Auxiliar 3 Astrofísica de Galaxias

ISM

Profesor: Paulina Lira
Auxiliar: Miguel Sepúlveda

P1.- **Estimando la cantidad de estrellas de un merger**

Considere la fusión de dos espirales tardías, cada una con una masa de rotación de $200\ \mathrm{km\,s^{-1}}$, y una fracción de gas del 10 % de su masa total. Asuma que sobre una escala de tiempo dinámica, todo el ISM dentro de 10 kpc de ambas galaxias se va al centro y genera un episodio de formación estelar intensa, con un *star formation rate* (SFR) constante. Durante este episodio, el 50 % del gas se convierte en estrellas.

1. Tomando en cuenta que el tiempo de colapso de una esfera uniforme de densidad ρ es

$$t_{ff} = \sqrt{\frac{3\pi}{32G\rho}}$$

   calcule el SFR del evento.

2. Es posible establecer una relación entre el SFR y la intensidad de la linea $H\alpha$ (¿Por qué?). A partir de modelos computacionales, esta relación es

$$SFR(H\alpha)(\mathrm{M_\odot\,yr^{-1}}) = 7{,}9 \times 10^{-42} L(H\alpha)(\mathrm{ergs\,s^{-1}})$$

   Calcule la luminosidad en $H\alpha$ del evento.

3. Hemos establecido que es posible recuperar el SFR si logramos medir la intensidad de la emisión en $H\alpha$ de las zonas HII de la galaxia. Estime entonces la cantidad de estrellas formadas por año en el intervalo 0,1-120 $\mathrm{M_\odot}$, si asumimos una IMF de Salpeter, que describe la cantidad de estrellas formadas en función de la masa.

$$\Phi(m) \propto \left(\frac{m}{M_\odot}\right)^{-3{,}5}$$

Pauta P1.-

1. Si consideramos que todo el gas de las galaxias forman una esfera de 10 kpc, que colapsa y genera un episodio de formación estelar, entonces podemos decir que este colapso ocurre en una escala de tiempo dada por t_{ff}. Para encontrar la densidad de la esfera, necesitamos primero estimar su masa. Según el enunciado, la velocidad de rotación de ambas galaxias

es de 200 $\mathrm{km\,s^{-1}}$, y a partir de esta podemos estimar la masa total como y la masa que se convierte en estrellas como

$$M = 0{,}1 \times 0{,}5 M_{tot} = \frac{v_r^2 R}{G} = 9{,}29 \times 10^9 M_\odot$$

A partir de la cual podemos encontrar la densidad y el tiempo de colapso:

$$\rho = \frac{3M}{4\pi R^3}$$
$$\Rightarrow t_{ff} = \sqrt{\frac{\pi^2 R^3}{8GM}} = 2{,}23 \times 10^8 \mathrm{yr}.$$

Como el SFR es constante, podemos estimarlo dividiendo la masa que se convierte en estrellas en el tiempo

$$SFR = \frac{M_\odot}{t_{ff}} = 11{,}7 \frac{M_\odot}{\mathrm{yr}}.$$

2. La intensidad de la linea H_α nos permite estimar cuantas regiones HII hay en la galaxia, lo que se relaciona directamente con la cantidad de estrellas azules y calientes, lo que a la vez es un buen estimador de la taza de formación estelar en una galaxia. Usando la formula, obtenemos

$$L_{H_\alpha} = 5{,}2 \times 10^{42} \mathrm{ergs/s}.$$

3. En un año, se usa una masa de 11,7 $\mathrm{M_\odot}$ para crear estrellas. En base a este dato, podemos restringir que al integrar la IMF en el rango de masas indicados, la masa resultante sea igual a la masa que se usa en la formación estelar de un año

$$\begin{aligned} \int_{0,1 M_\odot}^{200 M_\odot} m\phi_0 \left(\frac{m}{M_\odot}\right)^{-3,5} dm &\equiv 11{,}7\mathrm{M_\odot} \\ &= -\frac{\phi_0}{1{,}5 M_\odot^{-3,5}} \left((200 M_\odot)^{-1,5} - (0{,}1 M_\odot)^{-1,5}\right) \\ &= 21{,}08 \phi_0 M_\odot^2 \\ \Longrightarrow \phi_0 &= 0{,}55 \mathrm{M_\odot^{-1}}. \end{aligned}$$

Habiendo obtenido la constante, podemos calcular la cantidad de estreellas formadas en un año

$$\int_{0,1 M_\odot}^{200 M_\odot} \phi_0 \left(\frac{m}{M_\odot}\right)^{-3,5} dm = 126{,}5 \phi_0 M_\odot = 70.$$

Por lo tanto, la cantidad total de estrellas que se forman, si asumimos que toda la formación ocurre en ese rango, es de 70 estrellas por año.

$\boxed{\textbf{P2.-}}$ **Extinción** Se espera que los flujos observados en una linea de emisión H_α (6563 Å) y la linea de H_β (4861 Å) tengan un cociente $f(H_\alpha)/f(H_\beta) = 2{,}86$. En una galaxia se observa un cociente $f(H_\alpha)/f(H_\beta) = 17{,}19$, con $f(H_\alpha) = 2{,}06 \times 10^{40}$ $\mathrm{ergs\,s^{-1}}$. Asuma que la curva de extinción corresponde a la siguiente

$$\kappa(\lambda) = -2{,}156 + 1{,}509/\lambda - 0{,}198/\lambda^2 + 0{,}011/\lambda^3$$

llamada ley de extinción de Calzetti (1999). Recuerde que:

$$F_{obs} = F_{intr} \times 10^{-0{,}4 A_v \kappa(\lambda)/R_V}$$

donde el valor canónico para R_v es 3,1. Estime la tasa de formación estelar de la galaxia.

Pauta P2.- El cociente entre el flujo de las lineas de emisión es un resultado probabilistico que se puede derivar de la mecánica cuántica. La diferencia con lo observado, entonces, se puede atribuir a factores externos a los procesos que generan las lineas, como la extinción producto del polvo en el ISM. Usando la fórmula para la extinción, podemos encontrar una expresión que relaciona el flujo recibido y el flujo esperado

$$\frac{F(H\alpha)}{F(H\beta)}\Big|_{int} = \frac{F(H\alpha)}{F(H\beta)}|_{obs} 10^{-0{,}4 A_v \kappa(\lambda)/R_v}.$$

Evaluando los valores de κ, obtenemos $\kappa(H\alpha) = -0{,}28$, y $\kappa(H\beta) = 0{,}206$. Ingresando los datos, el coeficiente de extinción toma el valor $A_v = 12{,}36$, y el flujo original en $H\alpha$ es $F(H\alpha) = 7{,}34 \times 10^{41}$ ergs/s. Finalmente, el SFR de la galaxia es

$$SFR = 5{,}83 \mathrm{M}_\odot/\mathrm{yr}.$$

P3.- **Radio de Strönmgren**

En esta pregunta estimaremos el radio de Strönmgren para una región HII en torno a una estrella, que corresponde a una aproximación de su tamaño. Consideraremos que los fotones que emite la estrella que tienen suficiente energía como para ionizar los átomos de hidrógeno dN pueden o expandir la región HII en dR, o pueden volver a ionizar los átomos que se han recombinado dentro de la región de radio R.

1. La sección transversal de ionización para un átomo neutro de hidrógeno es $\sigma \approx 10^{-21}\mathrm{m}^2$, mientras que la sección transversal de Thomson para un átomo ionizado es $6{,}7 \times 10^{-29}\mathrm{m}^2$. Si la densidad de gas es de $n_H \approx 10^9\mathrm{m}^{-3}$, argumente que los fotones no pueden escapar de las regiones donde los átomos son neutros, pero si de las regiones donde están ionizados.
2. Encuentre una expresión para $\frac{dR}{dt}$, si la taza de emisión de fotones ionizantes es $\dot{N}$, α es la taza de recombinación (Medida en unidades de volumen por segundo),y n_e y n_i son la densidad numérica de electrones y iones.
3. Encuentre una expresión para el radio de la región HII una vez se ha alcanzado el equilibrio $\dot{R} = 0$.
4. Para una estrella O, $T_{eff} = 35000k$ y $\dot{N} = 10^{49}\mathrm{s}^{-1}$. Si tomamos $\alpha \approx 4 \times 10^{-19}$ $\mathrm{m}^3\,\mathrm{s}^{-1}$ y $n_i = n_e = 10^9$ m^3, encuentre el radio de Strönmgren.

Pauta P3.-

1. Recordamos que la sección transversal de un cuerpo se puede interpretar como el tamaño efectivo de este en cierto proceso físico. En este caso, una sección transversal de ionización

nos dice que un fotón ionizador "verá.ªl electron de ese tamaño en lo que respecta a ionizarlo. Con al sección transversal y la densidad de partículas, podemos estimar cuanta distancia recorrerá un fotón antes de ionizar un átomo con el camino libre medio l. Este a la vez corresponde al inverso del número de colisiones por metro (σn_H). Así, el camino libre medio para la ionización es de $10^{12}m$, y para los átomos ionizados es $10^{20}m$. Recordando que $1pc = 10^{16}$, y con el resultado del último item de esta pregunta, concluimos que los fotones pueden escapar de las zonas ionizadas pero no de las no ionizadas.

2. Si multiplicamos el volumen total por la densidad de electrones y iones, obtendremos cuantos pares de ion-electron hay por unidad de volumen. Si multiplicamos eso por que volumen se recombina por unidad de tiempo, obtenemos las recombinaciones por unidad de tiempo en toda la región

$$\frac{4}{3}\pi R^3 n_e n_i \alpha.$$

Si la región HII crece con una tasa $\dot{R}$, entonces se ionizan $4\pi R^2 n_h \dot{R}$ átomos por unidad de tiempo, que corresponde al cascarón. Si juntamos ambos resultados, tenemos que la cantidad de fotones ionizantes emitidos por unidad de tiempo es

$$\dot{N} = 4\pi R^2 n_h \dot{R} + \frac{4}{3}\pi R^3 n_e n_i \alpha.$$

Re ordenando

$$\dot{R} = \frac{\dot{N}}{4\pi R^2 n_H} + \frac{n_i n_e \alpha R}{3 n_H}.$$

Este es el radio de Strönmgren.

3. En el equilibrio

$$\dot{R} = \frac{\dot{N}}{4\pi R^2 n_H}$$
$$\implies R^3 = \frac{3Q}{4\pi n_i n_e \alpha}.$$

4. Con estos números, encontramos que R_s 0,6pc, lo que confirma que las fotones ionizantes no pueden escapar de las zonas no ionizadas.