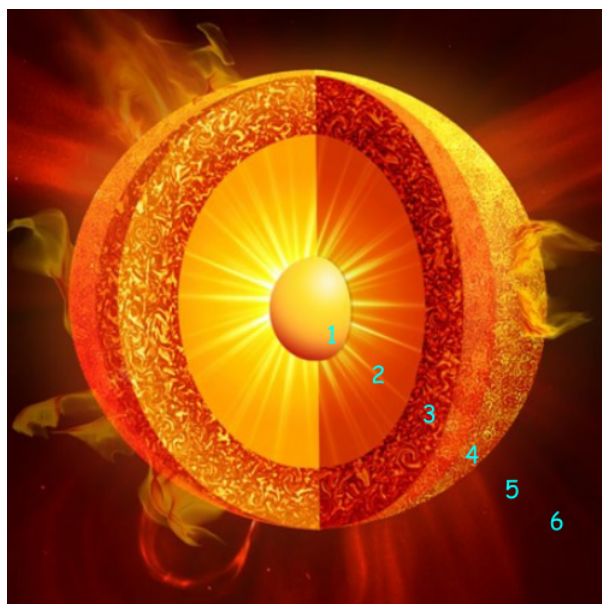


Gabarito

Listas OBA (Nível 4) – 3ª Lista
Fotometria & Estrelas

Material elaborado por **Iago Braz Mendes**

- **Questão 1) (1 ponto)** A nossa estrela – o Sol – possui 6 camadas, 3 internas e 3 externas. Observe a seguinte representação com números de 1 a 6 em cada camada solar:



- **Pergunta 1a) (0,6 ponto) (0,1 cada acerto)** Abaixo, os 6 nomes das camadas solares estão em ordem aleatória. Insira o número correspondente ao representado na imagem.

(3) Zona convectiva

(6) Coroa

(4) Fotosfera

(1) Núcleo

(2) Zona radiativa

(5) Cromosfera

- **Pergunta 1b) (0,1 ponto)** Quais as formas de transmissão de calor nas camadas 2 e 3, respectivamente?

() Condução e Radiação

(X) Radiação e Convecção

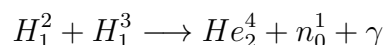
() Convecção e Condução

() Convecção e Radiação

- **Pergunta 1c) (0,3 ponto)** Algo que ainda intriga vários cientistas é o fato de a camada 6 possuir uma maior temperatura do que as camadas 4 e 5. O fator responsável por essa peculiaridade mais aceito atualmente também causa irregularidades na atmosfera solar, como os ventos solares. Qual é esse fator?

- () Equilíbrio entre força gravitacional e a pressão de radiação
 () Escapamento de neutrinos originados pelas reações nucleares
 () Movimento do Sol ao redor do baricentro do Sistema Solar
 (X) Variação dos campos magnéticos solares

- **Questão 2) (1 ponto)** A energia proveniente do Sol é originada por meio do ciclo p-p, o qual pode ser simplificado para a seguinte reação nuclear:



em que H_1^2 (deutério) e H_1^3 (trítio) são isótopos do hidrogênio, He_2^4 é um átomo de hélio, n_0^1 é um nêutron, e γ representa a energia liberada.

As massas atômicas envolvidas nessa reação são dadas a seguir:

$$\begin{aligned} > m(H_1^2) \simeq 2,014 \text{ uma} & > m(He_2^4) \simeq 4,003 \text{ uma} \\ > m(H_1^3) \simeq 3,016 \text{ uma} & > m(n_0^1) \simeq 1,009 \text{ uma} \end{aligned}$$

- **Pergunta 2a) (0,4 ponto)** Calcule a taxa de massa perdida (t), em porcentagem, usando a reação nuclear passada.

Dica: $t = \left| \frac{m' - m_0}{m_0} \right|$, em que m_0 e m' são as massas antes e depois da reação, respectivamente.

* Primeiramente, precisamos calcular m_0 e m' :

$$m_0 = m(H_1^2) + m(H_1^3) = 2,014 + 3,016 = 5,030 \text{ uma}$$

$$m' = m(He_2^4) + m(n_0^1) = 4,003 + 1,009 = 5,012 \text{ uma}$$

* Assim, a variação de massa é:

$$\Delta m = m' - m_0 = 5,012 - 5,030 = -0,018 \text{ uma}$$

* Finalmente, temos:

$$t = \left| \frac{\Delta m}{m_0} \right| = \left| -\frac{0,018}{5,030} \right|$$

$$\therefore t \simeq 0,004 = 0,4\%$$

Resposta 2a): 0,4%

- **Pergunta 2b) (0,3 ponto)** Considerando que toda a massa do Sol seja composta por isótopos de hidrogênio e que o ciclo p-p é a única reação nuclear que ocorre até tais isótopos se esgotarem, qual será a massa convertida em energia, em kg ?

Dados: $M_{Sol} \simeq 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$

* Basta multiplicar M_{Sol} por t :

$$m = M_{Sol} \cdot t = 2 \cdot 10^{30} \cdot 4 \cdot 10^{-3}$$

$$\therefore m = 8 \cdot 10^{27} \text{ kg}$$

Resposta 2b): $8 \cdot 10^{27} \text{ kg}$

- **Pergunta 2c) (0,3 ponto)** Qual a quantidade de energia gerada pela massa calculada no item anterior?

Dica: $E = mc^2$

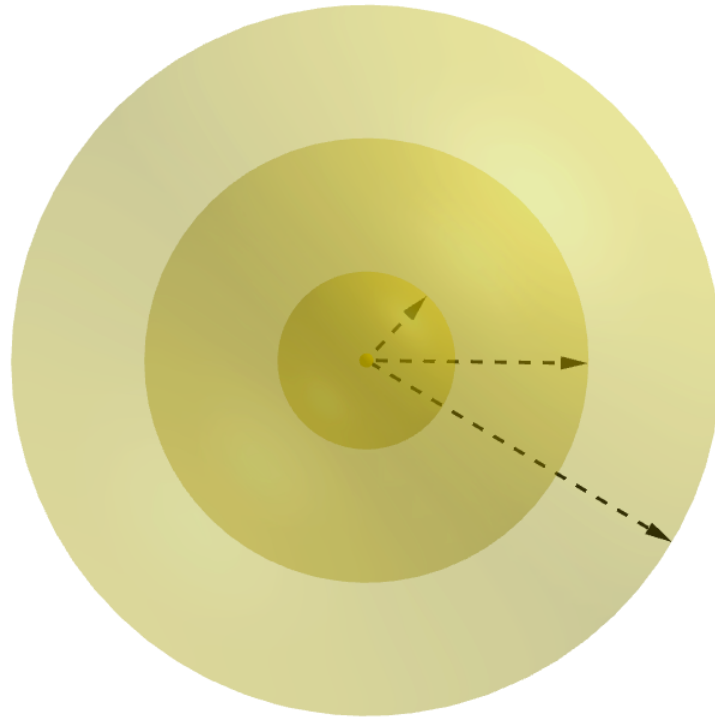
* Sabendo que $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$, temos:

$$E = m \cdot c^2 = 8 \cdot 10^{27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2$$

$$\therefore E = 7,2 \cdot 10^{43} \approx 7 \cdot 10^{43} J$$

Resposta 2c): $7 \cdot 10^{43} J$

- **Questão 3) (1 ponto)** Na Astronomia, os conceitos de Luminosidade e Fluxo são frequentemente usados e, portanto, é importante saber diferenciá-los. Observe o esquema seguinte representando a emissão de energia do Sol:



Como você pode perceber, o “brilho” é reduzido à medida que a distância da fonte luminosa aumenta. Contudo, a energia emitida deve ser a mesma, visto que não se pode perder energia no universo.

Nesse contexto, precisamos fazer duas definições:

1. *Luminosidade*: é a quantidade de energia emitida a cada unidade de tempo (potência) e a sua unidade no S.I. é o watt ($W = \frac{J}{s}$)
2. *Fluxo*: é a quantidade de potência recebida a cada unidade de área e a sua unidade no S.I. é watt por metro quadrado ($\frac{W}{m^2}$)

Dito isso, é possível analisar que os melhores termos para “brilho” e “energia emitida” seriam *fluxo* e *luminosidade*, respectivamente. Como já discutimos, a luminosidade deve se manter constante na superfície da esfera luminosa emitida e o fluxo é inversamente proporcional à distância da fonte luminosa. Para encontrarmos uma fórmula que descreva essas quantidades, basta inserirmos a área superficial dessa esfera ($A = 4\pi r^2$):

$$F = \frac{L}{4\pi r^2}$$

em que F é o fluxo, L é a luminosidade, e r é a distância à fonte (raio da esfera luminosa).

- **Pergunta 3a) (0,5 ponto)** A distância entre a Terra e o Sol é $1 \text{ UA} \approx 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$. Sabendo disso e que $L_{\text{Sol}} \simeq 3,8 \cdot 10^{26} \text{ W}$, determine o fluxo solar que recebemos.

Dica: para facilitar as contas, considere $\pi \approx 3$

* Aplicando os valores na fórmula do fluxo, temos:

$$F_{\text{Sol}} = \frac{L_{\text{Sol}}}{4\pi r^2} = \frac{3,8 \cdot 10^{26}}{4 \cdot 3 \cdot (1,5 \cdot 10^{11})^2}$$
$$\therefore F_{\text{Sol}} \simeq 1,4 \cdot 10^3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 1400 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Resposta 3a): $1400 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

- **Pergunta 3b) (0,5 ponto)** O fluxo da estrela Sirius – alfa da constelação Cão Maior – recebido na Terra é $F_{\text{Sirius}} \simeq 1,2 \cdot 10^{-7} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ e a sua luminosidade é $L_{\text{Sirius}} \simeq 9,7 \cdot 10^{27}$. Se a Terra estivesse a uma mesma distância do Sol e de Sirius, qual estrela possuiria o maior fluxo?

* Se as 2 estrelas estivessem a uma mesma distância do da Terra, teríamos a seguinte razão:

$$\frac{F_{\text{Sirius}}}{F_{\text{Sol}}} = \frac{L_{\text{Sirius}}}{L_{\text{Sol}}} \frac{4\pi r^2}{4\pi r^2} = \frac{L_{\text{Sirius}}}{L_{\text{Sol}}}$$

* Como $L_{\text{Sirius}} > L_{\text{Sol}}$, temos que $F_{\text{Sirius}} > F_{\text{Sol}}$.

- () Sol
(X) Sirius
() As duas estrelas teriam o mesmo fluxo
() Impossível de determinar com as informações passadas
- **Questão 4) (1 ponto)** A luminosidade das estrelas depende tanto em seu tamanho quanto em sua temperatura. Nesse sentido, podemos usar a Lei de Stefan-Boltzmann para mostrar matematicamente essa relação:

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

em que L é a luminosidade, R é o raio, T é a temperatura, e σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma \simeq 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$).

Mais importante do que memorizar essa equação, é preciso entender que a luminosidade é diretamente proporcional ao raio ao quadrado e à temperatura elevada à quarta potência. Matematicamente, temos:

$$L \propto R^2 T^4$$

Além disso, podemos determinar a cor de uma estrela a partir de sua temperatura (e vice-versa). Para tanto, precisamos utilizar a Lei de Wien:

$$\lambda T = b$$

em que λ é o comprimento de onda em que a maior quantidade de energia é emitida pela estrela, T é a sua temperatura, e b é a constante de Wien ($b \simeq 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ mK}$).

- **Pergunta 4a) (0,1 ponto)** Se o raio de uma estrela for reduzido pela metade ($R' = \frac{R_0}{2}$) e sua temperatura for multiplicada por 2 ($T' = 2T_0$), o que acontecerá com a luminosidade?

* Usando a Lei de Stefan-Boltzmann, temos:

$$\frac{L'}{L_0} = \frac{4\pi R'^2 \sigma T'^4}{4\pi R_0^2 \sigma T_0^4} = \left(\frac{R'}{R_0}\right)^2 \cdot \left(\frac{T'}{T_0}\right)^4$$

$$\therefore \frac{L'}{L_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \cdot 2^4 = 2^2 = 4$$

$$\therefore L' = 4L_0$$

() $L' = L_0$

() $L' = 2L_0$

() $L' = \frac{L_0}{2}$

(X) $L' = 4L_0$

() $L' = \frac{L_0}{4}$

- **Pergunta 4b) (0,4 ponto)** O raio do Sol é $R_{Sol} \approx 7 \cdot 10^8 \text{ m}$ e sua temperatura é $T_{Sol} \approx 6.000 \text{ K}$. Sabendo que essas mesmas características da estrela Sirius são $R_S \approx 1 \cdot 10^9 \text{ m}$ e $T_S \approx 10.000 \text{ K}$, encontre a razão $\frac{L_S}{L_{Sol}}$.

* Usando a Lei de Stefan-Boltzmann, temos:

$$\frac{L_S}{L_{Sol}} = \frac{4\pi R_S^2 \sigma T_S^4}{4\pi R_{Sol}^2 \sigma T_{Sol}^4} = \left(\frac{R_S}{R_{Sol}}\right)^2 \cdot \left(\frac{T_S}{T_{Sol}}\right)^4$$

$$\therefore \frac{L_S}{L_{Sol}} = \left(\frac{1 \cdot 10^9}{7 \cdot 10^8}\right)^2 \cdot \left(\frac{1 \cdot 10^4}{6 \cdot 10^3}\right)^4 = \frac{10^6}{1.764}$$

$$\therefore \frac{L_S}{L_{Sol}} \approx 6 \cdot 10^2 = 600$$

Resposta 4b): $\frac{10^6}{1.764} \approx 600$

- **Pergunta 4c) (0,5 ponto)** Usando as temperaturas T_{Sol} e T_S e com a ajuda da tabela seguinte, marque com os números 1 (para o Sol) e 2 (para Sírius) os intervalos de cores mais próximos ao pico de emissão das estrelas.

Espaço para cálculos:

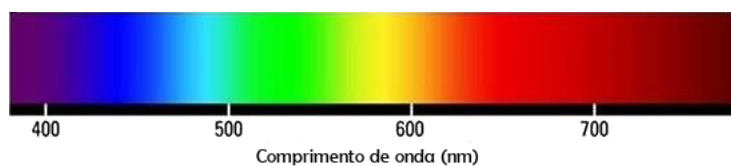
* Por meio da Lei de Wien, podemos calcular os comprimentos de onda do Sol e de Sirius:

$$\lambda_{Sol} = \frac{b}{T_{Sol}} = \frac{2,90 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 10^3} \approx 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

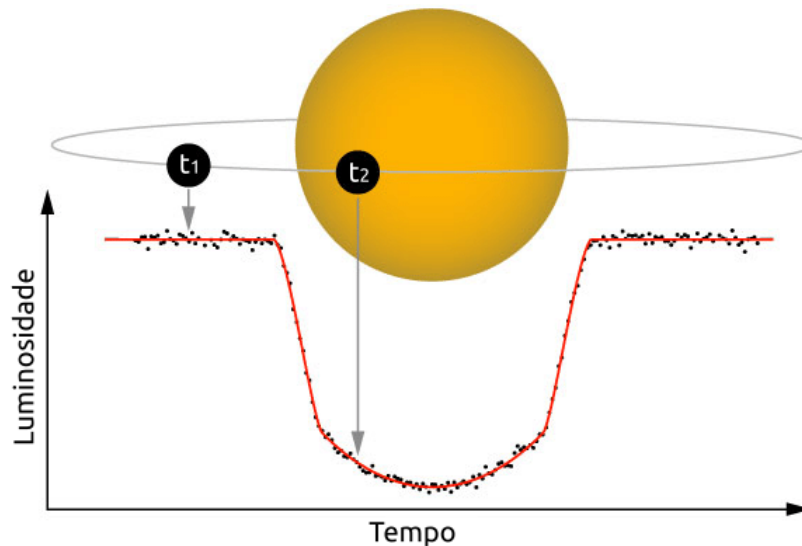
$$\therefore \lambda_{Sol} = 500 \text{ nm}$$

$$\lambda_S = \frac{b}{T_S} = \frac{2,90 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^4} \approx 3 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\therefore \lambda_S = 300 \text{ nm}$$

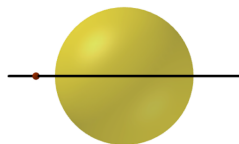


- **Questão 5) (1 ponto)** Exoplanetas podem ser encontrados de 5 formas, mas a maneira mais eficaz até o momento é o *Método de Trânsito*. De maneira simplificada, esse método consiste em detectar a diminuição da luminosidade de uma estrela causada pela passagem do exoplaneta. Para entender melhor como isso acontece, observe o esquema seguinte:

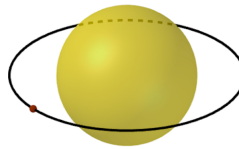


- **Pergunta 5a) (0,5 ponto)** Um problema do *Método de Trânsito* é que a sua eficácia depende da órbita do planeta visualizada. Nesse sentido, marque o(s) exoplaneta(s) abaixo que poderiam ser descobertos por meio desse método.

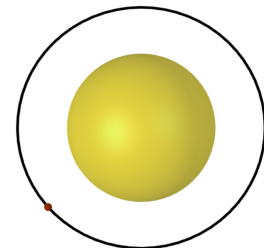
* Para que um exoplaneta possa ser descoberto pelo *Método de Trânsito*, sua órbita precisa passar em frente a sua estrela.



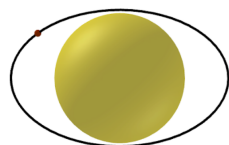
(X)



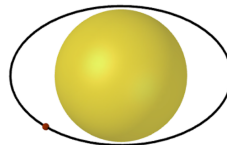
(X)



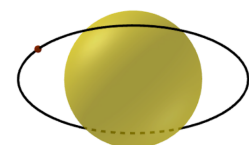
()



()



()



(X)

- **Pergunta 5b) (0,5 ponto)** Sabendo que R_e e R_p são respectivamente os raios da estrela e do exoplaneta, qual a razão das luminosidades L_2 (medida em t_2) e L_1



(medida em t_1)?

Dica: neste caso, podemos usar que a luminosidade é proporcional à área da seção transversal.

Espaço para cálculos:

* A área da seção transversão em t_1 , é dada por:

$$At_1 = \pi R_e^2$$

* A área da seção transversão em t_2 , é dada por:

$$At_2 = \pi(R_e^2 - R_p^2)$$

(basta subtrair a área transversal correspondente ao exoplaneta, $A = \pi R_p^2$, da área transversal correspondente à estrela, $A = A_1 = \pi R_e^2$)

* Como $L \propto A$, temos:

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{\pi(R_e^2 - R_p^2)}{\pi R_e^2}$$

$$\therefore \frac{L_2}{L_1} = \frac{R_e^2 - R_p^2}{R_e^2}$$

$$() \frac{L_2}{L_1} = \left(\frac{R_p}{R_e}\right)^2$$

$$(X) \frac{L_2}{L_1} = \frac{R_e^2 - R_p^2}{R_e^2}$$

$$() \frac{L_2}{L_1} = \left(\frac{R_e}{R_p}\right)^2$$

$$() \frac{L_2}{L_1} = \frac{R_p^2 - R_e^2}{R_p^2}$$

Bons estudos!

