Universidad Nacional de Río Negro - Profesorados de Física y Química

# Física I A
# Guía 04 - Universo en expansión

Asorey - Cutsaimanis

2012

21. **(*)Tiempo y distancia de Hubble**

    *a*) Determine el tiempo de Hubble, $t_0 = 1/H_0$, en años ($H_0 = 71\,\mathrm{km\,s^{-1}\,Mpc^{-1}}$)

    *b*) Determine la distancia de Hubble, $r_0 = c \times t_0 = c/H_0$, en Mpc.

22. **Corrimiento al rojo**

    La línea alfa de emisión del hidrógeno, $H_\alpha$, tiene una longitud de onda $\lambda_e = 656{,}28\,\mathrm{nm}$ y es de color rojo. Una galaxia lejana se aleja de nosotros a velocidad desconocida, pero se observa que la línea $H\alpha$ tiene una longitud de onda de $\lambda_o = 825{,}9\,\mathrm{nm}$.

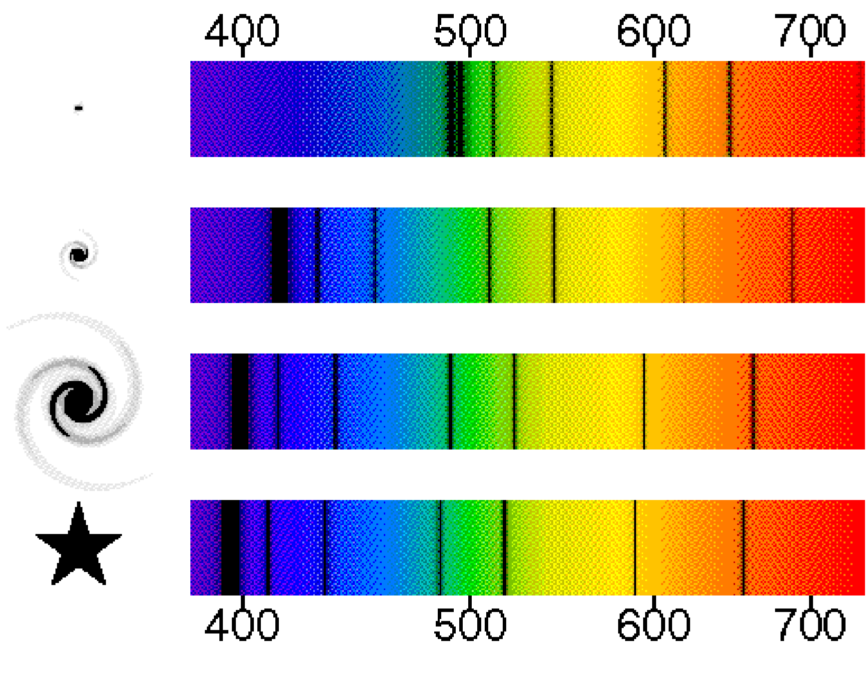
    *a*) Determine el corrimiento al rojo $z = (\lambda_o/\lambda_e) - 1$ de la galaxia.

    *b*) Recordando que $z = v_f/c$, calcule la velocidad $v_f$ de alejamiento de la galaxia.

    *c*) Calcule la distancia de la galaxia a la Tierra en Mpc y en metros.

    *d*) Suponga ahora que en lugar de alejarse, la fuente se acerca y la línea $H_\alpha$ se ve de color azul ($\lambda_o = 475\,\mathrm{nm}$). Calcule la velocidad de acercamiento de la fuente.

23. **(*) Más corrimientos**



En la figura pueden verse cuatro espectros de objetos astronómicos, los cuales están ordenados desde el más lejano (arriba) al más cercano (abajo). La estrella se encuentra en reposo respecto a la Tierra, y será nuestra referencia para las líneas espectrales, que son, de izquierda a derecha (azul a rojo): 393, 397, 410, 434, 486, 518, 589 y 656 nm.

*a*) Utilizando las líneas espectrales mostradas, determine el corrimiento al rojo para cada una de las líneas de los tres objetos distantes.

*b*) Calcule el corrimiento al rojo de cada objeto como el promedio de los corrimientos de cada línea de ese objeto.

*c*) Determine la velocidad de alejamiento de cada objeto, usando la expresión aproximada

$$z \simeq \frac{v}{c}.$$

Compare esos valores con los obtenidos a partir de la expresión exacta (debe despejar $v$ de esta ecuación):

$$z = \sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}} - 1$$

*d*) Usando la ley de Hubble calcule la distancia a la que se encuentran esos tres objetos.

24. **(*)Densidad crítica**

Hemos visto que el Universo se encuentra en expansión, y lo hace con una velocidad que depende de la distancia $d$, relación conocida como la ley de Hubble:

$$v = H_0 d.$$

De esta manera, si tenemos una esfera de radio $R$ que se expande, la velocidad a la cual la superficie de la esfera se aleja del centro de la misma es $v = H_0 R$. Con esto, y recordando la ecuación de la velocidad de escape

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

calcularemos la densidad crítica del Universo, es decir, la densidad para la cual la fuerza de gravedad de la masa contenida sería capaz de detener la expansión. Para ello,

*a*) obtenga la expresión para la masa $M$ de una esfera de radio $R$ y volumen $V$ en función de la densidad $\rho$ (ayuda, recuerde $\rho = M/V$);

*b*) reemplace esta expresión para $M$ en la ecuación para la velocidad de escape y despeje $\rho$;

*c*) si $\rho$ representa a la densidad crítica, la superficie de la esfera se aleja del centro con la velocidad de escape. Puesto que a su vez se verifica la ley de Hubble, tenemos que $v_e = H_0 R$. Reemplace este valor para la velocidad de escape en la expresión para $\rho$ obtenida en el punto anterior;

*d*) verifique que el resultado obtenido,

$$\rho_c = \frac{3H_0^2}{8\pi G},$$

no depende del radio $R$;

*e*) finalmente, calcule el valor de $\rho_c$ en kg m$^{-3}$, tomando $H_0 = 71$ km s$^{-1}$ Mpc$^{-1}$.

*f*) Exprese la densidad crítica en número de átomos de Hidrógeno por metro cúbico, y en masas solares por parsec cúbico.

*g*) Si la densidad total del Universo fuera $\rho = 2\rho_c$, ¿cuál sería el posible destino del Universo? ¿Cuál sería la velocidad final de expansión en este caso?