



Universidad
Industrial de
Santander



UNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO

Estudio del último eclipse cromosférico de Zeta Aurigae, Otoño 2019

Marzo 2020

Autora: Natalia Lucía Oliveros Gómez

Director: Klaus Peter Schröder

Codirector: Luis A. Nuñez

Codirector: Faiber Danilo Rosas



Contenido



Contexto

Estudios Anteriores



Planteamiento del problema

Justificación

Objetivos

Metodología

Resultados esperados



Pregunta problema



¿Cómo varía la densidad de masa columnar con la altura a medida que transcurre el eclipse de un sistema binario y con esto cómo puedo conocer la dinámica de una estrella?



Universidad
Industrial de
Santander

Contexto

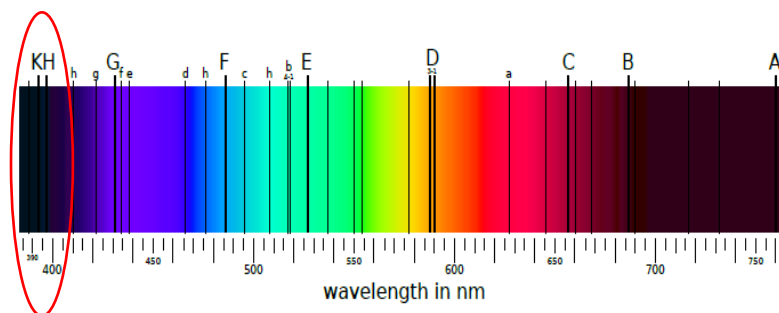


UNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO

Análisis cromosférico



Dinámica
estelar



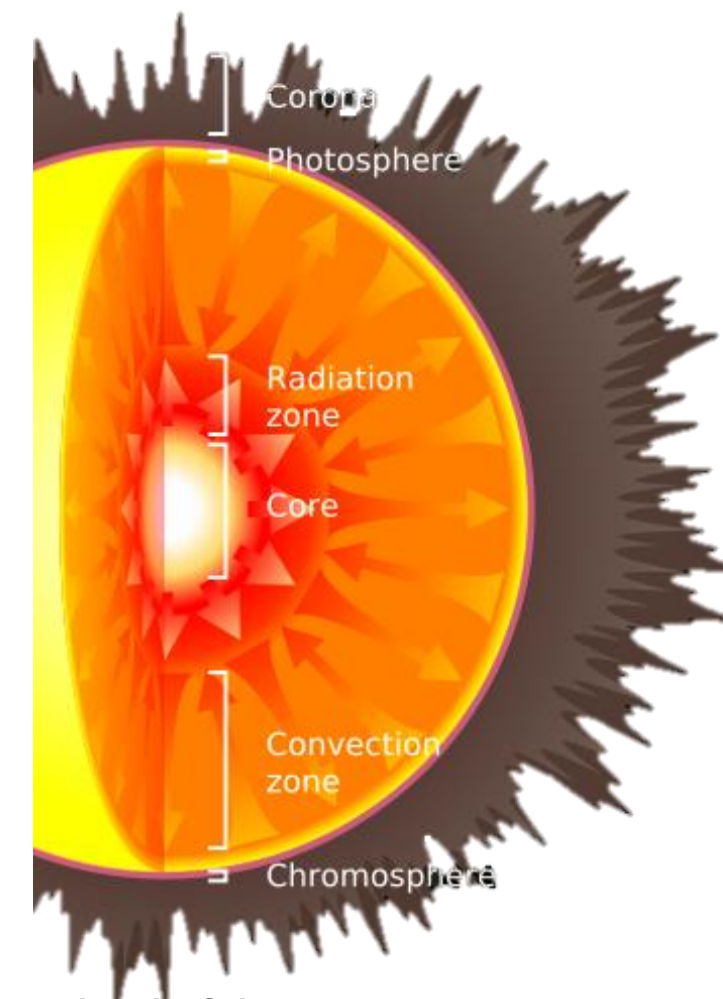
Hidrógeno
Helio
Metales: neutros y
parcialmente ionizados

Ca II K

Espectros observacionales

+

Teoría de Física estelar



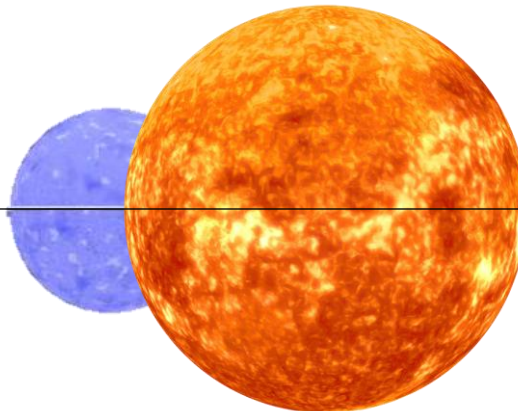
Shu, F.H. (1982) *Physical Universe: An Introduction to Astronomy*, University Science Books, pp. 94–96

Universidad
Industrial de
Santander

Contexto

UNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO

Sistema binario



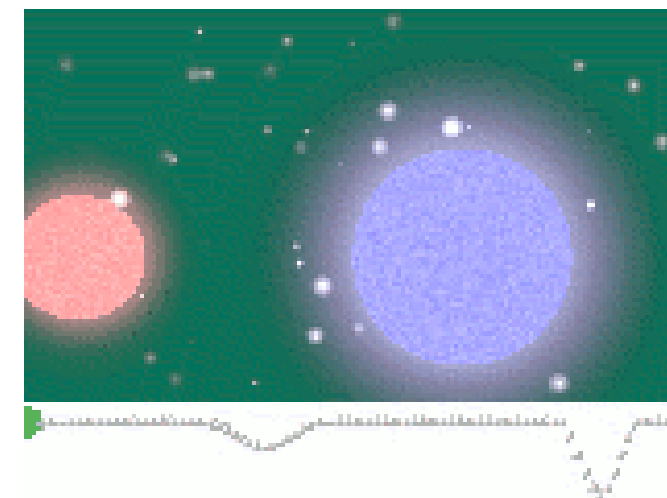
Binarias visuales
Binarias astrométricas
Binarias espectroscópicas
Binarias ópticas (falsas binarias)
Binarias eclipsantes

 ζ Aurigae

Estrella fría

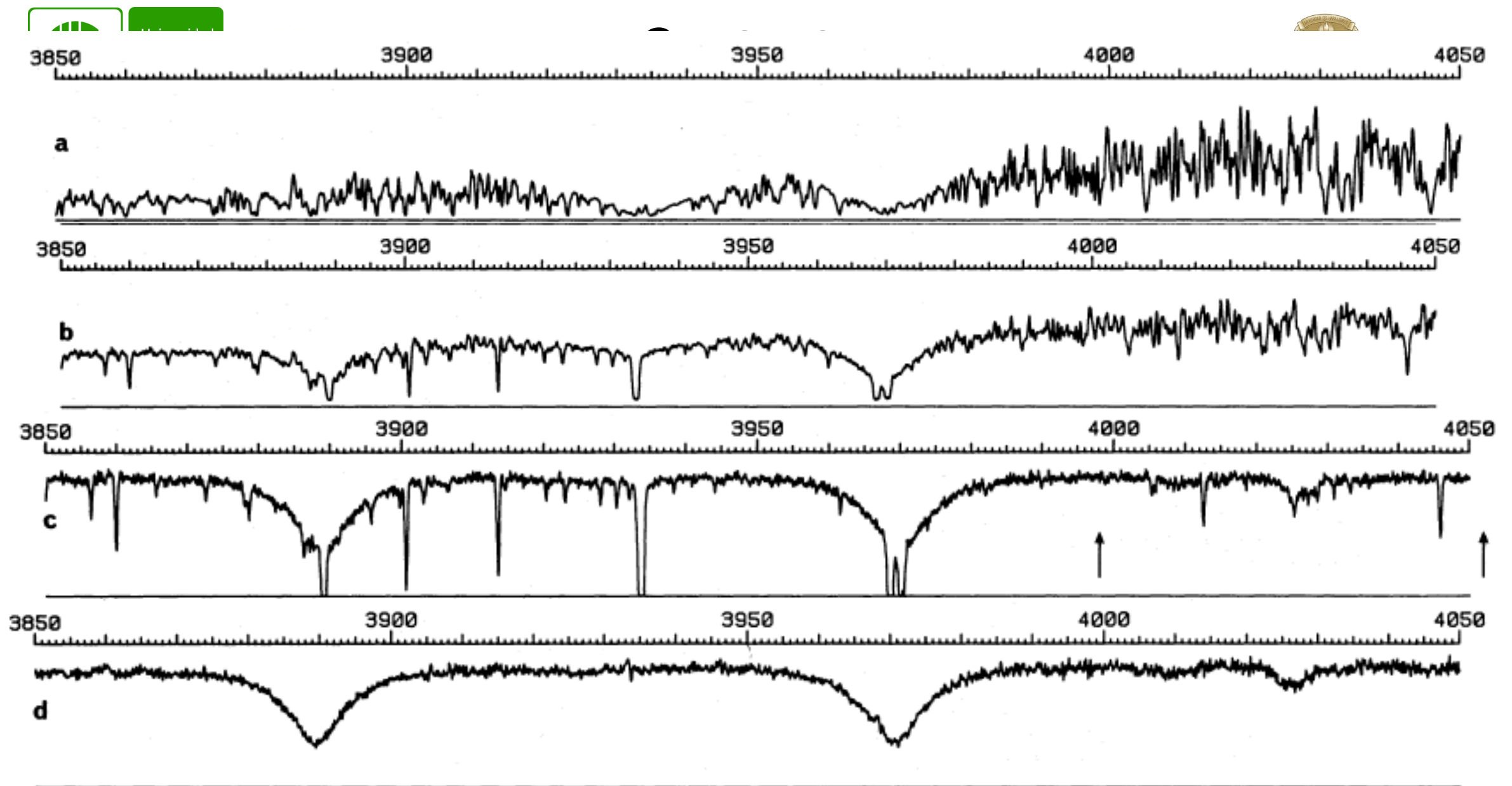
Secuencia
principal

Brillante
Periodo eclipse grande



**cantidades físicas
fundamentales**

Light Curves and Their Secrets. *Sky & Telescope*: 410. Eclipsing Binary Simulations



K.P. Schröder R.E.M. Griffin, R.F. Griffin and D. Reimers. Optical spectra ζ aurigaebinary systems: I. the 1987 eclipse of ζ aurigae. *Astronomy and Astrophysics*, 1989

Universidad
Industrial de
Santander

Contexto

UNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO

Densidad masa columnar

$$\sigma_{cm} = \int_a^b \rho(z) dz$$

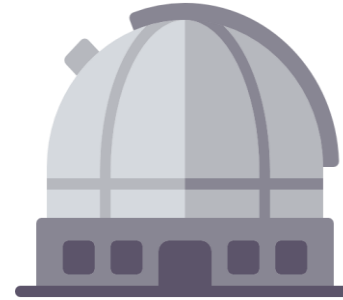
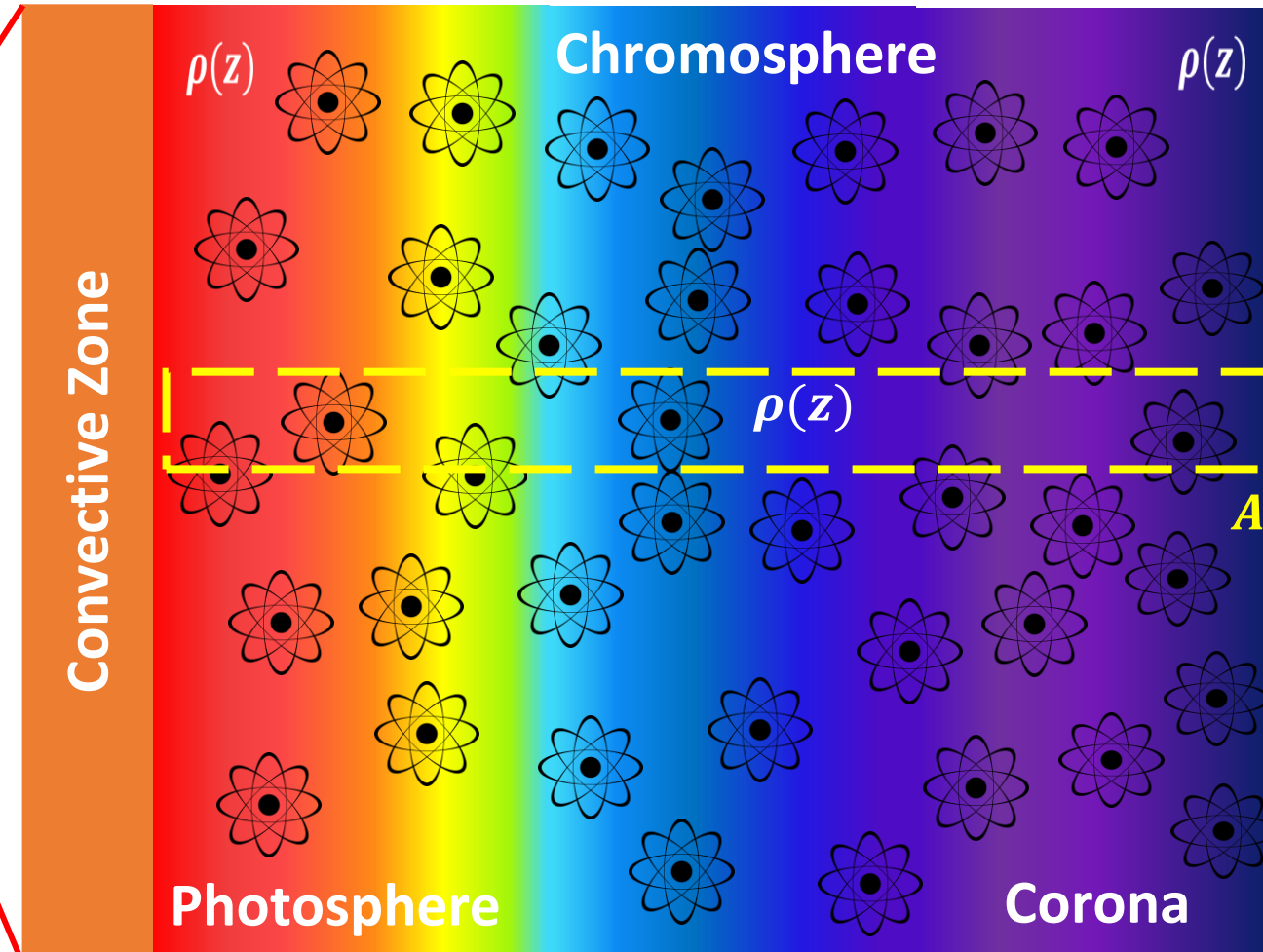
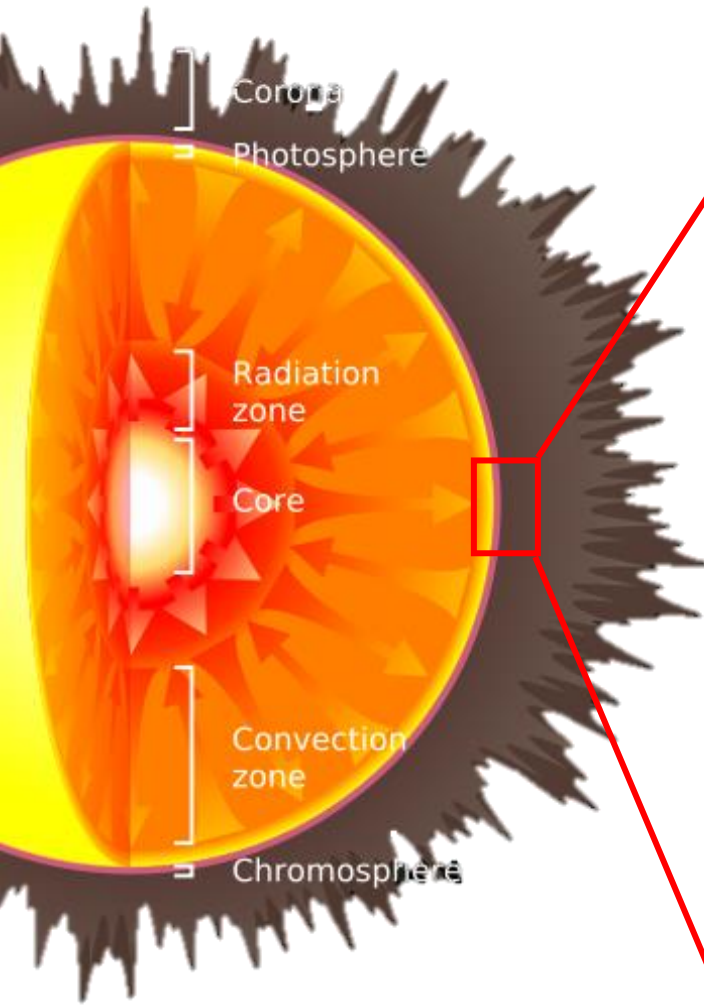
Cantidad
átomos altura

Depende de

fuerza de la línea
saturación

Universidad
Industrial de
SantanderUNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO

Contexto

 h, T 

Universidad
Industrial de
SantanderUNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO

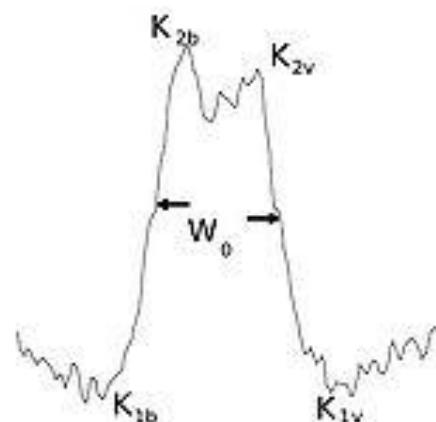
Contexto

Densidad masa columnar

$$\sigma_{cm} = \int_a^b \rho(z) dz$$

Cantidad
átomos

altura

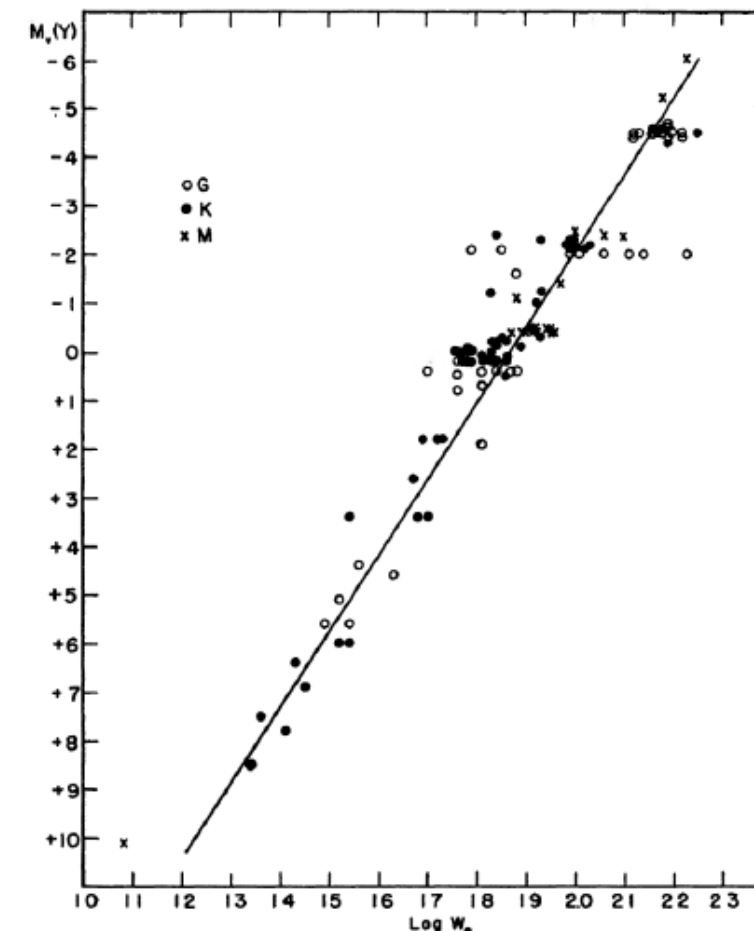
Ensanchamiento
por presión

Efecto de Wilson Bappu

Magnitud

Ancho
línea

$$M_v = C_1 \log(W_0) + C_2$$





Universidad
Industrial de
Santander

Contexto

Curvas de crecimiento

Calculo de abundancias químicas



UNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO

Teóricas

Perfil de líneas gaussiano,
lorentziano o delta invertido

$$I_i = I_0 e^{-A_i e^{-\left(\frac{\Delta\lambda}{\Delta\lambda_D}\right)^2}}$$

Longitud doppler

Ecuación Saha

$$A_i = \frac{\pi e^2}{m_e c^2} \frac{\lambda c}{v \sqrt{\pi}} g f \frac{N_i^{ion}}{Z(T)} e^{-E_i/kT_{exc}}$$

Función de partición

$$N \sim h^{-b}$$

Integración numérica

Observacionales

Procesamiento de espectros

$\log(W_\lambda)$

$\log(\tau)$

$\log(N_f)$

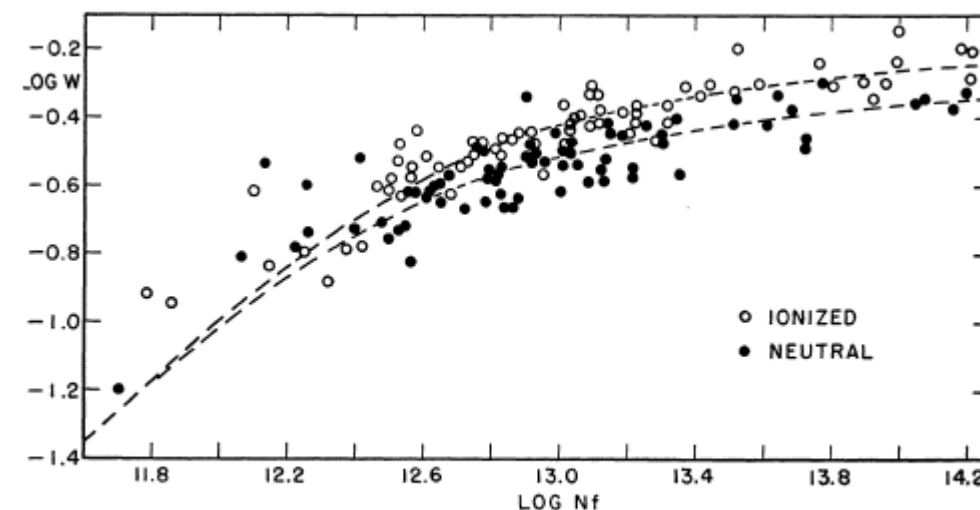


FIG. 1.—Curves of growth at height 9.4×10^6 km during ingress. The theoretical curves are for $\Delta\lambda_D = 0.13$ Å (upper) and 0.10 Å (lower).



Universidad
Industrial de
Santander

Estudios anteriores



UNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO

Optical spectra of ζ Aurigae binary systems

II. The lower chromosphere of ζ Aurigae

K.-P. Schröder^{1,*}, R.E.M. Griffin^{2,*}, and R.F. Griffin^{2,*}

¹ Hamburger Sternwarte, Gojenbergsweg 112, D-2050 Hamburg 80, Federal Republic of Germany

² Institute of Astronomy, The Observatories, Madingley Road, Cambridge CB3 0HA, England

CHROMOSPHERIC STRUCTURE OF THE K-TYPE COMPONENT OF ZETA AURIGAE

O. C. WILSON AND HELMUT A. ABT*

MOUNT WILSON AND PALOMAR OBSERVATORIES

CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON

CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Curvas de crecimiento



Explicar dinámica cromosférica





Universidad
Industrial de
Santander

Estudios anteriores



UNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO

Ionización de metales



Invariante con la altura

¿ Ca II K ?

Ionización media
varía con la altura

**Densidad de
masa columnar**

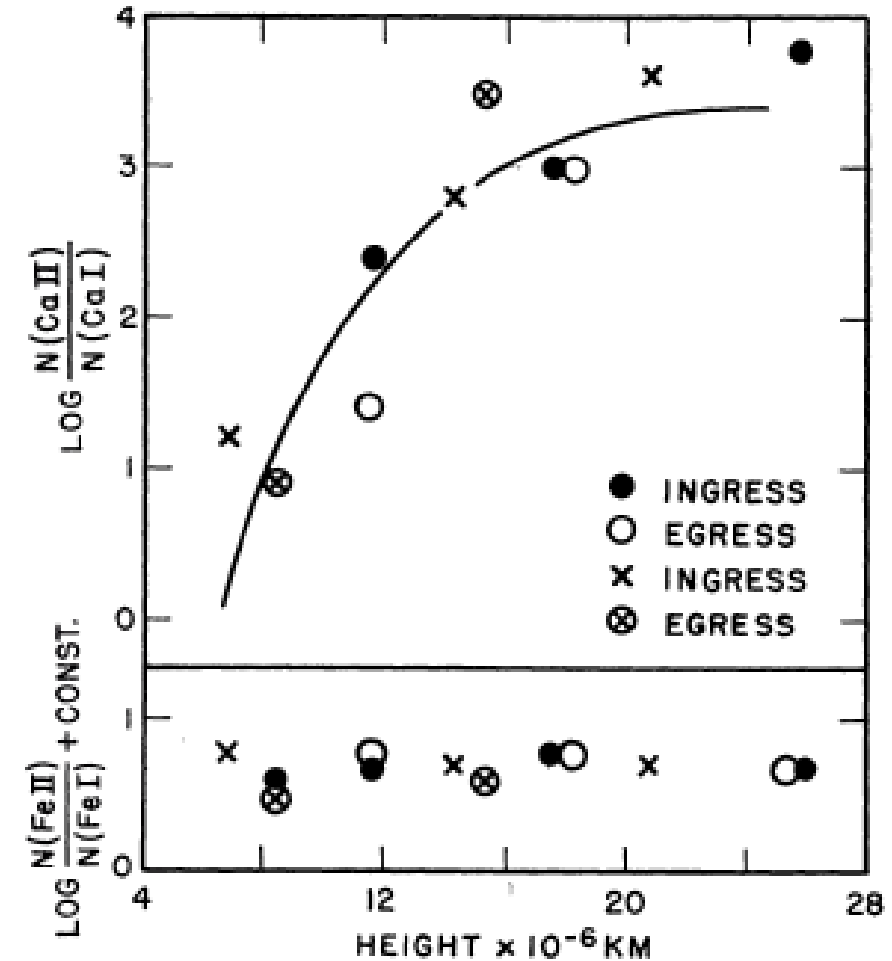


FIG. 9.—Mean ionization of *Ca* and *Fe* as function of height

Universidad
Industrial de
SantanderUNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO

Justificación

 ζ Aurigae →

Optical spectra of ζ Aurigae binary systems
II. The lower chromosphere of ζ Aurigae

CHROMOSPHERIC STRUCTURE OF THE K-TYPE
COMPONENT OF ZETA AURIGAE

Análisis Cromosférico

Precisión parámetros
estelares

Precisión curvas
evolutivas

Verificar
conclusiones

Dinámica estelar

Campos
magnéticos

$$n(h) = n_0 e^{-h/\alpha}$$



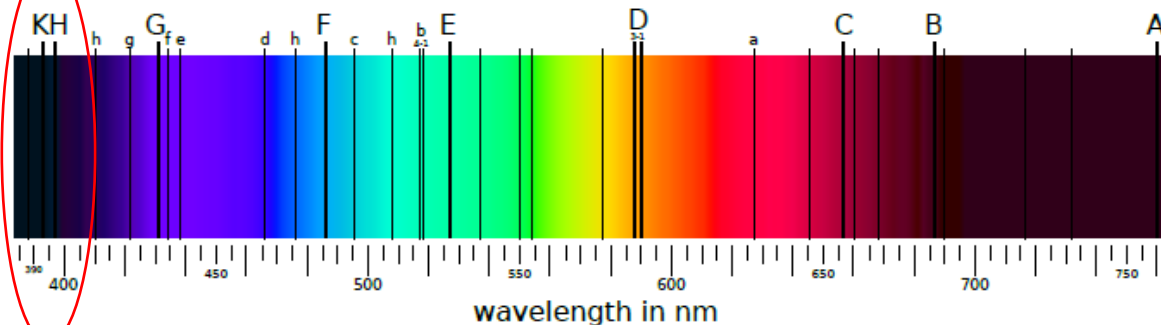
Universidad
Industrial de
Santander

Justificación

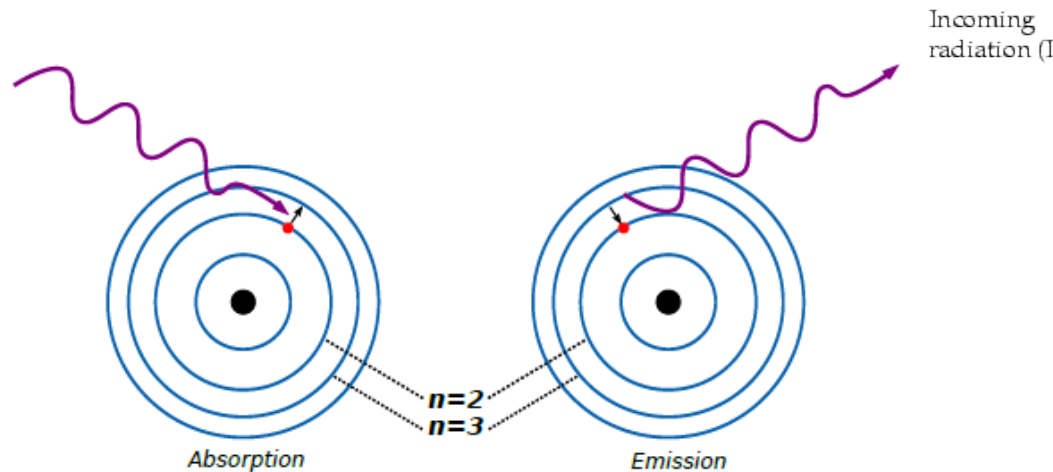


UNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO

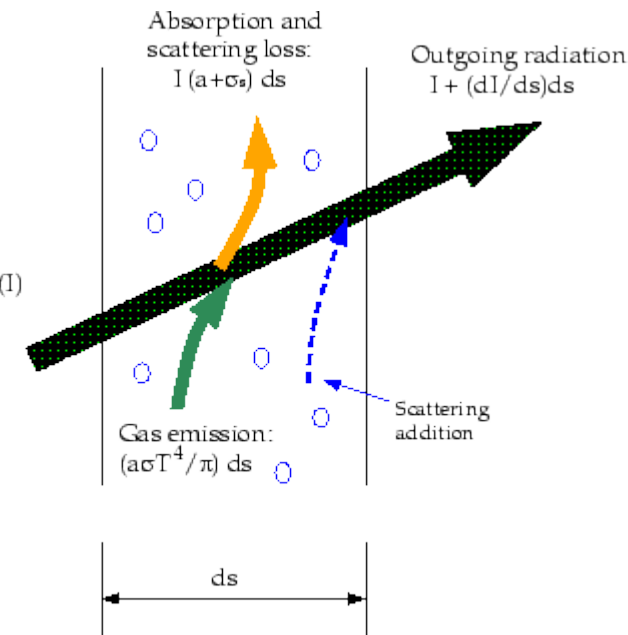
Espectroscopia



Atómica



Radiación



Sistema no relativista

4.2 UA

5.8 / 4.8
Masas solares

Friedrich, S., Friedrich, P., Schröder, K. P., freundlicher Unterstützung, M., gilt als die älteste Wissenschaft, A., & des Wissens, G. (2015). *Handbuch Astronomie: Grundlagen und Praxis für Hobby-Astronomen*. Oculum-Verlag.

K.P. Schröder R.E.M. Griffin, R.F. Griffin and D. Reimers. Optical spectra ζ aurigae binary systems: I. the 1987 eclipse of ζ aurigae. *Astronomy and Astrophysics*, 1989



Universidad
Industrial de
Santander



UNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO

Objetivos

Comparar absorción cromosférica y el cambio de la densidad de masa columnar $N(h)$ del eclipse de otoño 2019 con un antiguo eclipse de 1987.

Cuantificar el ancho equivalente las líneas claves (Ca II) de las dos estrellas y la absorción cromosférica

1

Realizar un análisis de las curvas de crecimiento observacionales

2

Deducir modelo de densidad en columna

3



Universidad
Industrial de
Santander



UNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO

Metodología

1



Manejo

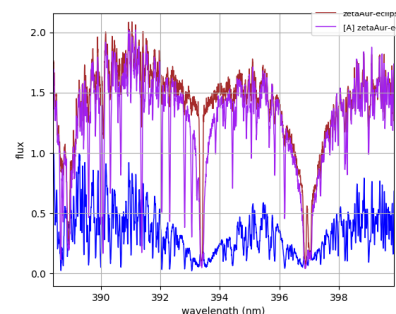


Softwares

iSpec PHOENIX
Análisis Adicionales

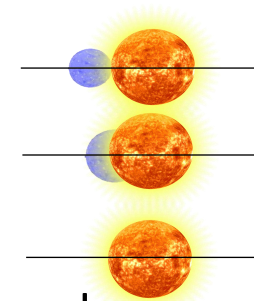
Clasificar líneas
Gigante – Secuencia principal

Cuantificar ancho equivalente
de las líneas cromosféricas



Sustracción de
espectros

Orden temporal
Altitudes proyectadas



S Blanco-Cuaresma, et. al. Determining stellar at-mospheric parameters and chemical abundances of fgk stars with ispec. *Astronomy & Astrophysics*, 2014.

Sergi Blanco-Cuaresma. Modern stellar spectroscopy caveats. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2019.

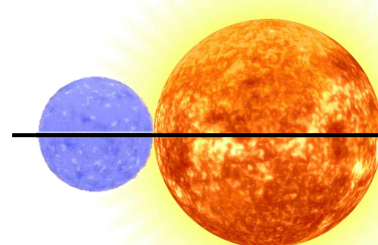
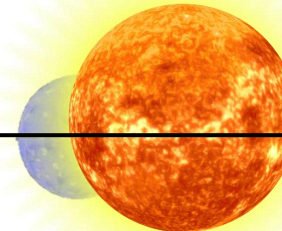
P Hauschildt and E Baron. Cool stellar atmospheres with phoenix. *Memorie della Societa Astronomica Italiana Supplementi*, 7:140, 2005

Universidad
Industrial de
Santander

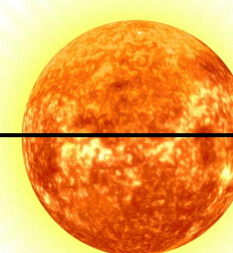
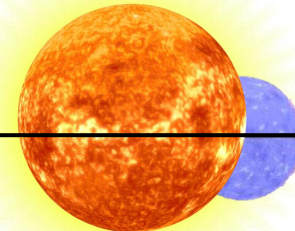
Metodología

2Graficar curvas
de crecimientoHidrógeno
Ca II K

Cromosférico

Parcial
entrante

Total

Parcial
saliente**3**

(K. P Schröder, 1987)

(O. C Wilson, 1989)

Este proyecto

**Modelo**
densidad de masa columnar



Universidad
Industrial de
Santander

Modalidad pasantía de investigación



UNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO

Grupo de Física estelar Escuela de Astronomía



Evolución de estrellas frías y masivas
Modelo estructural de estrellas
Dinámica estelar
Sistemas binarios

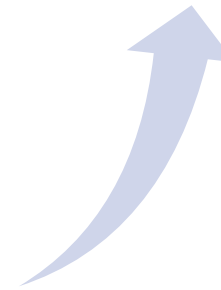


Universidad de Liège (Bélgica)
Universidad Hamburgo (Alemania)



Telescopio TIGRE

Teórico
Observacional



JHMM Schmitt, K-P Schröder, et al. Tigre: A new robotic spectroscopy telescope at Guanajuato, Mexico. Astronomische Nachrichten, 2014



Cronograma



Actividad	Duración en semanas	Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.1	9	■	■																										
1.2				■	■																								
1.3					■	■	■																						
1.4							■	■	■																				
1.5								■	■	■																			
2.1	4										■	■	■	■															
3.1	8													■	■	■	■	■											
3.2																	■	■	■	■	■								
Documentación		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		

Universidad
Industrial de
Santander

Resultados esperados

UNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO

**Modelo
densidad de
masa columnar**

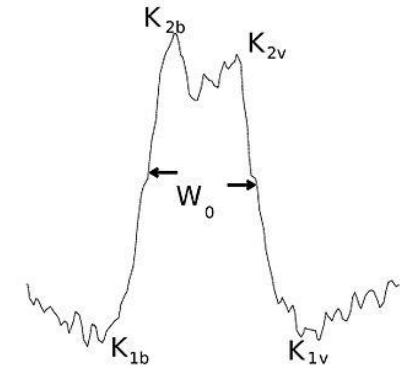
(K. P Schröder, 1987)

(O. C Wilson, 1989)

Este proyecto



Efecto Wilson-Bappu



Variabilidad en el tiempo

Dinámica estelar

Hidro y termo dinámica
Campos magnéticos



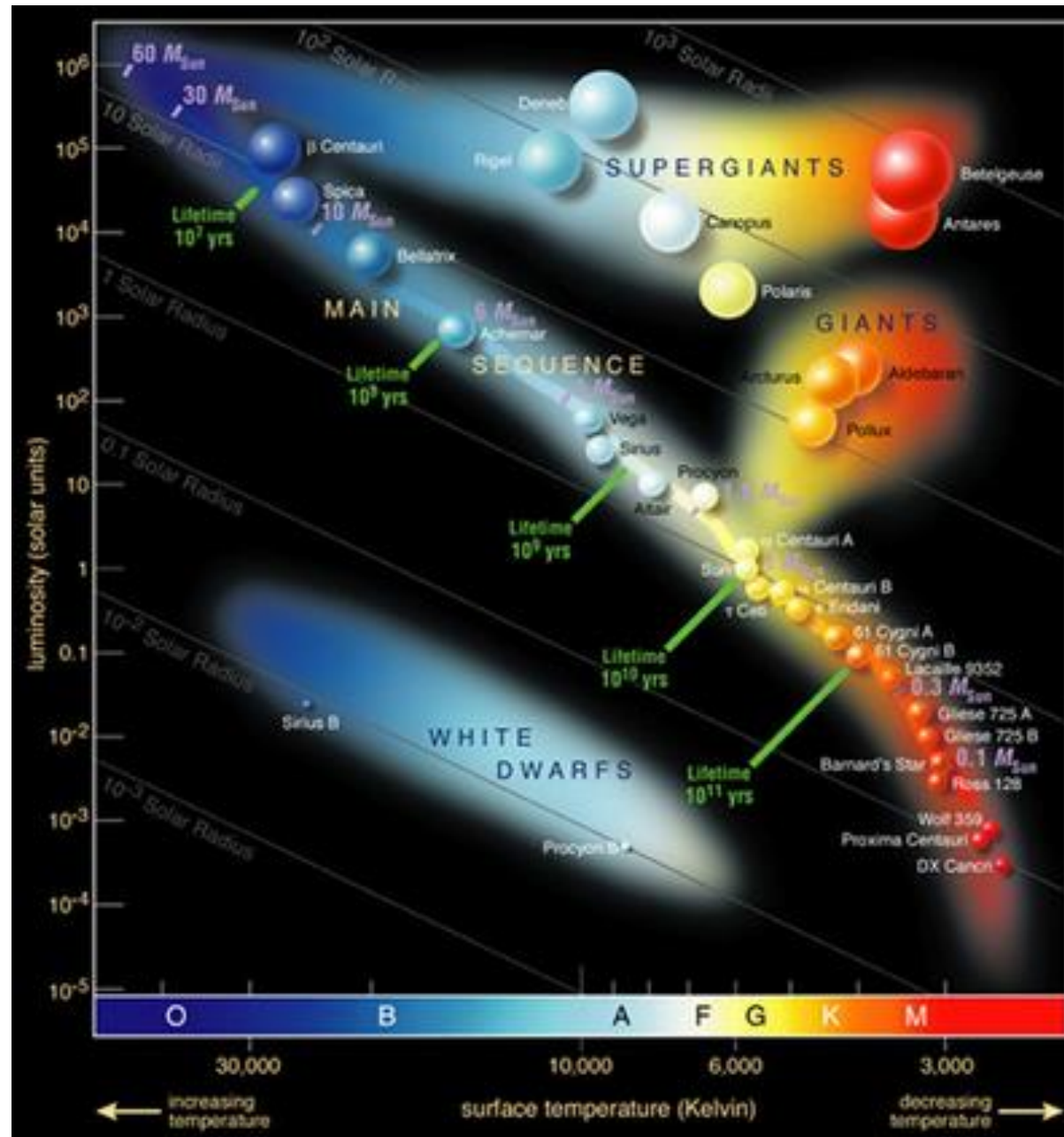


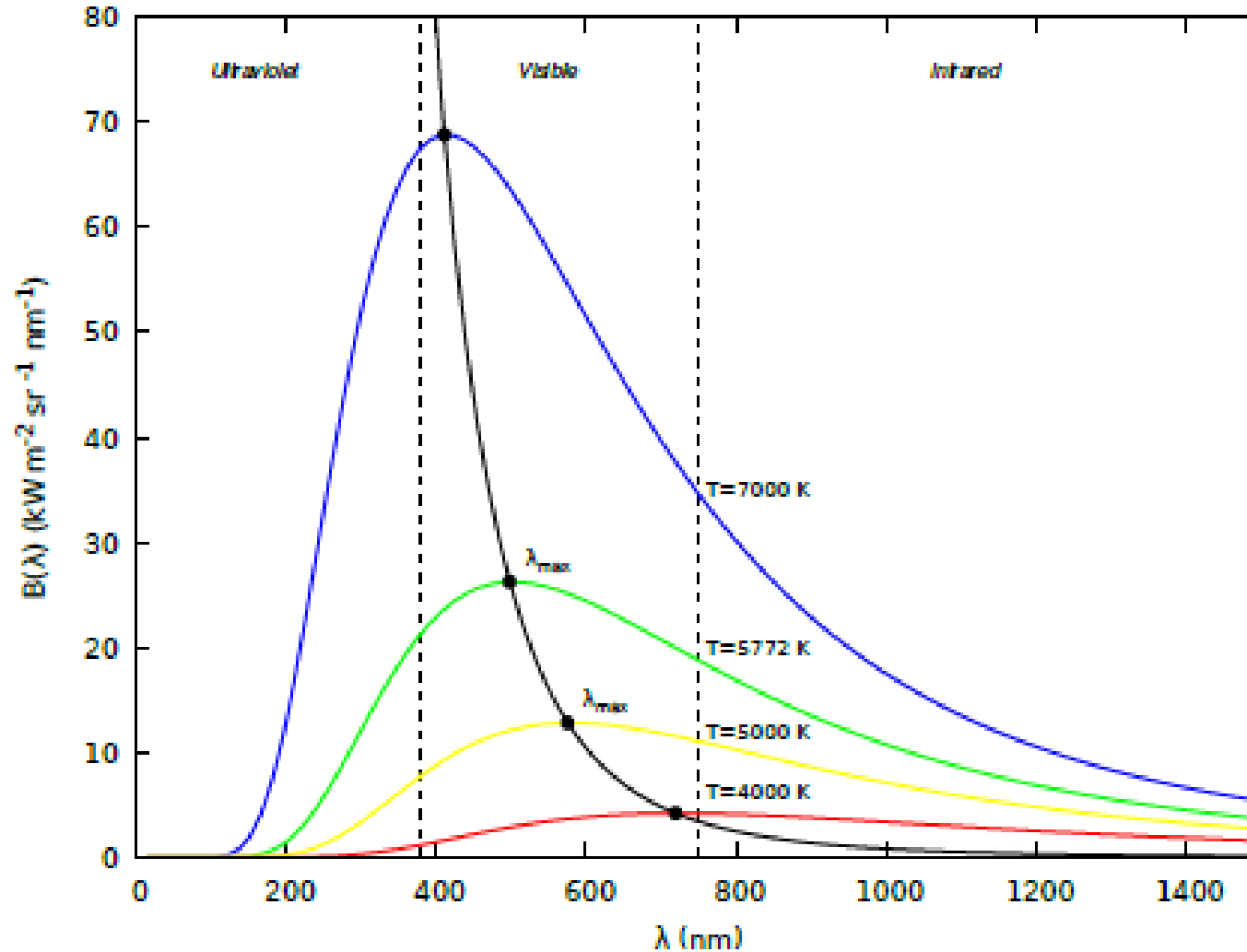
Universidad
Industrial de
Santander



UNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO

¡Gracias!

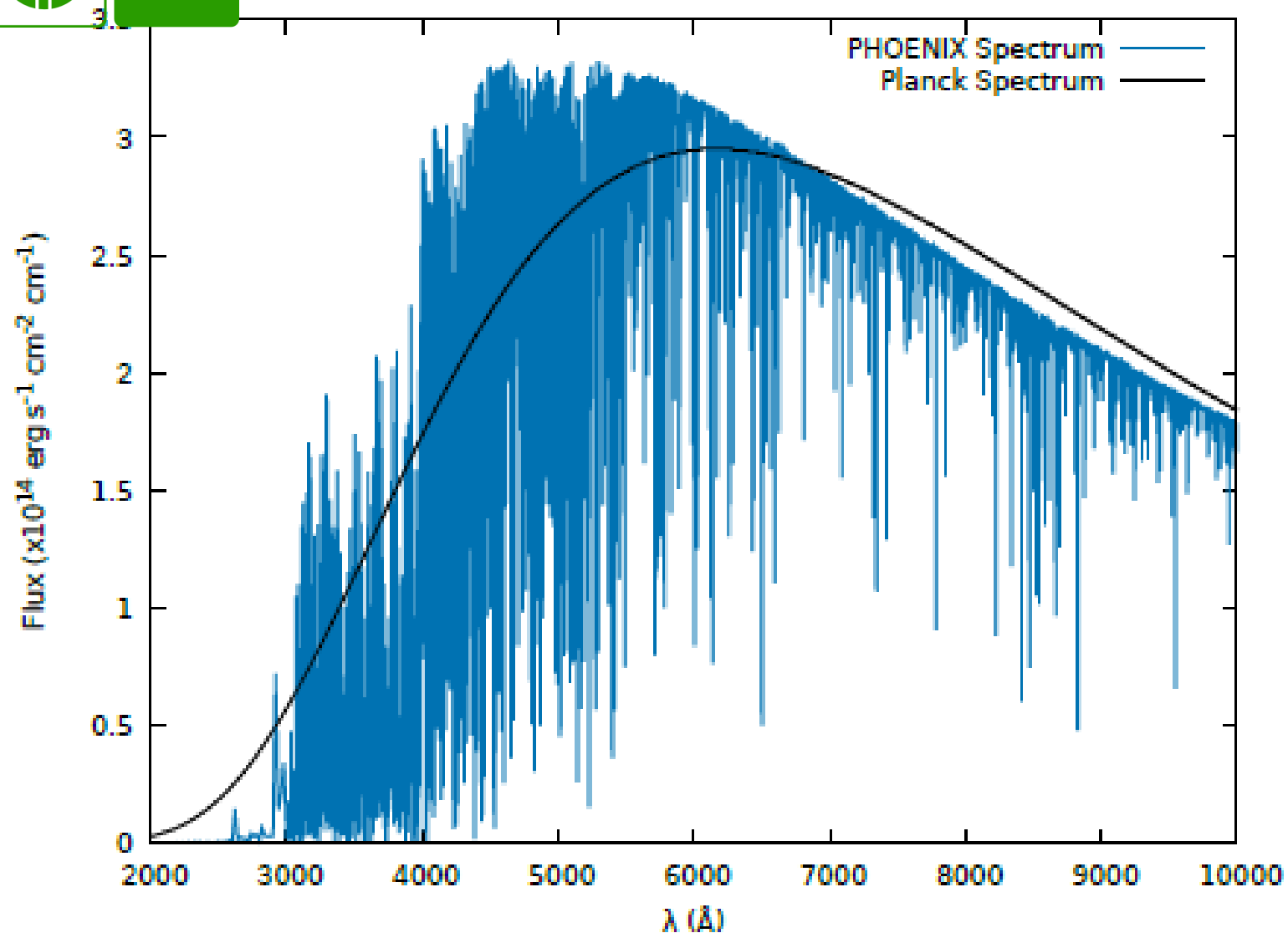




Superposición estrella
fría y una en secuencia
principal

Caso ideal, como si la
estrella se comportara
como un cuerpo negro

$$B(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{k\lambda T}} - 1}$$



LAS ESTRELLAS NO
SON CUERPOS
NEGROS

Diferencia entre
espectros

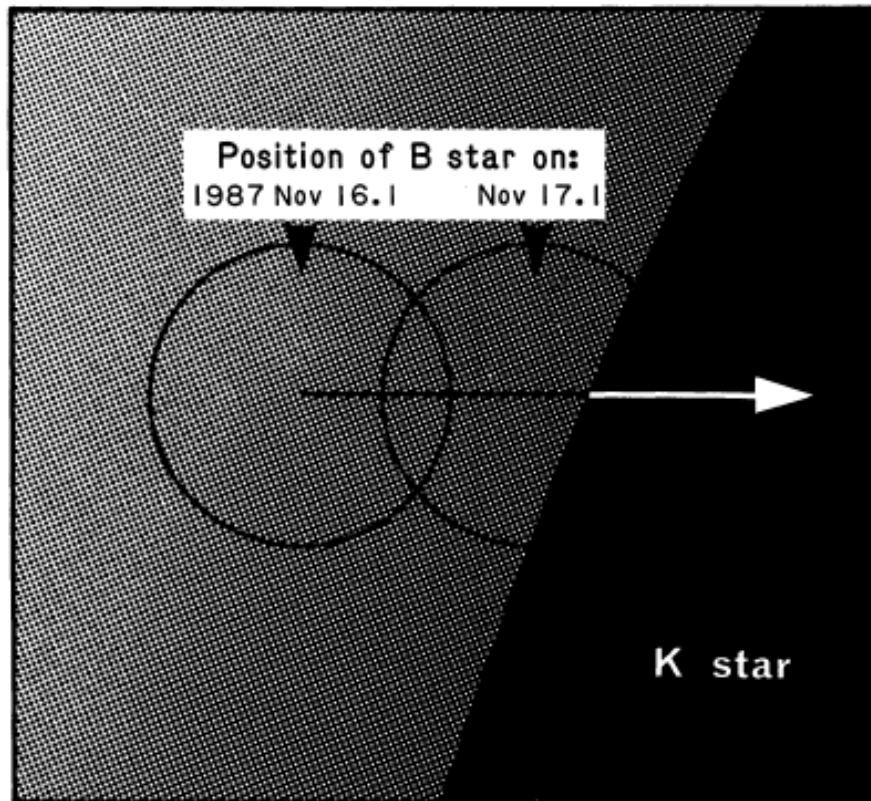


Fig. 7. Geometry of the eclipse of ζ Aur at ingress. The diagram shows, to scale, the path of ζ Aur B behind the limb of the supergiant and the relative positions of the two stars on 1987 Nov. 16.1 and Nov. 17.1. According to our model the eclipse occurs at a latitude of about $\pm 23^\circ$ on the supergiant; however, the associated uncertainties are such that a latitude anywhere between 0° and $\pm 40^\circ$ cannot be excluded

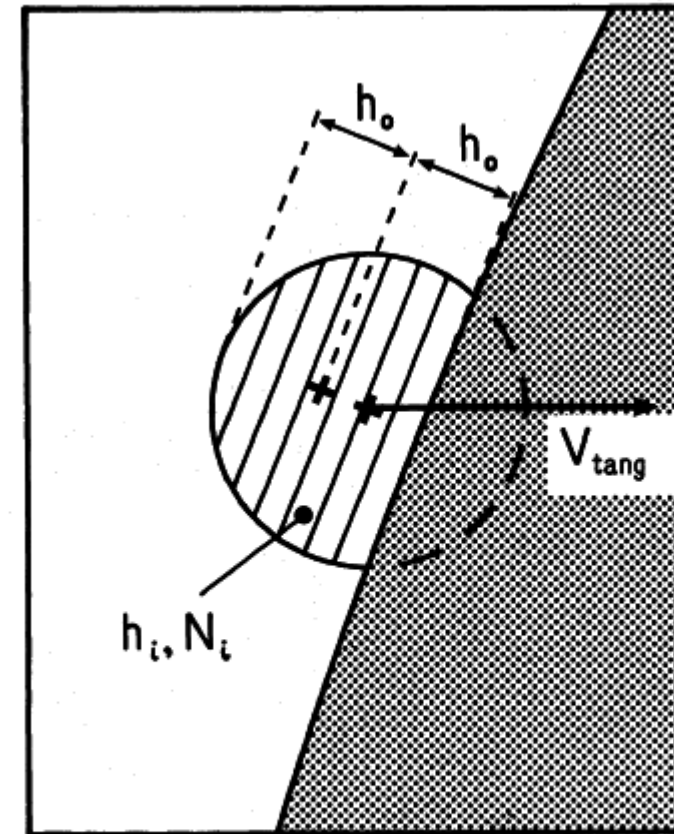
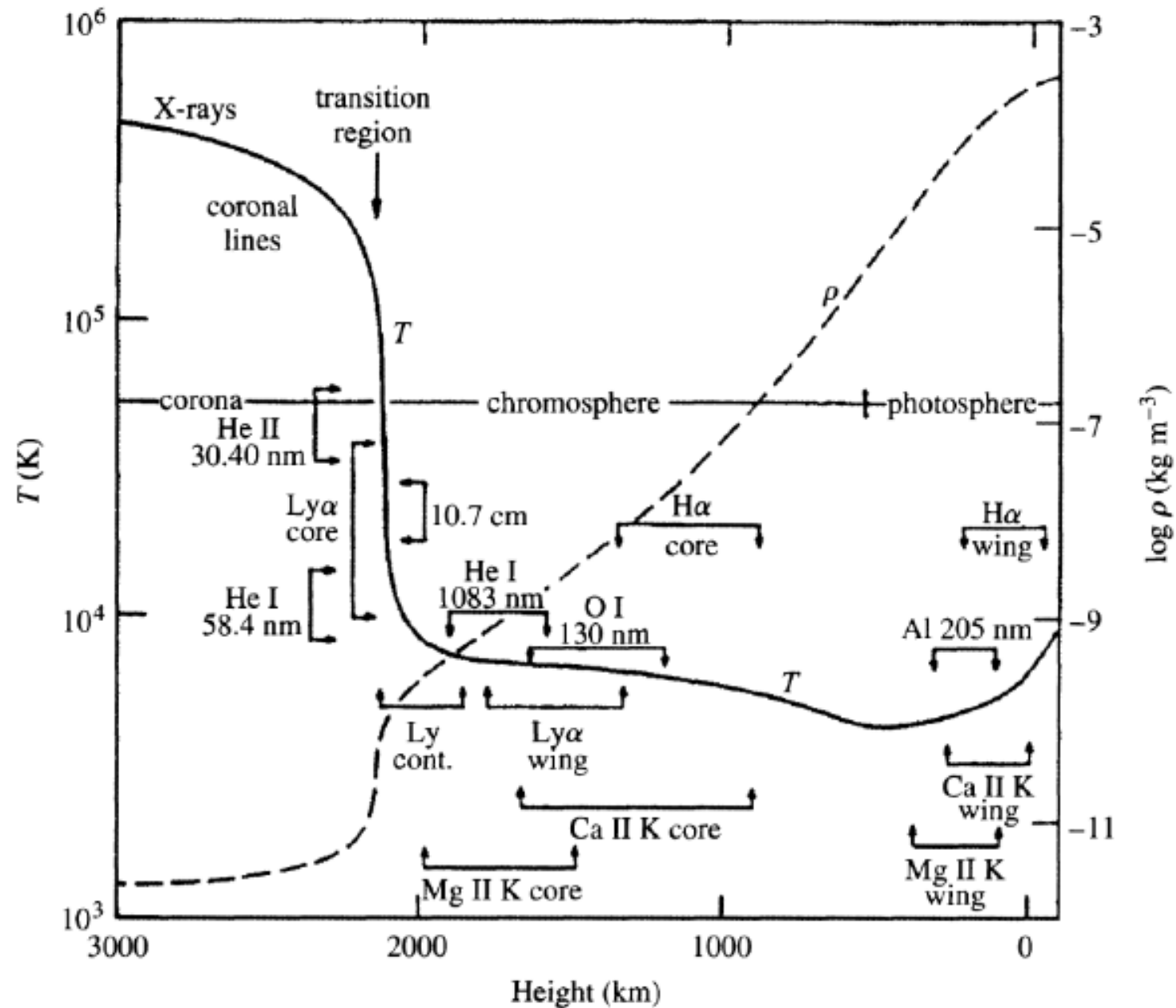
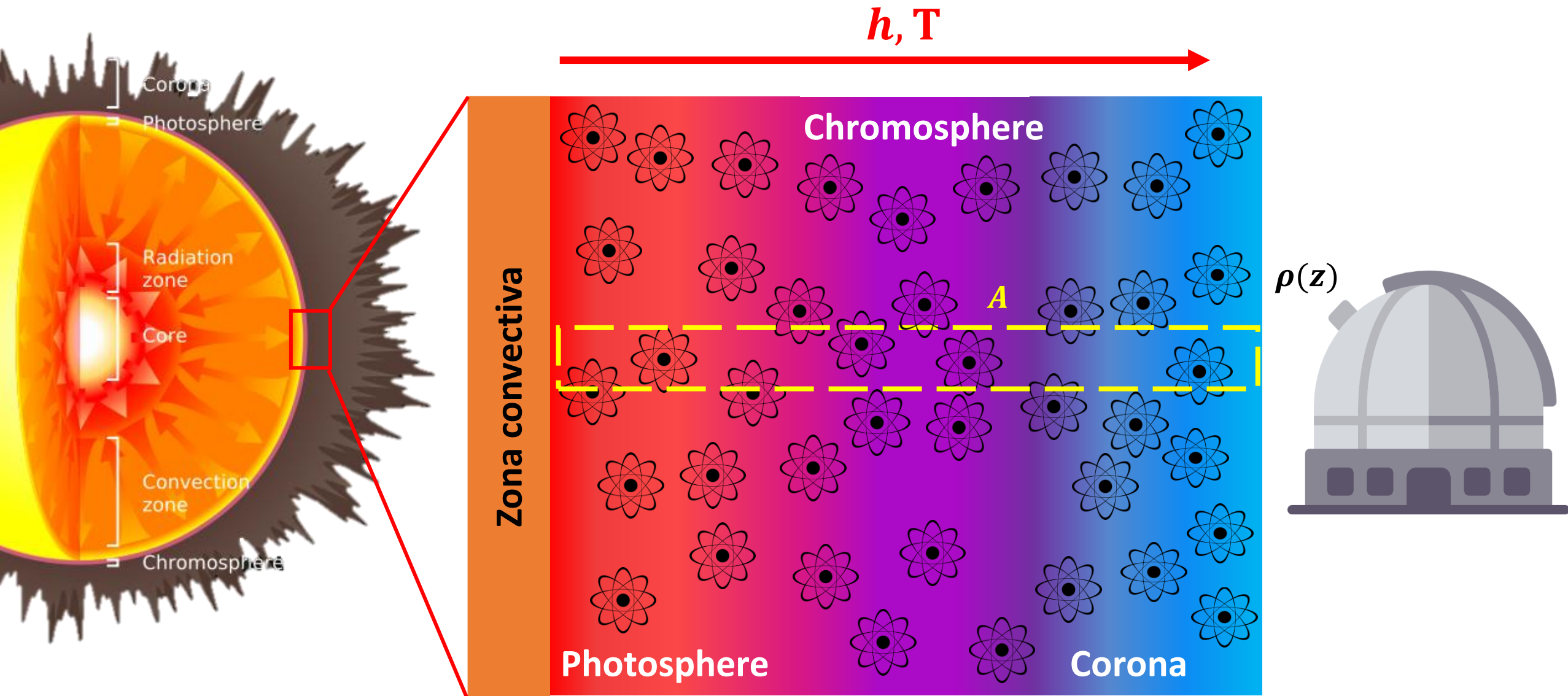


Fig. 1. Scale diagram of geometry of eclipse ingress, defining the parameter h_0 used in the text. The unclipsed disk of the B star is treated as a series of strips i , each of which shines through a different chromospheric column density $N_i(h_i)$







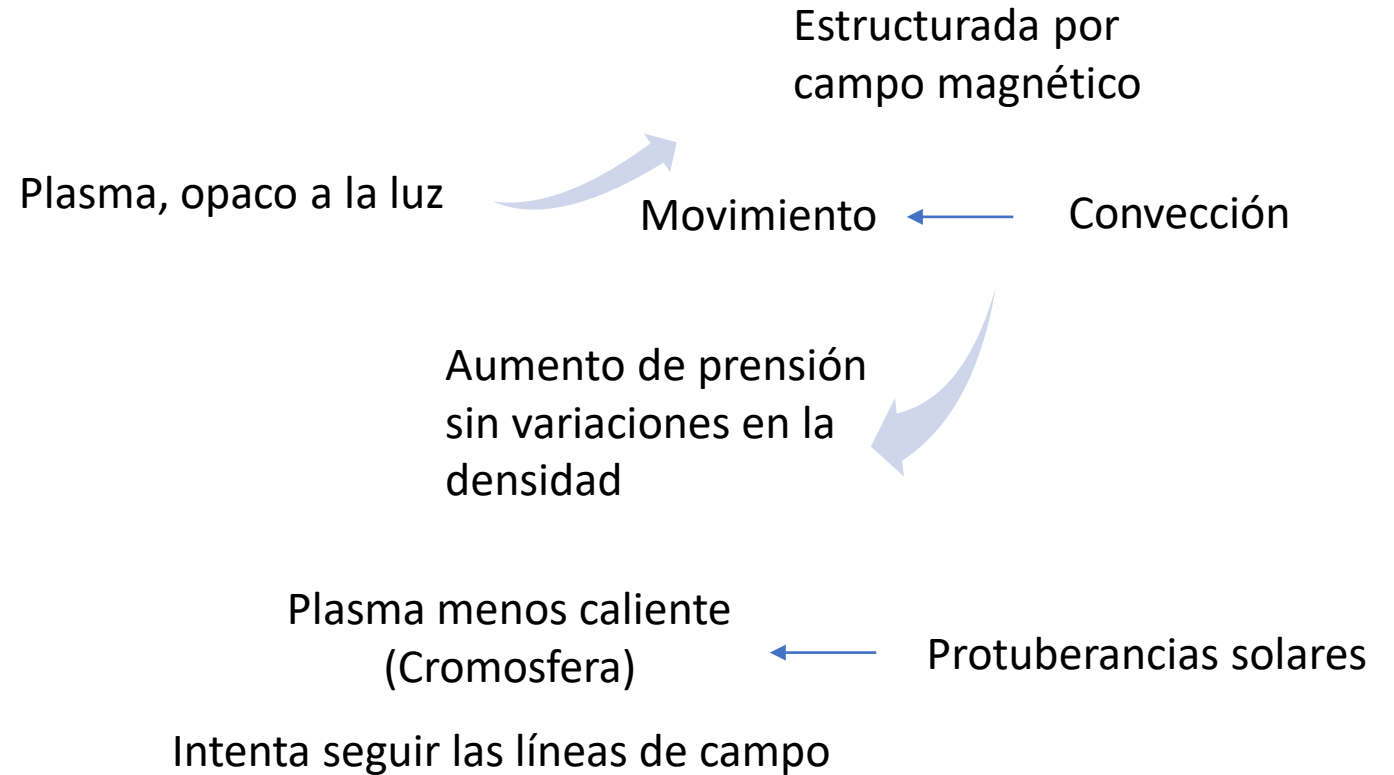
Fotosfera y Cromósfera



Física basada
equilibrio dinámico

Parte baja de la cromosfera donde aún
aplican ecuaciones de **Saha y Boltzman**

Mediciones:
espectropolarimétricas



del Pino Alemán, T., Bueno, J. T., Casini, R., & Sainz, R. M. (2020). The Magnetic Sensitivity of the Resonance and Subordinate Lines of Mg II in the Solar Chromosphere. *The Astrophysical Journal*, 891(1), 91.

Zhang, J., Bi, S., Li, Y., Jiang, J., Li, T., He, H., ... & Tian, Z. (2020). Magnetic Activity of F-, G-, and K-type Stars in the LAMOST-Kepler Field. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 247(1), 9.

Nagaraju, K., Sankarasubramanian, K., & Rangarajan, K. E. (2020). H α full line spectropolarimetry as diagnostics of chromospheric magnetic field. *Journal of Astrophysics and Astronomy*, 41(1), 1-9.



Efecto Wilson Bappu



Independiente del tipo espectral = Temperatura

*movimientos de naturaleza turbulenta
gran espesor óptico*

Estrellas tipo tardío: G, K y tipo gigante rojo M

Línea de visión radial



Donde no se conoce el
comienzo de la cromosfera

Se miran partes de la
atmósfera diferentes

Se relaciona con la gravedad superficial de la estrella

Caso de la densidad de masa columnar

Línea de visión
de la compañera



Mejor para explicar
la cromosfera



Línea de Ca II



Generada en fotosfera

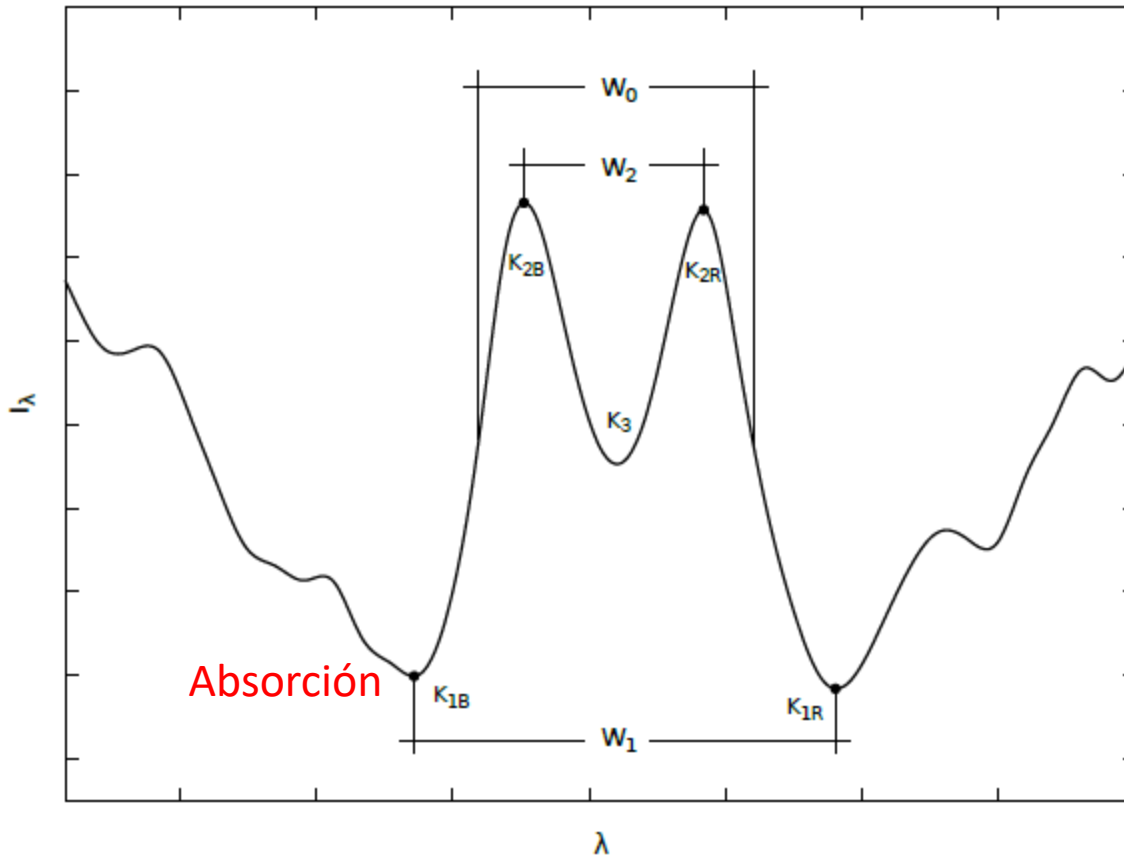
Baja temperatura
Equilibrio térmico
local

Gana energía
impacto fotón

Libera un
fotón

Las ecuaciones de
Saha y Boltzman

líneas de emisión
en la fotosfera



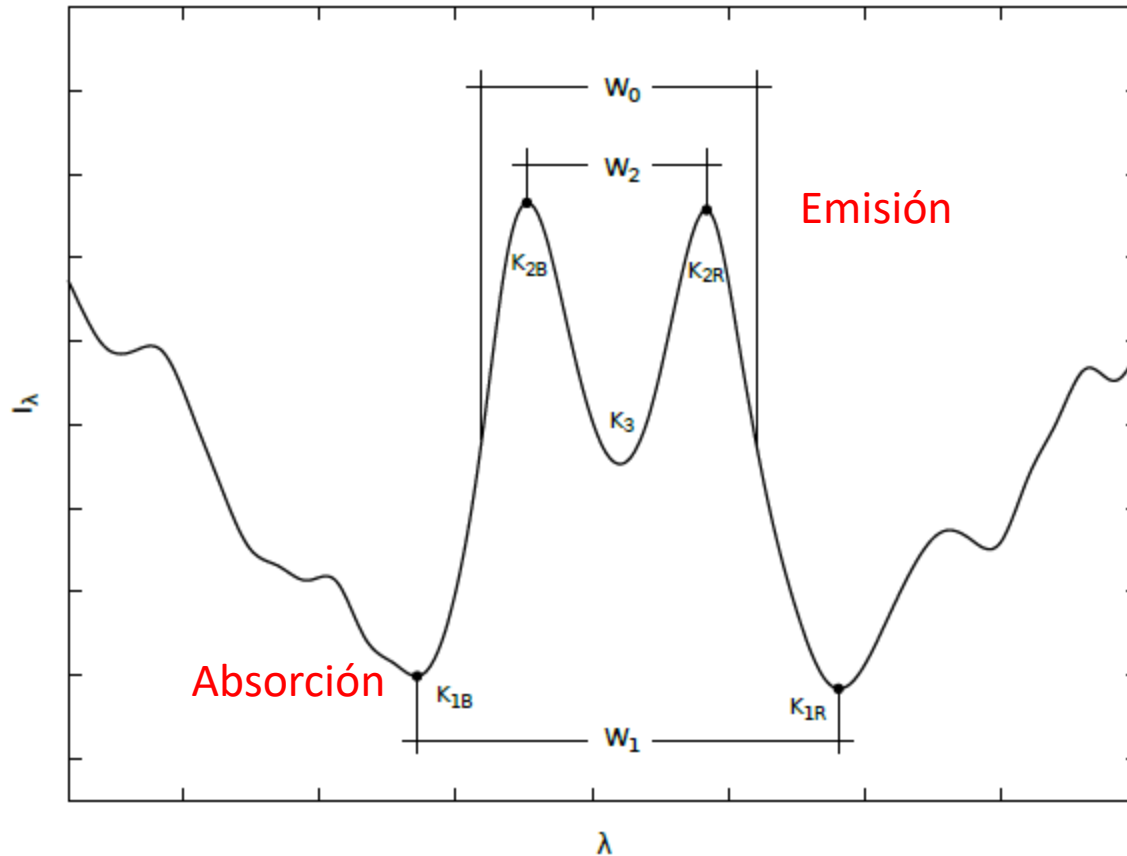
Perfil típico



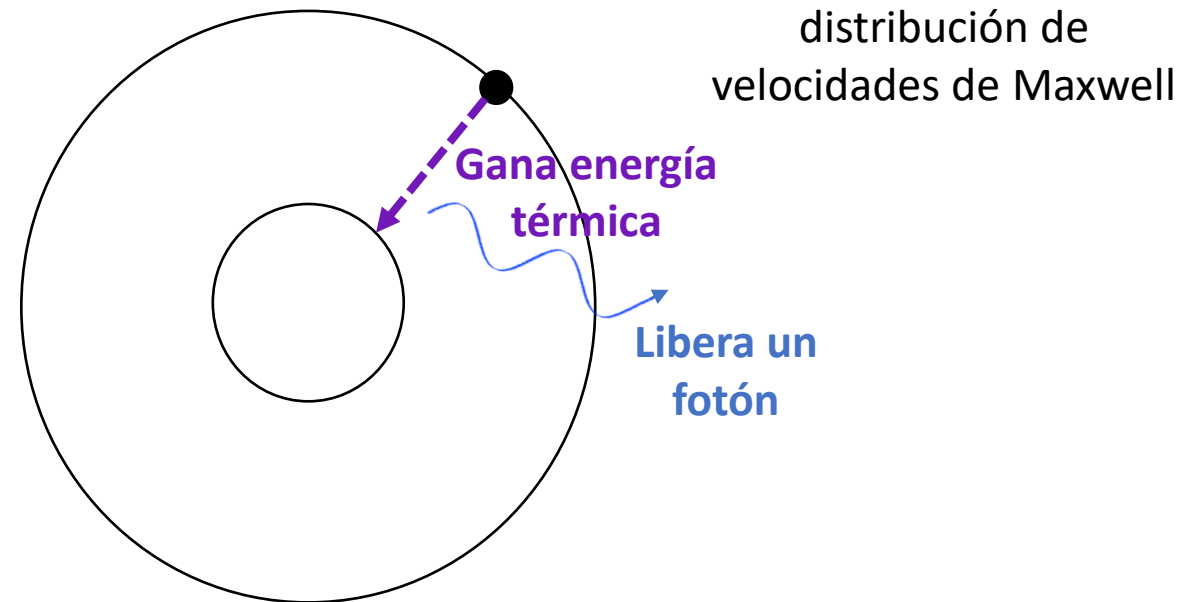
Línea de Ca II



Generada en la parte baja de la cromósfera



Perfil típico



Equilibrio termodinámico



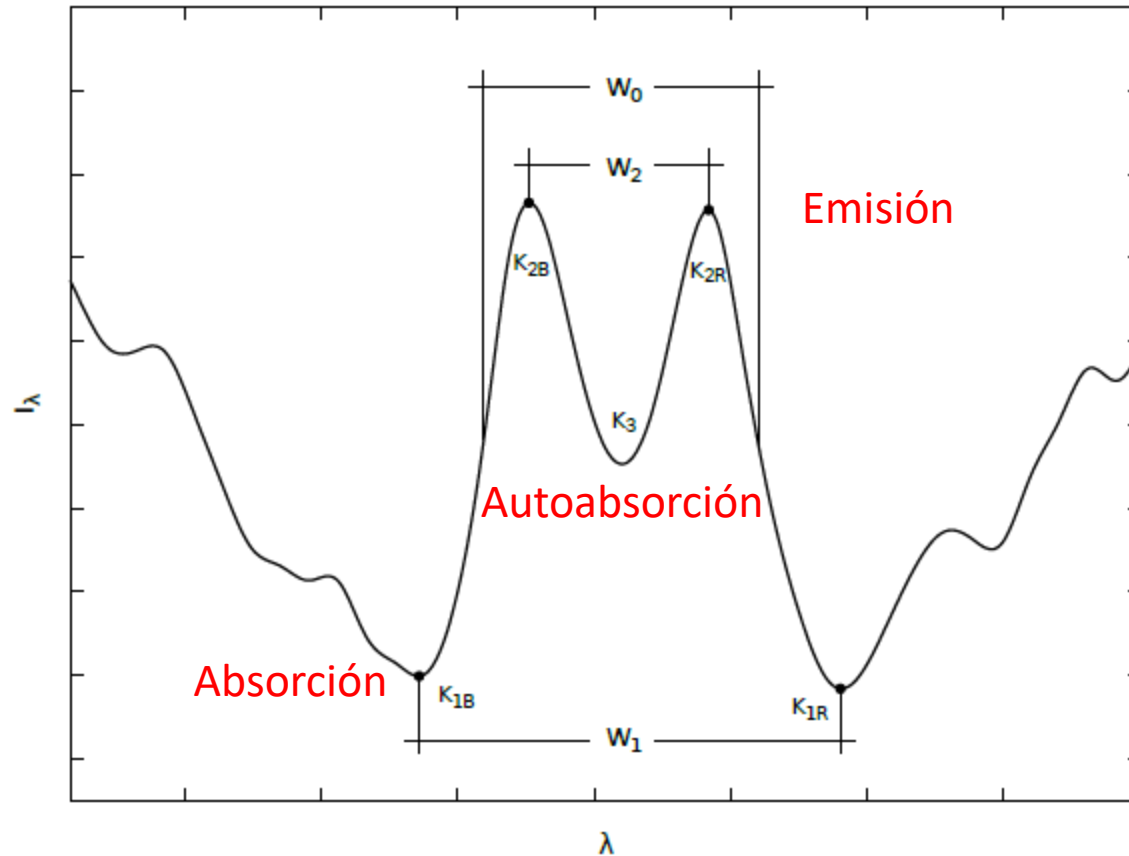
Las ecuaciones de
Saha y Boltzman



Línea de Ca II



Generada en la parte alta cromósfera

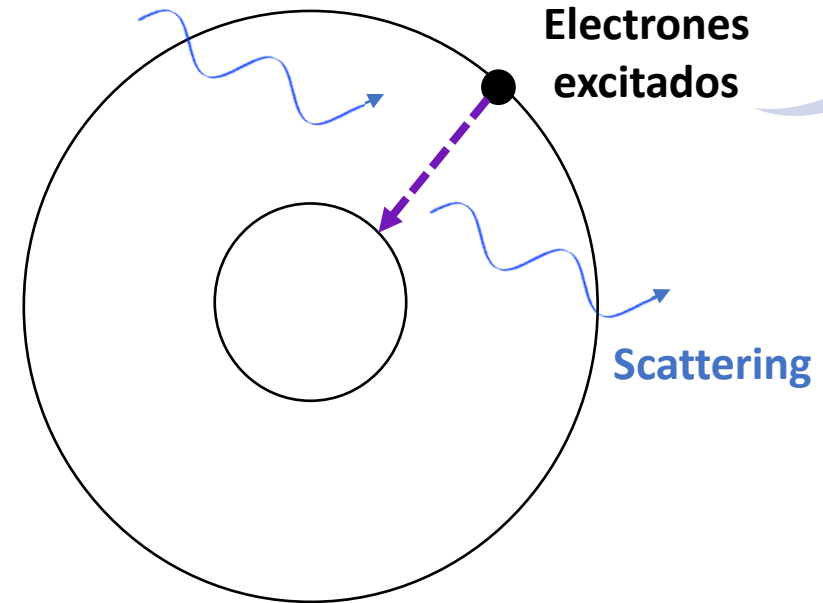


Perfil típico

Las ecuaciones de
Saha y Boltzmann

No hay equilibrio
termodinámico

Densidad
electrónica baja





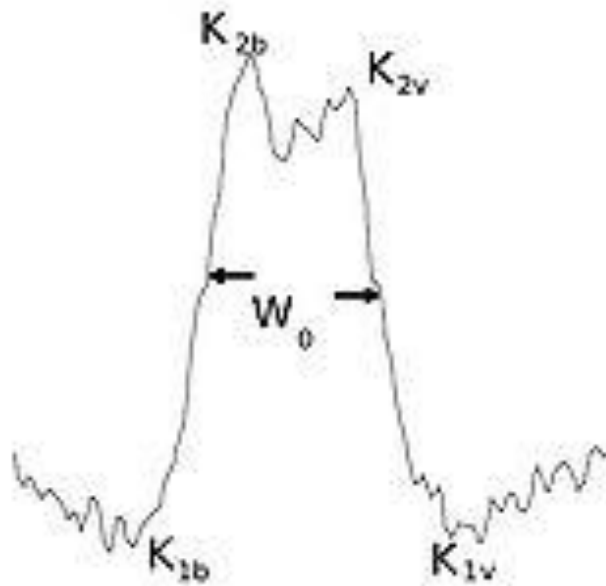
Línea de Ca II



Asimetrías



Aún hacen parte del estudio físico



Orientación pico
autoabsorción



Viento estelar

U otros fenómenos

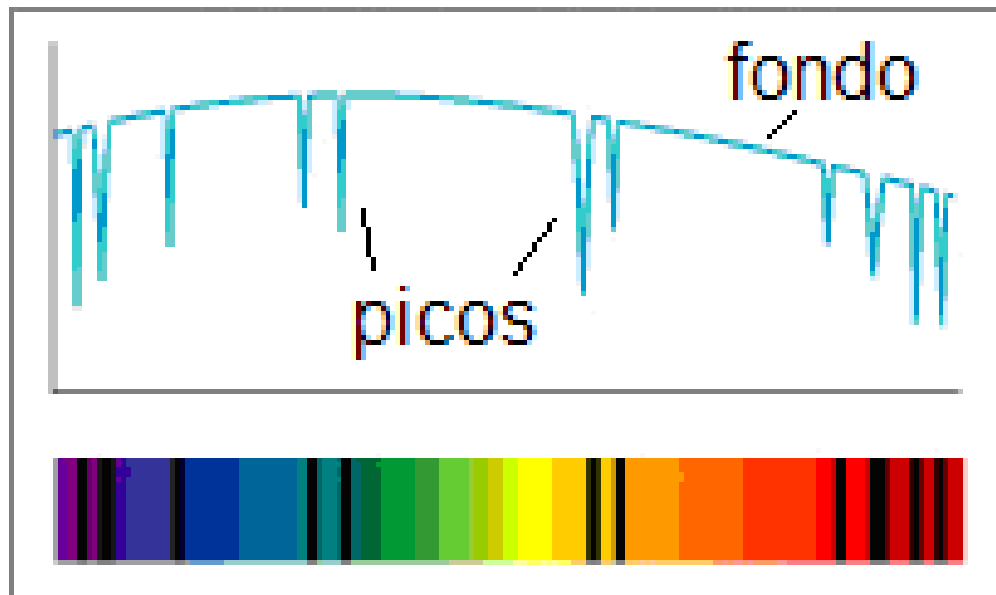


Espectro Visible

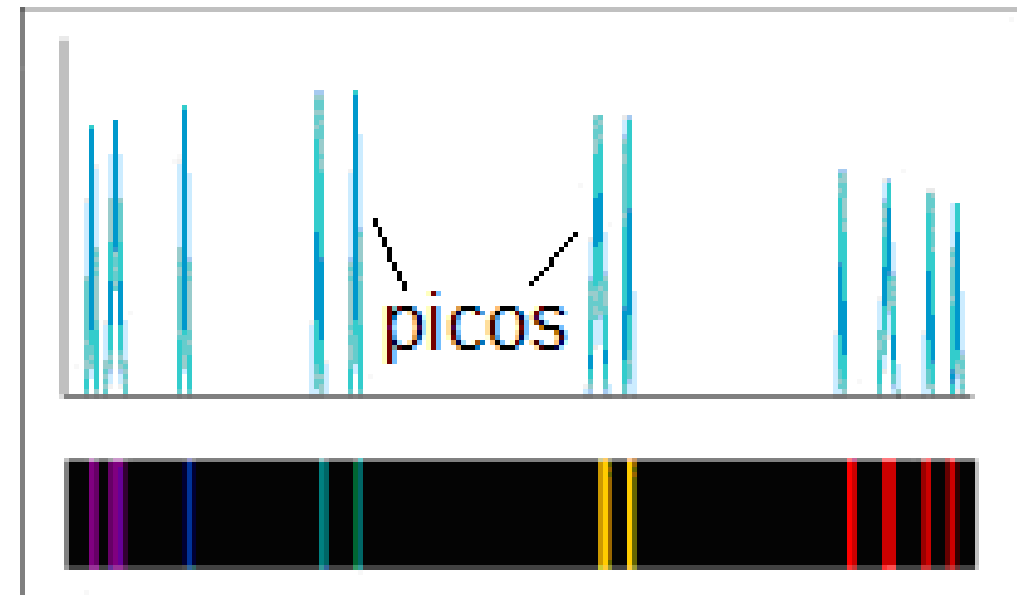


Continuo

Líneas de absorción

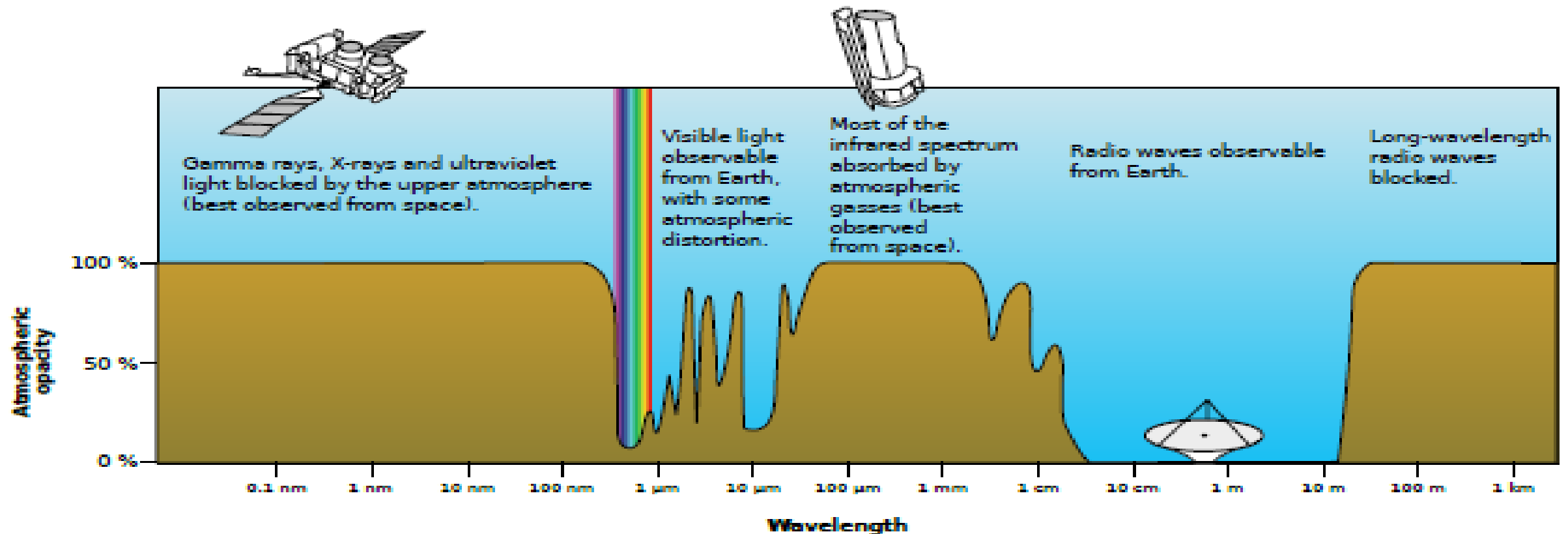


Líneas de emisión





Espectro Visible

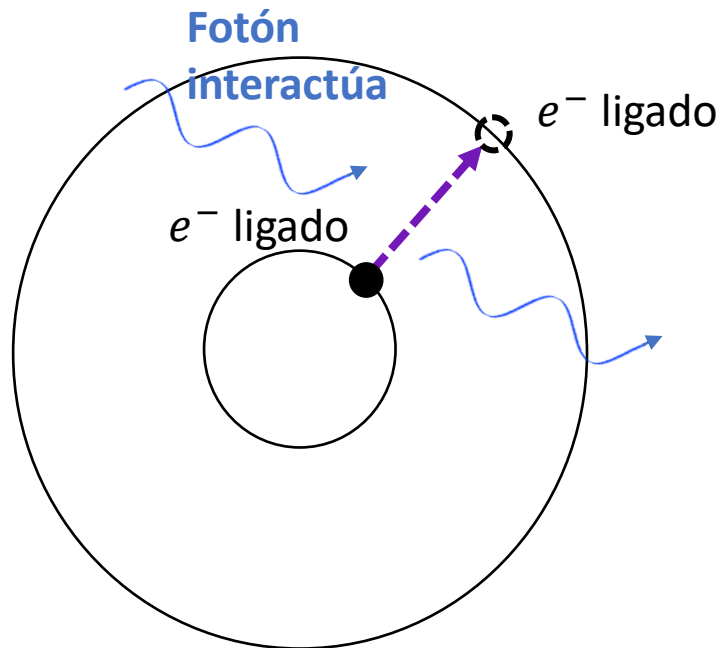




Formación del Espectro



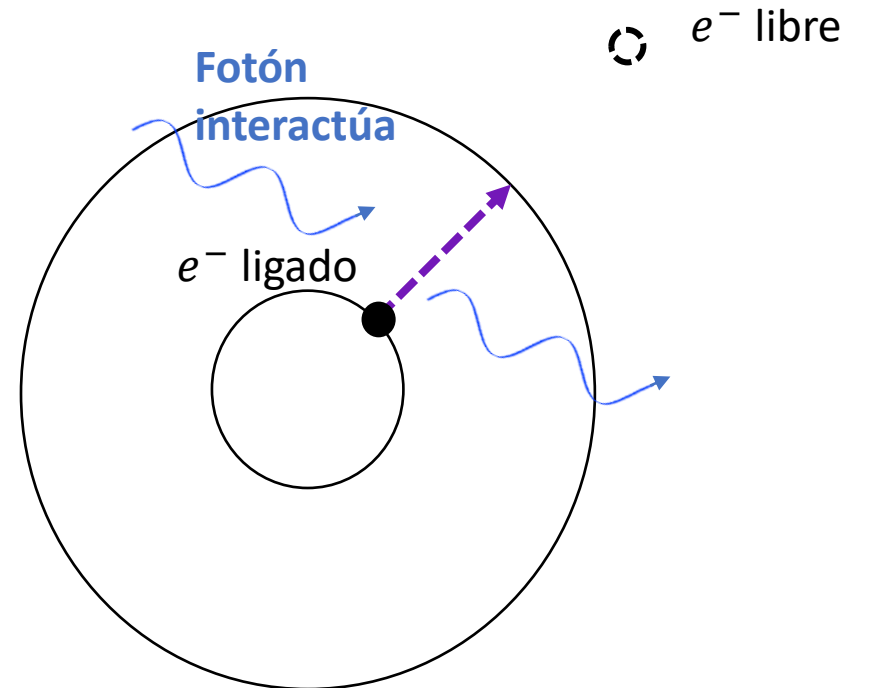
Ligado-ligado



$$E_{\gamma} = n(E_f - E_i)$$

Líneas de absorción

Ligado-libre



$$E_{\gamma} = \text{Energía ionización}$$

Absorción continua



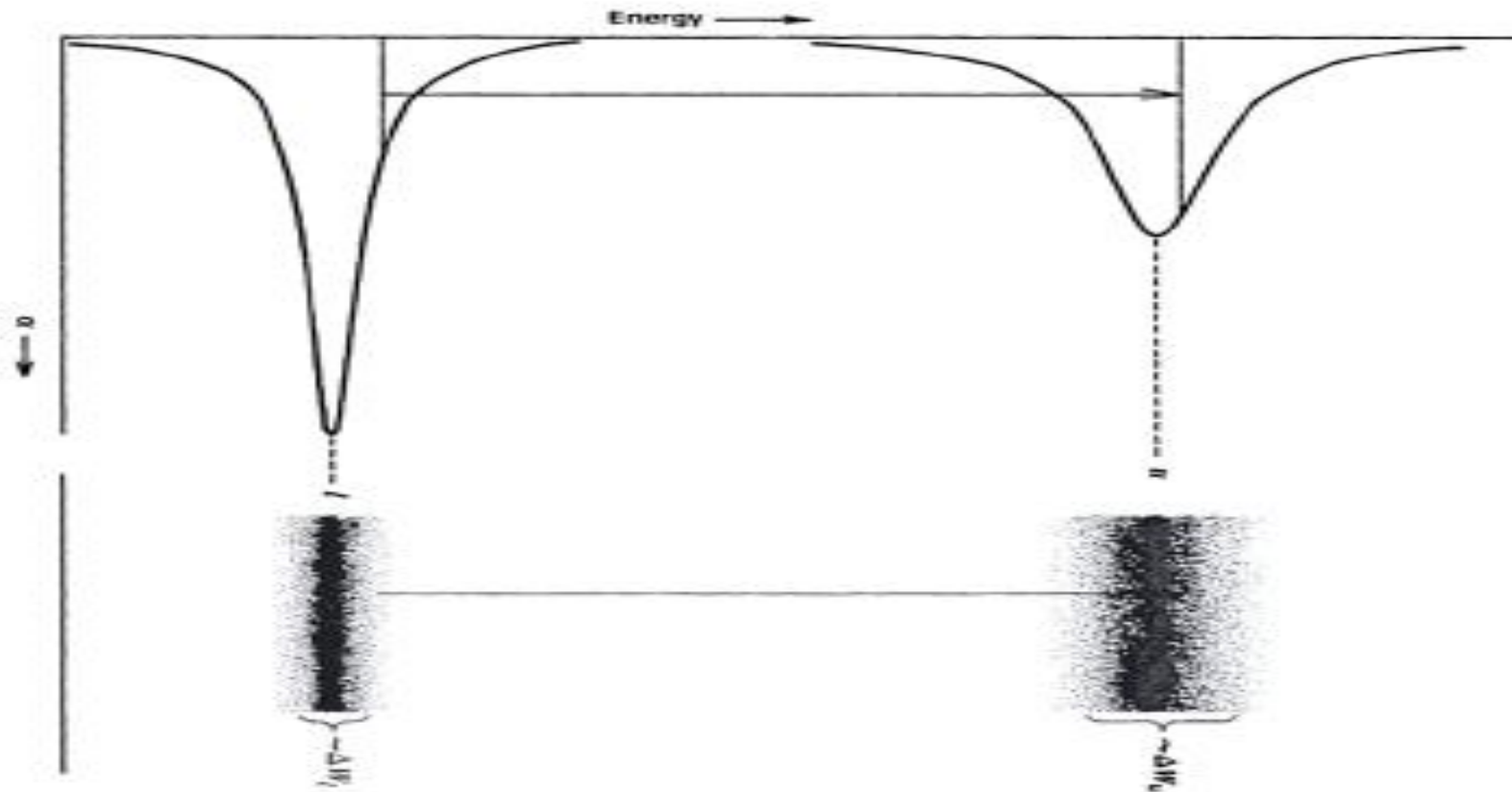
Anchos de línea



Ensanchamiento natural

Electrones en estado excitado

$$\Delta E \Delta t \geq h$$

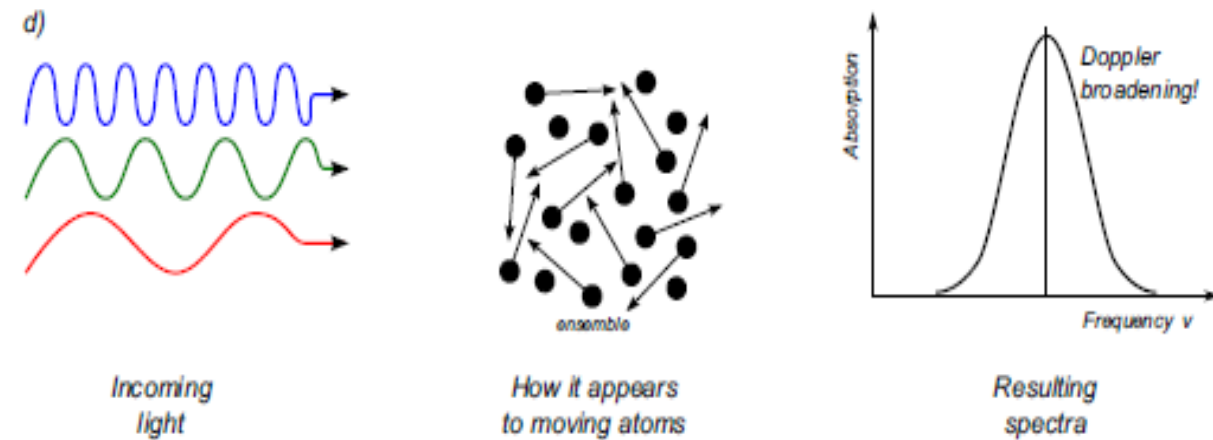
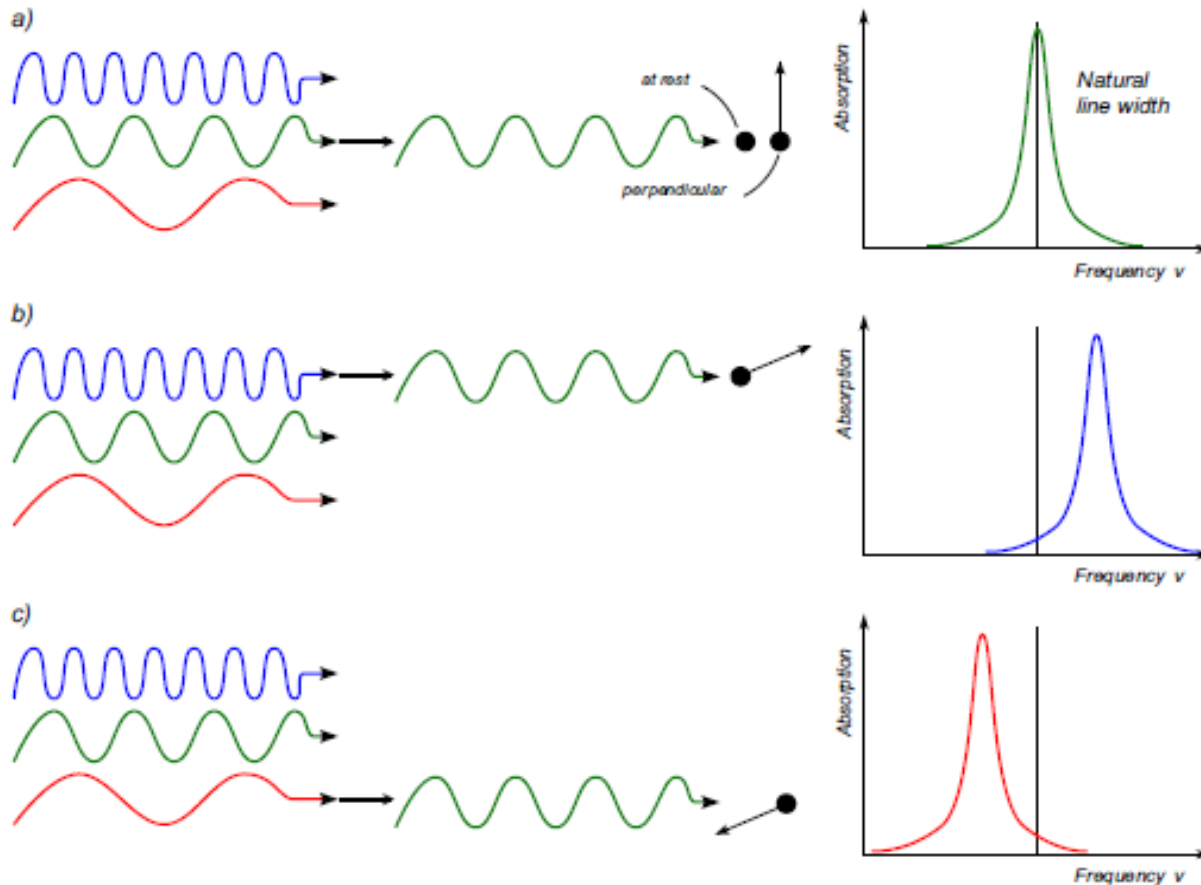




Ensanchamiento Doppler térmico

$$v = v_o \left(1 + \frac{v_z}{c}\right)$$

Distribución
velocidades de
Maxwell



Modelar como gaussianas



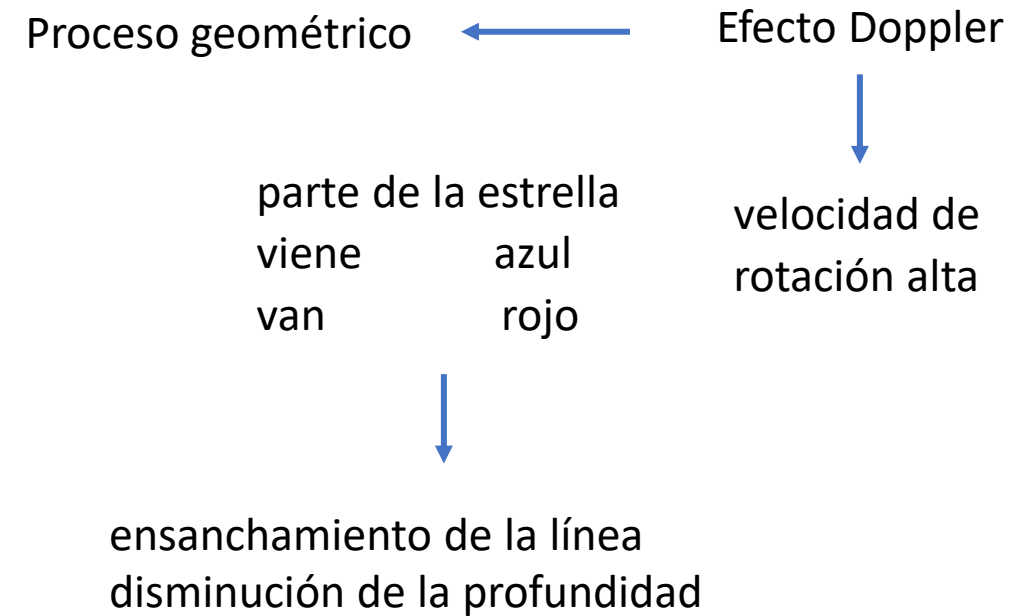
Anchos de línea



Colisional



Rotacional



El perfil de estas líneas se describe con una lorentziana



Ecuación de Saha



Asume

Equilibrio termodinámico
interacciones por impacto electrón-ión
Poblaciones de niveles energéticos

#electrones que caen

=

electrones expulsados

Para un mismo potencial
atómico

Ecuación de Boltzman

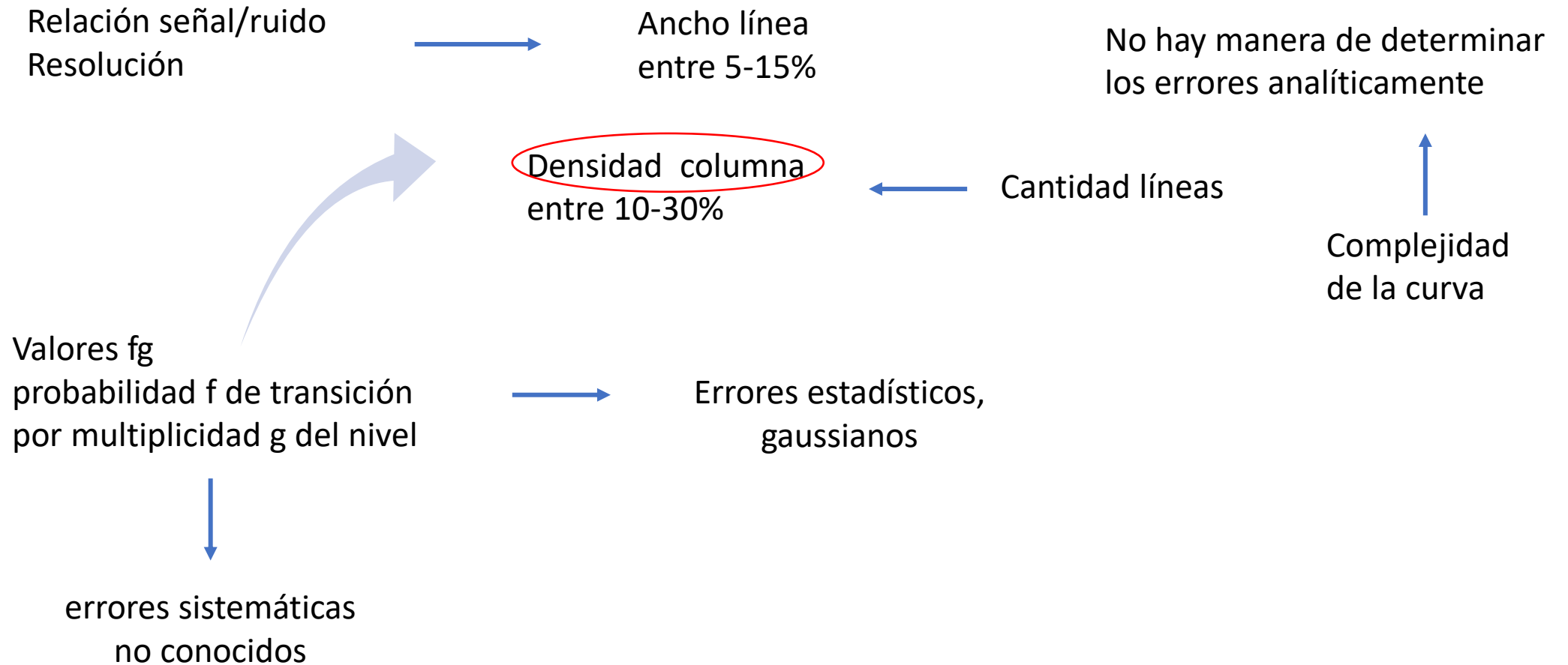
distribución de
velocidades de Maxwell

No tiene
en cuenta

fotoionización



Errores datos observacionales





Errores datos observacionales

