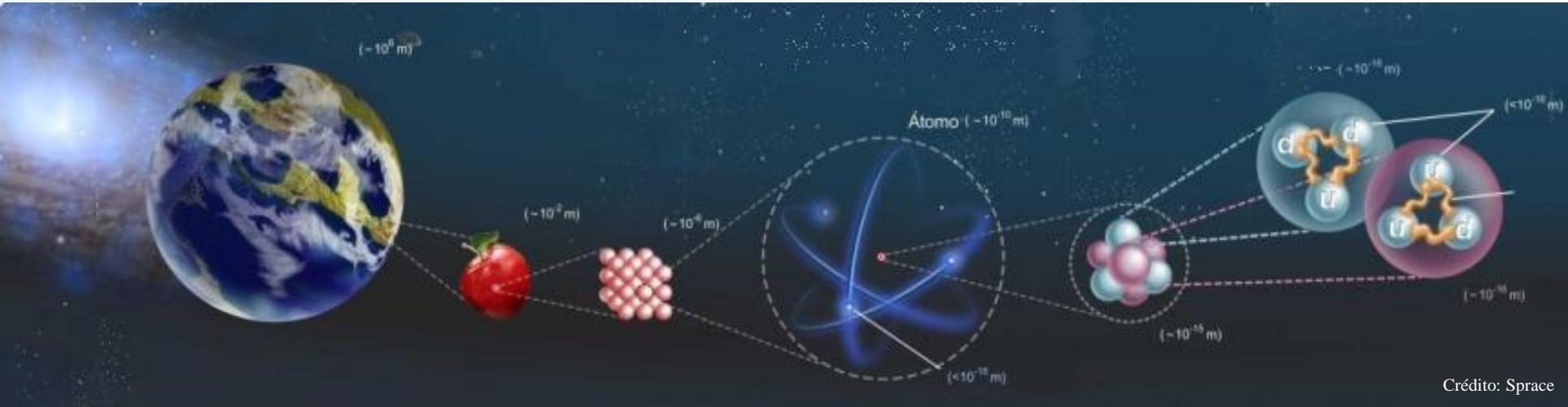




Universidade Federal do ABC

# BCK0103: FÍSICA QUÂNTICA

## 1º Quadrimestre de 2024



Prof. Marcelo Augusto Leigui de Oliveira  
CCNH – UFABC  
leigui@ufabc.edu.br

## Radiação de corpo negro



Emissão de *radiação térmica* por objetos opacos.

## Radiação de corpo negro



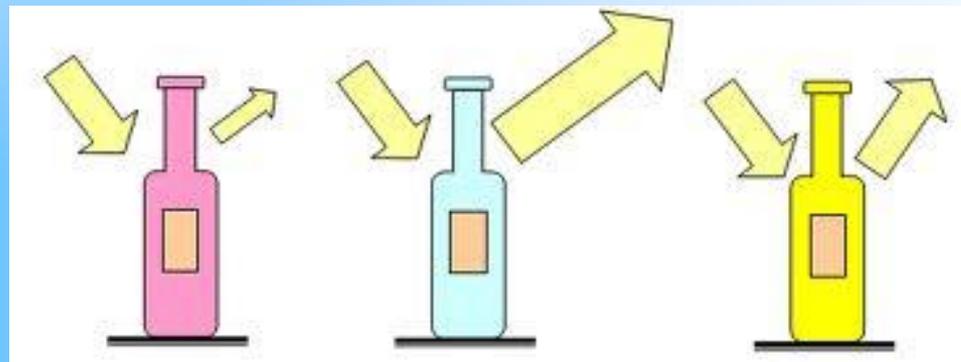
Emissão de *radiação térmica* por objetos opacos.



# Radiação de corpo negro



Emissão de *radiação térmica* por objetos opacos.



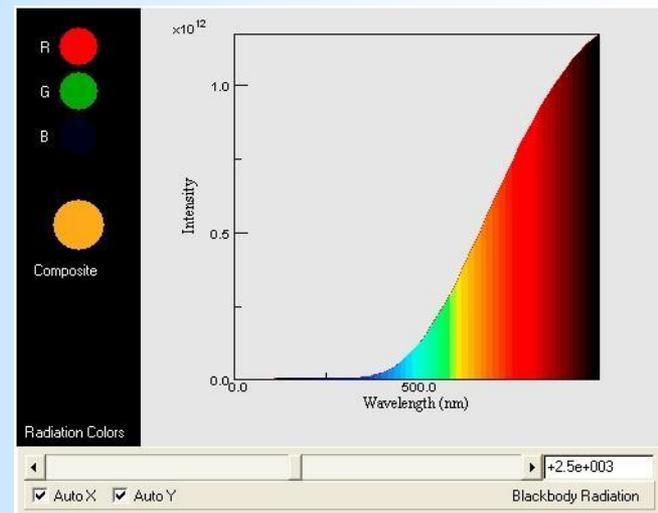
**1860** Gustav R. Kirchhoff formula que:  
No equilíbrio térmico (à temperatura T):

$$\delta\epsilon_{\lambda}^{abs} = \delta\epsilon_{\lambda}^{emit}$$

# Radiação de corpo negro



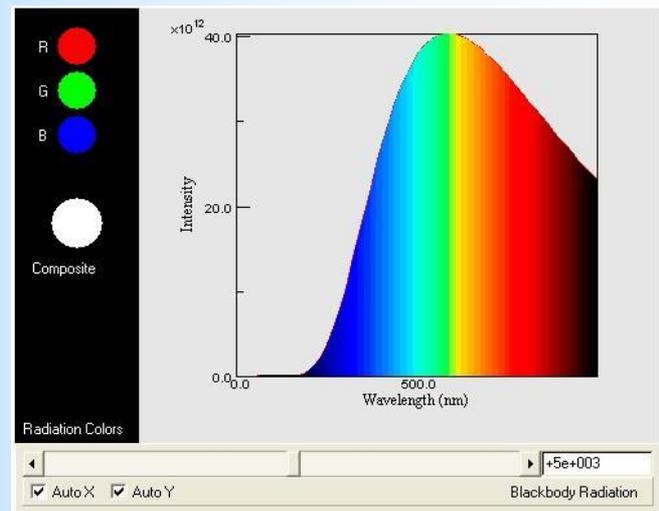
Emissão de *radiação térmica* por objetos opacos.



# Radiação de corpo negro



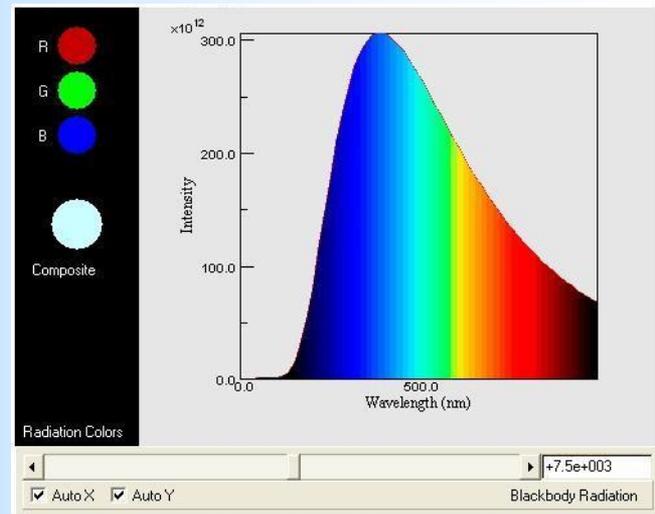
Emissão de *radiação térmica* por objetos opacos.



# Radiação de corpo negro



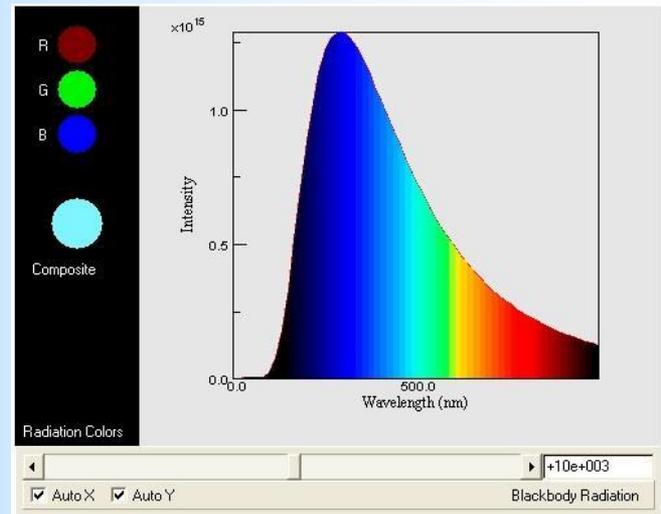
Emissão de *radiação térmica* por objetos opacos.



# Radiação de corpo negro



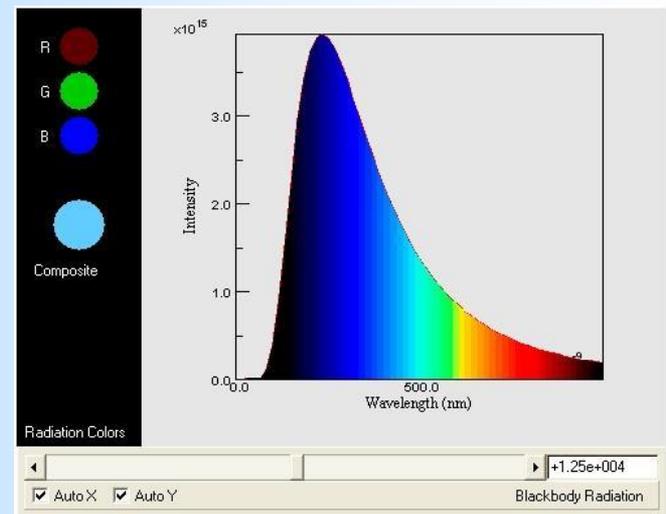
Emissão de *radiação térmica* por objetos opacos.



# Radiação de corpo negro



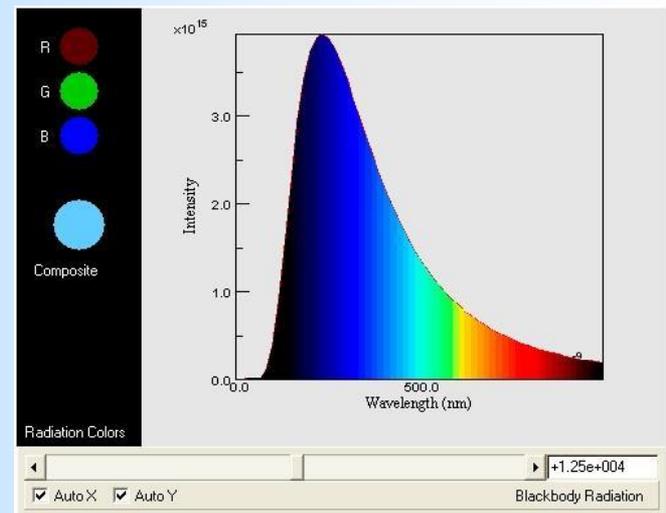
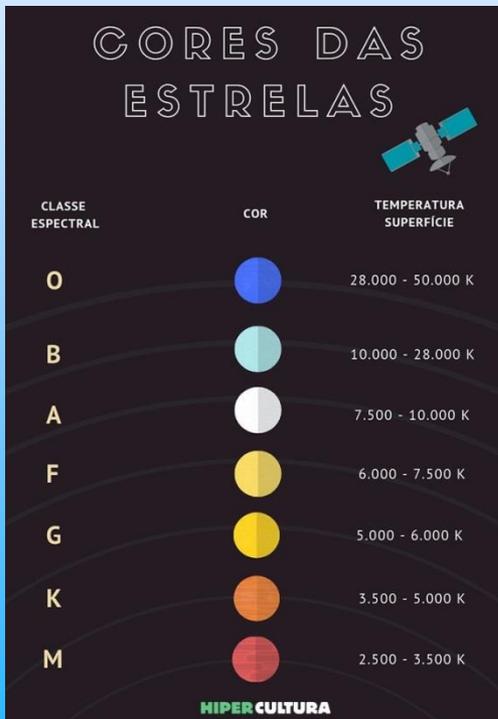
Emissão de *radiação térmica* por objetos opacos.



# Radiação de corpo negro



Emissão de *radiação térmica* por objetos opacos.



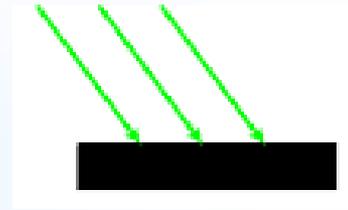
# Radiação de corpo negro

**Corpo negro (ideal):**

# Radiação de corpo negro

**Corpo negro** (ideal):

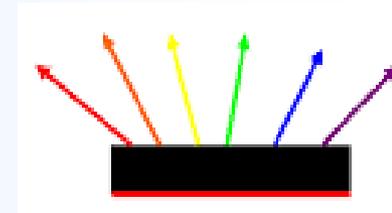
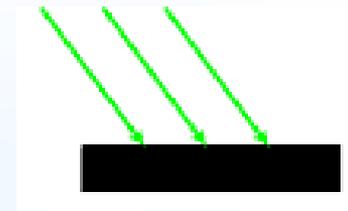
- absorve toda a radiação incidente (sem refletir):



# Radiação de corpo negro

**Corpo negro** (ideal):

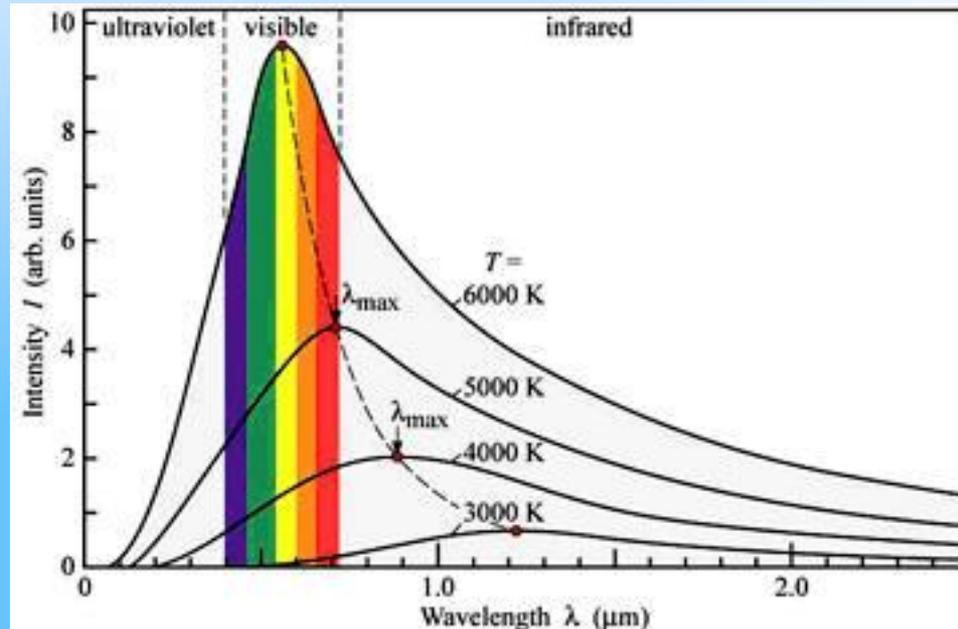
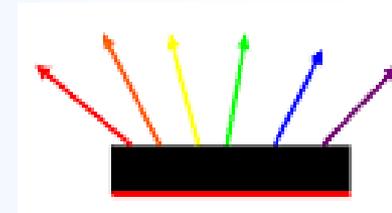
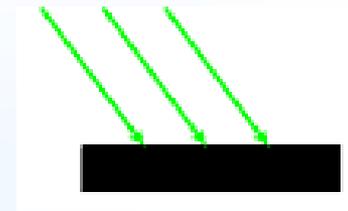
- absorve toda a radiação incidente (sem refletir):
- quando aquecido emite radiação somente como resultado das vibrações térmicas de seus átomos:



# Radiação de corpo negro

**Corpo negro (ideal):**

- absorve toda a radiação incidente (sem refletir):
- quando aquecido emite radiação somente como resultado das vibrações térmicas de seus átomos:



Espectro de corpo negro: **contínuo**.

# Radiação de corpo negro

# Radiação de corpo negro

**1879** Stefan descobre experimentalmente:



Joseph Stefan (1835-1893)

# Radiação de corpo negro



Ludwig Eduard Boltzmann  
(1844-1906)

**1879** Stefan descobre experimentalmente:

**1884** Boltzmann deduz teoricamente:



Joseph Stefan (1835-1893)

# Radiação de corpo negro



Ludwig Eduard Boltzmann  
(1844-1906)

**1879** Stefan descobre experimentalmente:

**1884** Boltzmann deduz teoricamente:



Joseph Stefan (1835-1893)

Lei de Stefan-Boltzmann:

$$R = \sigma T^4$$

# Radiação de corpo negro



Ludwig Eduard Boltzmann  
(1844-1906)

**1879** Stefan descobre experimentalmente:

**1884** Boltzmann deduz teoricamente:



Joseph Stefan (1835-1893)

Lei de Stefan-Boltzmann:

$$R = \sigma T^4, \quad \text{onde } \sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \text{ é a constante de Stefan-Boltzmann}$$

# Radiação de corpo negro



Ludwig Eduard Boltzmann  
(1844-1906)

**1879** Stefan descobre experimentalmente:

**1884** Boltzmann deduz teoricamente:



Joseph Stefan (1835-1893)

## Lei de Stefan-Boltzmann:

$$R = \sigma T^4, \quad \text{onde } \sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \text{ é a constante de Stefan-Boltzmann}$$

A taxa de emissão de radiação por unidade de área (potência por unidade de área) de objetos aquecidos é proporcional à quarta potência da temperatura.

# Radiação de corpo negro

Lei de Stefan-Boltzmann:

$$R = \sigma T^4, \quad \text{onde } \sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \text{ é a constante de Stefan-Boltzmann}$$

# Radiação de corpo negro

Lei de Stefan-Boltzmann:

$$R = \sigma T^4, \quad \text{onde } \sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \text{ é a constante de Stefan-Boltzmann}$$

**Exemplo:** Qual a razão das intensidades ( $\text{W/m}^2$ ) das radiações de corpo negro emitidas pelo Sol ( $T_S = 5800 \text{ K}$ ) e pela Terra ( $T_T = 300 \text{ K}$ )?

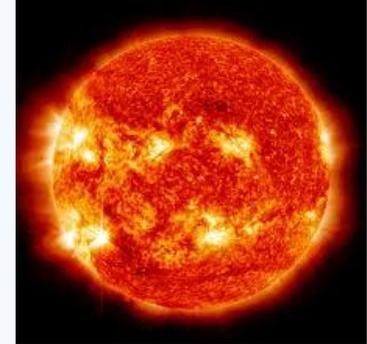
# Radiação de corpo negro

Lei de Stefan-Boltzmann:

$R = \sigma T^4$ , onde  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$  é a constante de Stefan–Boltzmann

**Exemplo:** Qual a razão das intensidades ( $\text{W/m}^2$ ) das radiações de corpo negro emitidas pelo Sol ( $T_S = 5800 \text{ K}$ ) e pela Terra ( $T_T = 300 \text{ K}$ )?

$$R_S = \sigma T_S^4$$



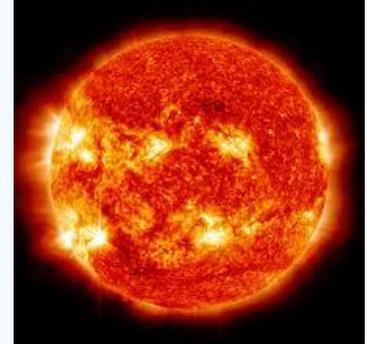
# Radiação de corpo negro

Lei de Stefan-Boltzmann:

$R = \sigma T^4$ , onde  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$  é a constante de Stefan–Boltzmann

**Exemplo:** Qual a razão das intensidades ( $\text{W/m}^2$ ) das radiações de corpo negro emitidas pelo Sol ( $T_S = 5800 \text{ K}$ ) e pela Terra ( $T_T = 300 \text{ K}$ )?

$$R_S = \sigma T_S^4 = 5,67 \times 10^{-8} \cdot 5800^4$$



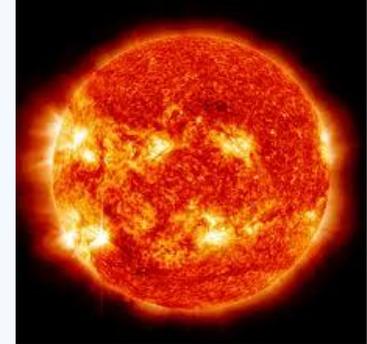
# Radiação de corpo negro

Lei de Stefan-Boltzmann:

$R = \sigma T^4$ , onde  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$  é a constante de Stefan–Boltzmann

**Exemplo:** Qual a razão das intensidades ( $\text{W/m}^2$ ) das radiações de corpo negro emitidas pelo Sol ( $T_S = 5800 \text{ K}$ ) e pela Terra ( $T_T = 300 \text{ K}$ )?

$$R_S = \sigma T_S^4 = 5,67 \times 10^{-8} \cdot 5800^4 = 6,4 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$$



# Radiação de corpo negro

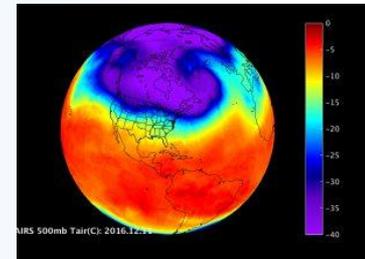
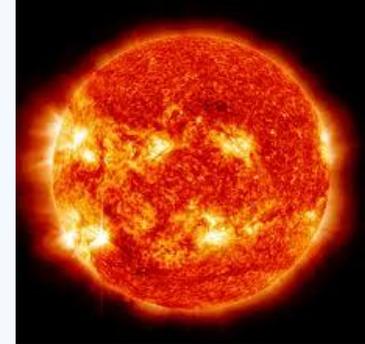
Lei de Stefan-Boltzmann:

$R = \sigma T^4$ , onde  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$  é a constante de Stefan–Boltzmann

**Exemplo:** Qual a razão das intensidades ( $\text{W/m}^2$ ) das radiações de corpo negro emitidas pelo Sol ( $T_S = 5800 \text{ K}$ ) e pela Terra ( $T_T = 300 \text{ K}$ )?

$$R_S = \sigma T_S^4 = 5,67 \times 10^{-8} \cdot 5800^4 = 6,4 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$$

$$R_T = \sigma T_T^4$$



# Radiação de corpo negro

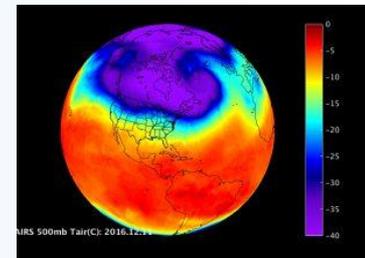
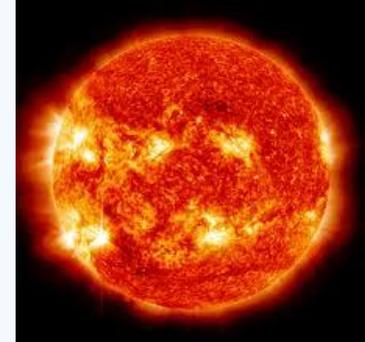
Lei de Stefan-Boltzmann:

$R = \sigma T^4$ , onde  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$  é a constante de Stefan–Boltzmann

**Exemplo:** Qual a razão das intensidades ( $\text{W/m}^2$ ) das radiações de corpo negro emitidas pelo Sol ( $T_S = 5800 \text{ K}$ ) e pela Terra ( $T_T = 300 \text{ K}$ )?

$$R_S = \sigma T_S^4 = 5,67 \times 10^{-8} \cdot 5800^4 = 6,4 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$$

$$R_T = \sigma T_T^4 = 5,67 \times 10^{-8} \cdot 300^4$$



# Radiação de corpo negro

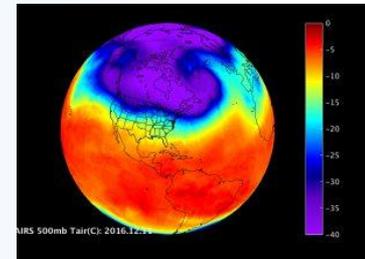
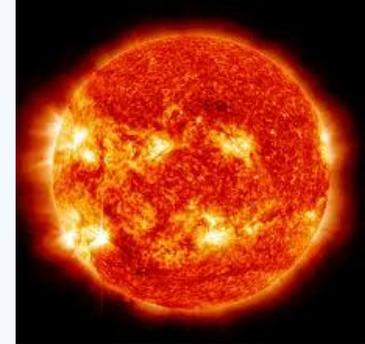
Lei de Stefan-Boltzmann:

$R = \sigma T^4$ , onde  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$  é a constante de Stefan–Boltzmann

**Exemplo:** Qual a razão das intensidades ( $\text{W/m}^2$ ) das radiações de corpo negro emitidas pelo Sol ( $T_S = 5800 \text{ K}$ ) e pela Terra ( $T_T = 300 \text{ K}$ )?

$$R_S = \sigma T_S^4 = 5,67 \times 10^{-8} \cdot 5800^4 = 6,4 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$$

$$R_T = \sigma T_T^4 = 5,67 \times 10^{-8} \cdot 300^4 = 459 \text{ W/m}^2$$



# Radiação de corpo negro

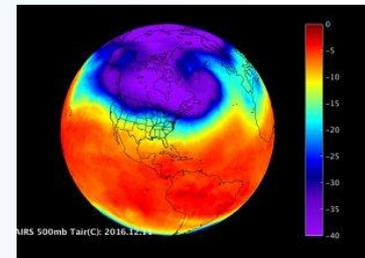
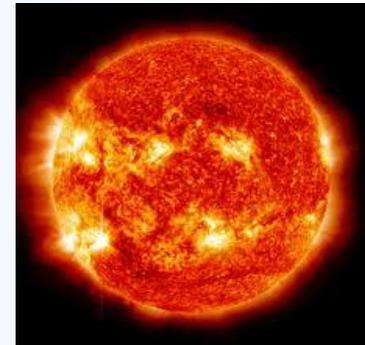
Lei de Stefan-Boltzmann:

$$R = \sigma T^4, \quad \text{onde } \sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \text{ é a constante de Stefan-Boltzmann}$$

**Exemplo:** Qual a razão das intensidades ( $\text{W/m}^2$ ) das radiações de corpo negro emitidas pelo Sol ( $T_S = 5800 \text{ K}$ ) e pela Terra ( $T_T = 300 \text{ K}$ )?

$$R_S = 6,4 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$$

$$R_T = 459 \text{ W/m}^2$$



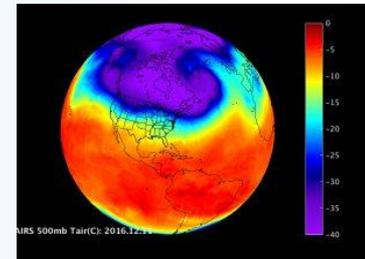
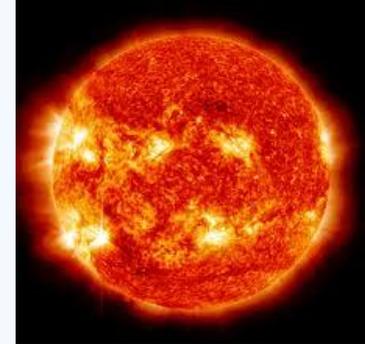
# Radiação de corpo negro

Lei de Stefan-Boltzmann:

$$R = \sigma T^4, \quad \text{onde } \sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \text{ é a constante de Stefan-Boltzmann}$$

**Exemplo:** Qual a razão das intensidades ( $\text{W/m}^2$ ) das radiações de corpo negro emitidas pelo Sol ( $T_S = 5800 \text{ K}$ ) e pela Terra ( $T_T = 300 \text{ K}$ )?

$$\left. \begin{array}{l} R_S = 6,4 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2 \\ \\ R_T = 459 \text{ W/m}^2 \end{array} \right\} \frac{R_S}{R_T}$$



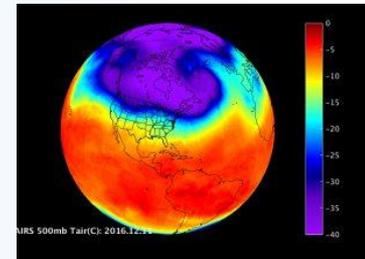
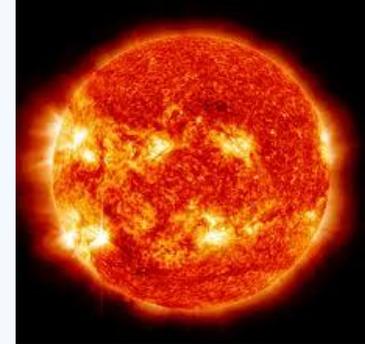
# Radiação de corpo negro

Lei de Stefan-Boltzmann:

$$R = \sigma T^4, \quad \text{onde } \sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \text{ é a constante de Stefan-Boltzmann}$$

**Exemplo:** Qual a razão das intensidades ( $\text{W/m}^2$ ) das radiações de corpo negro emitidas pelo Sol ( $T_S = 5800 \text{ K}$ ) e pela Terra ( $T_T = 300 \text{ K}$ )?

$$\left. \begin{array}{l} R_S = 6,4 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2 \\ \\ R_T = 459 \text{ W/m}^2 \end{array} \right\} \frac{R_S}{R_T} = \frac{6,4 \cdot 10^7}{459}$$



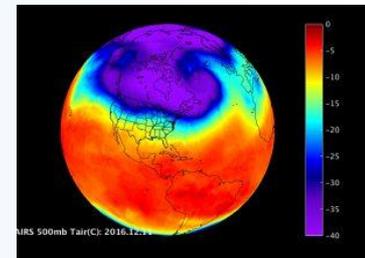
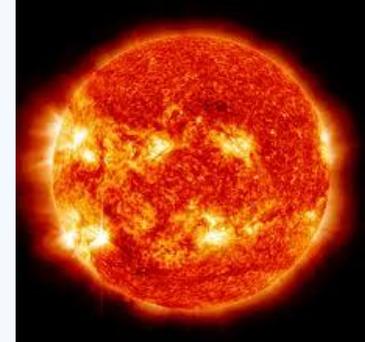
# Radiação de corpo negro

Lei de Stefan-Boltzmann:

$$R = \sigma T^4, \quad \text{onde } \sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \text{ é a constante de Stefan-Boltzmann}$$

**Exemplo:** Qual a razão das intensidades ( $\text{W/m}^2$ ) das radiações de corpo negro emitidas pelo Sol ( $T_S = 5800 \text{ K}$ ) e pela Terra ( $T_T = 300 \text{ K}$ )?

$$\left. \begin{array}{l} R_S = 6,4 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2 \\ \\ R_T = 459 \text{ W/m}^2 \end{array} \right\} \frac{R_S}{R_T} = \frac{6,4 \cdot 10^7}{459} = 1,4 \cdot 10^5$$



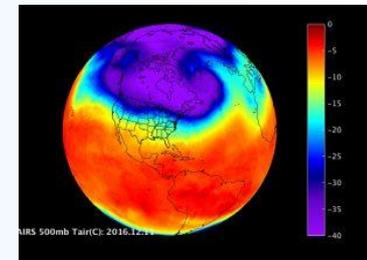
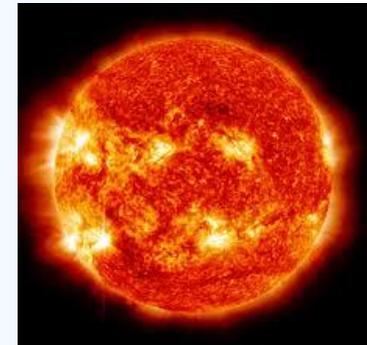
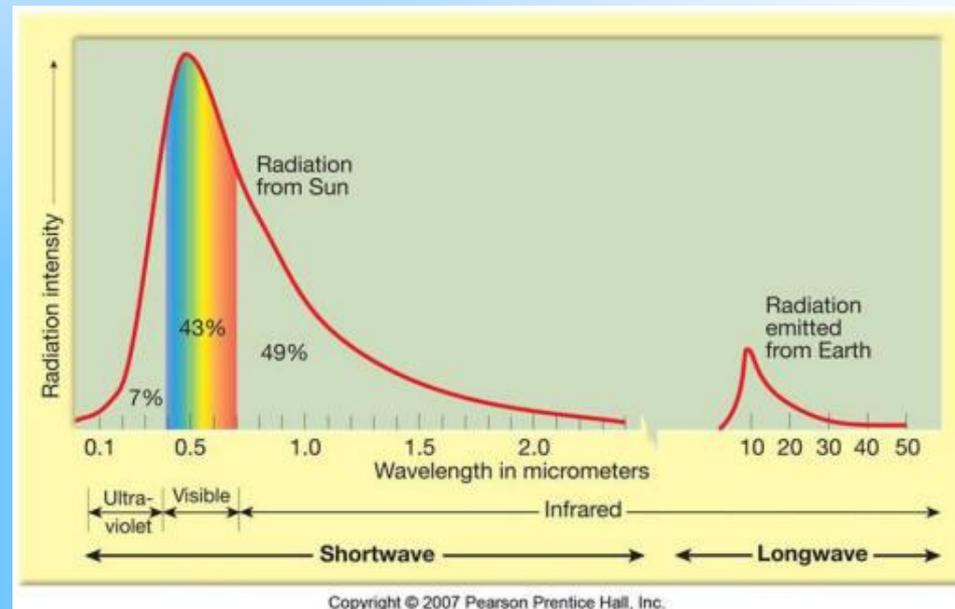
# Radiação de corpo negro

Lei de Stefan-Boltzmann:

$R = \sigma T^4$ , onde  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$  é a constante de Stefan–Boltzmann

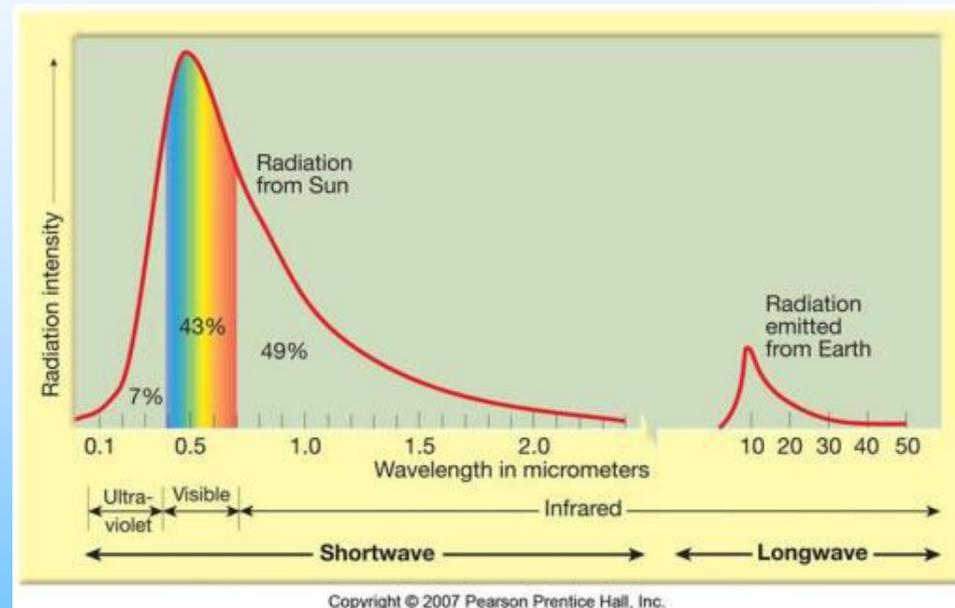
**Exemplo:** Qual a razão das intensidades ( $\text{W/m}^2$ ) das radiações de corpo negro emitidas pelo Sol ( $T_S = 5800 \text{ K}$ ) e pela Terra ( $T_T = 300 \text{ K}$ )?

$$\frac{R_S}{R_T} = 1,4 \cdot 10^5$$



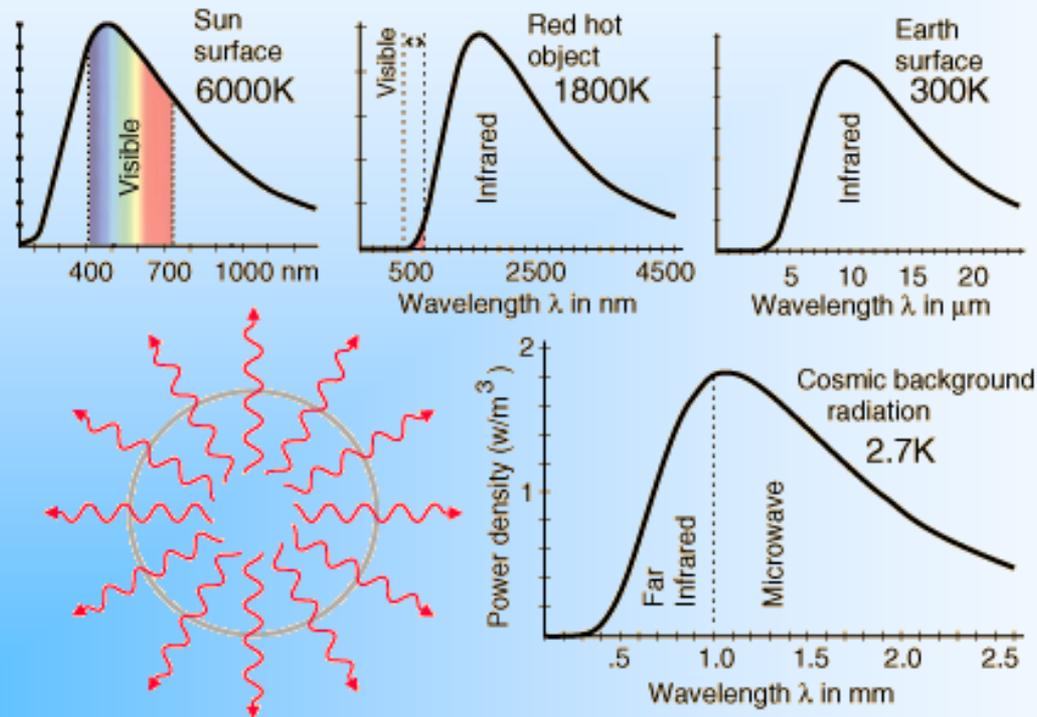
# Radiação de corpo negro

Note agora os comprimentos de onda da máxima emissão ( $\lambda^{\max}$ ):



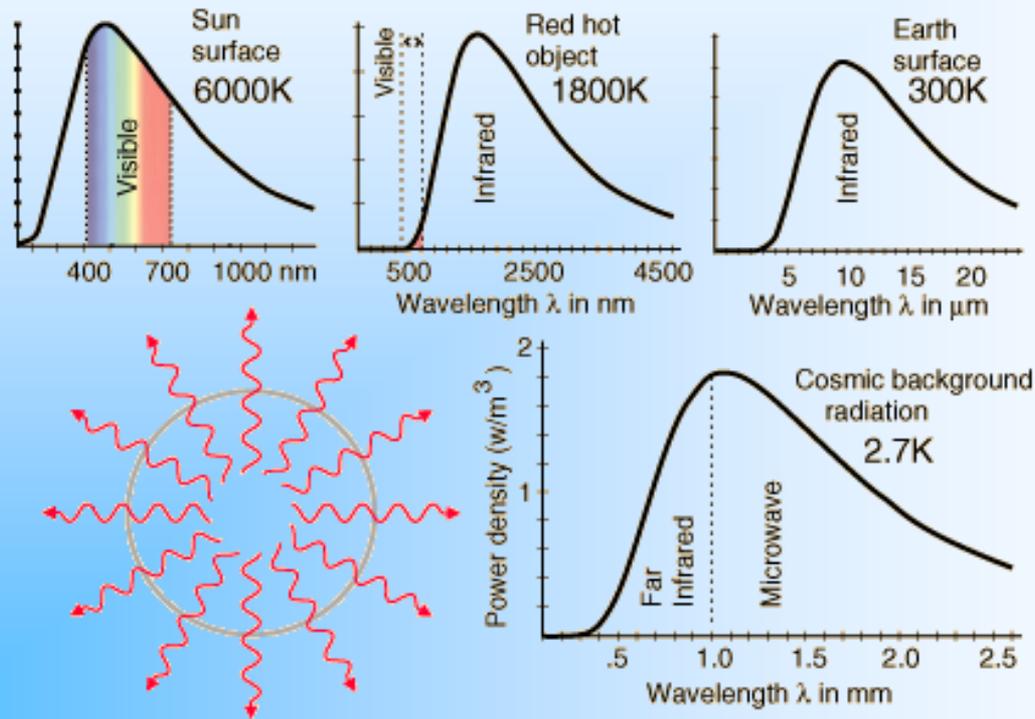
# Radiação de corpo negro

Note agora os comprimentos de onda da máxima emissão ( $\lambda^{\max}$ ):



# Radiação de corpo negro

Note agora os comprimentos de onda da máxima emissão ( $\lambda^{\max}$ ):



Observamos que:  $\lambda^{\max} \propto \frac{1}{T}$

# Radiação de corpo negro

**1893** Wien formula a lei do deslocamento:

$$\lambda^{\max} = \frac{0,002898[\text{m} \cdot \text{K}]}{T}$$



Wilhelm Wien  
(1864-1928)

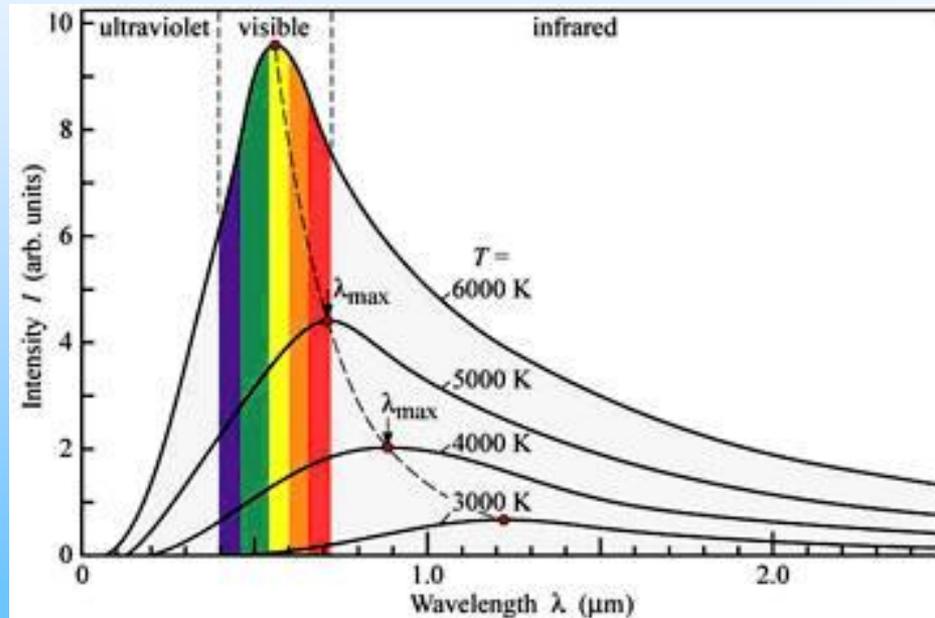
# Radiação de corpo negro

1893 Wien formula a lei do deslocamento:

$$\lambda^{\max} = \frac{0,002898[\text{m} \cdot \text{K}]}{T}$$



Wilhelm Wien  
(1864-1928)



$$T_1 > T_2 > T_3 \Rightarrow \lambda_1^{\max} < \lambda_2^{\max} < \lambda_3^{\max}$$

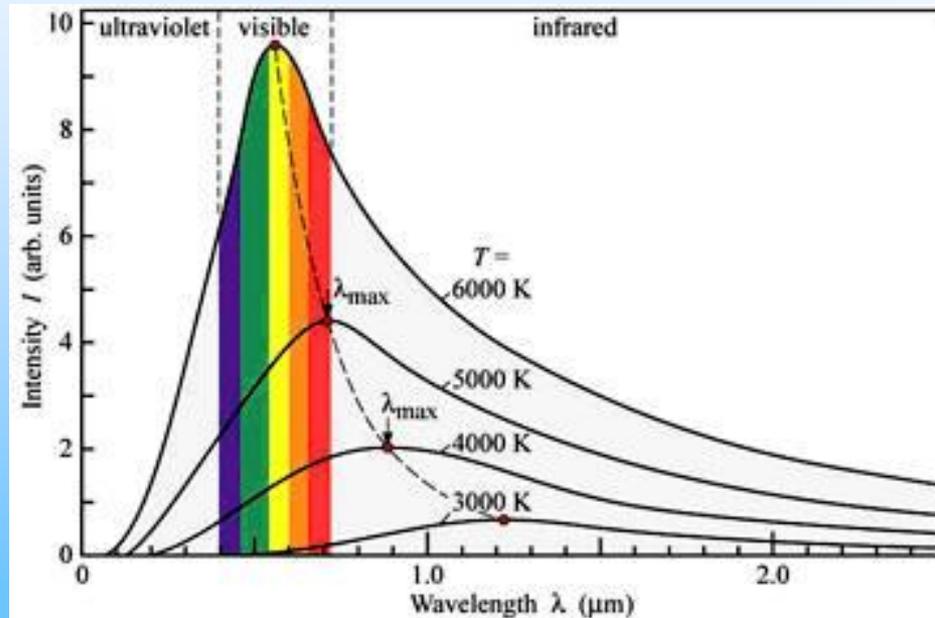
# Radiação de corpo negro



Wilhelm Wien  
(1864-1928)

1893 Wien formula a lei do deslocamento:

$$\lambda^{\max} = \frac{0,002898[\text{m} \cdot \text{K}]}{T}$$



$$T_1 > T_2 > T_3 \Rightarrow \lambda_1^{\max} < \lambda_2^{\max} < \lambda_3^{\max}$$

branco - azulado ← amarelo ← laranja ← vermelho ← infravermelho

# Radiação de corpo negro

1893 Wien formula a lei do deslocamento:

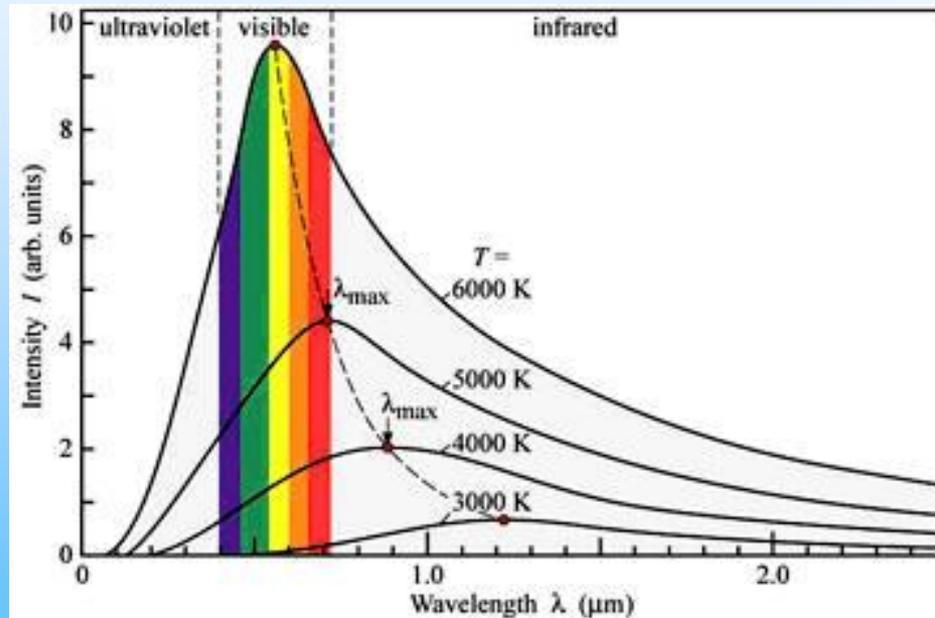
$$\lambda_{\max} = \frac{0,002898[\text{m} \cdot \text{K}]}{T}$$



Wilhelm Wien  
(1864-1928)



1911



$$T_1 > T_2 > T_3 \Rightarrow \lambda_1^{\max} < \lambda_2^{\max} < \lambda_3^{\max}$$

branco - azulado ← amarelo ← laranja ← vermelho ← infravermelho

# Radiação de corpo negro

**1893** Wien formula a lei do deslocamento:

$$\lambda^{\max} = \frac{0,002898[\text{m} \cdot \text{K}]}{T}$$

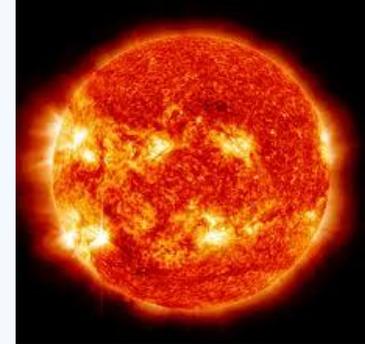


Wilhelm Wien  
(1864-1928)



**1911**

**Exemplo:** A intensidade máxima de radiação solar ocorre em  $\lambda^{\max} = 490 \text{ nm}$ , qual é a temperatura da superfície solar?



# Radiação de corpo negro

1893 Wien formula a lei do deslocamento:

$$\lambda^{\max} = \frac{0,002898[\text{m} \cdot \text{K}]}{T}$$



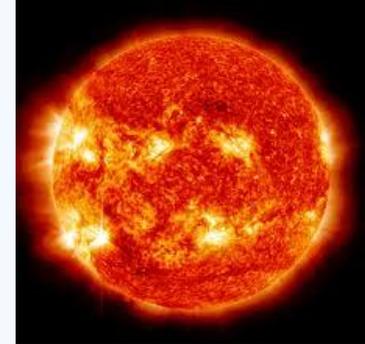
Wilhelm Wien  
(1864-1928)



1911

**Exemplo:** A intensidade máxima de radiação solar ocorre em  $\lambda^{\max} = 490 \text{ nm}$ , qual é a temperatura da superfície solar?

$$\lambda^{\max} = 490 \text{ nm}$$



# Radiação de corpo negro

1893 Wien formula a lei do deslocamento:

$$\lambda^{\max} = \frac{0,002898[\text{m} \cdot \text{K}]}{T}$$



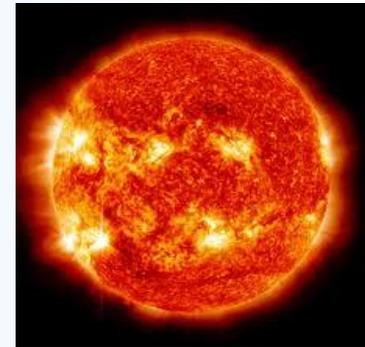
Wilhelm Wien  
(1864-1928)



1911

**Exemplo:** A intensidade máxima de radiação solar ocorre em  $\lambda^{\max} = 490 \text{ nm}$ , qual é a temperatura da superfície solar?

$$\lambda^{\max} = 490 \text{ nm} = 4,9 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$



# Radiação de corpo negro

1893 Wien formula a lei do deslocamento:

$$\lambda^{\max} = \frac{0,002898[\text{m} \cdot \text{K}]}{T}$$



Wilhelm Wien  
(1864-1928)

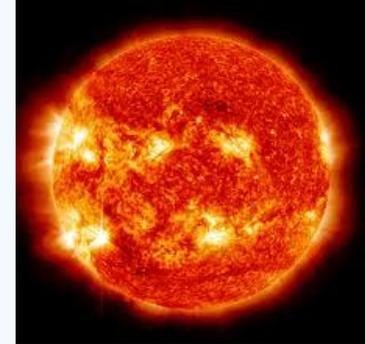


1911

**Exemplo:** A intensidade máxima de radiação solar ocorre em  $\lambda^{\max} = 490 \text{ nm}$ , qual é a temperatura da superfície solar?

$$\lambda^{\max} = 490 \text{ nm} = 4,9 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda^{\max} = \frac{0,002898}{T}$$



# Radiação de corpo negro

1893 Wien formula a lei do deslocamento:

$$\lambda^{\max} = \frac{0,002898[\text{m} \cdot \text{K}]}{T}$$



Wilhelm Wien  
(1864-1928)

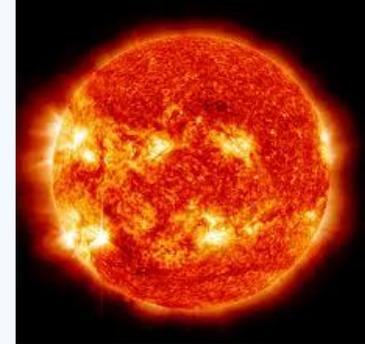


1911

**Exemplo:** A intensidade máxima de radiação solar ocorre em  $\lambda^{\max} = 490 \text{ nm}$ , qual é a temperatura da superfície solar?

$$\lambda^{\max} = 490 \text{ nm} = 4,9 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda^{\max} = \frac{0,002898}{T} \Rightarrow T = \frac{0,002898}{\lambda^{\max}}$$



# Radiação de corpo negro

1893 Wien formula a lei do deslocamento:

$$\lambda^{\max} = \frac{0,002898[\text{m} \cdot \text{K}]}{T}$$



Wilhelm Wien  
(1864-1928)

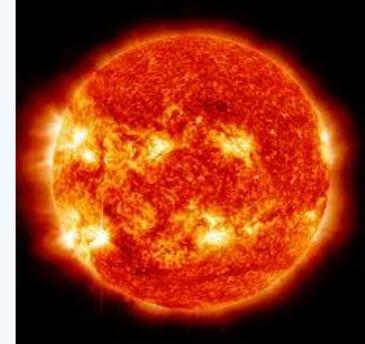


1911

**Exemplo:** A intensidade máxima de radiação solar ocorre em  $\lambda^{\max} = 490 \text{ nm}$ , qual é a temperatura da superfície solar?

$$\lambda^{\max} = 490 \text{ nm} = 4,9 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda^{\max} = \frac{0,002898}{T} \Rightarrow T = \frac{0,002898}{\lambda^{\max}} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{4,9 \cdot 10^{-7}}$$



# Radiação de corpo negro

1893 Wien formula a lei do deslocamento:

$$\lambda^{\max} = \frac{0,002898[\text{m} \cdot \text{K}]}{T}$$



Wilhelm Wien  
(1864-1928)

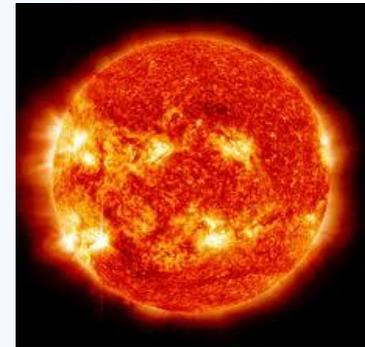


1911

**Exemplo:** A intensidade máxima de radiação solar ocorre em  $\lambda^{\max} = 490 \text{ nm}$ , qual é a temperatura da superfície solar?

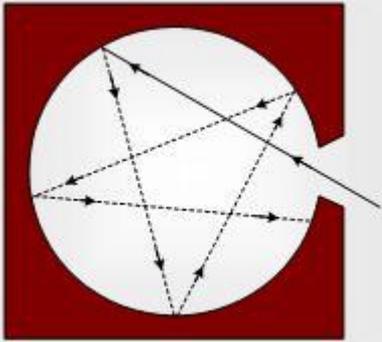
$$\lambda^{\max} = 490 \text{ nm} = 4,9 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda^{\max} = \frac{0,002898}{T} \Rightarrow T = \frac{0,002898}{\lambda^{\max}} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{4,9 \cdot 10^{-7}} = 5914 \text{ K}$$



# Radiação de corpo negro

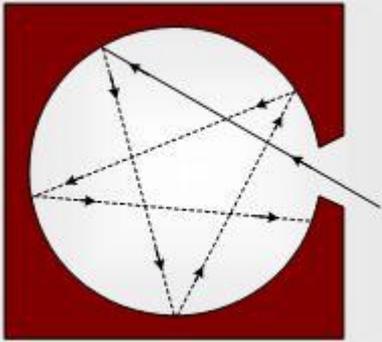
**1860** Gustav Kirchhoff sugere que um orifício numa cavidade aquecida à temperatura uniforme deve ter espectro de corpo negro:



Gustav Robert Kirchhoff  
(1824-1887)

# Radiação de corpo negro

**1860** Gustav Kirchhoff sugere que um orifício numa cavidade aquecida à temperatura uniforme deve ter espectro de corpo negro:



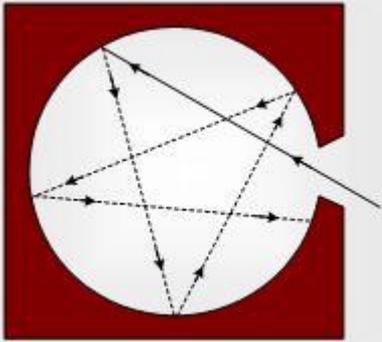
$R(\lambda) = \left(\frac{c}{4}\right) u(\lambda)$ , onde  $u(\lambda)$  é a densidade de energia.



Gustav Robert Kirchhoff  
(1824-1887)

# Radiação de corpo negro

**1860** Gustav Kirchhoff sugere que um orifício numa cavidade aquecida à temperatura uniforme deve ter espectro de corpo negro:

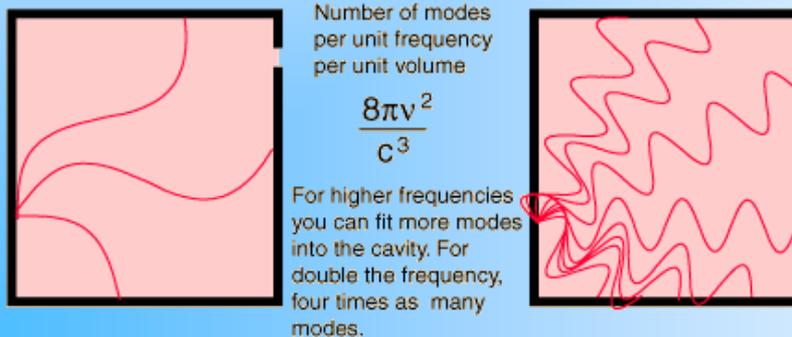


$R(\lambda) = \left(\frac{c}{4}\right) u(\lambda)$ , onde  $u(\lambda)$  é a densidade de energia.



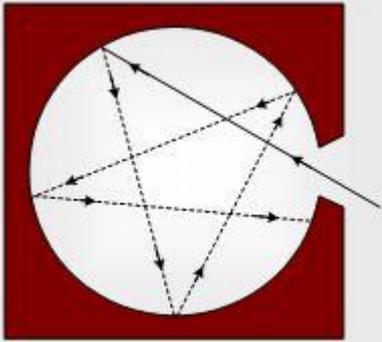
Gustav Robert Kirchhoff  
(1824-1887)

Fazendo-se uma contagem dos modos de ondas estacionárias:



# Radiação de corpo negro

1860 Gustav Kirchhoff sugere que um orifício numa cavidade aquecida à temperatura uniforme deve ter espectro de corpo negro:

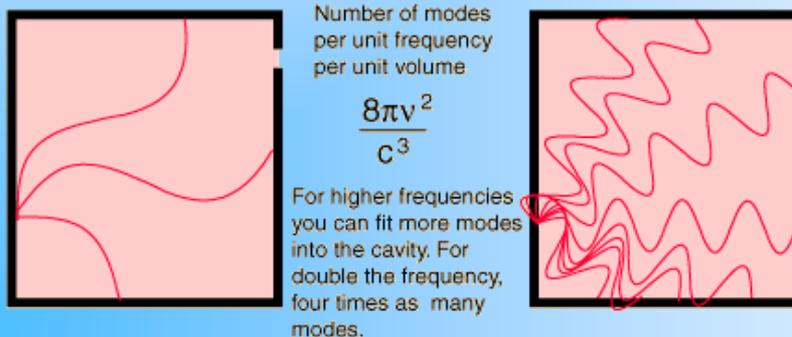


$R(\lambda) = \left(\frac{c}{4}\right) u(\lambda)$ , onde  $u(\lambda)$  é a densidade de energia.



Gustav Robert Kirchhoff  
(1824-1887)

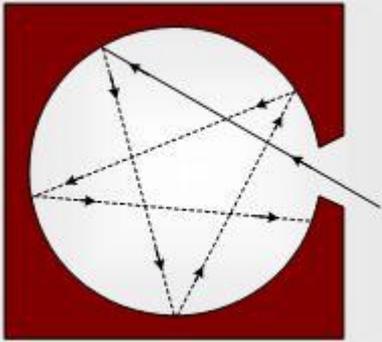
Fazendo-se uma contagem dos modos de ondas estacionárias,



vem:  $u(\lambda) = n(\lambda)kT = \frac{8\pi kT}{\lambda^4}$

# Radiação de corpo negro

**1860** Gustav Kirchhoff sugere que um orifício numa cavidade aquecida à temperatura uniforme deve ter espectro de corpo negro:

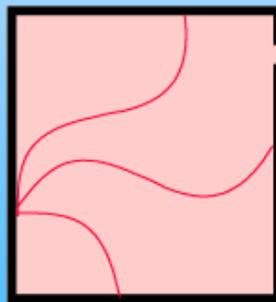


$R(\lambda) = \left(\frac{c}{4}\right) u(\lambda)$ , onde  $u(\lambda)$  é a densidade de energia.



Gustav Robert Kirchhoff  
(1824-1887)

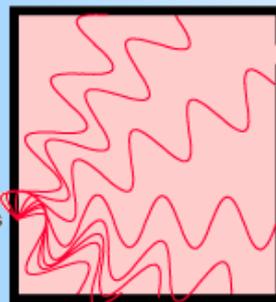
Fazendo-se uma contagem dos modos de ondas estacionárias,



Number of modes  
per unit frequency  
per unit volume

$$\frac{8\pi\nu^2}{c^3}$$

For higher frequencies  
you can fit more modes  
into the cavity. For  
double the frequency,  
four times as many  
modes.



Lord Rayleigh (John Strutt)  
(1842-1919)



James Jeans  
(1877-1946)

vem:  $u(\lambda) = n(\lambda)kT = \frac{8\pi kT}{\lambda^4}$ , que é a fórmula de Rayleigh & Jeans.

# Radiação de corpo negro

Mas a fórmula de Rayleigh & Jeans tinha um probleminha ...

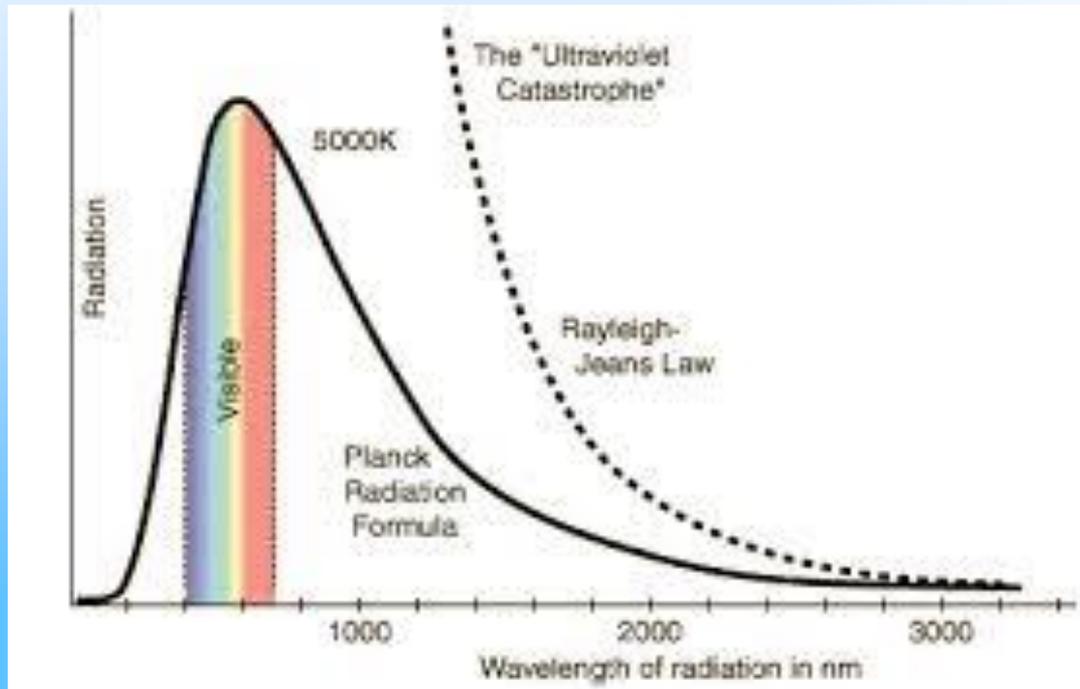
$$u(\lambda) = \frac{8\pi kT}{\lambda^4}$$



Lord Rayleigh (John Strutt)  
(1842-1919)



James Jeans



*A catástrofe do ultravioleta!*

# Radiação de corpo negro

Mas a fórmula de Rayleigh & Jeans tinha um probleminha ...

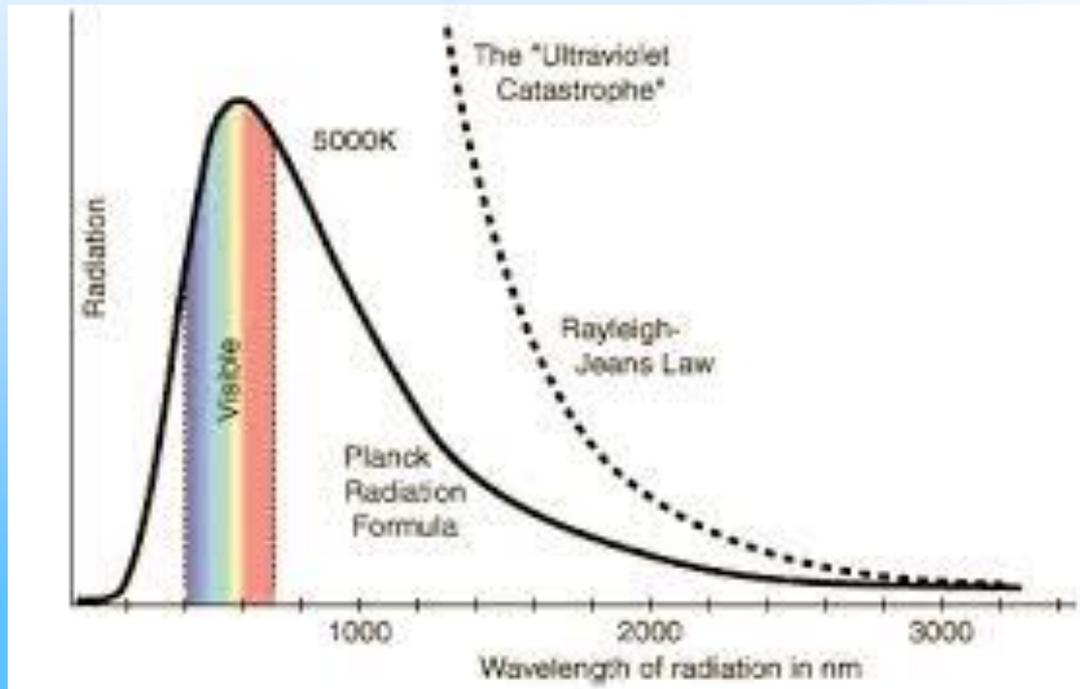
$$u(\lambda) = \frac{8\pi kT}{\lambda^4}$$



Lord Rayleigh (John Strutt)  
(1842-1919)



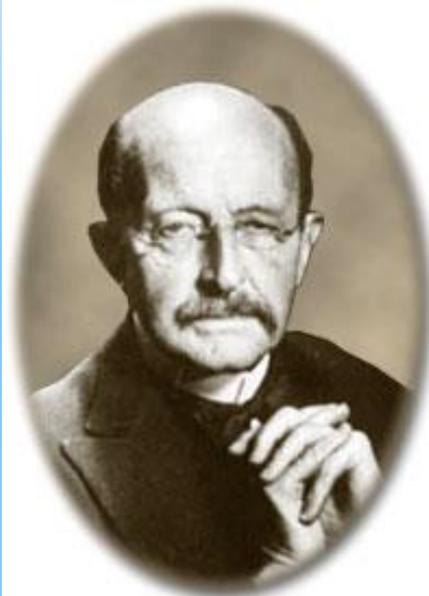
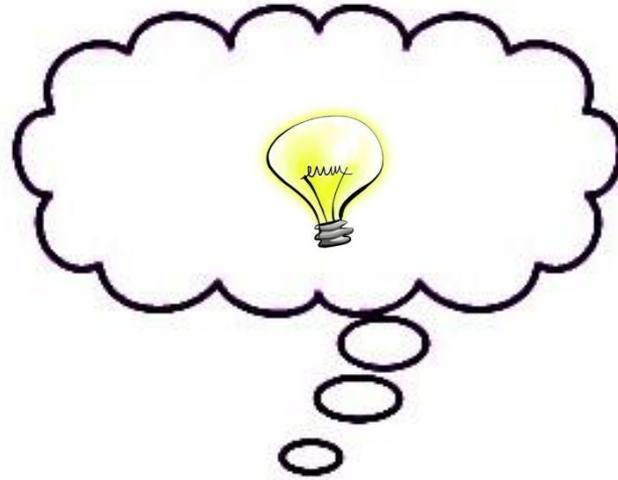
James Jeans



*A catástrofe do ultravioleta!*

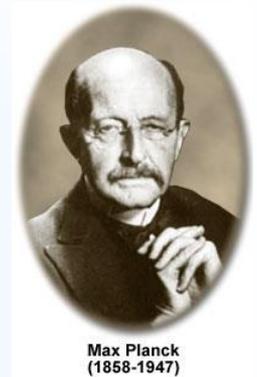
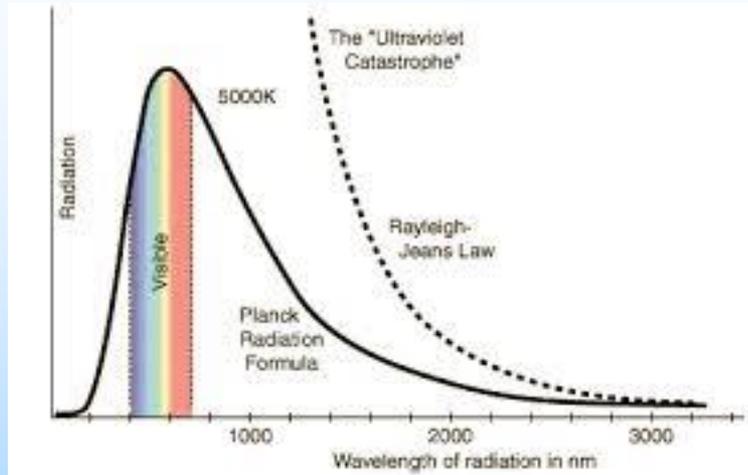
► Por que a radiação emitida pelos metais aquecidos deve ser infinita de acordo com a física clássica?

# A ideia de Planck

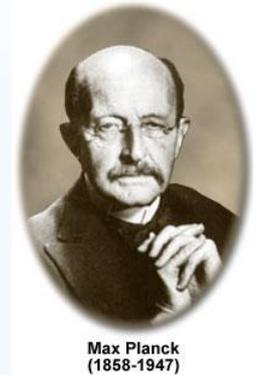
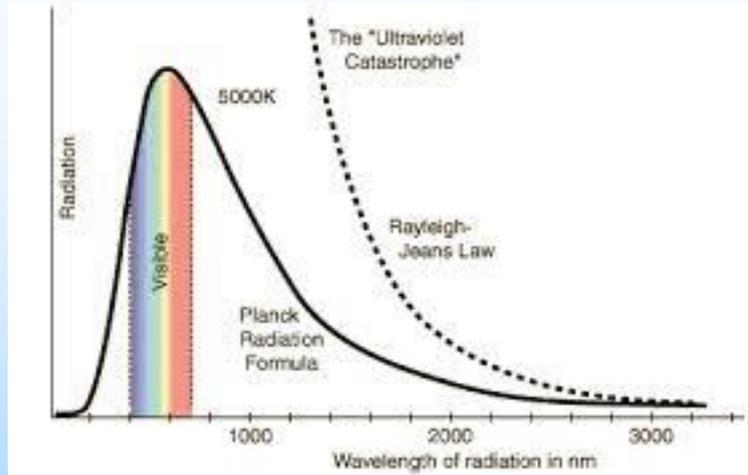


**Max Planck**  
(1858-1947)

# Radiação de corpo negro

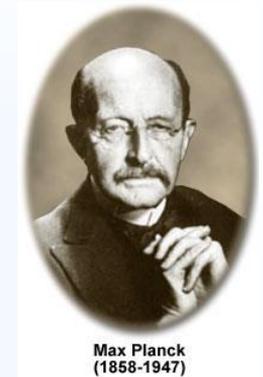
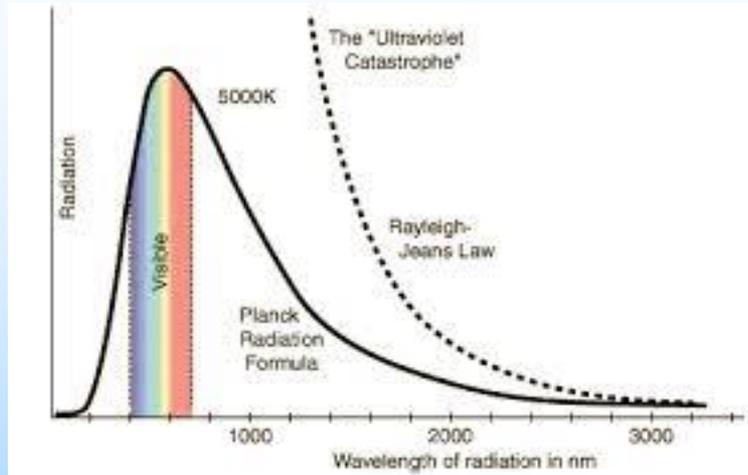


# Radiação de corpo negro



$$\langle E \rangle = \int E \cdot p(E) dE \rightarrow \langle E \rangle = \sum_n E_n \cdot p_n(E)$$

# Radiação de corpo negro



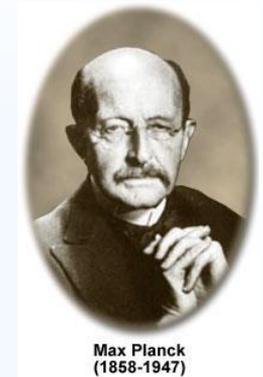
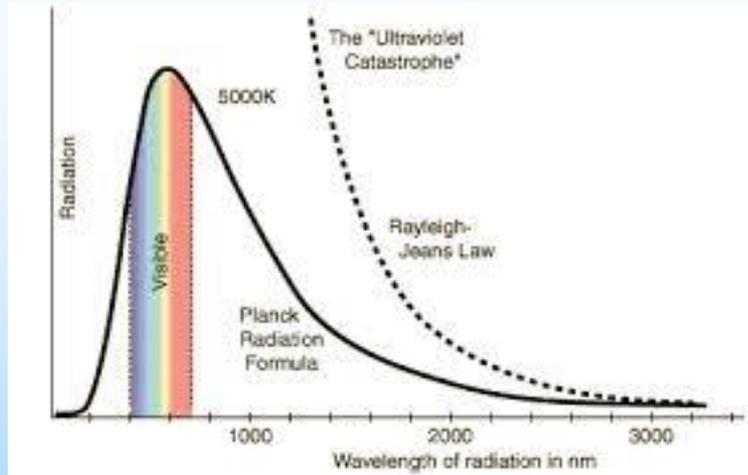
$$\langle E \rangle = \int E \cdot p(E) dE \rightarrow \langle E \rangle = \sum_n E_n \cdot p_n(E)$$

## Hipótese do quantum de energia:

As moléculas vibrantes somente podem ter valores de energia **quantizados** (discretos):

$$E_n = n(hf)$$

# Radiação de corpo negro



$$\langle E \rangle = \int E \cdot p(E) dE \rightarrow \langle E \rangle = \sum_n E_n \cdot p_n(E)$$

## Hipótese do quantum de energia:

As moléculas vibrantes somente podem ter valores de energia **quantizados** (discretos):

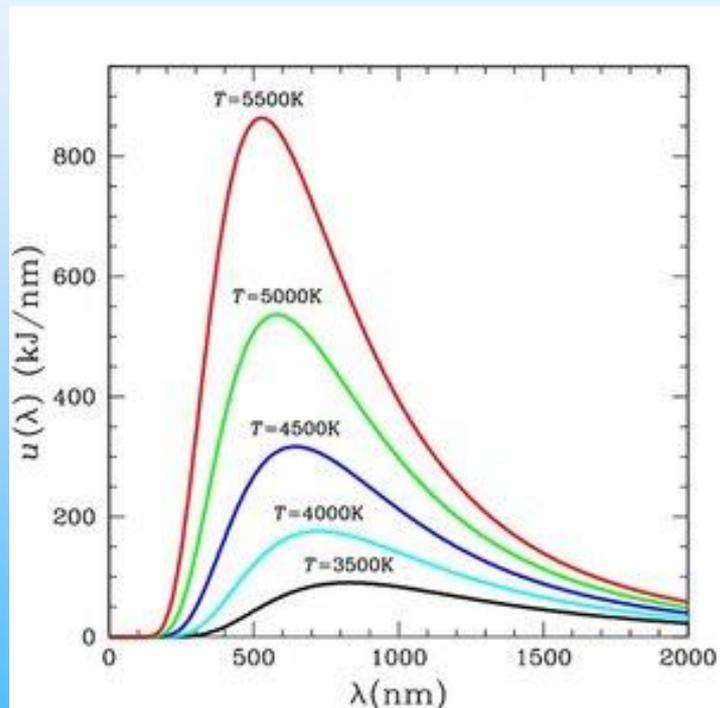
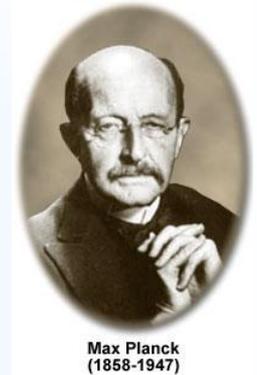
$$E_n = n(hf),$$

onde  $f$  é a frequência,  $n$  o número quântico e  $h$  a constante de Planck:

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$$

# Radiação de corpo negro

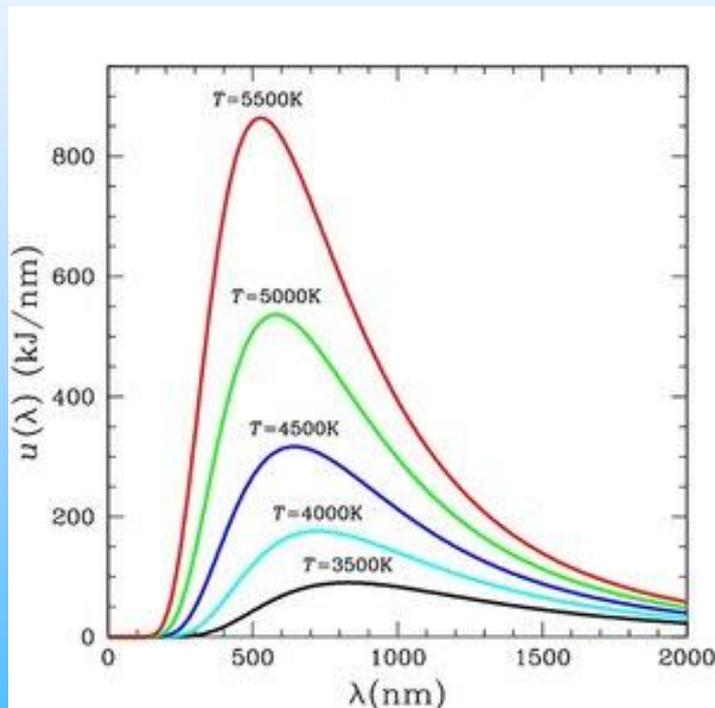
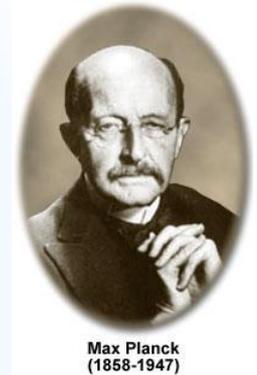
1900 Max Planck, com a hipótese da quantização das energias:



$$E_n = n(hf)$$

# Radiação de corpo negro

**1900** Max Planck, com a hipótese da quantização das energias, formula uma lei de distribuição que se ajustava perfeitamente aos dados em todos os comprimentos de onda:

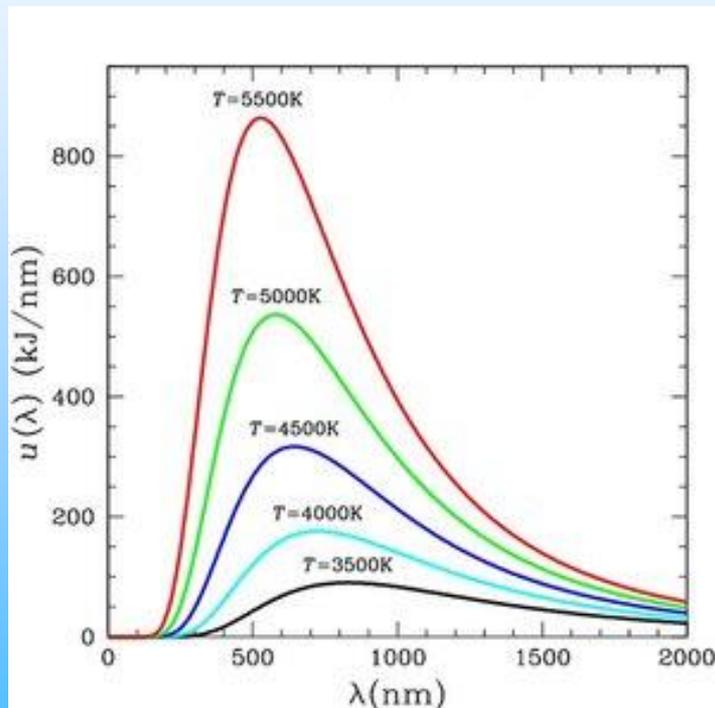
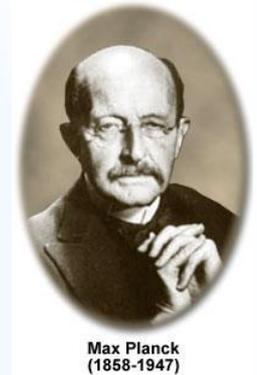


$$E_n = n(hf) \Rightarrow$$

$$u(\lambda) = \frac{8\pi hc\lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

# Radiação de corpo negro

**1900** Max Planck, com a hipótese da quantização das energias, formula uma lei de distribuição que se ajustava perfeitamente aos dados em todos os comprimentos de onda:



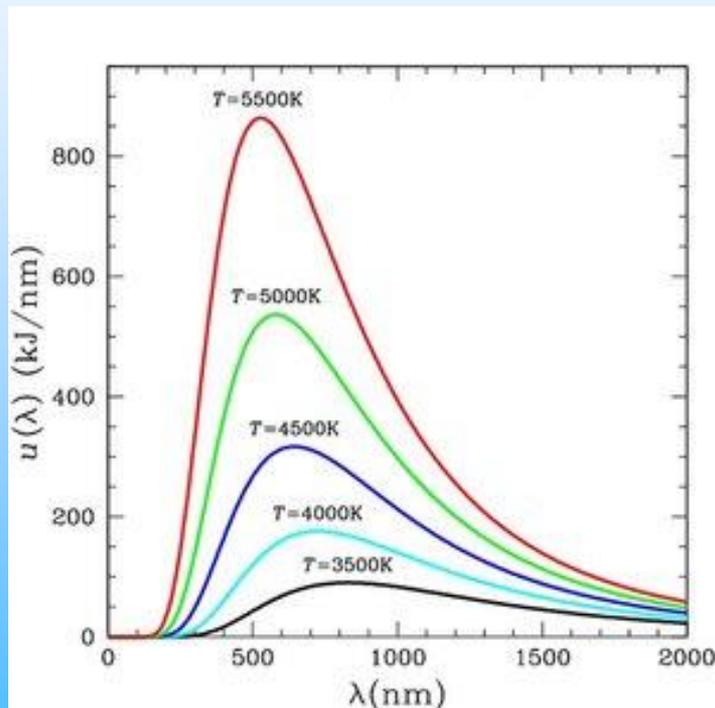
$$E_n = n(hf) \Rightarrow$$

$$u(\lambda) = \frac{8\pi hc\lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$  é a constante de Planck.

# Radiação de corpo negro

**1900** Max Planck, com a hipótese da quantização das energias, formula uma lei de distribuição que se ajustava perfeitamente aos dados em todos os comprimentos de onda:



$$E_n = n(hf) \Rightarrow$$

$$u(\lambda) = \frac{8\pi hc\lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$  é a constante de Planck.

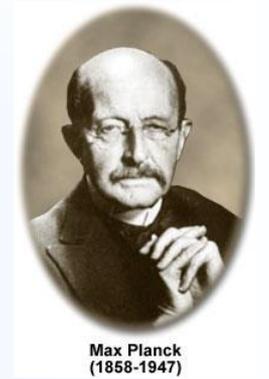


Max Planck  
(1858-1947)



**1918**

Na lápide de seu túmulo, em Göttingen (Alemanha):



Max Planck  
(1858-1947)

