

Capítulo 4

Nociones básicas de Física atómica. Aplicaciones en Astrofísica. Leyes de Boltzmann y Saha

(consultar: <http://physics.nist.gov/Pubs/AtSpec>)

[El espectro electromagnético de las estrellas y otros objetos astrofísicos surge como resultado de la interacción materia-radiación. Las características del espectro se deben a las propiedades física-químicas de la materia y al campo de radiación. Las transiciones (electrónicas, vibracionales, rotacionales) entre los estados energéticos de los átomos y moléculas dan lugar a absorción y emisión de fotones, que se traducen en las líneas o bandas que observamos. La presencia o ausencia de líneas correspondientes a transiciones específicas de un átomo o una molécula, el perfil de las líneas y su intensidad revelan datos esenciales para conocer la naturaleza y condición física de los objetos donde se forman dichas líneas.]

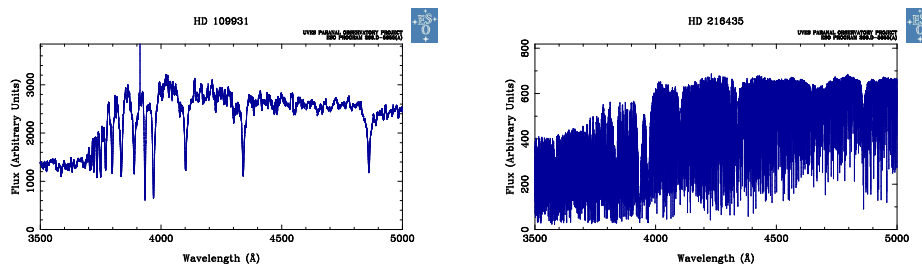


Figura 4.1: Espectros de HD 109931 (tipo espectral F0V) y HD216435 (G0V). La distribución energética de las estrellas modulada por una enorme cantidad de líneas correspondientes a transiciones entre los estados energéticos del material de la atmósfera estelar

4.1. Generalidades básicas de espectroscopía

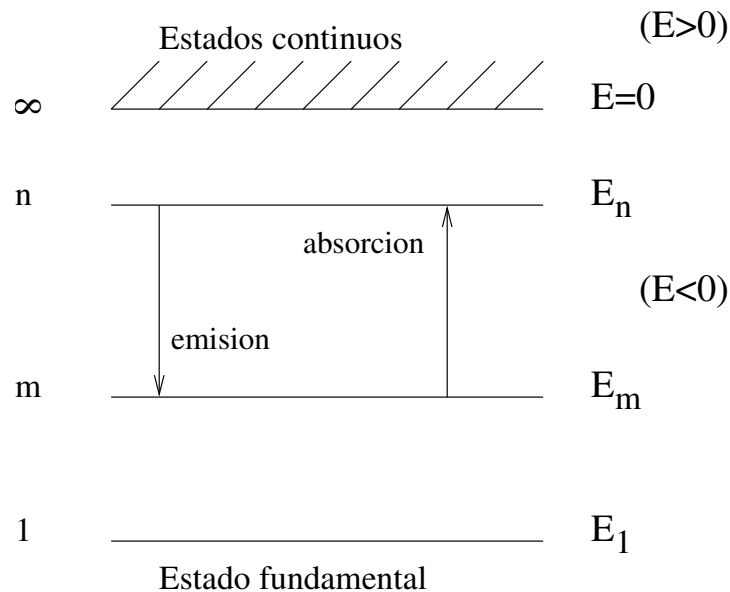


Figura 4.2: Esquema de los estados de energía de un átomo

- Transiciones de e^- entre distintos estados energéticos \rightarrow emisión o absorción de fotones,
 - Transiciones originan las líneas en los espectros estelares (depresiones o incrementos de intensidad en el espectro de radiación).
- Niveles de energía de un átomo o ión con un e^- de valencia: caracterizados por cuatro números cuánticos:
 - n (número cuántico principal): 1, 2, 3,
 - l (momento angular): 1 (s), 2 (p), 3 (d), ... $n-1$ (unidades $h/2\pi$)
 - s (spin del e^-): $\pm 1/2$
 - j (momento angular total): $j = l + s = l \pm 1/2$

4.1.1. Acoplamiento Russell-Saunders (L-S)

- En átomos y moléculas con varios e^- de valencia se puede producir un acoplamiento entre los e^-
- Momentos angulares, de spin y total:

$$L = \Sigma l \quad ; \quad S = \Sigma s \quad \rightarrow \quad J = L + S \quad (4.1)$$

- Rangos: J : $L - S \leq J \leq L + S$,
- L siempre entero; J y S según el número de electrones.
- *Término*: par de valores determinados de L y S .
- Caso de un sólo electrón:

$$L = 0\ 1\ 2\ 3\ 4\ 5\dots(SPDFGH\dots)$$

- ***Multiplicidad***:

- Si $L \geq S$: $J = L + S, L + S - 1, \dots, L - S + 1$, hay $\mathbf{r} = 2S + 1$ niveles
- Si $L < S$: $J = S + L, S + L - 1, \dots, S - L + 1$, hay $\mathbf{r} = 2L + 1$ niveles
- \mathbf{r} : multiplicidad del término (e.g. $r = 2$: doblete, $r = 3$: triplete,...)

- *Nomenclatura de los términos*: $^r L_J$

- Valor del término: $T_m = \frac{|E_m|}{hc}$ (unidades cm^{-1}).

- Número de onda: $\frac{1}{\lambda} = |T_m - T_n|$

- En función de la energía: $\Delta E(eV) = \frac{1}{\lambda}(cm^{-1}) \times 1,239910^{-4}$

4.1.2. Estructura fina

- En presencia de un **B**: cada nivel de un multiplete se desdobla según las distintas orientaciones de J .
- M_J : proyección de J en la dirección de **B**. Rango de valores:

$$J, J - 1, \dots, -J$$

- Peso estadístico del nivel J , g :

$$g = 2J + 1$$

- Da el número de niveles(M_J) .
- Si no hay **B**, niveles no se desdoblan; nivel J está $2J + 1$ veces degenerado.
- Peso estadístico de un término:

$$g = \Sigma(2J + 1) = (2S + 1)(2L + 1)$$

4.1.3. Paridad

- Los términos también se diferencian por su paridad en dos grupos:
- $\Sigma l = \text{par (even)}$; ($l = \text{momento angular de los electrones}$)
- $\Sigma l = \text{impar (odd)}$
- Nomenclatura: $L^o \rightarrow \text{paridad impar (odd)}$

4.1.4. Reglas de selección

- Cada nivel posee una energía distinta.
- Transiciones de un nivel a otro produce una línea.
- Transiciones entre todos los niveles de un término producen un grupo de líneas (multipletes).
- No todas las transiciones son posibles.

• *Reglas de selección*

1. Sólo hay transiciones entre niveles pares e impares (la paridad debe cambiar)
2. $\Delta J = 0, \pm 1$ ($0 \rightarrow 0$ prohibida)

En el caso de acoplamiento LS :

3. $\Delta L = 0, \pm 1$
 4. $\Delta S = 0$
- Transiciones permitidas en 1 y 2: transiciones dipolares eléctricas.
 - Hay transiciones que violan estas reglas: transiciones prohibidas
→ dipolos magnéticos y multipolos.
 - '*Prohibido*': 'probabilidad muy pequeña' (sentido estadístico)

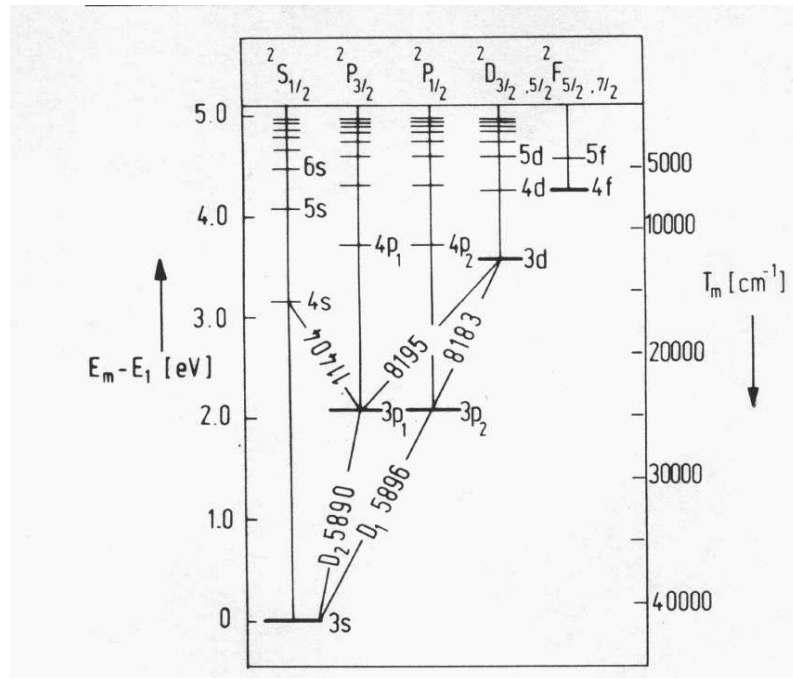


Figura 4.3: Diagrama de niveles energéticos del átomo de NaI

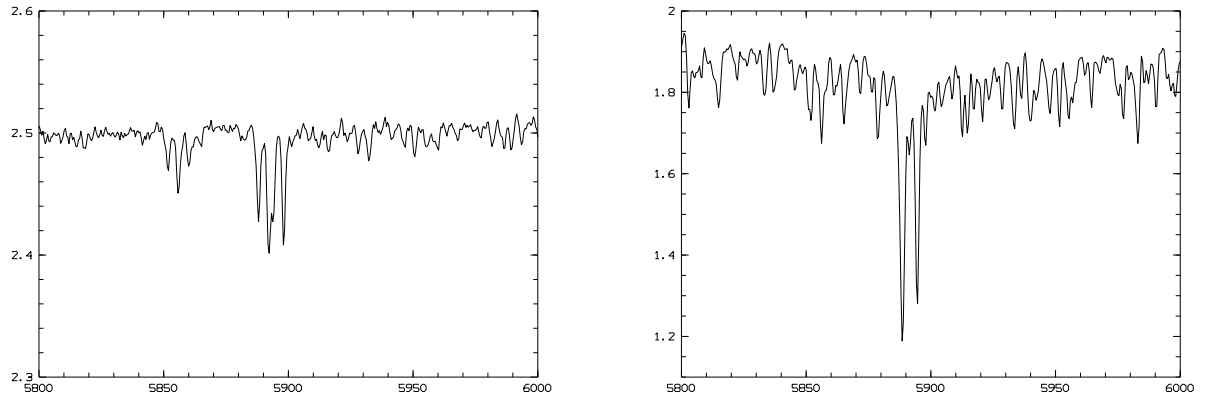


Figura 4.4: Líneas de NaI D en el espectro de estrellas de tipo A5V (izquierda) y K5III (derecha)

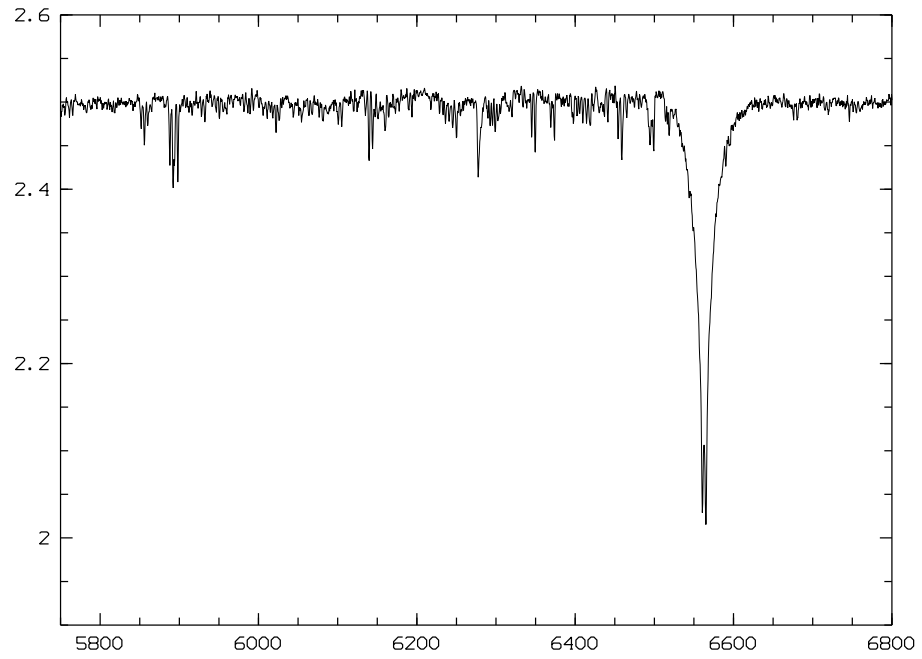


Figura 4.5: A5V

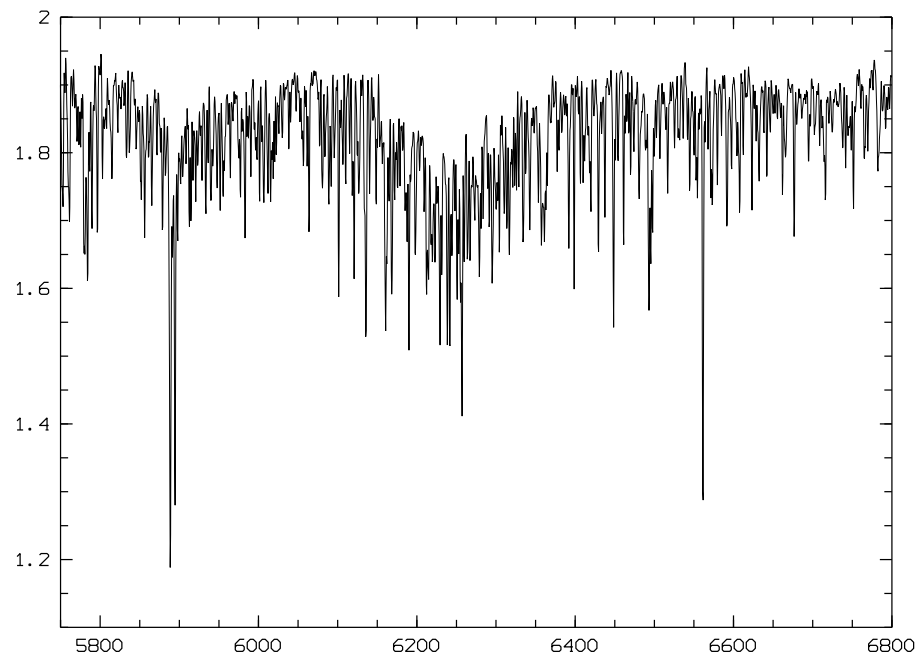


Figura 4.6: K5III