

Estrellas: Parte 1

Dr. José Antonio García Barreto

Investigador Titular B

Instituto de Astronomía

Universidad Nacional Autónoma de México

Material didáctico para utilizarse en el curso ***Astrofísica General*** a nivel licenciatura para estudiantes de física ofrecido en la Facultad de Ciencias, UNAM, Mayo 2020

Para iniciar el estudio de estrellas es necesario que los alumnos obtengan un texto sobre los conceptos básicos.

Las instrucciones son:

- a) entrar a la página www.astroscu.unam.mx/~tony
- b) dar click en “Bienvenido a esta pagina”
- c) dar click en “JAGB:actividades docentes, libros, notas, cursos
- d) dar click en “Notas de cursos: Astrofísica General y Astronomía Galáctica
- e) dar click en “Notas de curso Astrofísica General: Características Básicas de las Estrellas”

1) Estrellas, objetos que producen su propia luz

Las estrellas son vistas por el ojo humano como objetos puntuales en la bóveda celeste ya que el ángulo que subtienden es muy pequeño debido a la gran distancia a la que se encuentran de nosotros.

Por ejemplo: si el diámetro del sol fuese de 10cm, la estrella más cercana estaría aproximadamente a 3,000 km de distancia con un diámetro de 14cm.

El ángulo que subtiende sería:

$$\tan \theta = \frac{14cm}{3 \times 10^3 km \frac{10^5 cm}{1 km}} \quad (1)$$

$$\theta \sim 0''.0009 \quad (2)$$

Algunos datos relevantes acerca de las estrellas:

- Desde la época de Hiparco se sabe que no todas las estrellas tienen el mismo brillo.
- Después de Newton, con el desarrollo de la termodinámica, y con la observación constante del ángulo que subtiende se llega a la conclusión de que el Sol debe estar en equilibrio de fuerzas: **la fuerza de gravitación** que trata de llevar todo el material hacia el centro de la estrella y la **fuerza de expansión** (gas caliente que trata de expanderse).
- Se publica en el siglo XIX la tabla periódica de los elementos: diferentes átomos en la naturaleza.

- La cuantificación porcentual de la cantidad de átomos en la Tierra, en los meteoritos que han caído a la Tierra, y la composición química del Sol indican que el elemento hidrógeno es por mucho el más abundante.
- ¿Cuál es el mecanismo o proceso físico que produce el calor o la alta temperatura del Sol?
- ¿En dónde se produjeron o se producen los diferentes elementos de la tabla periódica?

Hubo al menos dos modelos para explicar la fuente de calor y alta temperatura del Sol:

1) El Sol es una esfera de gas que se comporta como un gas ideal y se comporta como lo predicen las leyes de la termodinámica: $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \textit{constante}$.

La temperatura va directamente proporcional al cociente de volumen por el cociente de la presión:

$$T_2 = \frac{V_2 P_2}{V_1 P_1} T_1 \quad (3)$$

Si la aplicamos a una bomba de aire de una bicicleta (cilindro) con área circular $A=1$ y altura 5, $V_1 = 5$, $P_1 = 1$, $T_1 = 1$.

Si bajamos el pistón de tal manera que $V_2 = 1$ experimentalmente sabemos que aumenta la temperatura y también la presión. Si por ejemplo si $P_2 = 10$, entonces $T_2 = 2$.

Un modelo sería un ***proceso de contracción***

2) Después de los estudios de radioactividad de los elementos por Marie Curie en donde un átomo pesado se transforma en un átomo menos pesado más una partícula alfa y radiación, otro modelo sería el ***proceso de radioactividad*** .

Sin embargo las observaciones del Sol en la historia reciente de la humanidad desde Babilonia hasta nuestros días indican que el Sol subtiende, en promedio, el ***mismo*** ángulo, es decir, no se ha detectado ninguna contracción. Por lo tanto el primer modelo se descarta.

El segundo modelo predice que después de un intervalo de tiempo, la cantidad del elemento radioactivo debe decrecer. Esto sugeriría una edad del Sol de algunos millones de años.

Pero esta edad no coincidía con la edad estimada de fósiles de crustáceos, de árboles, de huesos de dinosaurios, con corteza terrestre, etc. Por lo tanto el modelo de radioactividad se descartó.

El modelo del origen del universo conocido como La gran Explosión nos indica que en los primeros 3 ó 4 minutos se formaron principalmente los átomos de hidrógeno (H) $76 \rightarrow 78\%$, y helio (He) $22 \rightarrow 24\%$, y muy muy poco de litio (Li), berilio (Be).

Con el desarrollo de la física atómica y molecular, el modelo del átomo de Bohr, la mecánica cuántica se propuso el modelo de que los diferentes elementos de la tabla periódica eran producidos en épocas recientes en todo el universo en el interior de las estrellas a través de reacciones termonucleares.

Los modelos de física de partículas elementales, la física cuántica, la física atómica y molecular, han descrito las reacciones termonucleares y sus resultados han sido comprobados.

¿Cuál es la temperatura superficial del Sol?

2) Temperatura Superficial del Sol

Para estimar la temperatura superficial del Sol necesitamos la expresión del flujo total intrínseco del Sol derivado del flujo del Sol detectado en la Tierra, e igualarlo a la integral sobre todas las longitudes de onda de la radiación E&M y sobre el ángulo sólido.

$$\sigma_{SB} T^4 = 6.27 \times 10^{10} \frac{\text{erg/seg}}{\text{cm}^2} \quad (4)$$

$$\sigma_{SB} = 5.67 \times 10^{-5} \frac{\text{erg/seg}}{\text{cm}^2 \text{ } ^\circ K^4} \quad (5)$$

Substituyendo valores:

$$T_{\odot} = \sqrt[4]{\frac{6.27 \times 10^{10}}{5.67 \times 10^{-5}}} \text{ } ^\circ K \quad (6)$$

$$T_{\odot} \approx 5766 \text{ } ^\circ K \quad (7)$$

Los modelos para llevar a cabo la reacción termonuclear para llevar a cabo la transformación de (núcleo) de hidrógeno en (núcleo) de helio necesitan una temperatura entre $T \sim 12 \rightarrow 15 \times 10^6 \text{ }^\circ\text{K}$.

Esas temperaturas sólo se encuentran en la región más central del Sol y por lo tanto debe de haber un gradiente de temperatura decreciente hacia las capas mas externas del Sol hasta llegar a su superficie.

Una caricatura de la reacción es:



La masa del núcleo de He es un poco menor que la suma de dos masas del núcleo de H más dos masas de neutrones. Pero la química nos enseña que debe haber conservación de masa. Por lo tanto debe haber una pequeña cantidad de masa que se convierte en energía. **La reacción es exotérmica con $E = (\Delta m)c^2$**