

Prueba 2, Astronomía General (LFIS 223)

15 de noviembre 2021

Nombre: PAUTA: soluciones en rojo

TOTAL = 21 pts.

1) ¿De qué factores depende principalmente que la energía se transporte en una estrella por radiación o por convección? ¿En qué casos se favorece la convección? (1 pt.)

Depende de la luminosidad (o flujo de energía), temperatura y opacidad. (0.5 pts)

Factores que inducen convección:

- Alta opacidad (ocurre en capas frías)

- Alto flujo de calor que los fotones no alcanzan a transportar

La convección se da en zonas de alta luminosidad y temperatura baja (0.5 pts)

2) Para una nube con función fuente constante, la ecuación de transporte radiativo es:

$$I_{\nu}(\tau_{\nu}) = I_{\nu}(0) e^{-\tau_{\nu}} + S_{\nu} (1 - e^{-\tau_{\nu}})$$

Derive las aproximaciones para los dos casos extremos: observar una fuente de fondo a través de una nube ópticamente gruesa y de una ópticamente delgada. Explique qué implica esto con respecto a lo que observamos. (2 pts.)

Use la siguiente aproximación

$$e^x = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!} = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots$$

Ópticamente gruesa:

$\tau \gg 1$, usamos la aproximación $e^{-\tau} \approx 0$

$$I_{\nu}(\tau_{\nu}) = I_{\nu}(0) * 0 + S_{\nu}(1-0) = S_{\nu} \quad (0.5 \text{ pts})$$

No vemos nada de la radiación original (tras la nube), solamente vemos la nube (su función fuente). (0.5 pts)

Ópticamente delgada:

$\tau \ll 1$, usamos la aproximaciones: $e^{-\tau} \approx 1 - \tau \approx 1$; $1 - e^{-\tau} \approx \tau$

$$I_{\nu}(\tau_{\nu}) = I_{\nu}(0) * (1) + S_{\nu} \tau = I_{\nu}(0) + S_{\nu} \tau \quad (0.5 \text{ pts})$$

Vemos toda la radiación original que hay tras la nube, sumada a la radiación emitida por la nube (que es poca ya que es su función fuente multiplicada por una opacidad muy pequeña). (0.5 pts)

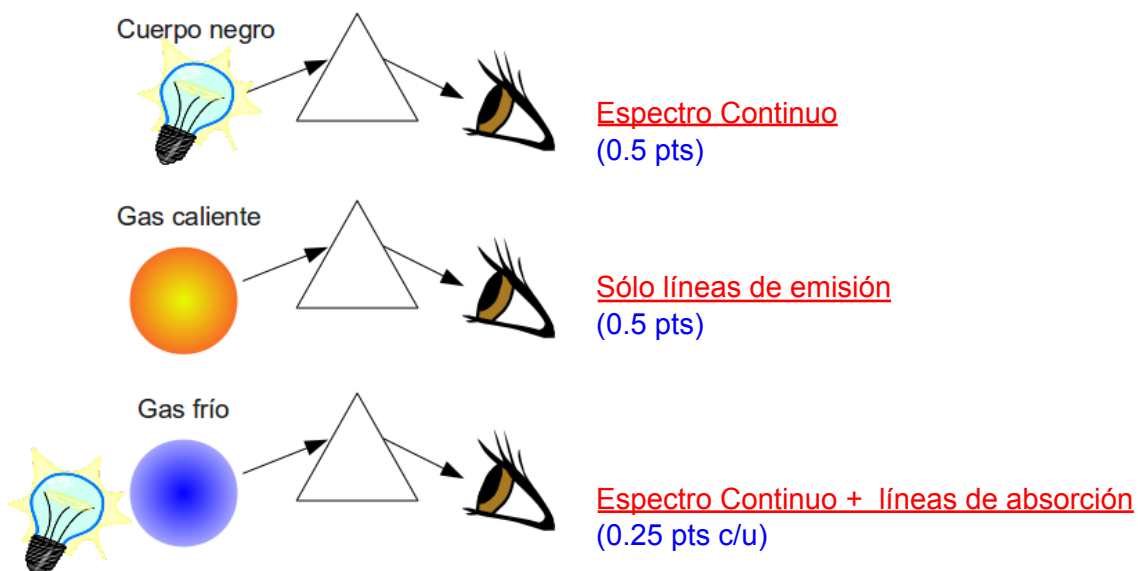
3) ¿Qué es el camino libre medio y cómo se relaciona con la opacidad de un medio? (1 pt.)

El camino libre medio es la distancia promedio que alcanza a recorrer un fotón de una frecuencia dada en un medio antes de ser absorbido o desviado por los átomos, moléculas o electrones del medio. (0.5 pts)

Es inversamente proporcional a la opacidad. En medio más opaco (ópticamente grueso) el camino libre medio es muy corto, mientras que en un medio transparente (ópticamente delgado) los fotones pueden viajar grandes distancias antes de interactuar con la materia. (0.5 pts)

4) Para los siguientes 3 casos, escriba en la línea a la derecha el tipo de espectro que esperaría observar (ejemplo: continuo, líneas de emisión, líneas de absorción, alguna combinación de estos)

(1.5 pts.)



5) Pensando en una estrella como el sol, en las distintas etapas de su vida (desde que comienza en la secuencia principal e incluyendo el remanente final). ¿En qué momento su espectro tendrá las líneas más anchas? Justifique (1 pt)

Cuando se convierta en enana blanca (0.5 pts), ya que al ser un objeto muy denso el ensanchamiento por presión dominará produciendo líneas muy anchas (0.5 pts)

6) ¿Cómo es el colapso inicial de una nube molecular, y por qué se detiene el proceso de fragmentación de una nube que está colapsando para formar estrellas? (1.0 pt.)

¿La masa mínima de estos fragmentos es la misma que la masa mínima de una estrella? Justifique (0.5 pts.)

El colapso inicial es **isotérmico** (temperatura constante) y en **caída libre**, lo que implica que la masa mínima para colapsar (masa de jeans) va disminuyendo al aumentar la densidad, produciendo fragmentación porque distintas zonas cumplen con $M > M_j$. (0.5 pts)

La fragmentación se frena cuando la nube se vuelve ópticamente gruesa por el aumento de densidad. El colapso pasa a ser adiabático, con lo cual aumenta la temperatura y también la

masa de jeans. Por lo tanto las zonas que no alcanzaron el criterio de jeans ya no lo alcanzan y la nube no se fragmenta más. (0.5 pts)

La masa mínima de los fragmentos es típicamente 0.01 Msol, menor que la masa mínima de una estrella (~0.07 Msol). Para que una zona que está colapsando se convierta en estrella debe tener la masa suficiente para que su núcleo alcance la temperatura necesaria para comenzar a quemar hidrógeno antes que la materia se degenere. Si es menor puede terminar convirtiéndose en una enana café (con una masa y temperatura menores a las estrellas de baja masa, pero mayores a las de un planeta). (0.5 pts)

7) ¿Qué es el límite de Eddington (explique de dónde se obtiene pero no lo calcule), y qué pasa si una estrella lo supera? (1 pt.)

Es el límite máximo para la luminosidad de una estrella en equilibrio hidrostático. (0.25 pts)

Se calcula a partir de la ecuación de equilibrio hidrostático (igualando la fuerza por unidad de volumen producida por la presión de radiación ($dP/dr = F_p/V$) con la fuerza producida por gravedad). (0.25 pts)

Si una estrella tiene una luminosidad mayor, la presión de radiación supera la gravedad y la estrella expulsa sus capas más externas. (0.5 pts)

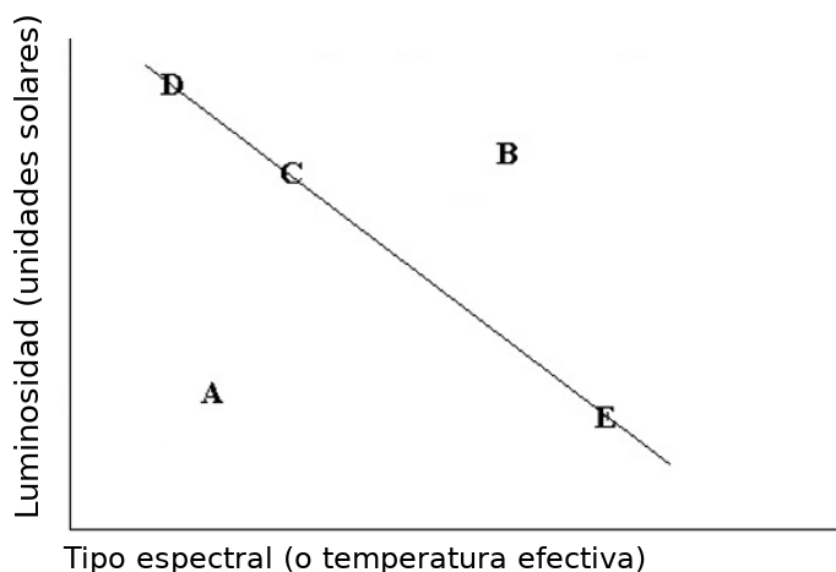
8) Suponga una estrella de 2 masas solares que se encuentra en la secuencia principal. ¿Aproximadamente cuánto más/menos luminosa que el sol será? (1 pt)

En la secuencia principal, para estrellas como el sol (ni mucho más masivas ni muy baja masa), se cumple una relación masa-luminosidad dada por: $L = M^{3.5}$

→ $2^{3.5} \sim 11$ veces más luminosa

(1 pt, también se aceptaba entre 8 y 16 veces más luminosa basado en $L = M^3$ a M^4)

9) En el siguiente diagrama HR



a) Identifique qué letra corresponde a la estrella (1 pt)

Con mayor radio: **B** (0.25 pts)

Con menor radio: **A**(0.25 pts)

Más azul: **D** (0.25 pts)

Más roja: **E** (0.25 pts)

b) Escriba la etapa evolutiva en la que se encuentran las estrellas de cada letra (pueden repetirse), y de dónde proviene la energía que sostiene a la estrella contra el colapso gravitatorio (también pueden repetirse). Si se trata de fusión nuclear especifique de qué elemento y dónde se quema (2.5 pt)

A: **Enana blanca** (0.25 pts), soportada por la presión de electrones degenerados (no hay fusión) (0.25 pts)

B: **Gigante** (puede ser RGB o AGB). (0.25 pts)

Si puso RGB, la sostiene la quema de H en capa. Si puso AGB, la sostiene la quema de H o He en capas (He en la early AGB, H durante la mayor parte de la TPAGB) (0.25 pts)

C: **Secuencia principal** (0.25 pts) soportada por la quema de H en el núcleo (0.25 pts)

D: **Secuencia principal** (0.25 pts), soportada por la quema de H en el núcleo (0.25 pts)

E: **Secuencia principal** (0.25 pts), soportada por la quema de H en el núcleo (0.25 pts)

10) ¿Que dice el teorema de virial para un gas en equilibrio hidrostático (o cercano a él)?

¿Qué pasa entonces con la temperatura cuando una estrella sufre una contracción y una expansión? (2 pts.)

Dice que en equilibrio hidrostático, la mitad del cambio de energía gravitacional se convierte en energía interna de la estrella, mientras que la otra mitad se radía. $K = |U|/2$ (1 pt)
(por lo que una estrella en equilibrio hidrostático tiene $2K - |U| = 0$, asumiendo que inició el colapso con $K_0 = 0$ (nube con temperatura muy baja) y $U_0 \sim 0$ (radio muy grande)).

Si una estrella se contrae $|U|$ aumenta y por lo tanto K aumenta (se calienta). (0.5 pts.)

Si una estrella se expande $|U|$ disminuye y por lo tanto K disminuye (se enfría). (0.5 pts.)

11) ¿Por qué en estrellas de menos de ~ 2 masas solares se produce un flash del núcleo de Helio al final de la etapa de gigante roja? (mencione qué sucede con la presión) (1 pt.)

Porque durante la fase de RGB el núcleo está contrayéndose y aumentando su masa y densidad. En estrellas de baja masa, el núcleo se degenera antes de alcanzar la temperatura para quemar el helio, y es soportado por la presión de degeneración de electrones, la cual no depende de la temperatura. (0.5 pts.)

Al comenzar la quema de helio, el aumento de temperatura no produce una expansión y la quema se descontrola, hasta que la presión de radiación logra superar a la presión de electrones degenerados y el núcleo se expande, estabilizando la quema. (0.5 pts.)

12) ¿En qué etapas de la evolución se puede llevar material procesado a la superficie, y por qué? Mencione si es igual para estrellas de baja y alta masa (1.5 pts.)

En la etapa de **gigantes**:

- RGB (primer dragado) (0.25 pts.)

- Early AGB (segundo dragado) (0.25 pts.). Este SOLO en estrellas masivas (0.25 pts.)

- AGB (tercer dragado) (0.25 pts.)

Es porque en estas etapas hay un alto flujo de energía (producido por la quema de elementos en capa) pero la envoltura está muy expandida y es muy fría, lo que implica una alta opacidad. La **conducción** es más eficiente que la radiación en gran parte de la estrella (desde afuera hacia adentro), con lo cual material procesado puede ser transportado hacia la superficie por las burbujas convectivas. (0.5 pts.)

13) Explique cuáles son las dos formas de clasificar supernovas y en ambos casos a qué tipo pertenecen las supernovas tipo Ia, Ib, Ic, II (2 pts.)

Clasificación basada en las líneas espectrales:

Tipo I → Sin H (0.25 pts)

Dentro de estas:

Tipo Ia si hay Silicio

Tipo Ib si no hay silicio pero si hay He

Tipo Ic si no hay silicio ni He

(0.25 pts)

Tipo II → Con H (0.5 pts)

Clasificación basada en el mecanismo de explosión:

Supernovas termonucleares. La energía viene de las reacciones termonucleares descontroladas en materia densa y degenerada (enana blanca). (0.25 pts)

Tipo Ia (0.25 pts)

Supernovas de colapso. La energía viene del colapso gravitacional del núcleo de una estrella masiva. (0.25 pts)

Tipo Ib, Ic, II (0.25 pts)

14) ¿A qué se debe el límite máximo para la masa de una enana blanca, conocido como límite de Chandrasekhar? (1 pts.)

A que las enanas blancas están soportadas por la presión de electrones degenerados. Para soportar más masa se debe generar más presión, lo que se logra aumentando la velocidad de los electrones. El límite viene dado porque los electrones no pueden viajar más rápido que la luz. (1 pt)