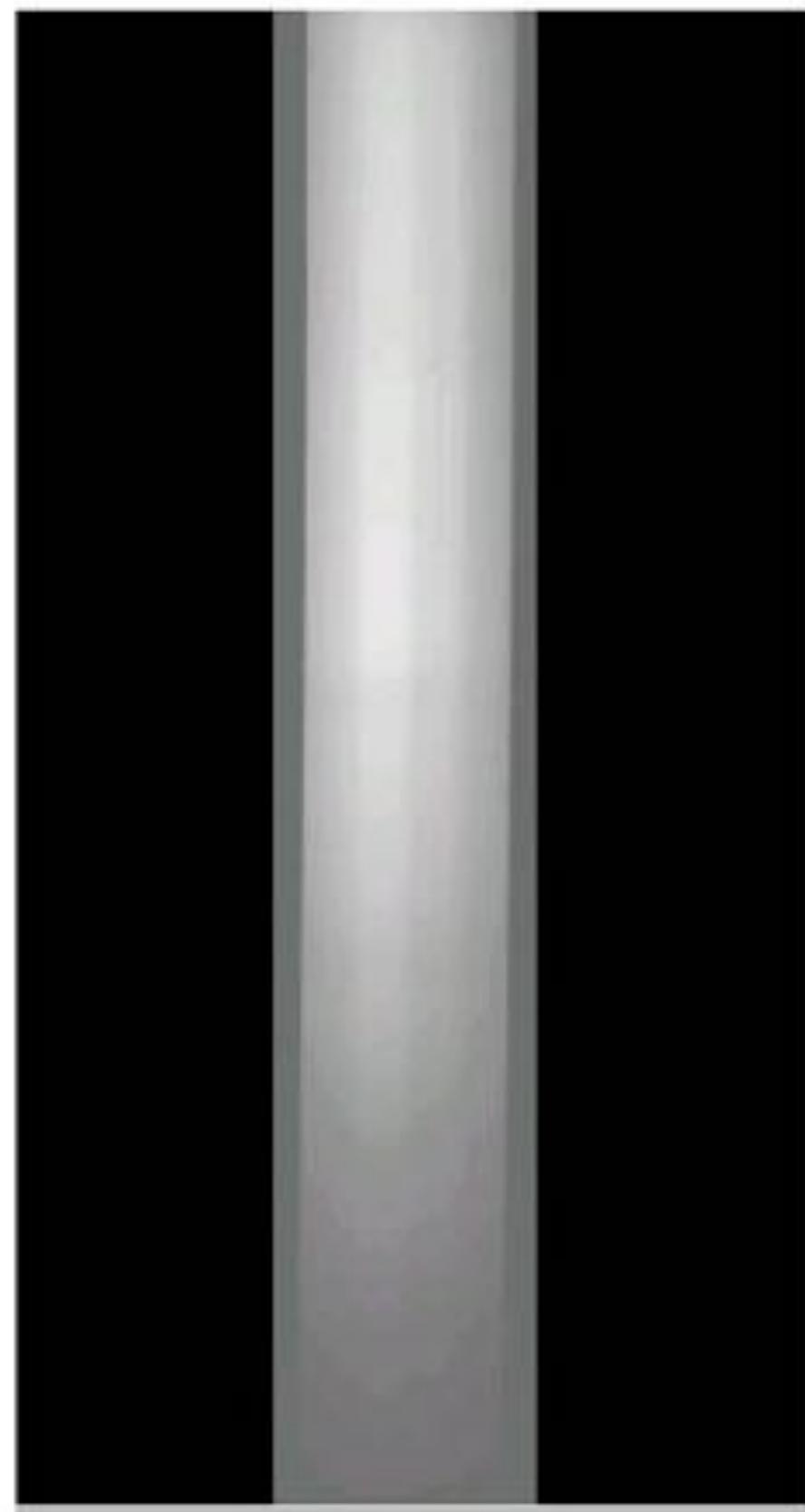
b

# Región HII:M42



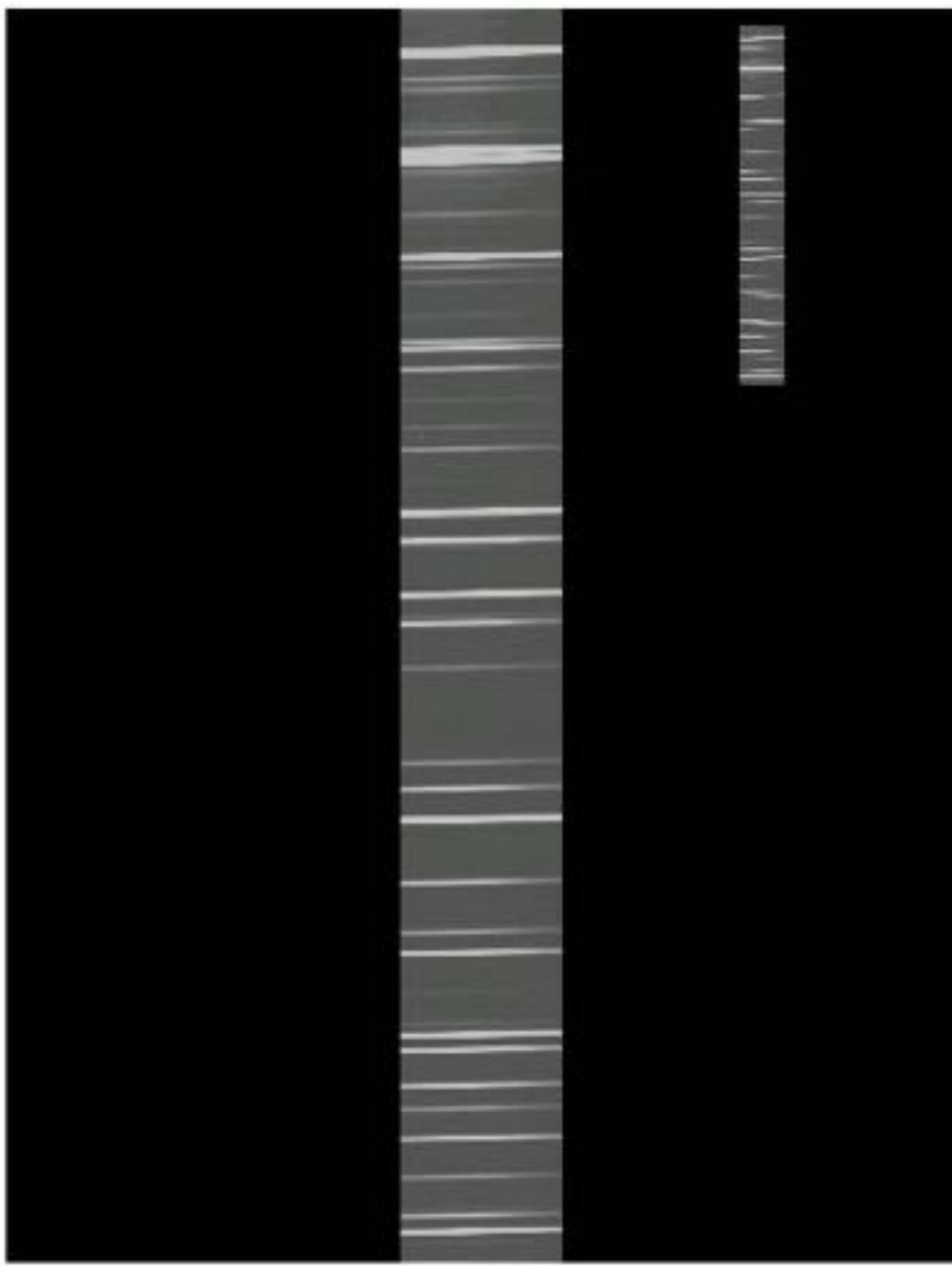


Muestra espectral AGN



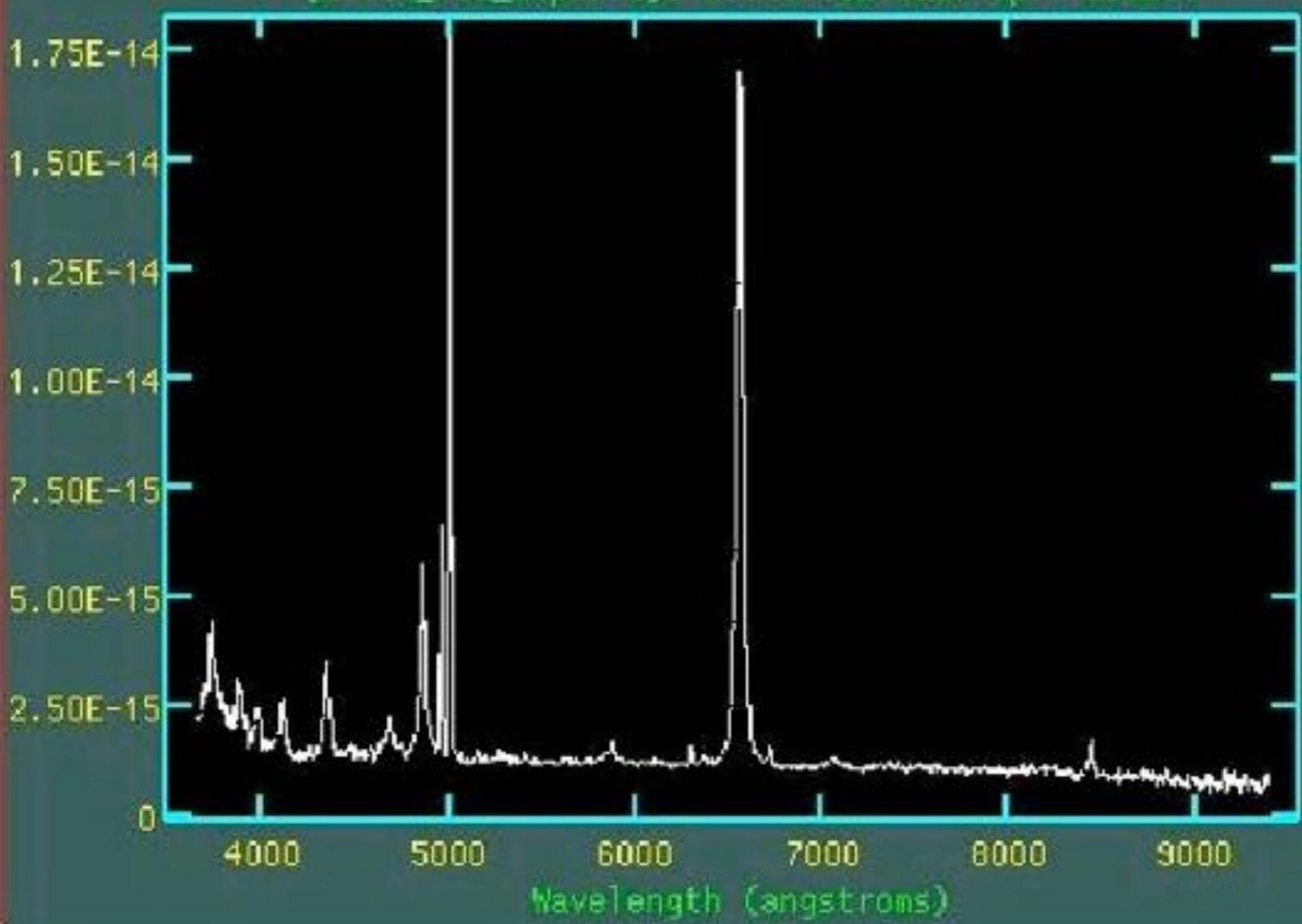
Campo Plano

245



Espectro de Lámpara

NOAO/IRAF V2.11.3EXPORT albertor@calculus Sun 17:40:35 23-Apr-2000  
[H1143\_182\_dop.fit]: H1143-182 600. ap:1 beam:1



## Espectro calibrado