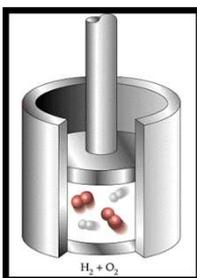




Termodinâmica e Energia

Ciência da Energia – Conversão de Calor em Energia Mecânica
Therme = Calor dynamis = potência
1697 Thomas Savery 1712 Thomas Newcomen 1850 1ª e 2ª Lei

Princípio da Conservação da Energia



Sistema e Meio



Termodinâmica e Energia

250° Pressure cooker temp.

212° Normal boiling point

1 Higher temperatures
The tight-fitting lid prevents steam from escaping. Pressure builds, allowing inside temperatures to rise above normal boiling point of 212°F.

2 Direct contact
The steam's heat is transferred directly to the surface of the food.

COOKING TIMES
(approximate)

	Whole chicken	Brown rice	Black beans
Regular:	60 min.	50 min.	60 min.
Cooker:	15 min.	20 min.	15 min.

IMPROVED SAFETY

- Locking handle cannot be opened when under pressure.
- Multiple valves release pressure.



Termodinâmica e Energia

1) Tipos de Sistemas:

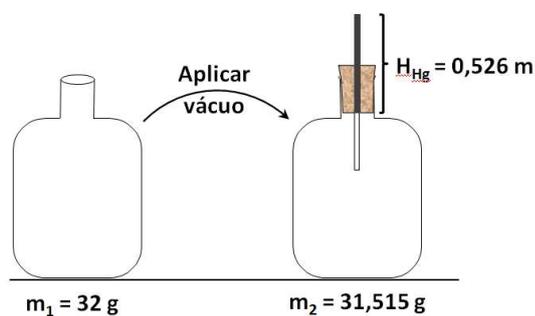
- a) Real e Imaginário
- b) Simples e Complexo
- c) Isolado e Não Isolado (Energia)
- d) Aberto e Fechado (Matéria)

2) Composição do Ar Atmosférico:



Termodinâmica e Energia

1) Qual o valor da constante universal dos gases ideais, diante do seguinte esquema montado em laboratório:



Dados do Exercício:
 $V = 600 \text{ mL}$
 $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ($K = \text{ }^\circ\text{C} + 273,15$)
 Massa molar do ar (g/mol)
 Massa de ar (g)
 Pressão
 $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$
 $\rho = 13600 \text{ kg m}^{-3}$

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

$$P = \frac{E}{V}$$

Resposta:

$$R = 8,31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$



Termodinâmica e Energia

4) Cálculo do Trabalho

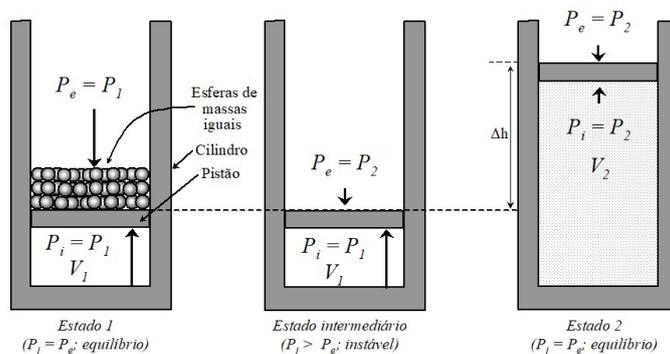


Figura 2.2 - Expansão isotérmica de um sistema gasoso

$$\Delta E = Q + W$$

Convenção do Sinal (W)



Termodinâmica e Energia

4) Cálculo do Trabalho

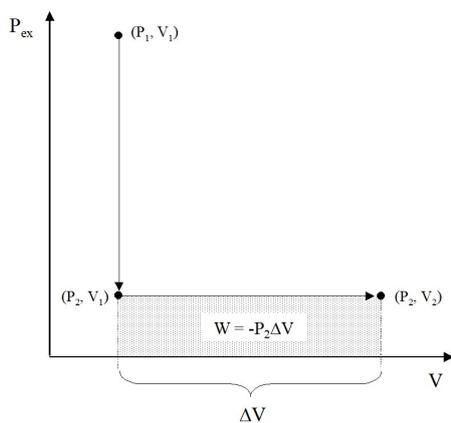


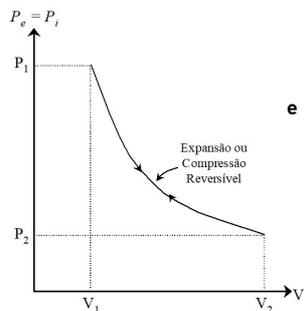
Figura 2.3 - Diagrama PV para a expansão



Termodinâmica e Energia

4) Cálculo do Trabalho

$\Delta E = Q + W$



$W = -n \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$

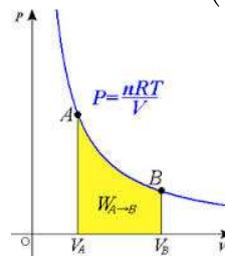
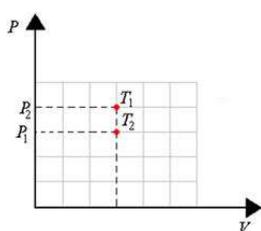


Figura 2.6 - Seqüência de situações mostrando diagramas PV de expansão e compressão de um gás ideal, desde o caso no qual o processo de transformação é extremamente rápido e irreversível (a) até o caso ideal no qual o processo de transformação é infinitamente lento e reversível (e), passando pelos estágios intermediários irreversíveis (b a d).



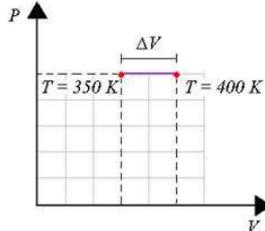
Termodinâmica e Energia

Processos Termodinâmicos:



Processo Isovolumétrico

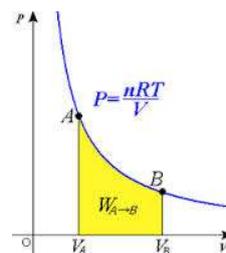
$W = 0$



Processo Isobárico

$W = -P \cdot \Delta V$

$\Delta U = Q + W$



Processo Isotérmico (reversível)

$W = -n \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$



Termodinâmica e Energia

Exercícios:

1) Qual o volume ocupado por 1 mol de gás atmosférico quando a pressão é de 1 atm (1 atm = 101325 Pa) e a temperatura é de 27°C?

Resposta: 0,02462 m³

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$K = ^\circ\text{C} + 273,15$$

2) O ar atmosférico é composto por 78 % de N₂ e 21% de O₂. Qual a densidade do ar, utilizando o volume da questão anterior, em kg m⁻³?

Resposta: 1,1609 kg m⁻³



Termodinâmica e Energia

Exercícios:

3) Um cilindro contém 12 L de O₂ a 20°C e a uma pressão de 15 atm. A temperatura é elevada para 35 °C e o volume reduzido para 8,5 L. Qual a pressão final do gás em atm?

Resposta: 22,26 atm

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

$$K = ^\circ\text{C} + 273,15$$

$$R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

4) 1 mol de O₂ (assumir como gás ideal) expande-se a uma temperatura (T) constante de 310 K a partir de um volume inicial (Vi) de 12 L para um volume final (Vf) de 19 L. Qual o trabalho realizado na expansão?

Resposta: -1184,37 J

$$W = -n \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$



Termodinâmica e Energia

Exercícios:

5) Um mol de um gás ideal a 298 K e exercendo uma pressão de 250 kPa sobre um pistão expande-se irreversível e isotermicamente contra uma pressão externa de 100 kPa até que sua pressão torne-se igual à externa. Pergunta-se:

a) Qual o valor do trabalho executado pelo gás na expansão?

Resposta: -1485,98 J

$$W = -P \cdot \Delta V$$

b) Se essa mesma expansão fosse reversível, qual seria o trabalho?

Resposta: -2269,62 J

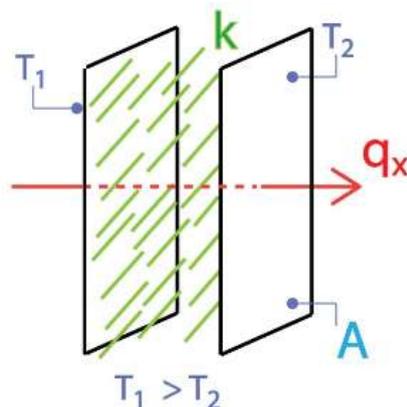
$$W = -n \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$



Termodinâmica e Energia

Formas de Transferência de Calor

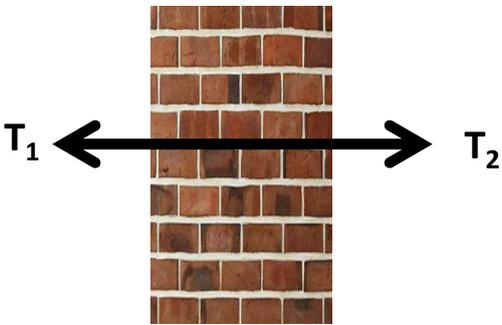
Condução (Lei de Fourier):



$$\begin{aligned} \text{Pot} &\propto A \\ \text{Pot} &\propto \Delta T \\ \text{Pot} &\propto 1/\Delta x \end{aligned}$$

$$q = -\lambda \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

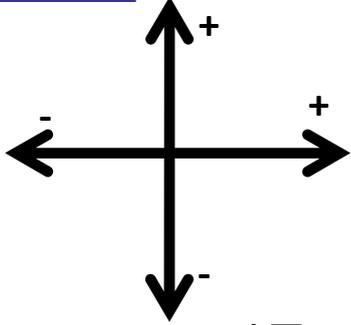

Termodinâmica e Energia
Condução (Lei de Fourier):



T_1 \longleftrightarrow T_2

Horizontal
 $\Delta T = T_{\text{direita}} - T_{\text{esquerda}}$

Vertical
 $\Delta T = T_{\text{cima}} - T_{\text{baixo}}$



$$q = -\lambda \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

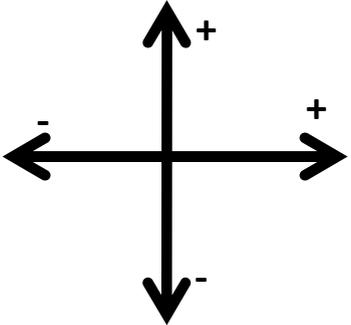
$q = \text{W m}^{-2}$
 $\Delta T = \text{K}$
 $\Delta x = \text{m}$
 $\lambda = \text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$


Termodinâmica e Energia
Condução (Lei de Fourier):



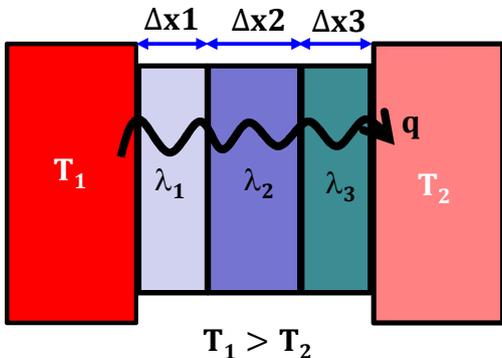
Horizontal
 $\Delta T = T_{\text{direita}} - T_{\text{esquerda}}$

Vertical
 $\Delta T = T_{\text{cima}} - T_{\text{baixo}}$



$$q = -\lambda \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$


Termodinâmica e Energia
Condução (Lei de Fourier):



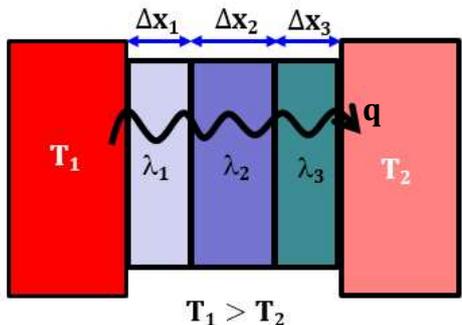
$$q = -\lambda \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$R_T = \frac{\Delta x}{\lambda}$$

$$q = -\frac{\Delta T}{R_T}$$

$q = \text{W m}^{-2}$
 $\Delta T = \text{K}$
 $\Delta x = \text{m}$
 $\lambda = \text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$
 $R_T = \text{m}^2 \text{K W}^{-1}$


Termodinâmica e Energia
Condução (Lei de Fourier):



$$q = -\lambda \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$R_T = \frac{\Delta x}{\lambda}$$

$$q = -\frac{\Delta T}{R_T \text{ Total}}$$

$$R_T \text{ Total} = \frac{\Delta x_1}{\lambda_1} + \frac{\Delta x_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\Delta x_n}{\lambda_n}$$



Termodinâmica e Energia

Condução (Lei de Fourier):

$$q = -\lambda \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad R_T = \frac{\Delta x}{\lambda}$$

$$q = -\frac{\Delta T}{R_T}$$

$$\begin{aligned} q &= \text{W m}^{-2} \\ \Delta T &= \text{K} \\ \Delta x &= \text{m} \\ \lambda &= \text{W m}^{-1} \text{K}^{-1} \\ R_T &= \text{m}^2 \text{K W}^{-1} \end{aligned}$$

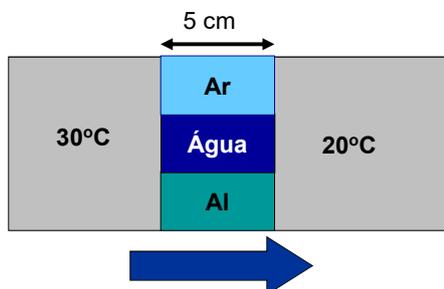
$$q = \frac{\text{Pot}}{A} = \frac{E}{t \cdot A} = \frac{Q}{t \cdot A} = -\lambda \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$



Termodinâmica e Energia

Condução (Lei de Fourier) (exercícios):

1) Na figura abaixo observa-se uma divisão entre um reservatório a 30 °C e outro a 20 °C. A divisão tem espessura de 5 cm e é subdividida em uma parte com ar, a outra com água e outra com alumínio. Calcule a densidade de fluxo de calor (q) por condução através de cada parte da divisão.



$$\lambda_{\text{ar}} = 0,024 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$$

$$\lambda_{\text{água}} = 0,6 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$$

$$\lambda_{\text{Al}} = 220 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$$

Respostas:

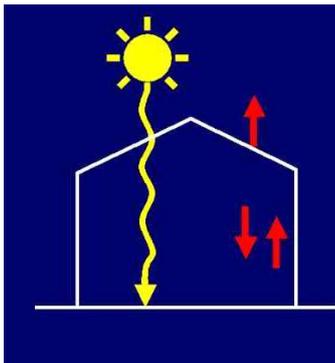
$$q_{\text{ar}} = 4,8 \text{ W m}^{-2}, \quad q_{\text{água}} = 120 \text{ W m}^{-2}, \quad q_{\text{Al}} = 44.000 \text{ W m}^{-2}$$



Termodinâmica e Energia

Condução (Lei de Fourier) (exercícios):

2) A temperatura no interior de uma estufa é de 32 °C, enquanto que fora dela é de 23 °C. O plástico tem uma espessura de 1 mm e sua condutividade térmica é de 0,06 W m⁻¹ K⁻¹. A área superficial (teto) da estufa é de 200 m². Calcular q, considerando toda a área superficial (teto).



Respostas:

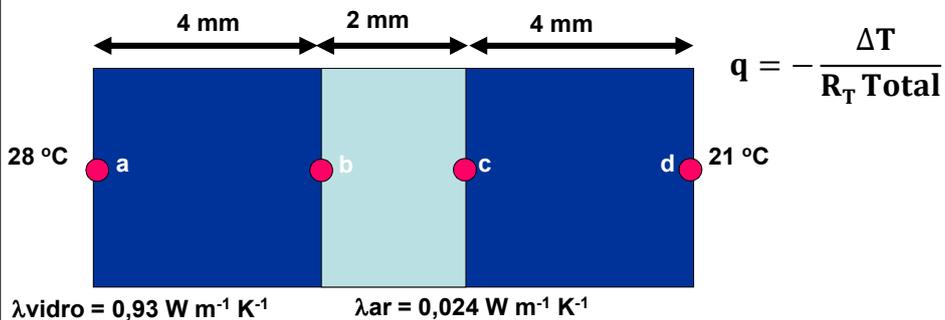
$$q = 108.000 \text{ W}/200 \text{ m}^2$$



Termodinâmica e Energia

Condução (Lei de Fourier) (exercícios):

3) Um vidro duplo é composto por 2 lâminas de vidro de 4 mm de espessura, separadas por uma camada de 2 mm de ar. De um lado do vidro a temperatura é de 28 °C e do outro lado é de 21 °C. Calcular “q” através do vidro duplo.



$$R_T \text{ Total} = \frac{\Delta x_1}{\lambda_1} + \frac{\Delta x_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\Delta x_n}{\lambda_n}$$

Respostas:

$$q = 76,14 \text{ W m}^{-2}$$



Termodinâmica e Energia

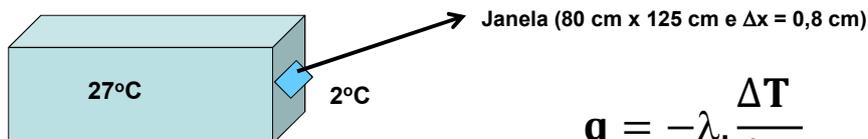
Condução (Lei de Fourier) (exercícios):

4) Em um dia muito frio num determinado local, uma sala de ordenha fechada, a temperatura interna é mantida constante a 27°C, enquanto que a temperatura externa é de apenas 2°C. A sala possui uma janela de 80 cm de altura por 125 cm de comprimento. A janela é de vidro e tem 0,80 cm de espessura.

Pergunta-se: Qual a densidade de fluxo de calor através da janela.

$\lambda_{\text{vidro}} = 0,75 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$. Que quantidade de calor em kCal é perdida para o ambiente durante um intervalo de 5,0 horas?

Sabendo-se que $1,0 \text{ Cal} = 4,1868 \text{ J}$.



$$q = -\lambda \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Respostas:

$$q = 2343,75 \text{ W m}^{-2}$$

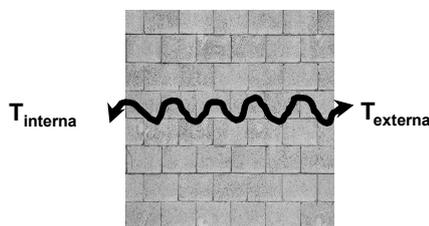
$$\text{Calor} = 42.187,50 \text{ kJ/5h}\cdot\text{m}^2 \text{ ou } 10.076,31 \text{ kCal}$$



Termodinâmica e Energia

Condução (Lei de Fourier) (exercícios):

5) Uma parede de concreto com 9 m^2 de área e 10 cm de espessura tem $\lambda_{\text{concreto}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ cal/s}\cdot\text{cm}\cdot\text{°C}$. Sabendo-se que a diferença de temperatura entre as faces (lado direito) é de -5 °C (temperatura interna maior do que a externa), pergunta-se: Qual a quantidade de calor (em calorias) que flui pela parede durante 10 minutos?



$$\frac{Q}{t \cdot A} = -\lambda \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Respostas:

$$\text{Calor} = 54000 \text{ calorias ou}$$

$$\text{Calor transferido} = 90 \text{ cal/s}$$



Radiação Térmica (Leis)

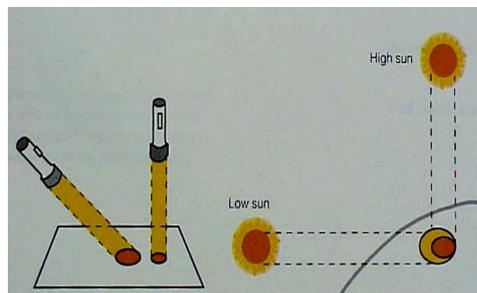
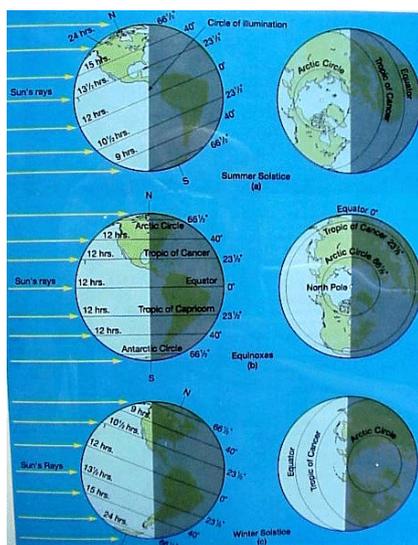
Introdução

Todos os corpos (geleiras, nuvens, pessoas, objetos, planetas, fornos, estrelas) emitem radiação. Quanto maior a sua temperatura, mais emitem, daí que essa radiação é chamada **radiação térmica**.



Radiação Térmica (Leis)

Introdução





Radiação Térmica (Leis)

Introdução

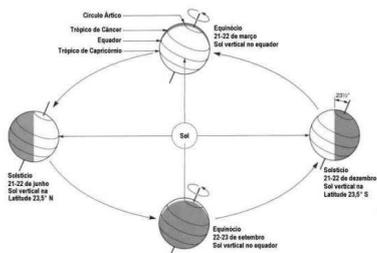
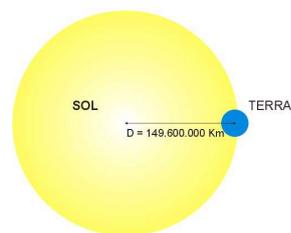
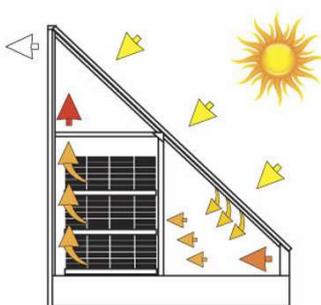


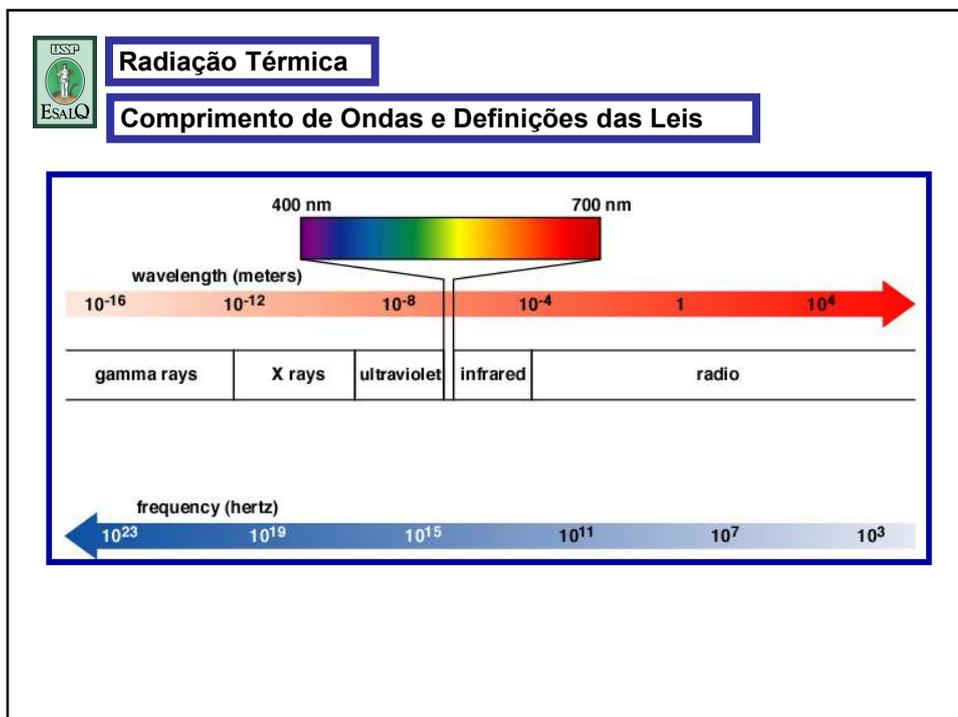
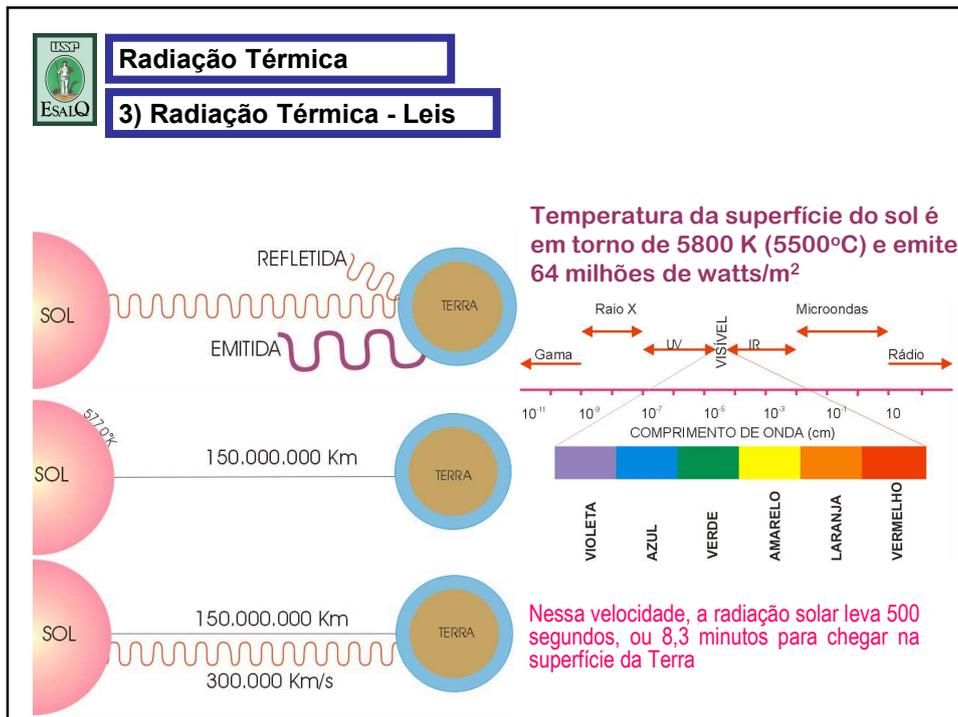
Radiação Térmica (Leis)

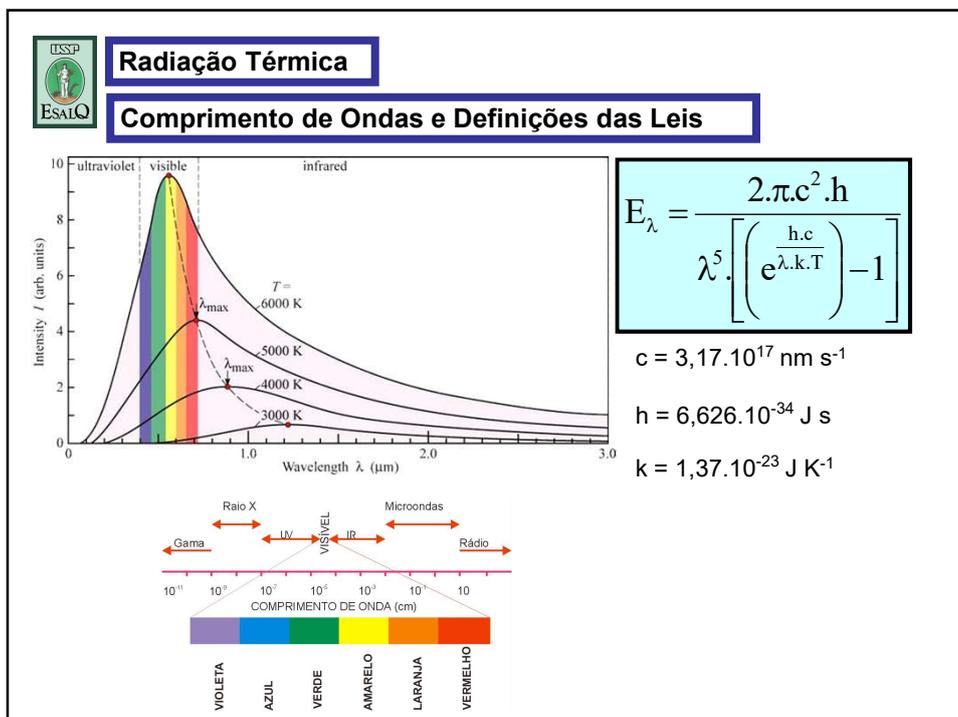
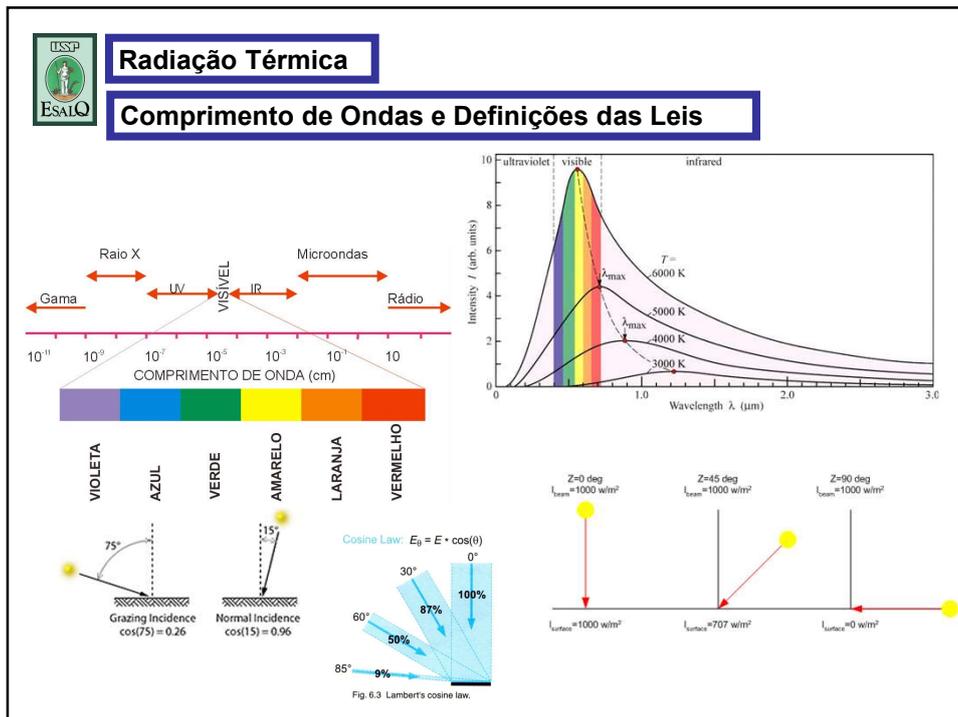
Introdução

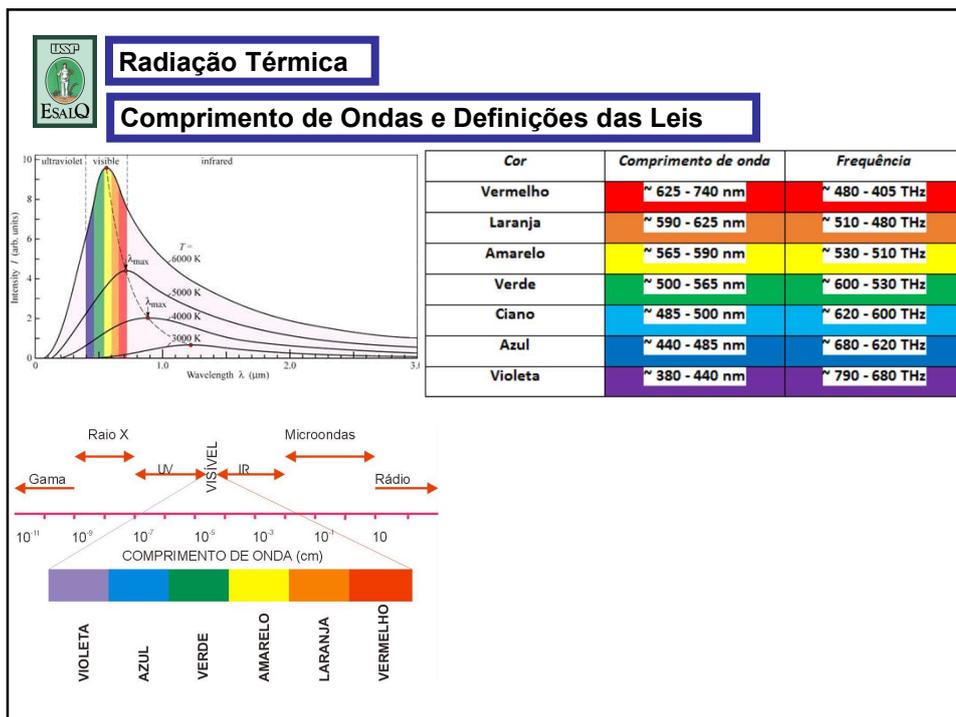
3) Radiação Térmica - Leis

- Heat from the sun's rays is collected by UV plastic
- Air in kiln chamber becomes heated
- Outside air can be used to prevent damage caused by drying too fast
- Air is drawn through lumber stack, collecting moisture
- Air drawn by circulating fans is recycled through kiln or exhausted
- Exhaust











Radiação Térmica

Comprimento de Ondas e Definições das Leis

Exercícios

1) Calcular a **energia de um fóton** para os seguintes comprimentos de onda:

a) Vermelho ($\lambda = 7 \cdot 10^{-7} \text{ m}$) **Resposta: $2,84 \cdot 10^{-19} \text{ J}$**

b) Violeta ($\lambda = 4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$) **Resposta: $4,97 \cdot 10^{-19} \text{ J}$**

c) Radiação Gama ($\lambda = 1 \cdot 10^{-12} \text{ m}$) **Resposta: $1,99 \cdot 10^{-13} \text{ J}$**

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Considere: $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ e $c = 300.000 \text{ km s}^{-1}$

2) A energia necessária para retirar 1 elétron de um átomo de Fe é de $7,4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. Qual a frequência da radiação mínima para que ocorra o efeito fotoelétrico? **Resposta: $1,116 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$**

$E = h \cdot f$



Radiação Térmica

Comprimento de Ondas e Definições das Leis

Exercícios

2. Em relação à radiação térmica emitida pelo Sol ($T=5800\text{ K}$) e pela Terra ($T=288\text{ K}$), calcular

a) Qual é a densidade de fluxo radiante (todo o espectro) de um metro quadrado da superfície do Sol e da Terra?

$$\sigma = 5,672 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

Resposta: $64,18 \text{ MW m}^{-2}$; $390,21 \text{ W m}^{-2}$

b) Qual é o comprimento de onda de máxima emitância espectral do Sol e da Terra?

Resposta: $506,89 \text{ nm}$; $10.208,33 \text{ nm}$

$$q = \sigma \cdot T^4 \qquad \lambda_{\text{máx.}} = \frac{2,94 \cdot 10^6}{T}$$



Radiação Térmica

Comprimento de Ondas e Definições das Leis

3. O raio do Sol é $6,96 \cdot 10^8 \text{ m}$. A temperatura na sua superfície é 5800 K . A Terra encontra-se a uma distância de $1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$ do Sol.

Calcular:

a. Qual é a potência do Sol (quanta energia o Sol emite por segundo)?

(Resposta: $3,9 \cdot 10^{26} \text{ W}$)

b. Qual é a densidade de fluxo radiante com que a radiação solar chega no topo da atmosfera da Terra? (Resposta: $1.381,92 \text{ W m}^2$)

c. O raio da Lua é $1,74 \cdot 10^6 \text{ m}$. Sua distância até a Terra é $3,84 \cdot 10^8 \text{ m}$. A Lua reflete 7% da radiação solar nela incidente. Qual é a densidade de fluxo radiante com que a radiação solar refletida pela Lua chega no topo da atmosfera da Terra numa noite de lua cheia? (Resposta: $1,98 \cdot 10^{-3} \text{ W m}^2$)

$$q = \sigma \cdot T^4$$

$$\text{Área do Sol} = 4 \cdot \pi \cdot r^2$$

$$q_1 = q_0 \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^2$$



Radiação Térmica

Exercícios

4. Determinado vidro tem um coeficiente de atenuação de luz visível de $1,2 \text{ cm}^{-1}$.

a) Expressar esse coeficiente em unidade do Sistema Internacional.

Resposta: 120 m^{-1}

b) Para vidros de 3, 6 e 10 mm de espessura, calcular a quantidade de radiação absorvida se a intensidade de radiação visível incidente for igual a 400 W m^{-2} . Considerar a refletividade do vidro igual a 0,1.

Resposta: $108,83 \text{ W m}^{-2}$; $184,76 \text{ W m}^{-2}$; $251,57 \text{ W m}^{-2}$

c) Qual é a absorptividade das três espessuras de vidro?

Resposta: 0,302; 0,513; 0,69 (30,2%, 51,3% e 69%)

$$K = \frac{\ln\left(\frac{q_0}{q_1}\right)}{\Delta x}$$

$$q_1 = q_0 \cdot e^{-K \cdot \Delta x}$$

$$\text{Absortividade} = 1 - \frac{q_1}{q_0}$$

$$\text{Absortividade} = \frac{q_{ab}}{q_0}$$



Radiação Térmica

Comprimento de Ondas e Definições das Leis

5. Num desidratador solar de frutas, coberto por um vidro de 0,1 mm de espessura, observa-se internamente uma intensidade máxima de radiação eletromagnética na faixa de luz visível de 350 W m^{-2} , no mesmo momento que a intensidade fora do desidratador é de 660 W m^{-2} . O vidro tem um poder refletor de 30% e a radiação incide perpendicularmente sobre ele.

a) Calcular o coeficiente de atenuação de luz visível do vidro.

Resposta: $2,7763 \text{ mm}^{-1}$ ou $2766,31 \text{ m}^{-1}$

b) Calcular com que espessura de vidro o desidratador deverá ser coberto para reduzir a radiação máxima dentro dele a 200 W m^{-2} . (mesmo horário)

Resposta: 0,3 mm

c) Qual é, nesse caso, a transmissividade ($q_{\text{deve atravessar}}/q_{\text{atinge}}$) do vidro?

Resposta: 0,432

d) Algumas horas depois, o ângulo de incidência, da radiação solar, passou de 90° para 40° . Estimar a intensidade de radiação dentro do desidratador de frutas, nesse momento ($x = 0,1 \text{ mm}$). **Resposta: 225 W m^{-2}**

$$K = \frac{\ln\left(\frac{q_0}{q_1}\right)}{\Delta x}$$

$$q_1 = q_0 \cdot e^{-K \cdot \Delta x}$$