

Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Astronomía
AS2002 - Introducción a la Astrobiología

Clase Auxiliar N°1

Etapas del Universo Temprano

$t=0$: Se crea el espacio-tiempo

$0 < t < 10^{-43}$: Era de Plank. Física desconocida. Fuerzas indiferenciadas

$t=10^{-43}$ seg: $\langle \epsilon \rangle = 10^{19}$ GeV, $T \approx 10^{32}$ -----> Epoca Radiativa i.e. $\langle \epsilon \rangle_{\gamma(\text{fotones})} > \langle \epsilon \rangle_{m(\text{bariones})}$

donde: $\langle \epsilon \rangle$: energía promedio por partícula = $3/2kT$

k : constante de Boltzmann = $8,61 \cdot 10^{-5}$ [eV]

$t=10^{-8}$ seg: $\langle \epsilon \rangle = 10$ GeV comienza formación de protones y neutrones.

$t=10^{-4}$ seg: $T=10^{12}$ °K termina formación de protones y neutrones.

$t=1$ seg: $T=9 \cdot 10^8$ °K (similar a la de algunos interiores estelares)

Formación de electrones-positrones, deuterio, cuya energía de ligación es de 2,2 MeV

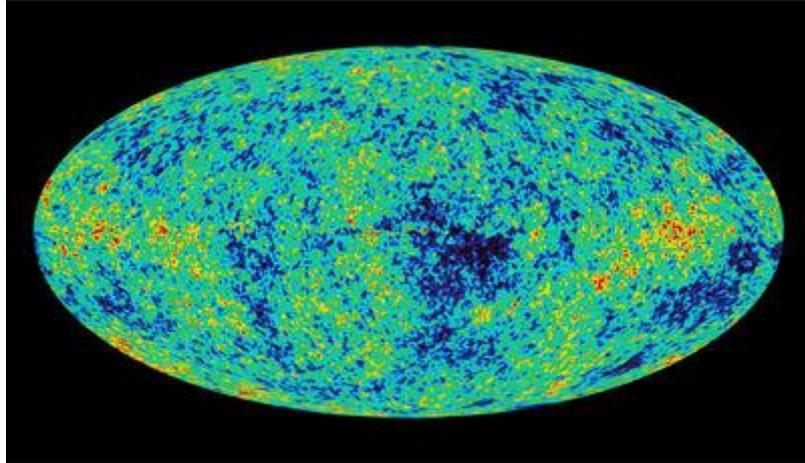
Comienza **Núcleo-síntesis primordial** (básicamente formación de núcleos de He) todo el resto de los núcleos se forman en interiores estelares y en explosiones de estrellas masivas o supernovas

$t=3$ min: $\langle \epsilon \rangle = 70$ KeV Finaliza la núcleo-síntesis dado que la temperatura y la densidad bajan muy rápido y los n° decaen rápidamente a p^{+}

$t=400.000$ años: Los e^{-} son capturados por los núcleos y se forman los **primeros átomos** esto permite que los fotones puedan viajar libremente y el universo se hace **transparente**

Desde ahora la materia y la radiación evolucionan independientemente

Como los fotones habían previamente entrado en equilibrio con la materia el universo emite desde ese momento como un **cuerpo negro** y se forma lo que conocemos como **radiación de fondo cósmico o CMB** por su sigla en inglés (Cosmic Microwave Background)



En esta imagen las fluctuaciones máximas corresponden a $400 \mu\text{K}$

En este instante el universo tenía una T de 3000°K por lo que emitía con un pick en el color rojo pero hoy por corrimiento Doppler emite con un pick en las microondas a ν_{pick} que corresponde a 2.7°K

t de 600-800 hasta hoy (13.5 Gyears): Era de **Galaxias**

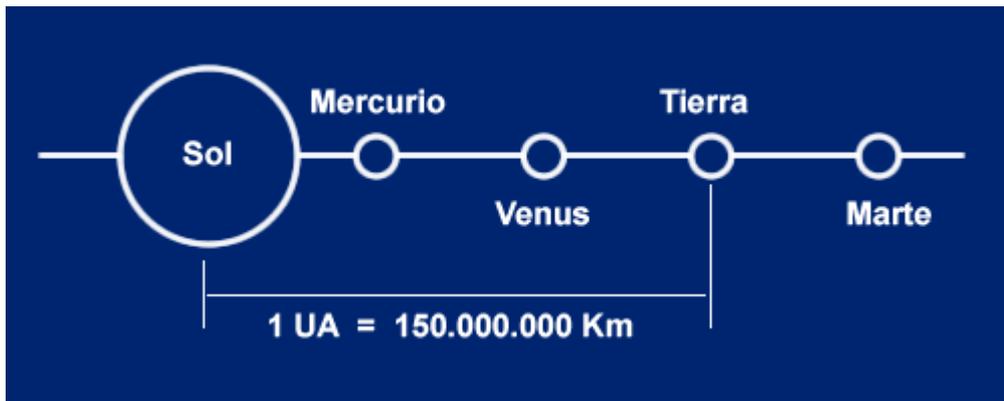
Importante: Todo se puede formar mientras su energía de ligación sea mayor que la energía cinética promedio de las partículas, es decir $E_{\text{tot}} < 0$

Conceptos básicos, leyes y ejemplos

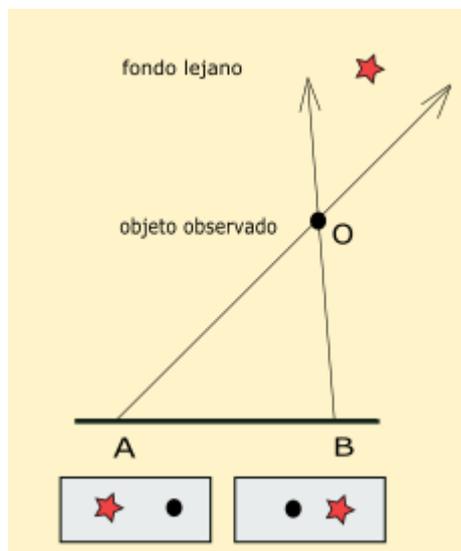
Distancias

Unidad Astronómica (UA): Medida de la distancia promedio entre el Sol y la Tierra

$$1 \text{ UA} = 1.495 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

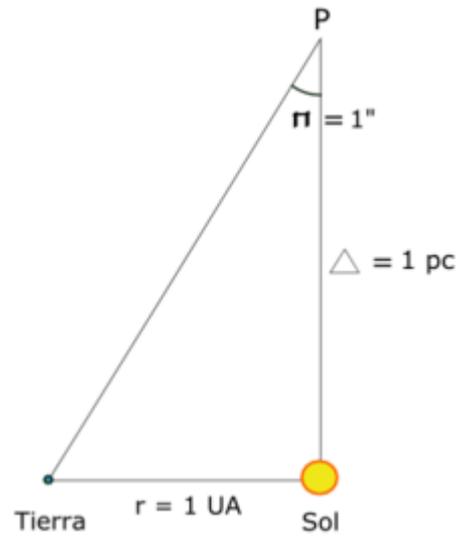


Paralaje trigonométrico: Corrimiento angular de la posición de un objeto debido al cambio del punto de observación



Parsec (pc): Distancia a la cual se debe encontrar un objeto para tener un paralaje de 1 segundo de arco ($\pi = 1''$) debido al movimiento de la tierra alrededor del sol. Es decir una estrella que se encuentre a 1pc de distancia tendrá un corrimiento en su posición de $2''$ en mediciones que difieran en 6 meses de tiempo.

¿Ventajas y desventajas?



Ejemplo 2) i) ¿Entonces a cuanto equivale 1 pc en m? ¿A cuanto equivale en años luz?

ii) Probar que si d está medido en pc y π en arcsec se cumple que:

$$\pi = 1/d$$

Brillos

Luminosidad(L_λ): Energía liberada por unidad de tiempo \Leftrightarrow Potencia.

Nos dice **que tan brillante es**, un objeto, en cierta longitud de onda λ .
Por tanto es **intrínseca** al objeto

Flujo(F_λ): Energía liberada por unidad de tiempo por unidad de área.

Nos dice **que tan brillante se ve**, un objeto. Por tanto es **extrínseca** al objeto

Intensidad(I_λ): Flujo luminoso por unidad de ángulo sólido.

Nos dice **que tanto brillo llega de una porción “angular” de esfera determinada**. Por tanto es **intrínseca** al objeto

Como la superficie que abarca una esfera va como d^2 . Se cumple que

$F \propto d^{-2}$. Con d la distancia del centro del objeto al lugar donde se ve

Por tanto el flujo se relaciona con la luminosidad por:

$$f = \frac{L}{4\pi d^2}$$

Ejemplo 3): ¿A que distancia debiese situarse una estrella 10 veces mas brillante que el sol para que se vea en el cielo 20 veces menos brillante que éste?

Magnitud aparente (m): Medida (más amable que el flujo) de que tan brillante se ve una estrella. Donde $m=6$ estrellas visibles a ojo desnudo más débiles y $m=1$ las más brillantes. Además se tiene que una estrella magnitud $m=1$ se ve n veces más brillante que una de $m=1$

Se basa en el hecho de que 100 veces más flujo son 5 magnitudes menos, lo cual ocurre porque la respuesta de nuestros ojos a un estímulo luminoso es logarítmica y no lineal

Forma relativa: $m_1 - m_2 = -2.5 \log_{10}(f_1/f_2)$

Forma absoluta: $m = -2.5 \log_{10}(f) + c$ donde c esta tabulado según una muestra establecida

Magnitud absoluta (M): Magnitud que tendría una estrella si esta se situara a 10pc de distancia

Luego tenemos que para una estrella cualquiera,

$$M - m = -2.5 \log_{10}(\text{flujo a 10pc} / \text{flujo a distancia } d)$$

Medimos d en pc y nos olvidamos de las unidades

$$M - m = -2.5 \log_{10} \left(\frac{F(r = 10)}{F(d[pc])} \right)$$

Pero como vimos que $F \propto d^{-2}$

$$M - m = -2.5 \log_{10} \left(\frac{k/100}{k/d^2} \right)$$

Lo que resulta

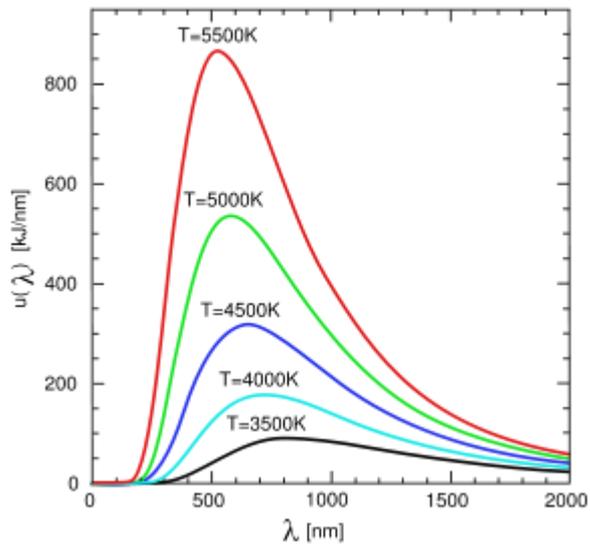
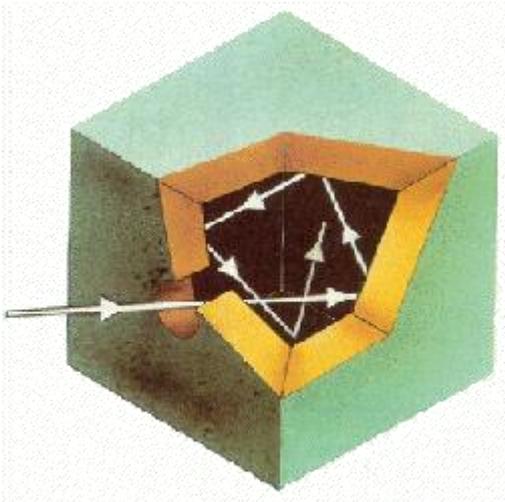
$$M = m + 5 - 5 \log_{10}(d[pc])$$

De donde sale directo el **modulo de distancia**, definido como:

$$\mu = m - M = 5 \log_{10}(d[pc]) - 5$$

Radiación de Cuerpo Negro

Al entrar los fotones emitidos por un cuerpo en equilibrio con la materia, éste empieza a emitir como **CUERPO NEGRO**



Su fórmula es:

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{\exp(h\nu/kT) - 1}$$

O bien

$$I(\lambda, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{\exp(h\nu/kT) - 1}$$

Formula de Planck

Propiedades:

- 1) Es siempre creciente con T (para cualquier frecuencia)
- 2) Es continua => Todo cuerpo emite en TODAS las frecuencias
- 3) Al optimizarla se encuentra que tiene un máximo en lambda que corresponde con:

$$\lambda_{\max} T = 0.00289 \text{ m}^\circ K$$

Ley de Wien

- 4) Al integrarla en longitud de onda (o frecuencia) se obtiene que la intensidad total corresponde a:

$$I(T) = \sigma T^4 / \pi \quad \text{lo cual equivale a}$$

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

Ley de Stefan-Boltzmann

Donde: σ : constante Stefan-Boltzmann = $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

R=Radio del cuerpo

Temperaturas

Temperatura efectiva (T_{eff}): Es aquella que tendría el cuerpo si fuese un cuerpo negro perfecto y por tanto cumple con que:

$$I = \sigma T_{eff}^4 / \pi$$

Temperatura color (T_c): Aquella capaz de producir la razón que corresponde a la medida, entre dos intensidades a distintas longitudes de onda

I.e. cumple que
$$\frac{B_{\lambda_1}}{B_{\lambda_2}}(T_c) = \frac{I_{\lambda_1}}{I_{\lambda_2}} = \frac{f_{\lambda_1}}{f_{\lambda_2}}$$

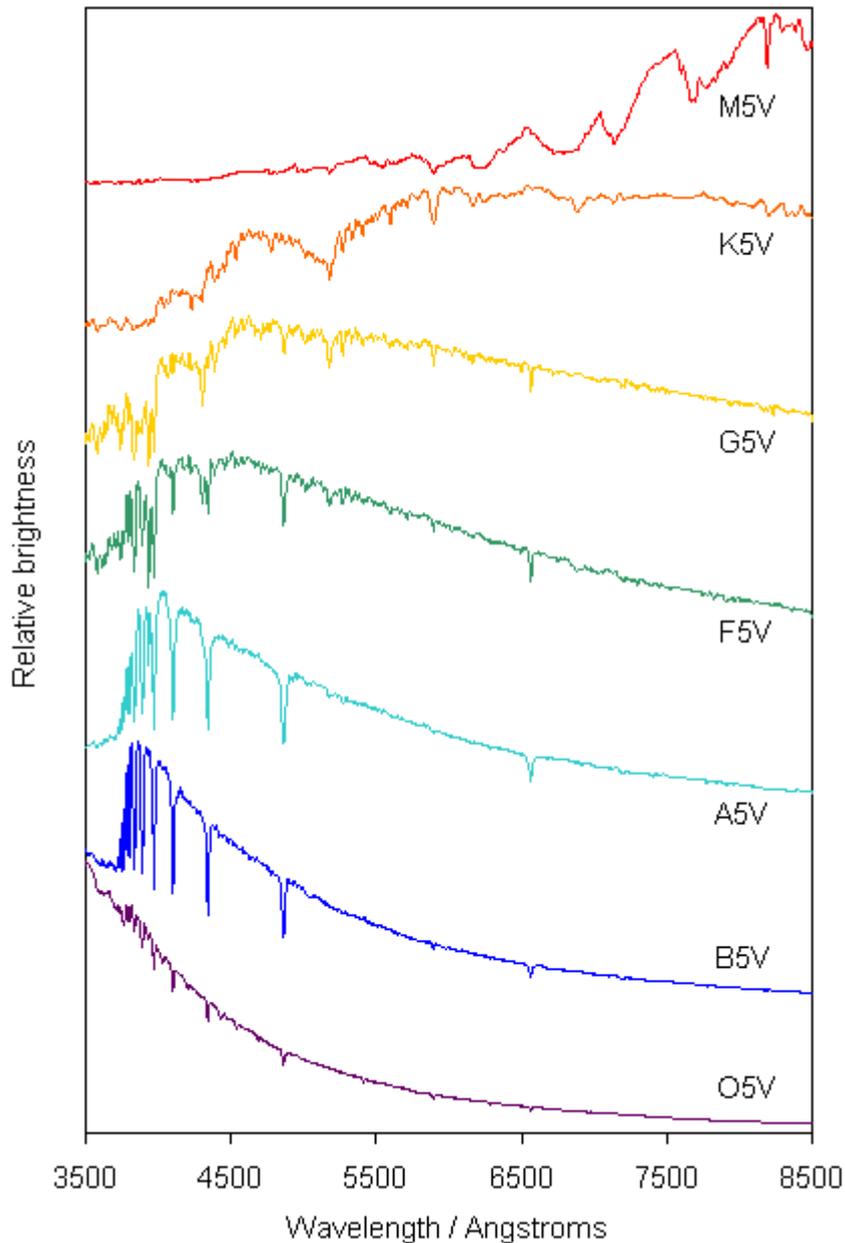
Donde: B se refiere a intensidad de Blackbody (dada por fórmula de planck)

La razón entre los I es la real

La razón entre los f es fácilmente medible e independiente de la distancia al objeto

Tipos Espectrales

Al analizar los espectros de las estrellas, estos se dividieron en 7 Tipos principales, según sus formas y distintas líneas de absorción, O,B,A,F,G,K y M (Para aprenderse los se usa la típica frase: "Oh be a fine girl kiss me")



Los cuales al ordenarlos de la forma descrita se ordenan los picos de emisión, por lo cual dos estrellas del mismo tipo espectral tendrían no sólo las mismas líneas de absorción presentes sino que (y esta es la causa de lo primero) además las mismas temperaturas (esto por la ley de Wien)

En el gráfico se ve también porque distintas razones entre brillos a distintas longitudes de ondas tienen una correspondencia con una Temperatura.

Con lo cual obtenemos el siguiente recuadro

| CLASES: | TEMPERATURA: | COLOR: |
|----------------|---------------------------|--------------------------|
| O | 28.000 a 50.000° K | azul violeta |
| B | 10.000 a 28.000° K | azul |
| A | 7.500 a 10.000° K | azul - blanco |
| F | 6.000 a 7.500° K | blanco |
| G | 5.000 a 6.000° K | blanco - amarillo |
| K | 3.500 a 5.000° K | naranja |
| M | 2.500 a 3.500° K | rojo |

Y las estrellas quedan clasificadas según la siguiente nomenclatura:

(Letra que indica tipo espectral)(número que indica sub-tipo)(Número romano que indica luminosidad)

Ejemplo: El sol es una Estrella tipo G2V

Donde: V corresponde a estrellas enanas de la secuencia principal (típicas)

IV corresponde a Sub-gigantes

III Gigantes

I-II Super Gigantes