

Datos útiles: $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W K}^{-4} \text{ m}^{-2}$,
 $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, $M_\odot = 1,98 \cdot 10^{30} \text{ kg}$, $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$.

I Fuente de opacidad en el Sol. (3.0 pt)

En este problema queremos estimar la principal fuente de opacidad en el Sol usando la ecuación de Saha, en la siguiente forma,

$$\frac{n(X^+)n_e}{n(X)} = \frac{g^+}{g} 2 \frac{(2\pi mk)^{3/2}}{h^3} T^{3/2} e^{-\frac{\chi}{kT}}, \quad (1)$$

para una reacción $X + e^- \xrightarrow{\chi} X^+ + 2e^-$, donde χ es la energía de ionización de una especie X con densidad de número n .

- Muestre que a la temperatura y presión de la fotosfera solar, $T_* \sim 6000 \text{ K}$ y $\log_{10}(P_e/\text{dyn cm}^{-2}) \sim 1,5$, solo 1 de 10^4 átomos de hidrógenos está ionizado.
- Una fuente de opacidad en el Sol podría entonces ser la fotoionización de H I. Si los niveles de energía de hidrógeno siguen la ley de Rydberg, es decir $E_m = -\frac{13,6 \text{ eV}}{m^2}$, explique y demuestre que este mecanismo conduce a una opacidad en el rango visible ($4000 \text{ \AA} < \lambda < 7000 \text{ \AA}$) solo para átomos de hidrógeno excitados H* I y en el nivel $m = 3$.
- Si la degeneración de un nivel m del átomo de hidrógeno es $2m^2$, use la estadística de Boltzmann para estimar la abundancia de átomos en el nivel $m = 3$ relativa a la del nivel fundamental.
- H I puede absorber un e^- para formar un ion H^- . Este ion existe en 1 solo estado, con degeneración $g = 1$. La ionización H^- requiere de solo 0,7 eV. Explique porque la fotoionización de H^- representa una fuente de opacidad en el rango óptico, plantee la reacción y adapte la ecuación de Saha para estimar la abundancia de H^- relativo a H I.
- Si las secciones eficaces de fotoionización de H^- y de H* I son comparable, concluya sobre que especie es más probable de dominar la opacidad solar en el rango visible. ¿Cambiaría la fuente de opacidad en el rango de UV extremos?

II Contracción de Kelvin-Helmholtz. (2.0 pt)

Cuando el joven Sol se acercó a la secuencia principal, se contrajo bajo su propia atracción gravitacional manteniendo equilibrio hidrostático, y su temperatura interna promedio cambio de $T_I \sim 30 \times 10^4 \text{ K}$ hasta $T_I \sim 6 \times 10^6 \text{ K}$. Estime la duración de esta contracción y la energía total irradiada si la temperatura superficial se mantuvo en $T_* \sim 6000 \text{ K}$.

III Líneas de absorción. (2.0 pt)

Una fuente ópticamente gruesa con temperatura T_h , por ejemplo una estrella, se observa a frecuencia ν a través de una pantalla interestelar fría, con temperatura $T_c < T_h$, ópticamente delgada, y cuya fuente de opacidad es dominada por líneas. Use el transfer radiativo en un eslabón homogéneo para demostrar que se observarían líneas de absorción.