AULAS PREPARATÓRIAS PARA A OBA - SELETIVAS INTERNACIONAIS

# Aula 6
# Radiação, temperatura e espectros

O que a luz revela sobre as estrelas?

**Isabelle Gios Martimiano**

02/10/2026

# 1. Luz é radiação eletromagnética

A luz visível é apenas uma pequena parte da **radiação eletromagnética**.

Toda onda eletromagnética pode ser descrita por:

- **comprimento de onda** $\lambda$;
- **frequência** $f$ ou $\nu$;
- velocidade de propagação no vácuo $c$.

## No vácuo

$$\boxed{c = \lambda f} \qquad c \approx 3{,}0 \times 10^8\,\mathrm{m/s}$$

**Comprimento de onda maior $\Rightarrow$ frequência menor, e vice-versa.**

# 2. Comprimento de onda, frequência e unidades

Da relação

$$c = \lambda f,$$

podemos escrever:

$$\boxed{f = \frac{c}{\lambda}} \quad \text{ou} \quad \boxed{\lambda = \frac{c}{f}}.$$

## Unidades comuns

- $1\,\mathrm{nm} = 10^{-9}\,\mathrm{m}$;
- $1\,\text{Å} = 10^{-10}\,\mathrm{m}$;
- $1\,\text{Å} = 0{,}1\,\mathrm{nm}$.

## Exemplo

Para $\lambda = 500\,\mathrm{nm}$:

$$f = \frac{3 \times 10^{8}}{5 \times 10^{-7}}$$

$$\boxed{f \approx 6 \times 10^{14}\,\mathrm{Hz}}$$

# 3. Energia dos fótons

A radiação eletromagnética também pode ser descrita como formada por **fótons**.
A energia de um fóton é:

$$\boxed{E = hf = \frac{hc}{\lambda}}$$

onde:

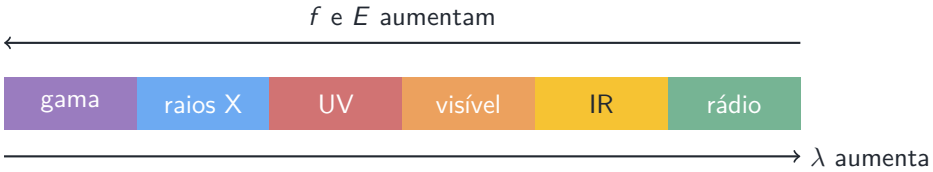
- $E =$ energia do fóton;
- $h \approx 6{,}63 \times 10^{-34}\,\mathrm{J\,s} =$ constante de Planck;
- $f =$ frequência;
- $\lambda =$ comprimento de onda.

## Consequência

$$\lambda \downarrow \Rightarrow f \uparrow \Rightarrow E \uparrow$$

Raios X e gama têm fótons mais energéticos que ondas de rádio.

# 4. O espectro eletromagnético




## Astronomia não usa apenas luz visível

Objetos diferentes revelam informações diferentes em rádio, infravermelho, ultravioleta, raios X e gama.

**Magnitude bolométrica = emissão integrada em todas as faixas de comprimento de onda.**

# 5. O que é um corpo negro?

Um **corpo negro** é um modelo ideal que:

- absorve toda radiação que incide sobre ele;
- em equilíbrio térmico, emite radiação com distribuição que depende essencialmente de sua temperatura.

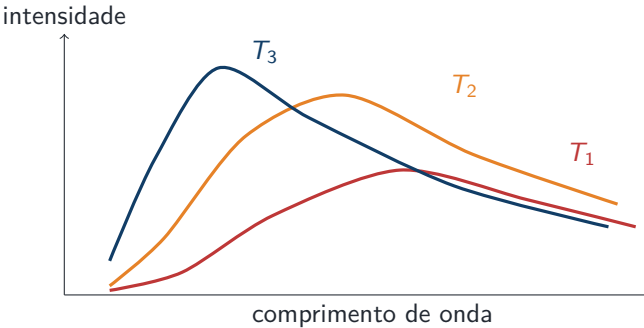
As estrelas não são corpos negros perfeitos, mas sua emissão contínua pode ser **aproximada** por esse modelo.

## Duas informações fundamentais

A temperatura modifica:

1. a quantidade total de energia emitida;
2. o comprimento de onda em que a emissão é máxima.

# 6. Como a temperatura muda o espectro de corpo negro?




Se:

$$T_3 > T_2 > T_1,$$

então a curva mais quente:

- tem pico em $\lambda$ menor;
- apresenta maior emissão total.

**Não confunda**

O pico muda de posição e a área sob a curva também muda.

# 7. Lei de Wien: temperatura pelo pico do espectro

A Lei de Wien relaciona a temperatura do corpo negro ao comprimento de onda de emissão máxima:

$$\boxed{\lambda_{\text{max}} T = b}$$

com

$$\boxed{b \approx 2{,}90 \times 10^{-3}\,\text{m K}}$$

Logo:

$$\boxed{T = \frac{b}{\lambda_{\text{max}}}}$$

$$\boxed{T \uparrow \Rightarrow \lambda_{\text{max}} \downarrow}$$

## Interpretação

Objetos mais quentes têm o máximo de emissão deslocado para comprimentos de onda menores.

# 8. Exemplo com a Lei de Wien

O espectro de uma estrela apresenta máximo próximo de:

$$\lambda_{\text{max}} = 500\,\text{nm}$$

Primeiro convertemos:

$$500\,\text{nm} = 5{,}0 \times 10^{-7}\,\text{m}$$

Então:

$$T = \frac{2{,}90 \times 10^{-3}}{5{,}0 \times 10^{-7}}$$

$$\boxed{T \approx 5{,}8 \times 10^{3}\,\text{K}}$$

## Leitura física

Esse valor é próximo da temperatura efetiva do Sol, cerca de $5800\,\text{K}$.

# 9. Stefan–Boltzmann: retomada da Aula 5

Na Aula 5 vimos:

$$\boxed{L = 4\pi R^2 \sigma T^4}$$

## Raio

$$L \propto R^2$$

Se $R$ dobra, mantendo $T$:

$$L \to 4L$$

## Temperatura

$$L \propto T^4$$

Se $T$ dobra, mantendo $R$:

$$L \to 16L$$

**Wien fala de onde está o pico; Stefan–Boltzmann fala da emissão total.**

# 10. Cor e temperatura das estrelas

A cor observada de uma estrela está relacionada à distribuição de sua radiação térmica.




## Mensagem principal

Em geral, estrelas azuladas possuem temperaturas superficiais maiores que estrelas avermelhadas.

### Cuidado

A cor percebida não é simplesmente o valor de $\lambda_{\text{max}}$; vemos uma combinação de muitos comprimentos de onda.

# 11. O que é um espectro?

Um **espectro** mostra como a intensidade da radiação está distribuída em função do comprimento de onda ou da frequência.

Ao separar a luz de uma estrela com um prisma ou uma rede de difração, podemos obter:

- um contínuo de cores;
- linhas escuras de absorção;
- ou linhas brilhantes de emissão.

## Espectroscopia

É o estudo dos espectros. Ela permite obter informações que uma fotografia isolada não revela.

# 12. Três tipos básicos de espectro

## Contínuo

Produzido por uma fonte quente e densa.



## Emissão

Gás quente e pouco denso produz linhas brilhantes em comprimentos específicos.



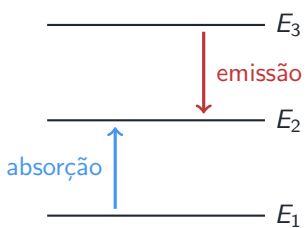
## Absorção

Um contínuo atravessa gás mais frio, produzindo linhas escuras.



# 13. De onde vêm as linhas espectrais?

Os elétrons em um átomo só podem ocupar determinados níveis de energia.




- para subir de nível, o átomo **absorve** um fóton;
- ao cair de nível, o átomo **emite** um fóton;
- a energia do fóton deve satisfazer:

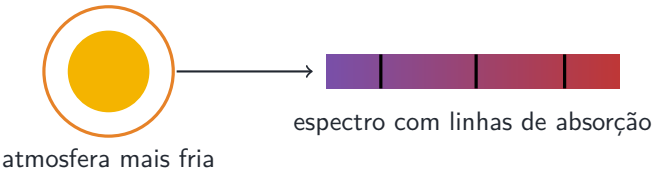
$$\Delta E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

## Impressão digital química

Cada elemento possui um conjunto característico de níveis de energia e, portanto, um padrão próprio de linhas.

# 14. Por que as estrelas mostram linhas de absorção?

A região mais profunda e quente da estrela produz um espectro aproximadamente contínuo. Antes de chegar até nós, essa radiação atravessa camadas mais frias da atmosfera estelar.




## O que aprendemos?

A posição das linhas ajuda a identificar os elementos presentes na atmosfera da estrela.

# 15. Classificação espectral: O–B–A–F–G–K–M

As classes espectrais são organizadas principalmente por **temperatura**.

| Classe | Temperatura aproximada | Cor típica | Característica geral |
|---|---|---|---|
| O | $> 30.000\,\mathrm{K}$ | azul | He ionizado forte |
| B | $10.000$–$30.000\,\mathrm{K}$ | azul-branca | He neutro |
| A | $7.500$–$10.000\,\mathrm{K}$ | branca | Balmer de H muito forte |
| F | $6.000$–$7.500\,\mathrm{K}$ | branco-amarelada | linhas metálicas crescem |
| G | $5.200$–$6.000\,\mathrm{K}$ | amarelada | Sol é G2 |
| K | $3.700$–$5.200\,\mathrm{K}$ | alaranjada | metais e linhas moleculares |
| M | $< 3.700\,\mathrm{K}$ | avermelhada | moléculas muito evidentes |

## Pegadinha importante

Linha mais forte não significa necessariamente maior abundância. A intensidade das linhas também depende da temperatura e do estado de ionização/excitação.

# 16. As subclasses espectrais

Cada classe é subdividida de 0 a 9:

$$\boxed{\mathrm{O0} \to \mathrm{O9} \to \mathrm{B0} \to \cdots \to \mathrm{M9}}$$

Dentro de uma mesma letra:

$$\boxed{\text{0 é mais quente que 9}}$$

Exemplo:

- o Sol possui tipo espectral aproximadamente **G2**;
- uma estrela G2 é um pouco mais quente que uma G8;
- uma estrela F9 ainda é mais quente que uma G0.

## Para esta aula

Não precisamos ainda do Diagrama HR. Aqui a classificação serve para conectar **temperatura, cor e espectro**. O HR fica para a Aula 7.

# 17. Efeito Doppler na luz

Se a fonte possui movimento ao longo da linha de visada, as linhas espectrais aparecem deslocadas.

## Afastamento

$$\lambda_{obs} > \lambda_0$$

As linhas vão para comprimentos de onda maiores.

**desvio para o vermelho**

## Aproximação

$$\lambda_{obs} < \lambda_0$$

As linhas vão para comprimentos de onda menores.

**desvio para o azul**

## O que o Doppler mede?

Principalmente a componente da velocidade na **linha de visada**, chamada velocidade radial.

# 18. Fórmula do Doppler para velocidades pequenas

Quando $|v_r| \ll c$, podemos usar:

$$\boxed{\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \approx \frac{v_r}{c}}$$

com:

$$\Delta\lambda = \lambda_{obs} - \lambda_0.$$

- $\lambda_0$: comprimento de onda em repouso;
- $\lambda_{obs}$: comprimento observado;
- $v_r$: velocidade radial;
- $c$: velocidade da luz.

$\boxed{\Delta\lambda > 0 \Rightarrow \text{afastamento}}$ $\boxed{\Delta\lambda < 0 \Rightarrow \text{aproximação}}$

# 19. Exemplo de velocidade radial

Uma linha que em laboratório está em

$$\lambda_0 = 500{,}0\,\mathrm{nm}$$

é observada em

$$\lambda_{obs} = 500{,}5\,\mathrm{nm}.$$

Logo:

$$\Delta\lambda = 0{,}5\,\mathrm{nm}$$

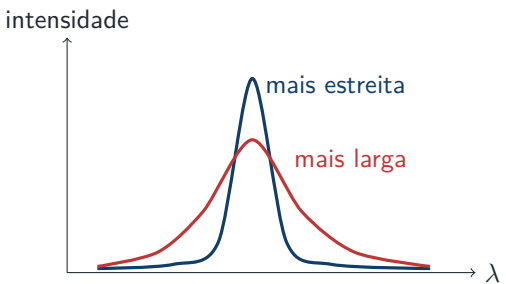
$$\frac{v_r}{c} \approx \frac{0{,}5}{500{,}0} = 10^{-3}$$

$$\boxed{v_r \approx 300\,\mathrm{km/s}}$$

Como $\lambda_{obs} > \lambda_0$, a fonte está **se afastando**.

# 20. Aplicação: por que algumas linhas espectrais são mais largas?

Uma linha espectral real não é infinitamente fina. Ela pode aparecer **alargada** porque os átomos ou moléculas do gás não possuem todos exatamente a mesma velocidade.




## Alargamento térmico

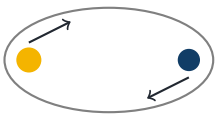
- temperatura maior ⇒ maior agitação térmica;
- maior dispersão de velocidades ⇒ deslocamentos Doppler ligeiramente diferentes;
- resultado: **linha mais larga**.

## Importante

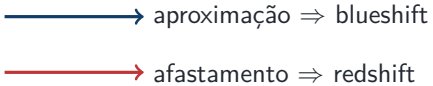
Rotação, turbulência, pressão e outros processos também podem alargar linhas. Portanto, linha larga não significa automaticamente apenas temperatura alta.

# 21. Aplicação: Doppler e estrelas binárias

Em um sistema binário, uma estrela pode alternar entre movimento de **aproximação** e de **afastamento** em relação a nós.



órbita em torno do centro de massa




## Assinatura observacional

Se as mesmas linhas espectrais alternam periodicamente entre vermelho e azul, isso pode revelar movimento orbital e denunciar uma **binária espectroscópica**, mesmo quando não conseguimos separar visualmente as duas estrelas.

# 22. Aplicação: a atmosfera não deixa toda radiação passar

A atmosfera terrestre é transparente apenas em algumas regiões do espectro eletromagnético.

| **Faixa** | Observação a partir do solo |
|---|---|
| **Visível** | grande janela de transparência |
| **Rádio / micro-ondas** | existem janelas importantes |
| **Infravermelho** | parcialmente absorvido |
| **Ultravioleta** | grande parte bloqueada |
| **Raios X e gama** | fortemente bloqueados |

## Janelas atmosféricas

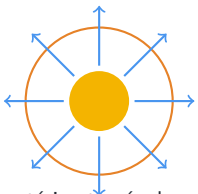
Chamamos de **janelas atmosféricas** as faixas de comprimento de onda em que a atmosfera permite que uma parcela significativa da radiação alcance o solo.

### Por que colocar telescópios no espaço?

Fora da atmosfera podemos observar faixas que seriam absorvidas antes de chegar aos telescópios terrestres, como raios X e grande parte do ultravioleta.

# 23. Aplicação: ventos estelares e perda de massa

Estrelas podem lançar matéria continuamente para o espaço na forma de **vento estelar**.



fluxo de matéria através de uma esfera

Em um intervalo $\Delta t$, o vento percorre:

$$\Delta r = v\Delta t.$$

A casca atravessada tem volume aproximado:

$$\Delta V = 4\pi r^2 \Delta r.$$

Como $\Delta m = \rho \Delta V$:

$$\boxed{\dot{M} = \frac{\Delta m}{\Delta t} = 4\pi r^2 \rho v}$$

## O que significa cada termo?

$\dot{M}$ = taxa de perda de massa; $r$ = distância ao centro da estrela; $\rho$ = densidade do vento; $v$ = velocidade do vento.

**Se a questão fornecer $L$ e $T$, o raio pode ser obtido antes por $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$.**

# 24. O que um espectro pode revelar?

## Temperatura

Pela forma do contínuo, pela Lei de Wien e pelas linhas presentes.

## Composição química

Pelo padrão característico das linhas espectrais.

## Movimento radial

Pelo deslocamento Doppler das linhas.

## Condições do gás

Largura e formato das linhas podem indicar dispersão de velocidades, temperatura, rotação, turbulência e pressão.

**Um espectro é quase um "RG físico" da estrela.**

# 25. Kit de fórmulas da Aula 6

## Radiação e temperatura

$$c = \lambda f$$

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\lambda_{\max} T = b$$

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

## Espectroscopia e aplicações

$$\Delta E = hf$$

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \approx \frac{v_r}{c}$$

$$\dot{M} = 4\pi r^2 \rho v$$

$$\mathrm{O} - \mathrm{B} - \mathrm{A} - \mathrm{F} - \mathrm{G} - \mathrm{K} - \mathrm{M}$$

**Wien: pico** **Stefan–Boltzmann: emissão total** **Doppler: movimento** $\dot{M}$**: perda de massa**

# Resolução dos exercícios

## Provas de 2021 a 2025

Questões comentadas

# Resolução dos exercícios

## Q1 - P1 2021

1) A classificação espectral de Harvard é um esquema de classificação de estrelas que foi elaborado por volta de 1890 pelos astrônomos da Universidade de Harvard e Yale. Fisicamente, as classes indicam a temperatura da superfície da estrela e são normalmente listadas da mais quente para a mais fria. Na tabela, estão listados os valores típicos para estrelas da Sequência Principal e Massa, Raio e Luminosidade (em unidades de massa solar, raio solar e luminosidade solar).

| Classe | Temperatura | Cor | Massa | Raio | Luminosidade |
|---|---|---|---|---|---|
| O | ≥ 30.000 K | Azul | 60 | 15 | ≥ 30.000 |
| B | 10.000 - 30.000 K | Branco azulado | 18 | 7 | 25 - 30.000 |
| A | 7.500 - 10.000 K | Branco | 3,1 | 2,1 | 5 - 25 |
| F | 6.000 - 7.500 K | Branco amarelado | 1,7 | 1,3 | 1,5 - 5 |
| G | 5.200 - 6.000 K | Amarelo (como o Sol) | 1,1 | 1,1 | 0,6 - 1,5 |
| K | 3.700 - 5.200 K | Amarelo laranja | 0,8 | 0,9 | 0,08 - 0,6 |
| M | 2.400 - 3.700 K | Vermelho | 0,3 | 0,4 | ≤ 0,08 |

Considerando apenas estrelas de Sequência Principal, coloque falso (F) ou verdadeiro (V) na frente de cada afirmação abaixo.

(  ) Uma estrela azul tem temperatura superficial maior do que uma estrela vermelha.

(  ) Estrelas da Classe **B** são mais luminosas do que as estrelas da Classe **G**.

(  ) As estrelas vermelhas da Sequência Principal são as menores e menos luminosas.

(  ) Uma estrela da Classe **F** e uma estrela da Classe **M** têm o mesmo brilho aparente no céu, portanto elas estão à mesma distância da Terra.

(  ) Estrela do tipo **O** sempre terá magnitude aparente maior do que a do tipo **M**.

# Resolução dos exercícios

## Q1 - P1 2021

A afirmação "Uma estrela azul tem temperatura superficial maior do que uma estrela vermelha." é **V**erdadeira, pois vemos na tabela que as temperaturas das estrelas azuis são superiores às das estrelas vermelhas.

A afirmação "Estrelas da Classe **B** são mais luminosas do que as estrelas da Classe **G.**" é **V**erdadeira, pois na tabela vemos que as estrelas da Classe B têm luminosidades superiores às da Classe G.

A afirmação "As estrelas vermelhas da Sequência Principal são as menores e menos luminosas." é **V**erdadeira, pois é o que demonstra a tabela acima.

A afirmação "Uma estrela da Classe **F** e uma estrela da Classe **M** têm o mesmo brilho aparente no céu, portanto elas estão à mesma distância da Terra." é **F**alsa, pois se estrelas das Classes F e M têm o mesmo brilho aparente, a estrela da Classe F está mais distante, pois essa é mais luminosa do que a da Classe M.

A afirmação "Estrela do tipo **O** sempre terá magnitude aparente maior do que a do tipo **M.**" é **F**alsa porque a magnitude aparente depende da luminosidade, mas também da distância a que a estrela está do observador.

## Q17 - P2 2021

17) Considere as seguintes afirmações sobre as estrelas e marque a opção correta

a) Uma estrela em uma determinada temperatura emite radiação com intensidade diferente em todas as frequências do espectro eletromagnético e o pico de emissão está relacionado à sua temperatura.

b) Uma estrela em determinada temperatura emite radiação com a mesma intensidade em todas as regiões do espectro eletromagnético e o pico de emissão está relacionado à sua temperatura.

c) O fluxo de energia emitido por uma estrela é diretamente proporcional à temperatura de sua superfície.

d) A radiação eletromagnética emitida por uma estrela em uma determinada temperatura corresponde a uma única frequência do espectro eletromagnético.

# Resolução dos exercícios

## Q17 - P2 2021

Resposta: a) Uma estrela em uma determinada temperatura emite radiação com intensidade diferente em todas as frequências do espectro eletromagnético e o pico de emissão está relacionado à sua temperatura.

# Resolução dos exercícios

## Q2 - P3 2021

2) Estrelas quentes, como as supergigantes de tipo espectral B, apresentam ventos estelares rápidos, com velocidades tipicamente da ordem de 2.000 km/s. Essas estrelas têm luminosidades da ordem de $3{,}8 \times 10^{31}$ W e temperaturas efetivas típicas de $T \simeq 20.000$ K. Admita que os ventos se originam nas vizinhanças da superfície da estrela, onde $r = 2\ R$ e a densidade média do vento estelar é de $\rho \simeq 10^{-11}$ kg/m$^3$. O raio da estrela é R e r é a distância entre o centro da estrela e o local de origem do vento estelar. Pode-se afirmar que a taxa de perda de massa dessas estrelas causado pelos ventos é de:
Adote: Constante de Stefan-Boltzmann $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}$ W.m$^{-2}$.K$^{-4}$.

a) $3{,}3 \times 10^{17}$ kg/s

b) $3{,}3 \times 10^{10}$ kg/s

c) $3{,}3 \times 10^{6}$ kg/s

d) $3{,}3 \times 10^{23}$ kg/s

## Q2 - P3 2021

Resposta: a) $3{,}3 \times 10^{17}$ kg/s

Da equação de Stefan-Boltzmann, temos que o raio da estrela é:

$$L = 4\pi R^2.\sigma.T^4 \Rightarrow 3{,}8 \times 10^{31} = 4.3{,}14.R^2.5{,}67 \times 10^{-8}.(2.10^4)^4 \Rightarrow R = 1{,}8 \times 10^{10} m$$

Portanto, a taxa de perda de massa $\varphi$, causado pelos ventos a uma distância r = 2R vale:

$$\begin{cases} \varphi = \dfrac{\Delta m}{\Delta t} \\ \Delta m = \rho.\Delta V \\ \Delta V = 4\pi r^2.\Delta r \end{cases} \Rightarrow \varphi = \rho.4\pi r^2.\frac{\Delta r}{\Delta t} = \rho.4\pi r^2.v$$

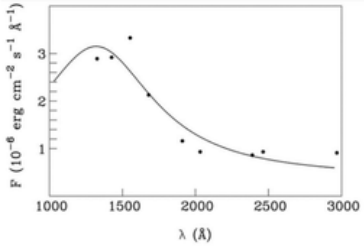
Onde $\Delta V$ é o elemento de volume de uma coroa esférica de raio $\Delta r$ e $\Delta m$ é a massa contida nesta coroa esférica.

$$\varphi = 10^{-11}.4.3{,}14.(2.1{,}8 \times 10^{10})^2.2 \times 10^6 \Rightarrow$$
$$\varphi = 3{,}3 \times 10^{17} kg/s$$

# Resolução dos exercícios

## Q10 - P3 2021

10) Na determinação do campo de radiação ultravioleta interestelar, medidas da Apollo 17, indicam um fluxo $n = 1{,}2 \times 10^5$ fótons.cm$^{-2}$.s$^{-1}$.Å$^{-1}$ para $\lambda = 1.500$ Å.




Pode-se afirmar que a razão entre o fluxo de radiação interestelar teórico, neste comprimento de onda, e o valor estimado pelo ajuste dado na figura ($F_{teórico}/F_{ajuste}$) é igual a:

Dica: a energia de cada fóton é dada por $E_{fóton} = hf$, onde $h$ é a Constante de Planck e $f$ é a frequência do fóton.

Se necessário, adote: Constante de Planck: h = 6,63.10$^{-27}$ erg.s; 1 Å = 10$^{-10}$ m; velocidade da luz no vácuo: c = 3,0 × 10$^8$m/s

a) 0,57

b) 0,20

c) 1,50

d) 2,80

OBA
OLIMPÍADA BRASILEIRA DE ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA

## Q10 - P3 2021

Resposta: a) 0,57

$$E_{fóton} = hf = h\frac{c}{\lambda} \rightarrow F_{teórico} = n \times h\frac{c}{\lambda}$$

O valor teórico do fluxo de radiação para λ = 1500 Å é:

$$F_{teórico} = 1{,}2 \times 10^5 \times \frac{6{,}63 \times 10^{-27} \times 3{,}0 \times 10^8}{1500 \times 10^{-10}} \rightarrow F_{teórico} \cong 1{,}6 \times 10^{-6}\ erg.cm^{-2}.s^{-1}.\text{Å}^{-1}$$

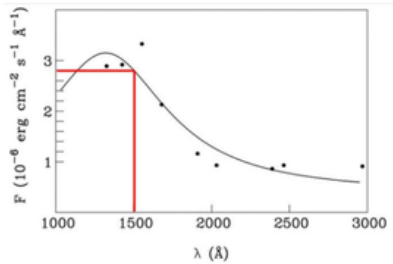
O valor estimado pelo ajuste, pode ser obtido diretamente do gráfico.

Para λ = 1500 Å

temos: $F_{ajuste} = 2{,}8 \times 10^{-6}\ erg.cm^{-2}.s^{-1}.\text{Å}^{-1}$

Logo:

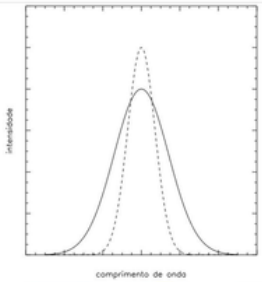
$$\frac{F_{teórico}}{F_{ajuste}} = \frac{1{,}6 \times 10^{-6}}{2{,}8 \times 10^{-6}} \cong 0{,}57$$



# Resolução dos exercícios

## Q11 - P3 2021

11) O radiotelescópio James Clerk Maxwell, no Havaí, foi utilizado para observar duas nuvens moleculares **A** e **B**, com o objetivo de detectar a emissão de uma linha espectral associada com a molécula de monóxido de carbono (CO). As linhas observadas estão representadas na figura. A linha tracejada corresponde à emissão de CO da nuvem molecular **A** e a linha contínua corresponde à emissão de CO da nuvem molecular **B**.




Considere que as nuvens moleculares não têm rotação própria e ignore os efeitos de turbulência.

Analisando o gráfico, marque **V** (verdadeiro) ou **F** (falso) nas afirmações abaixo:

( ) A largura das linhas está relacionada com a dispersão de velocidades das moléculas de CO

( ) Uma maior dispersão de velocidades está associada a uma maior temperatura da nuvem molecular

( ) O efeito responsável pela alteração do comprimento de onda da linha devido à velocidade das moléculas é o efeito de Doppler

( ) A nuvem molecular com uma temperatura média mais elevada é a nuvem A

OLIMPÍADA BRASILEIRA DE ASTRONOMIA

# Resolução dos exercícios

## Q11 - P3 2021

Resposta:

( V ) A largura das linhas está relacionada com a dispersão de velocidades das moléculas de CO

( V ) Uma maior dispersão de velocidades está associada a uma maior temperatura da nuvem molecular

( V ) O efeito responsável pela alteração do comprimento de onda da linha devido à velocidade das moléculas é o efeito de Doppler

( F ) A nuvem molecular com uma temperatura média mais elevada é a nuvem A

## Q18 - P3 2021

18) PARAMETRIZADA

Uma estrela se aproxima de nós com velocidade de $v = 50{,}00$ km/s. Uma determinada linha espectral é observada com o comprimento de onda de $\lambda = 537{,}00$ nm.

Levando em consideração o efeito Doppler, qual é o comprimento de onda original desta linha?

Considere a velocidade da luz c = 300.000,00 km/s.

a) 537,09 nm

b) 536,91 nm

c) 537,18 nm

d) 536,82 nm

## Q18 - P3 2021

Resposta: a) 537,09 nm

Efeito Doppler:

$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \pm \frac{v}{c}$$

Como a fonte está se aproximando, utiliza-se o sinal negativo. Portanto:

$$\lambda = \lambda_0 \left(1 - \frac{v}{c}\right) \rightarrow \lambda_0 = \frac{\lambda}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)}$$

Substituindo-se os valores:

$$\lambda_0 = \frac{537{,}00\ nm}{\left(1 - \frac{50{,}00}{300000{,}00}\right)} \rightarrow \lambda_0 \cong 537{,}09\ nm$$

# Resolução dos exercícios

## Q19 - P3 2021

19) Um planeta orbita uma estrela à distância d = 4,00 UA. O planeta tem raio r = 12.000 km e a estrela raio R = 700.000 km e temperatura efetiva de T = 8.000 K.

Qual é a potência emitida pela estrela que é recebida pelo planeta?

Considere a Constante de Stefan-Boltzmann $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}\ W.m^{-2}.K^{-4}$ e 1 UA = $149{,}6 \times 10^{9}$ m

a) $1{,}44 \times 10^{17}$ W

b) $2{,}88 \times 10^{17}$ W

c) $1{,}60 \times 10^{16}$ W

d) $3{,}59 \times 10^{16}$ W

## Q19 - P3 2021

Resposta: a) $1{,}44 \times 10^{17}$ W

$$Potência = 4\pi R^2 \sigma T^4 = 4\pi(7 \times 10^8)^2(5{,}67 \times 10^{-8})(8000)^4 \rightarrow Pot \cong 1{,}43 \times 10^{27}\ W$$

A potência recebida pelo planeta será:

$$Pot_p = \frac{Pot}{4\pi d^2} \times \pi r^2 = \frac{1{,}43 \times 10^{27}}{4(4 \times 149{,}6 \times 10^9)^2} \times (12 \times 10^6)^2 \rightarrow Pot_p \cong 1{,}44 \times 10^{17}\ W$$

# Resolução dos exercícios

## Q1 - P1 2022

1) Escreva **V** ou **F** (Verdadeiro ou Falso) na frente de cada afirmação.

(  ) O valor da magnitude aparente de uma estrela pode ser negativo.

(  ) Um fóton ultravioleta (UV) tem mais energia do que um fóton infravermelho (IR).

(  ) Todos os asteroides do Sistema Solar vêm de um planeta que se fragmentou.

(  ) Os eclipses solares ocorrem durante as fases de Lua Cheia.

(  ) Para um observador localizado sobre a Linha do Equador, a altura das estrelas é constante.

# Resolução dos exercícios

## Q1 - P1 2022

Resposta:

A afirmação "O valor da magnitude aparente de uma estrela pode ser negativo." é Verdadeira, pois a estrela Vega tem sido definida como tendo uma magnitude de zero, ou pelo menos próxima a isto e como a escala de magnitudes é invertida, qualquer estrela mais brilhante do que Veja terá sua magnitude negativa.

A afirmação "Um fóton ultravioleta (UV) tem mais energia do que um fóton infravermelho (IR)." é Verdadeira, poia a energia do fóton é diretamente proporcional à sua frequência eletromagnética e um fóton ultravioleta tem frequência superior à frequência de um fóton infravermelho,

A afirmação "Todos os asteroides do Sistema Solar vêm de um planeta que se fragmentou." é Falsa, pois muitos são restos fragmentados de planetesimais, corpos dentro da nebulosa solar do jovem Sol que nunca crescerem o suficiente para se tornarem planetas.

A afirmação "Os eclipses solares ocorrem durante as fases de Lua Cheia." é Falsa, pois os eclipses solares ocorrem durante a fase de Lua Nova.

A afirmação "Para um observador localizado sobre a Linha do Equador, a altura das estrelas é constante." é Falsa, pois nesta localização as estrelas nascem do lado leste e se põem do lado oeste. Somente para uma pessoa localizada em um dos Polos Geográficos as estrelas têm alturas constantes (exceto o Sol).

## Q12 - P1 2022

12) As linhas do espectro de uma estrela mostram um desvio para o vermelho e um desvio para o azul alternados, que se repete periodicamente com um período de 10 dias. Ao mesmo tempo, nenhuma variação no tipo espectral da estrela é observada.

Assinale a alternativa que explica este fenômeno.

a) A estrela faz parte de sistema binário que gira em torno do centro de gravidade comum com um período orbital de 10 dias, de modo que a estrela se aproxima e se afasta alternadamente do observador.

b) Esta é uma característica típica de uma estrela variável com um período de 10 dias.

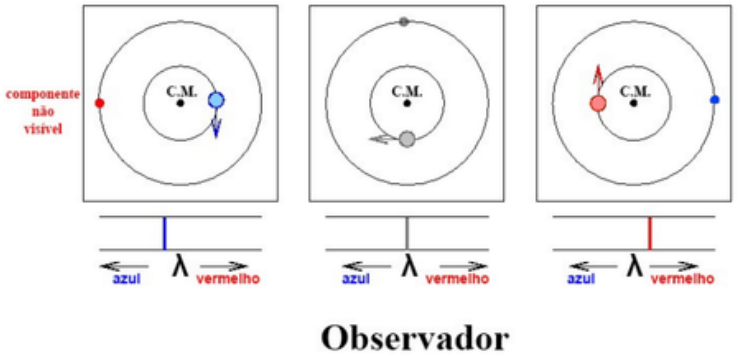
c) As linhas do espectro são deslocadas pelo efeito Doppler, devido ao movimento de translação da Terra.

d) As linhas do espectro são deslocadas pelo efeito Doppler, devido ao movimento de rotação da Terra.

e) A estrela está dentro de um aglomerado onde está sujeita a perturbações de estrelas vizinhas.

## Q12 - P1 2022

Resposta: a) A estrela faz parte de sistema binário que gira em torno do centro de gravidade comum com um período orbital de 10 dias, de modo que a estrela se aproxima e se afasta alternadamente do observador.



## Q16 - P1 2022

16) Assinale a afirmativa correta em relação à radiação emitida pelas estrelas.

a) Uma estrela em uma determinada temperatura emite radiação com intensidade diferente em múltiplas frequências do espectro eletromagnético e o pico de emissão está relacionado à sua temperatura.

b) A radiação eletromagnética emitida por uma estrela a uma determinada temperatura corresponde a uma única frequência do espectro eletromagnético.

c) Uma estrela a uma determinada temperatura emite radiação com a mesma intensidade em todas as regiões do espectro eletromagnético e o pico de emissão está relacionado à sua temperatura.

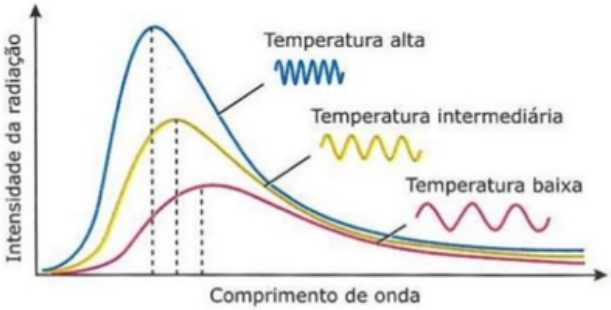
d) O fluxo de energia emitido por uma estrela é diretamente proporcional à temperatura de sua superfície.

e) O fluxo de energia emitido por uma estrela depende apenas de seu tamanho.

## Q16 - P1 2022

Resposta: a) Uma estrela em uma determinada temperatura emite radiação com intensidade diferente em múltiplas frequências do espectro eletromagnético e o pico de emissão está relacionado à sua temperatura.

A figura a seguir traz os espectros para estrelas de temperaturas diferentes. A linha tracejada indica o pico da radiação.

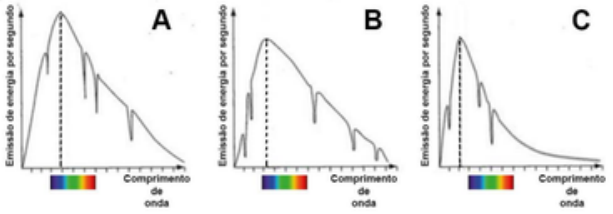


## Q14 - P2 2022

14) Os gráficos a seguir ilustram o espectro da emissão de energia *versus* o comprimento de onda de três estrelas **A**, **B** e **C**. A linha tracejada indica o comprimento de onda do pico de cada emissão. A região do visível está assinalada em cada gráfico.

Em cada espectro é possível perceber linhas de absorção. Elas são geradas na atmosfera fina logo acima da fotosfera estelar e sua presença depende dos elementos ali presentes e da temperatura da estrela.

OLIMPÍADA BRASILEIRA DE ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA




Assinale a opção que traz a relação entre a temperatura efetiva destas estrelas.

a) $T_A > T_B > T_C$

b) $T_A = T_B = T_C$

c) $T_A > T_B = T_C$

d) $T_B = T_C > T_A$

e) $T_C > T_B > T_A$

# Resolução dos exercícios

## Q14 - P2 2022

Resposta: e) $T_C > T_B > T_A$

A Lei de Wien (ou Lei do deslocamento de Wien) é a lei da física que relaciona o comprimento de onda onde se situa a máxima emissão de radiação eletromagnética de corpo negro e sua temperatura. Conforme a Lei de Wien, quanto maior for a temperatura de um corpo negro, menor será o comprimento de onda para o qual a emissão é máxima.

A radiação de Corpo Negro é uma é uma aproximação para o espectro contínuo emitido pelas estrelas.

Nos gráficos vemos que a estrela C tem seu pico de emissão no ultravioleta, a estrela B tem seu pico de emissão no violeta e a estrela A tem seu pico de emissão mais próximo do azul. Portanto, $T_A < T_B < T_C$.

## Q15 - P2 2022

15) O espectro de uma galáxia mostra uma linha de H-alfa com um comprimento de onda de $\lambda$ = 720 nanômetros. Medido em laboratório o comprimento de onda da linha H-alfa vale $\lambda_{lab}$ = 656,28 nanômetros.

A respeito disso, assinale a opção que traz a afirmação correta sobre esta galáxia.

a) Ela é uma galáxia espiral.

b) Ela está formando estrelas.

c) Ela está se afastando de nós.

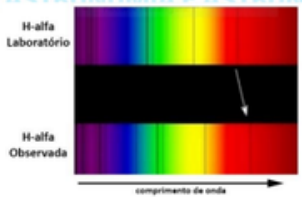
d) Ela está se aproximando de nós.

e) Ela está colidindo com outra galáxia.

## Q15 - P2 2022

Resposta: c) Ela está se afastando de nós.

Por efeito Doppler, o comprimento de onda observado é maior do que o comprimento de onda em repouso. Ou seja, a linha se deslocou para o vermelho (*redshift*). Portanto esta galáxia está se afastando de nós.



# Resolução dos exercícios

## Q16 - P2 2024

16) O espectro de uma galáxia mostra uma linha de H-alfa com um comprimento de onda de $\lambda = 720$ nanômetros. Medido em laboratório o comprimento de onda da linha H-alfa vale $\lambda_{lab} = 656{,}28$ nanômetros.

A respeito disso, assinale a opção que traz a afirmação correta sobre essa galáxia.

a) Ela é uma galáxia espiral.

b) Ela está formando estrelas.

c) Ela está se afastando de nós.

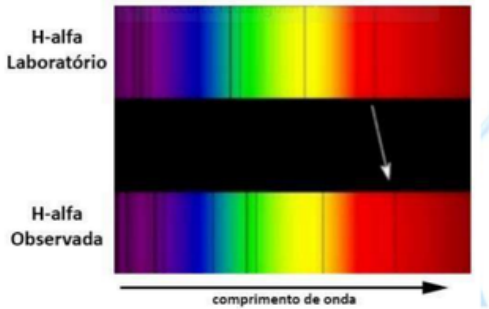
d) Ela está se aproximando de nós.

e) Ela está colidindo com outra galáxia.

## Q16 - P2 2024

Resposta: c) Ela está se afastando de nós.

Por efeito Doppler, o comprimento de onda observado é maior do que o comprimento de onda em repouso. Ou seja, a linha se deslocou para o vermelho (*redshift*). Portanto esta galáxia está se afastando de nós.



# Resolução dos exercícios

## Q16 - P2 2023

16) Quando olhamos para um céu bem límpido, afastado dos grandes centros urbanos, percebemos que as estrelas têm cores diferentes. Na imagem a seguir temos um exemplo de algumas estrelas bem conhecidas e suas cores.




Assinale a opção que traz o que as cores das estrelas revelam para nós.

a) Apenas sua temperatura superficial.

b) Sua luminosidade e magnitude aparente.

c) Sua composição química.

d) Apenas sua magnitude absoluta.

e) Sua massa e temperatura superficial.

# Resolução dos exercícios

## Q16 - P2 2023

Resposta: a) Apenas sua temperatura.

Comentário: Estrelas apresentam um amplo domínio de cores, que refletem a temperatura em suas atmosferas em concordância com a **Lei de Wien**. A cor de uma estrela é determinada pela parte de seu espectro visível que mais contribui para sua luminosidade total.

Estrelas azuis são as mais quentes, as vermelhas as mais frias. No caso de estrelas, "frio" significa temperaturas da ordem de 2.000 K ou 3.000 K, umas 15 vezes mais quente do que nosso forno de casa. Estrelas azuis têm temperaturas de 20.000 K ou mais. O Sol é uma estrela amarela, de temperatura intermediária, próxima a 6.000 K.

# Resolução dos exercícios

## Q18 - P2 2023

18) As raias visíveis no espectro de uma estrela permitem ordenar esses astros em classes de objetos similares. A classificação espectral atualmente em uso é baseada num esquema estabelecido em 1890 (*Harvard Spectral Sequence*). Das mais quentes às mais frias, as estrelas são agrupadas em classes identificadas pelas letras do alfabeto O, B, A, F, G, K e M.

Todas as estrelas do mesmo tipo espectral têm a mesma temperatura superficial. No entanto, existem estrelas de um mesmo tipo espectral que possuem diferentes luminosidades.

Assinale a opção que explica esse fenômeno.

a) Aquelas com maior luminosidade têm maior raio.

b) Aquelas com maior luminosidade têm sua luz mais deslocada para o vermelho.

c) Aquelas com menor luminosidade estão a uma distância maior.

d) Aquelas com maior luminosidade têm sua luz mais deslocada para o azul.

e) A Lei de Wien não se aplica às estrelas do mesmo tipo espectral.

## Q18 - P2 2023

Resposta: a) Aquelas com maior luminosidade têm maior raio.

Comentário: A luminosidade L de uma estrela pode ser expressa em função de seu tamanho e de sua temperatura superficial: $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$, onde R é o raio da estrela (aproximando-a como uma esfera), T a temperatura nas suas camadas externas (chamada de fotosfera) e σ é uma constante chamada de *Constante de Stefan-Boltzmann*.

Se a luminosidade de uma estrela é maior do que de uma outra, mas suas temperaturas superficiais são iguais, então o raio da primeira é maior do que o raio da segunda.

$$L_1 > L_2 \leftrightarrow 4\pi R_1^2 \sigma T^4 > 4\pi R_2^2 \sigma T^4 \rightarrow R_1^2 > R_2^2 \rightarrow R_1 > R_2$$

# Resolução dos exercícios

## Q19 - P2 2023

ASTRONOMIA E ASTRONAUTICA

19) Segundo Isaac Newton (1643-1727), a luz era composta por partículas corpusculares, pequenas esferas que colidiam com as superfícies e sofriam reflexão e refração. Anos mais tarde com os estudos do eletromagnetismo e as contribuições de James Clerk Maxwell (1831-1879), a luz foi definida como uma **onda eletromagnética**, isto é, uma combinação de campos elétricos e magnéticos variáveis que se propagam no espaço.

Quando uma grandeza é encontrada apenas em múltiplos inteiros de uma quantidade elementar (denominada de quantum), diz-se que ela é quantizada. No século XX, Albert Einstein (1879-1955) propôs que **a energia da radiação eletromagnética** deveria ser quantizada e a quantidade elementar que definia a luz era o fóton, isto é, E = hf, onde **E** é a energia do fóton, **h** é a constante de Planck e **f** a frequência da radiação.

Se um fóton **A** tem energia mais baixa que um fóton **B**, como seus comprimentos de onda **λ** estão relacionados?

a) $\lambda_A > \lambda_B$

b) $\lambda_A \geq \lambda_B$

c) $\lambda_A < \lambda_B$

d) $\lambda_A \leq \lambda_B$

## Q19 - P2 2023

Resposta: a) $\lambda_A > \lambda_B$

Comentários: Os fótons são as partículas que compõem a luz e podem ser definidos como pequenos "pacotes" que transportam a energia contida nas radiações eletromagnéticas. Segundo Einstein, um fóton deve possuir uma quantidade fixa de energia, definida pela seguinte equação:

$$E = hf$$

Nessa equação, $E$ é a energia pertencente ao fóton, $f$ é a frequência da radiação eletromagnética (Hz) e $h$ é a Constante de Planck, que possui valor de 6,63 x $10^{-34}$ J·s ou 4,14 x $10^{-15}$ eV·s.

Se $E_A < E_B$, então $hf_A < hf_B$.

Como para o fóton $f \cdot \lambda = c$ (velocidade da luz), temos que $f = c/\lambda$.

Substituindo:

$$\frac{hc}{\lambda_A} < \frac{hc}{\lambda_B} \rightarrow \frac{1}{\lambda_A} < \frac{1}{\lambda_B} \rightarrow \left(\frac{1}{\lambda_A}\right)^{-1} < \left(\frac{1}{\lambda_B}\right)^{-1} \rightarrow \lambda_A > \lambda_B$$

## Q18 - P1 2024

18) Assinale a afirmativa correta em relação à radiação emitida pelas estrelas.

a) O fluxo de energia emitido por uma estrela depende apenas de seu tamanho.

b) O fluxo de energia emitido por uma estrela é diretamente proporcional à temperatura de sua superfície.

c) A radiação eletromagnética emitida por uma estrela a uma determinada temperatura corresponde a uma única frequência do espectro eletromagnético.

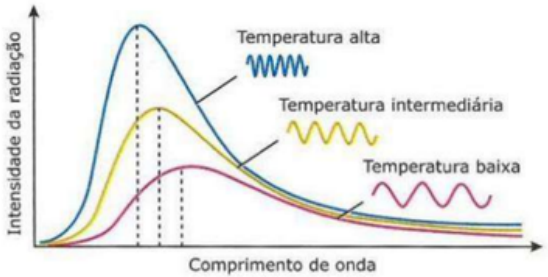
d) Uma estrela a uma determinada temperatura emite radiação com a mesma intensidade em todas as regiões do espectro eletromagnético e o pico de emissão está relacionado à sua temperatura.

e) Uma estrela em uma determinada temperatura emite radiação com intensidade diferente em múltiplas frequências do espectro eletromagnético e o pico de emissão está relacionado à sua temperatura.

## Q18 - P1 2024

Resposta: e) Uma estrela em uma determinada temperatura emite radiação com intensidade diferente em múltiplas frequências do espectro eletromagnético e o pico de emissão está relacionado à sua temperatura.

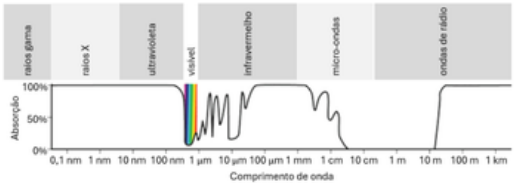
A figura a seguir traz os espectros para estrelas de temperaturas diferentes. A linha tracejada indica o pico da radiação.



# Resolução dos exercícios

## Q9 - P1 2025

9) A atmosfera terrestre não é igualmente transparente à radiação eletromagnética para todos os seus comprimentos de onda. O gráfico a seguir traz a absorção da radiação eletromagnética pela atmosfera terrestre em função do comprimento de onda.




Baseado neste gráfico e em seus conhecimentos, avalie as afirmações a seguir e assinale a alternativa correta.

I. Não é possível observar fenômenos de raios-X a partir da superfície terrestre;

II. O telescópio espacial James Webb permite observar o Universo em comprimentos de onda que não chegam até a superfície terrestre;

III. Podemos observar o Universo em micro-ondas a partir da superfície terrestre.

Estão corretas:

a) Todas as afirmações.

b) Apenas a I e II.

c) Apenas a II e III.

d) Apenas a I e III.

e) Nenhuma.

OLIMPÍADA BRASILEIRA DE ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA

# Resolução dos exercícios

## Q9 - P1 2025

Resposta: a) Todas as afirmações.

Comentários:

- O gráfico mostra que na região do raios-X a atmosfera é completamente opaca (100% de absorção).
- Por estar acima da atmosfera o James Webb, a radiação eletromagnética que chega até ele não sofre nehuma absorção.
- O gráfico mostra que existe uma região do micro-ondas em que a atmosfera é completamente transparente (0% de absorção).

## Q7 - P2 2025

7) O Sol emite a maior parte de sua radiação na faixa do visível, com pico em torno de 500 nm, enquanto um forno doméstico emite principalmente no infravermelho, com pico em torno de 2900 nm. A Lei de Wien relaciona o comprimento de onda do pico $\lambda_{max}$ com a temperatura T do corpo negro pela fórmula:

$$\lambda_{max} \cdot T = 2{,}9 \times 10^{-3} m \cdot K$$

Usando essa lei, calcule a temperatura aproximada do Sol e do forno.

a) Sol: ~3.000 K; forno: ~500 K

b) Sol: ~5.800 K; forno: ~1.000 K

c) Sol: ~5.800 K; forno: ~1.500 K

d) Sol: ~4.200 K; forno: ~1.500 K

e) Sol: ~10.000 K; forno: ~1.000 K

Resposta: b) Sol: ~5.800 K; forno: ~1.000 K

# Resolução dos exercícios

## Q7 - P2 2025

Comentários:

Usando a Lei de Wien: lambda máximo × temperatura = $2{,}9 \times 10^{-3}$ m·K.

Para o Sol:

$$\text{lambda máximo} = 500 \text{ nm} = 500 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$\text{Temperatura} = 2{,}9 \times 10^{-3} \div (500 \times 10^{-9}) \approx 5800 \text{ K}$$

Para o forno:

$$\text{lambda máximo} = 2900 \text{ nm} = 2900 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$\text{Temperatura} = 2{,}9 \times 10^{-3} \div (2900 \times 10^{-9}) \approx 1000 \text{ K}$$

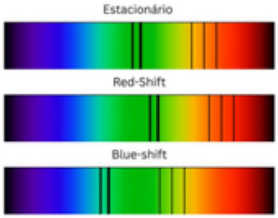
Portanto, a alternativa correta é a) Sol: 5800 K; forno: ~1000 K.

OLIMPÍADA BRASILEIRA DE ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA

# Resolução dos exercícios

## Q18 - P2 2025

18) Quando se observa o espectro de uma estrela é comum que as linhas espectrais estejam deslocadas. Veja o exemplo de deslocamento de linhas na figura a seguir.




Uma astrônoma mede o espectro de uma estrela distante e nota que as linhas espectrais do Hidrogênio estão deslocadas para comprimentos de onda menores do que os medidos em laboratório.

O que isso indica sobre o movimento da estrela em relação a nós e qual dos espectros do exemplo representa melhor o que foi observado pela astrônoma?

a) A estrela está se aproximando de nós (blueshift).
b) A estrela está se afastando de nós (redshift).
c) A estrela está se afastando de nós (blueshift).
d) A estrela está se aproximando de nós (redshift).
e) A estrela está parada em relação ao laboratório (estacionário).

## Q18 - P2 2025

Resposta: a) A estrela está se aproximando de nós (blueshift).
Comentários:
Como as linhas espectrais estão deslocadas para comprimentos de onda menores (blueshift), a estrela está se aproximando de nós.