



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

A Sala de Aula Invertida no Ensino de Física Térmica: Cadernos de Aula

Rodrigo Santana Jordão

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Rodrigo Santana Jordão, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
Agosto de 2021

A Sala de Aula Invertida no Ensino de Física Térmica: Cadernos de Aula

Rodrigo Santana Jordão

TERMOMETRIA

AULA – 01

Jordão – Física

1

Objetivos da Aula

- Conceito de **Temperatura**.
- Energia Interna (térmica).
- Calor**.
- Saber diferenciar: **Temperatura**, **Calor** e Energia Interna.

2

Átomo

A estrutura da matéria é discutida há muito tempo, desde os tempos dos gregos: Demócrito e Leucipo (c.450 a.C). Assim ela passou por diversas controvérsias e a aceitação do átomo, só se consolidou na ciência no final do século XIX.



Demócrito
c.450 a.C



John Dalton
1766 - 1844



Joseph J. Thomson
1856 - 1940



Ernest Rutherford
1871 - 1937

3

Modelos

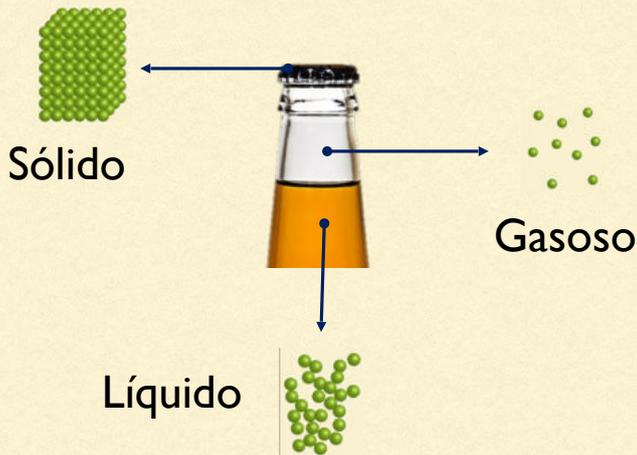
Quando olhamos uma garrafa de refrigerante em cima de uma mesa, ela está em repouso.



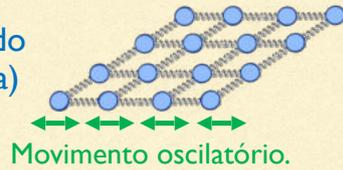
4

Modelos

Quando olhamos uma garrafa de refrigerante em cima de uma mesa, ela está em repouso.

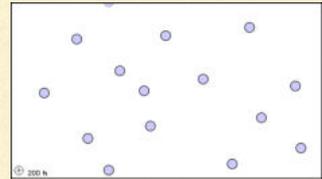


Modelo do Sólido
(Rede Cristalina)



Modelo de Gases
(Gás)

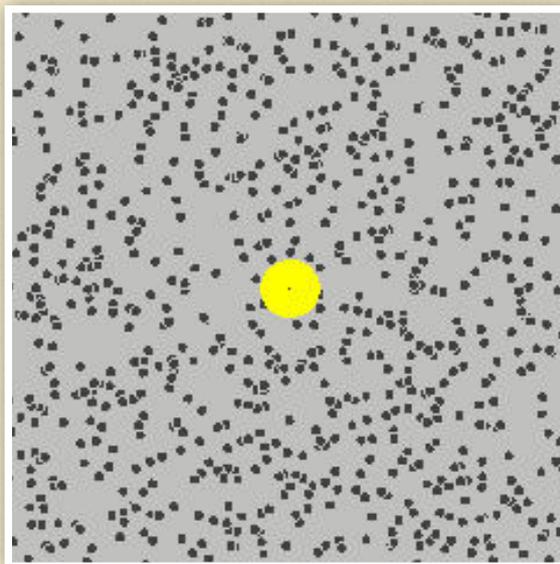
Modelo
proposto por
Daniel Bernoulli
em 1738.



Movimento Browniano

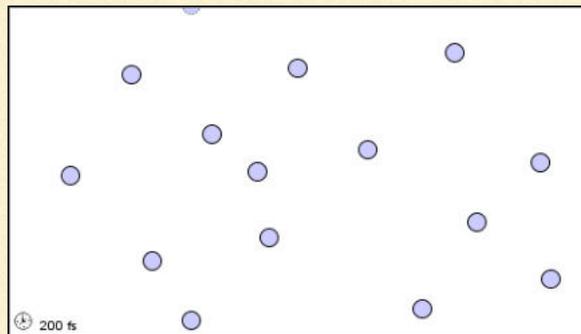


Robert Brown
1773 - 1858



Livre Caminho Médio

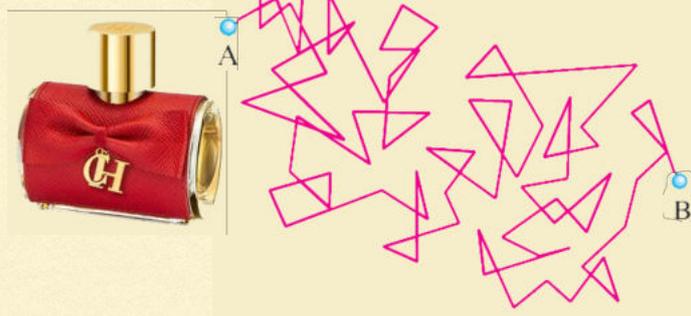
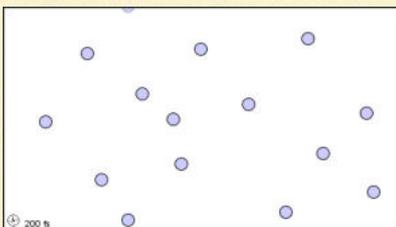
Quanto uma molécula percorre em média entre duas colisões sucessivas?



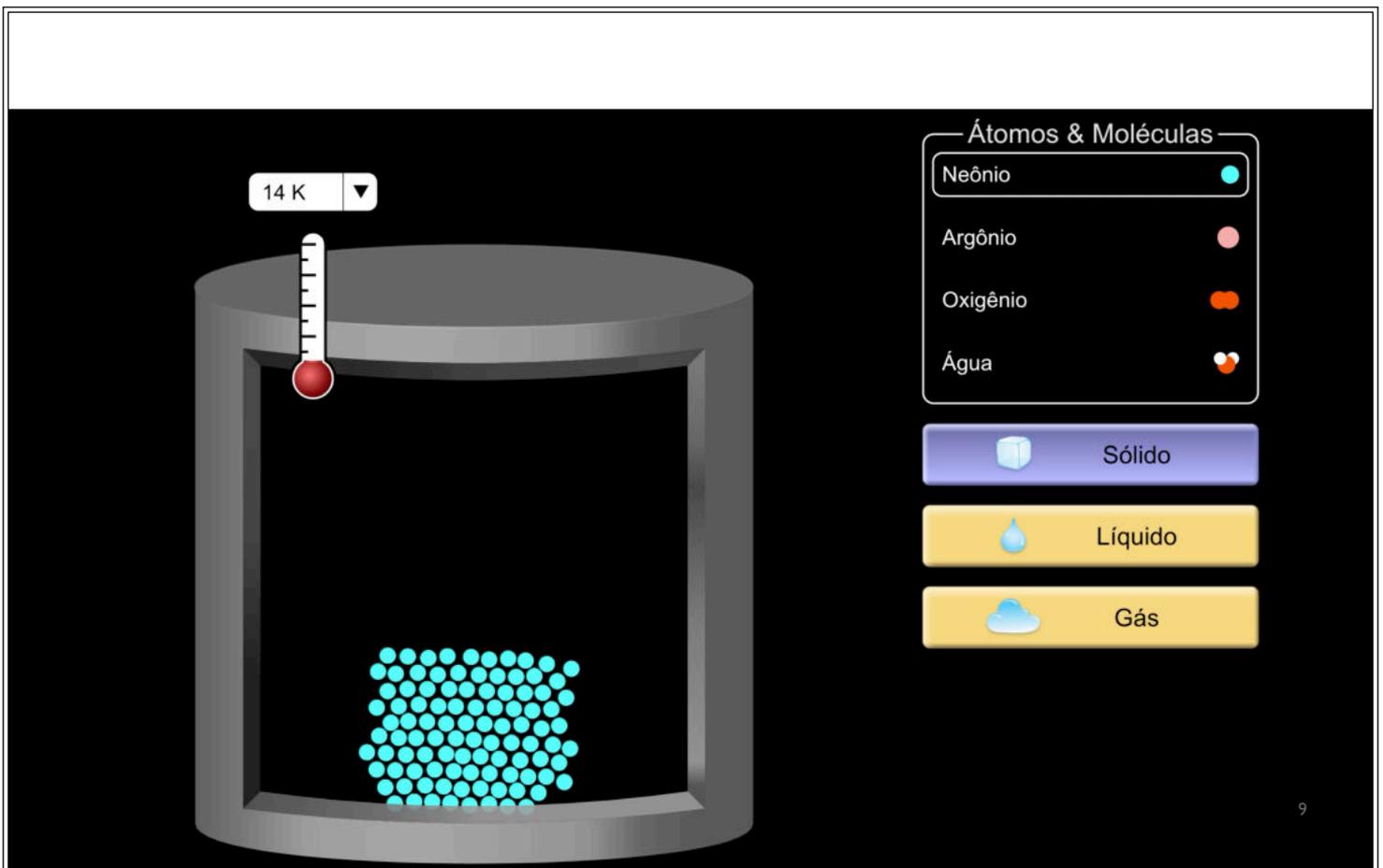
7

Livre Caminho Médio

Quanto uma molécula percorre em média entre duas colisões sucessivas?

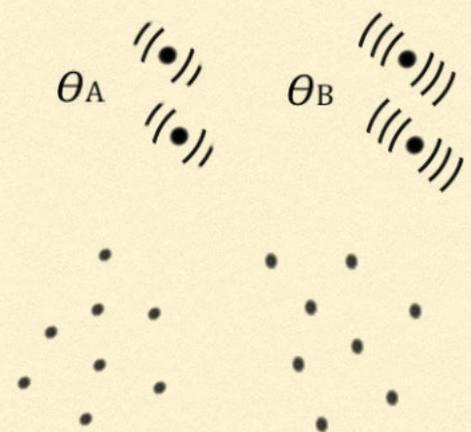


8



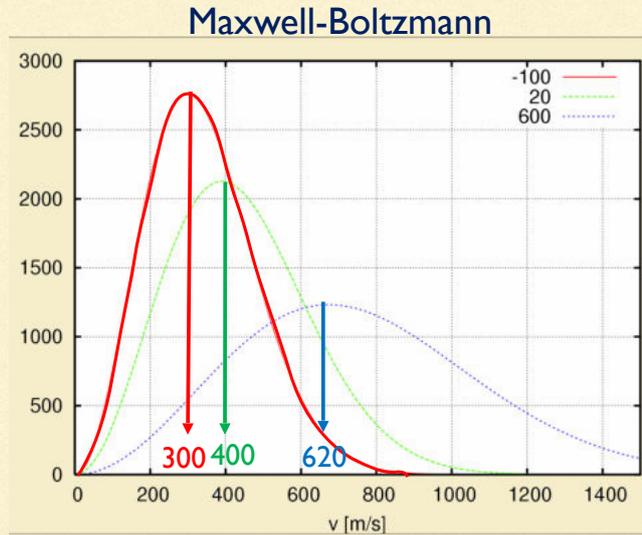
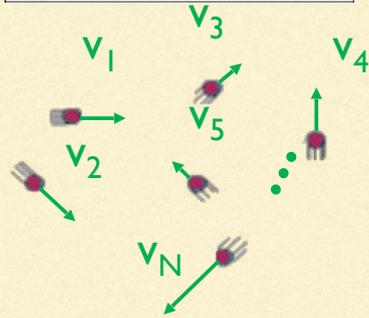
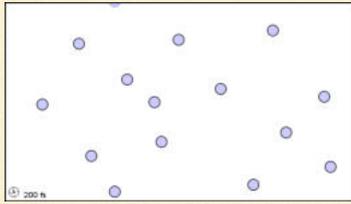
Temperatura θ ou T

Está relacionada
com a agitação
atômico/molecular.



Distribuição de Velocidades

Ocorre uma distribuição de Velocidades.



Velocidade mais provável (V_{mp})

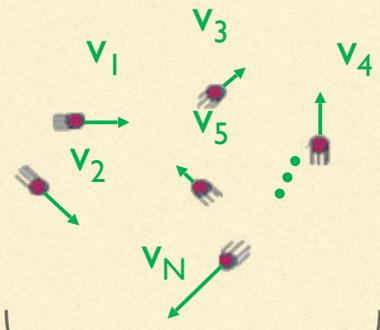
Para: -100°C
 $V_{mp} = 300 \text{ m/s}$

Para: 20°C
 $V_{mp} = 400 \text{ m/s}$

Para: 600°C
 $V_{mp} = 620 \text{ m/s}$

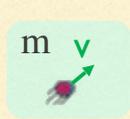
11

Energia Interna (ou Térmica)



N partículas

ϵ_m - Energia Cinética média das moléculas
(Depende de T .)



Energia Cinética

$$\epsilon = \frac{m}{2} \cdot v^2$$

Obs.: Quanto maior a temperatura maior será a velocidade das moléculas.

Energia Interna (U)

$$U = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \dots + \epsilon_N$$

Depende de N e T .

$$U = U(N, T)$$

$$U = N \cdot \epsilon_m$$



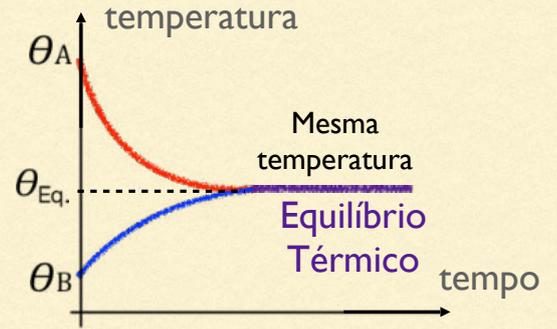
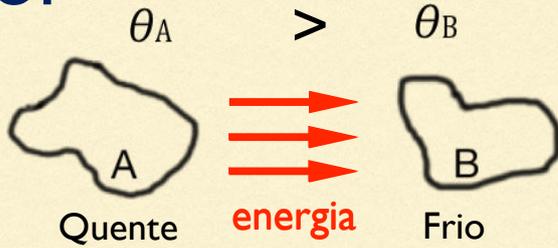
$$\epsilon_m = \frac{4+2+3}{3} = 3$$

$$U = 4+2+3=9$$

$$U = 3 \cdot \frac{4+2+3}{3} = 9$$

12

Calor

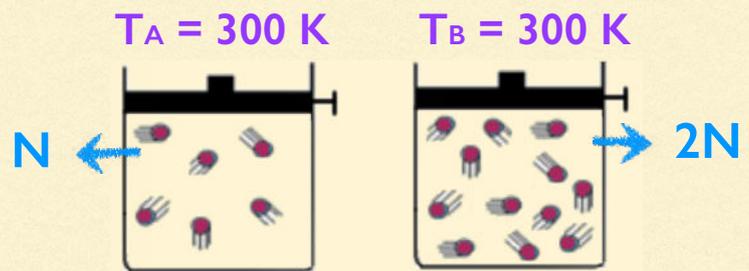
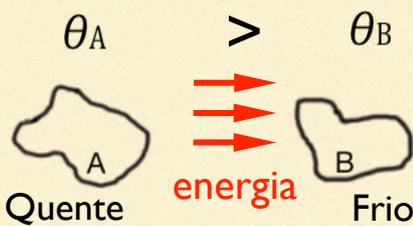


Unidade [Q] = joule (J) no S.I.

Troca de **Calor** é o nome do processo pelo qual a **energia** é transferida de um sistema para outro, exclusivamente devido à diferença de temperatura existente entre eles.

Obs.: Por um abuso de linguagem é comum nos referirmos a essa energia pelo nome de calor.

Cuidado!



N → N° de Partículas
 T → Temperatura Absoluta

OBS.: Um corpo **não** tem calor !

Em contato térmico ocorrerá troca de **calor** ?

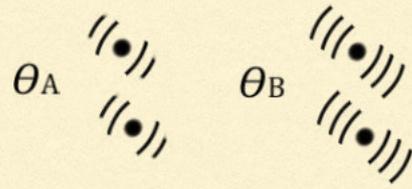
R: Não

$$U_A < U_B$$

• Em Resumo

Temperatura

Está relacionada com a agitação atômico/molecular.



Calor

Troca de **Calor** é o nome do processo pelo qual a **energia** é transferida de um sistema para outro, **exclusivamente** devido à **diferença de temperatura**.

Energia Térmica (ou Interna)

Energia térmica armazenada no corpo, que depende de N e T

15

Objetivos da Aula

- Conceito de **Temperatura**.
- Energia Interna (térmica).
- Calor**.
- Saber diferenciar: **Temperatura**, **Calor** e Energia Interna.

16

TERMOMETRIA

Jordão – Física

Fim

TERMOMETRIA

PARTE - 02A

JORDÃO - FÍSICA II

- A Subjetividade do Tato na medição da temperatura.

O Tato é impreciso e subjetivo

Pensemos na experiência :

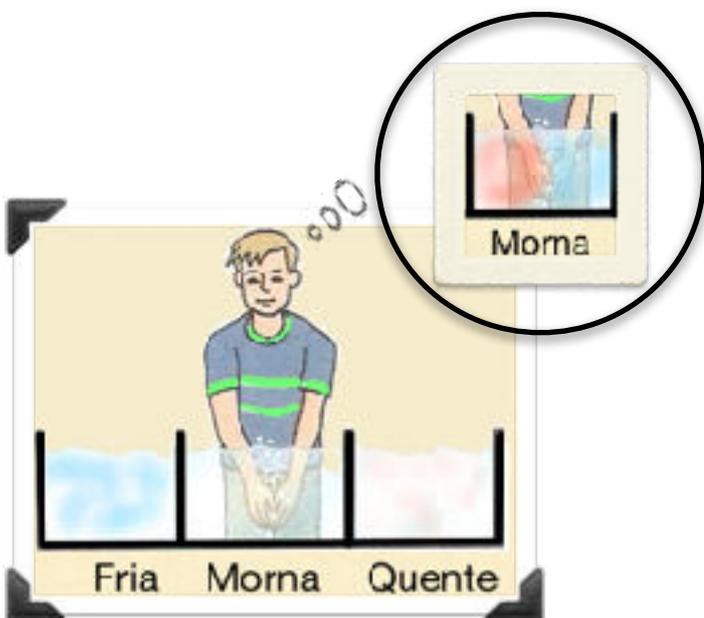
Colocar uma das mão na água quente e a outra na água fria e esperar um certo tempo.



Após esse certo tempo de acomodação das mãos, retirá-las e colocar ambas na água morna.



O que irá acontecer? O que iremos (provavelmente!) sentir?



Para a mão que estava na água fria, a água morna parecerá quente e para a mão que estava na água quente, a água morna parecerá fria, mostrando que a noção de temperatura dada pelo tato é subjetiva e imprecisa já que a mesma pessoa teve duas sensações diferentes para a mesma água.

TERMOMETRIA

AULA – 02B

Jordão – Física

Objetivos da Aula

- Compreender o que são grandezas termométricas.
- Lei Zero da Termodinâmica.
- Saber as Escalas Relativas e suas conversões.
- Saber a Escala Absoluta Kelvin e sua relação com as Escalas Relativas.

Propriedades Termométricas

da substância termométrica.

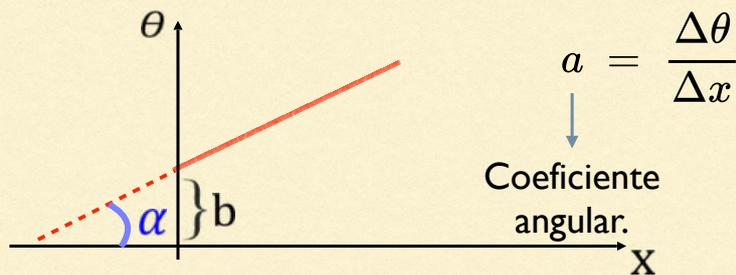
São as grandezas que variam quando a temperatura do corpo varia.

e.g.: Volume, pressão, resistência elétrica.

Equação Termométrica

Relaciona a temperatura (escala) com a propriedade termométrica, através da **Função f** (bijetora), que faz essa dependência.

$$\theta = ax + b$$



3

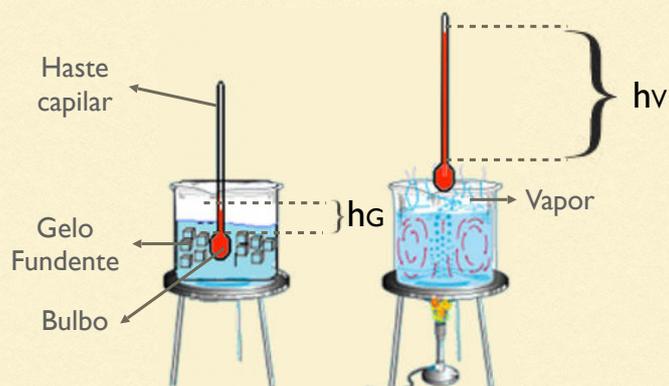
Sistema Auxiliar - Termômetro

Lei Zero da Termodinâmica

“Se o sistema A está em equilíbrio térmico com o sistema B, e o sistema B está em equilíbrio térmico com C, então os sistemas A e C estão em equilíbrio térmico entre si.”

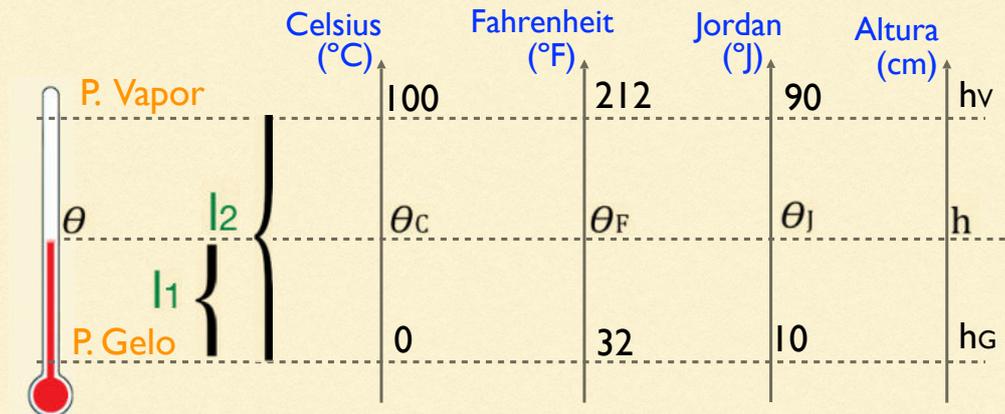
Gradação do Termômetro

Sistema de estudo + 
Colocamos em **contato** e esperamos até o **equilíbrio térmico**.



4

Escalas Relativas Usuais



$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{\theta_C - 0}{100 - 0} = \frac{\theta_F - 32}{212 - 32} = \frac{\theta_J - 10}{90 - 10} = \frac{h - h_G}{h_V - h_G}$$

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{\theta_C - 0}{100 \cdot 5} = \frac{\theta_F - 32}{180 \cdot 9} = \frac{\theta_J - 10}{80 \cdot 4}$$

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9}$$

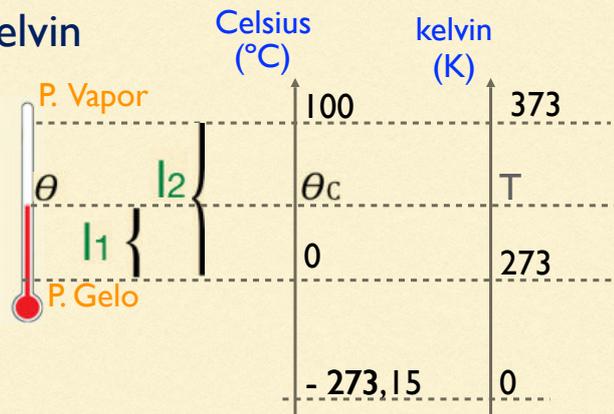
Escalas Absoluta

São escalas que levam em consideração a agitação atômico/molecular.



Zero Absoluto
(inatingível)

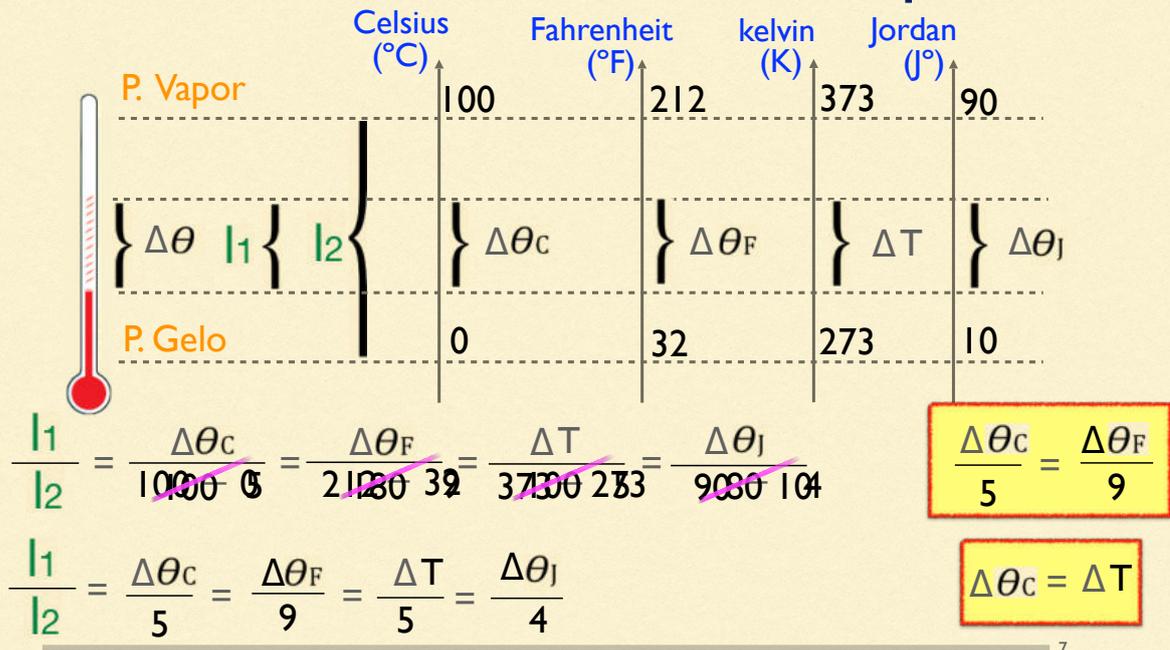
Escala Kelvin



$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{\theta_C - 0}{100 - 0} = \frac{T - 273}{373 - 273}$$

$$\theta_C = T - 273$$

Conversão de Variação de Temperatura



Objetivos da Aula

- Compreender o que são grandezas termométricas.
- Lei Zero da Termodinâmica.
- Saber as Escalas Relativas e suas conversões.
- Saber a Escala Absoluta Kelvin e a sua relação com as Escalas Relativas.

TERMOMETRIA

Jordão – Física

Fim

(TRANSMISSÃO)

PROPAGAÇÃO DE CALOR

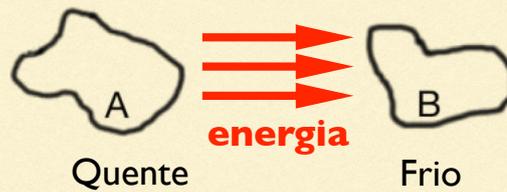
AULA - 03

Jordão – Física

Objetivos da Aula

- Saber quais são 3 os processos de *Transmissão de Calor*.
- Conceituar condução térmica.
- Conceituar convecção térmica e saber sua origem.
- Conceituar irradiação térmica.
- Entender o funcionamento de uma garrafa térmica.
- Entender fisicamente o porque ocorre a inversão térmica.

Formas de Propagação de Calor



MAS COMO A ENERGIA (CALOR)
PASSA DE UM CORPO PARA O OUTRO?

Condução

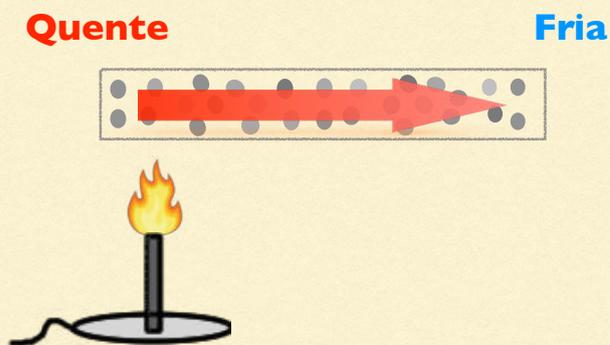
Convecção

**Irradiação
(Radiação)**

3

Condução Térmica

A energia é transferida de **partícula para partícula**, através de agitação atômico-molecular.

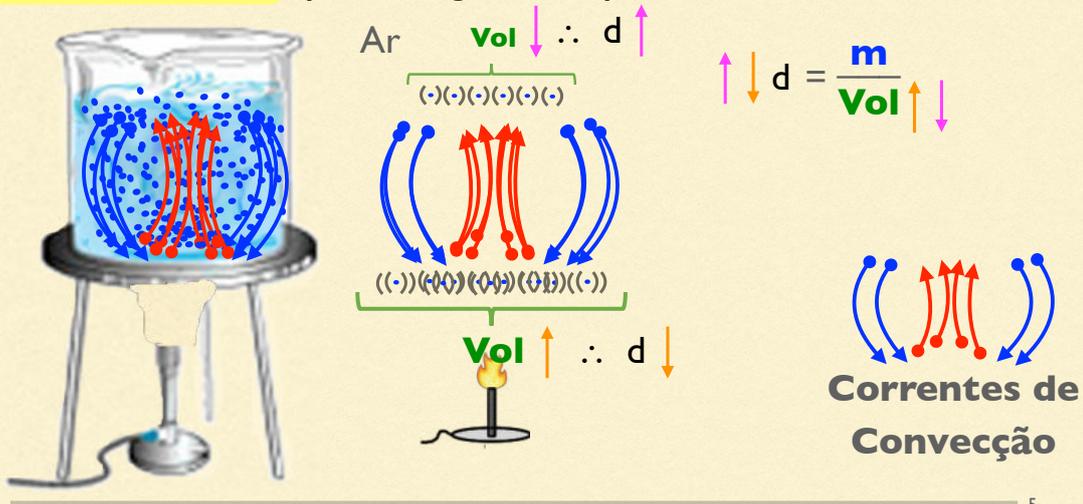


Obs.: Os metais se destacam nesse processo devido a existência de elétrons livres. Esses elétrons podem, rapidamente, transferir a energia para seus vizinhos.

4

Convecção Térmica

Ocorre pela movimentação do próprio fluido (líquido ou gás), através das correntes de convecção, que são geradas pela mudança na densidade.



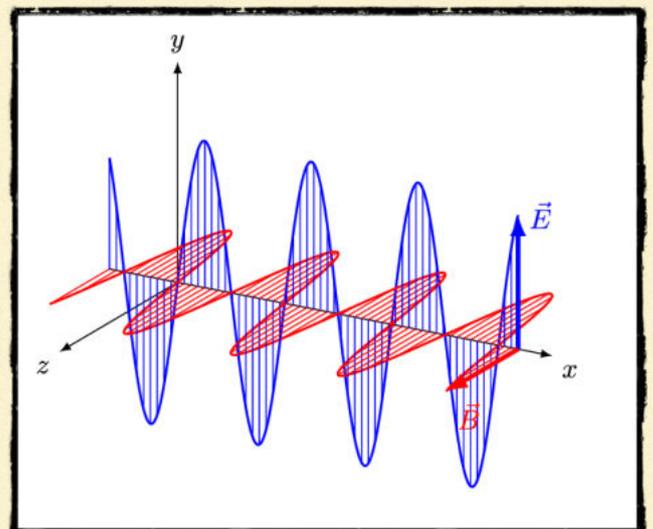
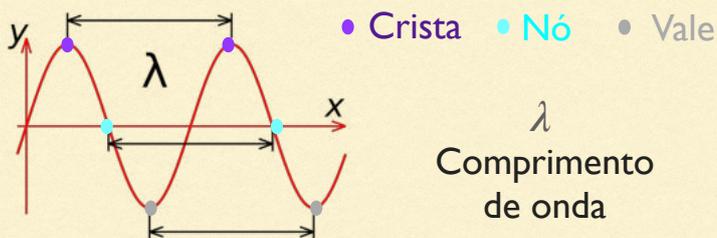
5

Irradiação Térmica

É um processo de propagação de energia na forma de ondas eletromagnéticas.

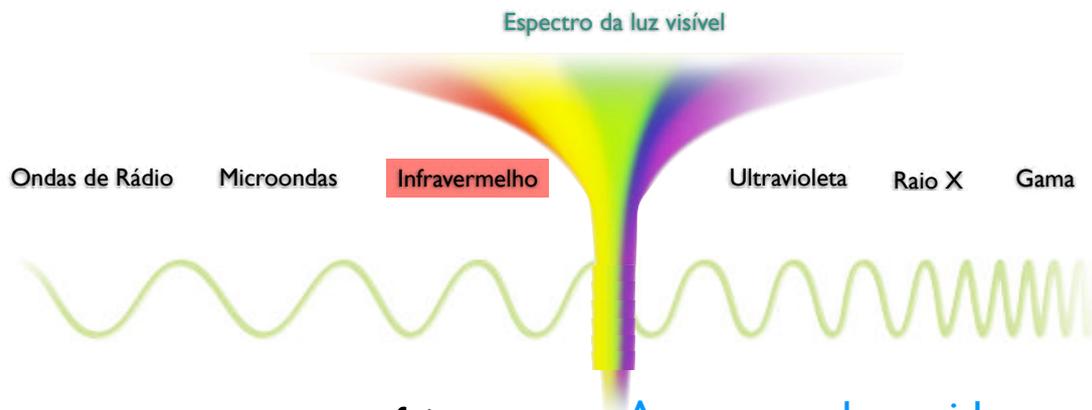
Ondas - Uma perturbação (informação) que se propaga sem o transporte de matéria.

Eletromagnética - Pois a propagação são dos campos elétricos e magnéticos.



6

Espectro da Radiação Eletromagnética



Dessas, as que apresentam efeitos térmicos mais acentuados são os **infravermelhos**, chamadas de **ondas de Calor**.

Ao serem absorvidas, as ondas eletromagnéticas (que transportam energia) se transformam em energia térmica.

7

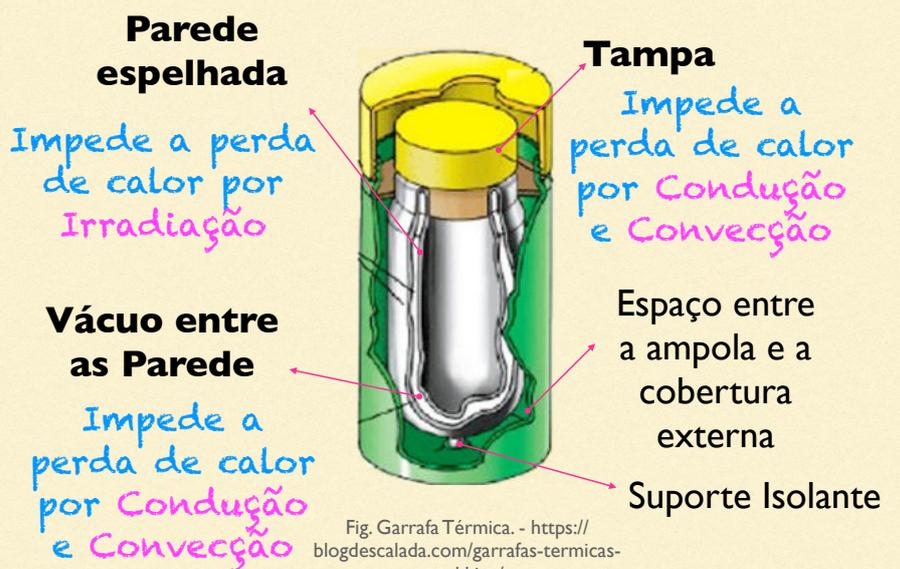
Propagação de Calor no Cotidiano

Garrafa Térmica

Vaso de Dewar



Físico inventor da garrafa térmica. - Séc. XIX



8

Propagação de Calor no Cotidiano

Inversão Térmica



Imagem: <https://saopaulosao.com.br/conteudos/outros/5061-polu%C3%A7%C3%A3o-do-ar-na-cidade-de-s%C3%A3o-paulo-est%C3%A1-20-menor-em-julho-com-quarentena.html>

9

Propagação de Calor no Cotidiano

Inversão Térmica

Dia normal



Dia com Inversão



Imagens: <https://www.vivendociencias.com.br/2015/05/inversao-termica.html>

10

Resumo



Imagem: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/processo-propagacao-calor.htm>

11

Objetivos da Aula

- ✓ Saber quais são 3 os processos de *Transmissão de Calor*.
- ✓ Conceituar condução térmica.
- ✓ Conceituar convecção térmica e saber sua origem.
- ✓ Conceituar irradiação térmica.
- ✓ Entender o funcionamento de uma garrafa térmica.
- ✓ Entender fisicamente o porque ocorre a inversão térmica.

12

PROPAGAÇÃO DE CALOR

FIM

(TRANSMISSÃO)

PROPAGAÇÃO DE CALOR

AULA - 04A

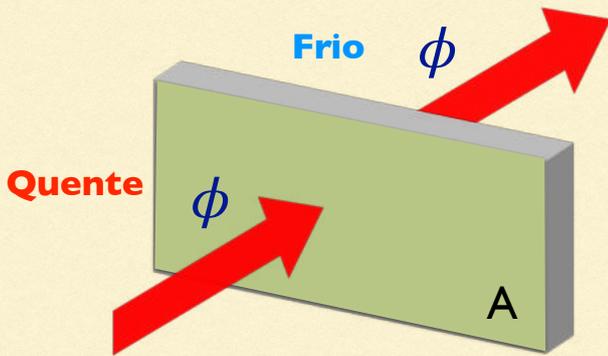
Jordão – Física

Objetivos da Aula

- Saber o que é *Fluxo de Calor* (ou *Fluxo Térmico*).
- Entender as propriedades do *Regime Estacionário*.
- Conhecer e saber aplicar a lei de Fourier.
- Entender a *Condutibilidade Térmica* e sua unidade.
- Entender fisicamente como o agasalho te conforta.
- Compreender o isolamento térmico no iglu.

Fluxo de Calor (ou Térmico) ϕ

Seja Q a quantidade de calor que passa por uma **superfície** de área A num intervalo de tempo Δt



$$\phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

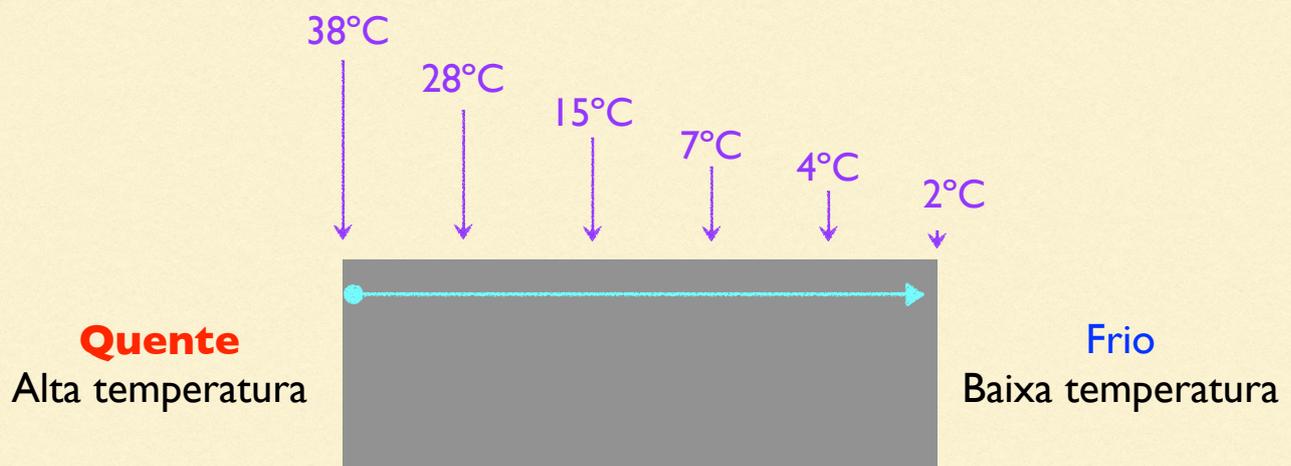
Unidade:

$$U[\phi] = \frac{U[Q]}{U[\Delta t]} = \frac{\text{J}}{\text{s}} \text{ W watt}$$

3

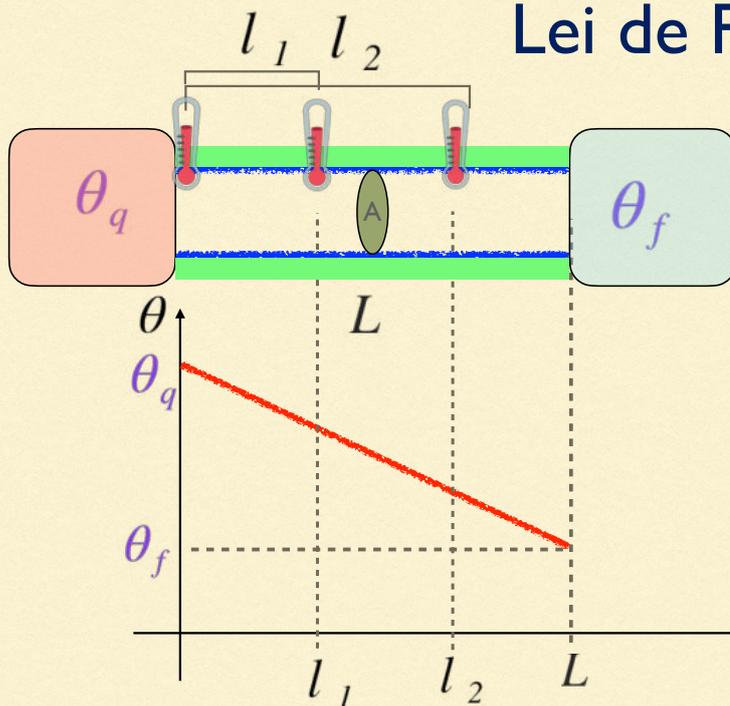
Regime Estacionário (ou Permanente)

É quando o fluxo térmico não apresenta variações com o tempo.



4

Lei de Fourier



$$\phi \propto \frac{A \cdot (\theta_q - \theta_f)}{L}$$

$$\phi = \frac{k \cdot A \cdot (\theta_q - \theta_f)}{L}$$

k - Coef. de condutibilidade
tímica

↓
Característica
do material

Condutibilidade T mica (Condutividade)

Expressa uma característica do material em ser bom ou mau condutor tímico, bons condutores têm k alto e maus condutores, isto  , isolantes t micos, têm k baixo.

$$\phi = \frac{k \cdot A \cdot (\theta_q - \theta_f)}{L}$$

Condutibilidade Térmica (Condutividade)

Expressa uma característica do material em ser bom ou mau condutor térmico, bons condutores têm k alto e maus condutores, isto é, isolantes térmicos, têm k baixo.

$$k = \frac{\phi L}{A (\theta_q - \theta_f)}$$

Unidade:

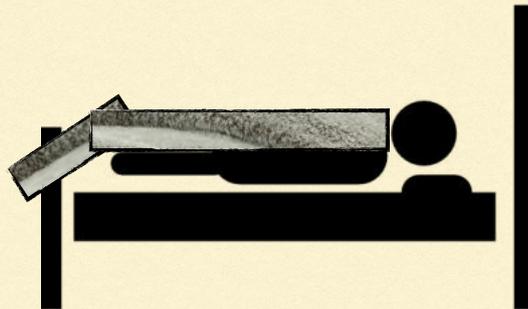
$$U[k] = \frac{U[\phi].U[L]}{U[A].U[\theta_q - \theta_f]}$$

$$U[k] = \frac{W \cdot m}{m^2 \cdot K} = \frac{W}{mK}$$

Agasalhos

Materiais de baixa condutividade térmica são utilizados na confecção de objetos que visam a prover isolamentos térmicos.

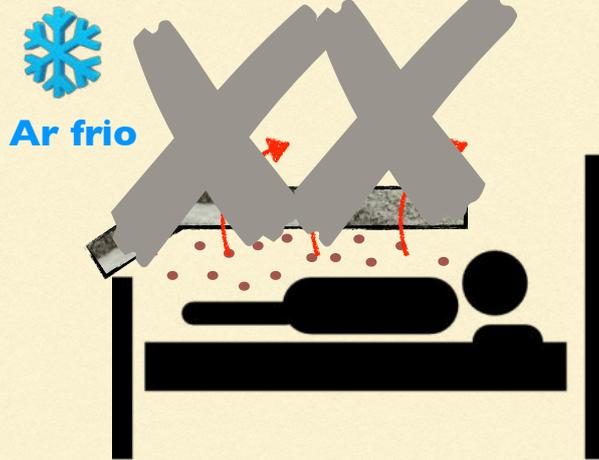
e.g. Cobertores



Agasalhos

Materiais de baixa condutividade térmica são utilizados na confecção de objetos que visam a prover isolamentos térmicos.

e.g. Cobertores



e.g. Iglu



De quê é feito o iglu?

R: De neve fresca

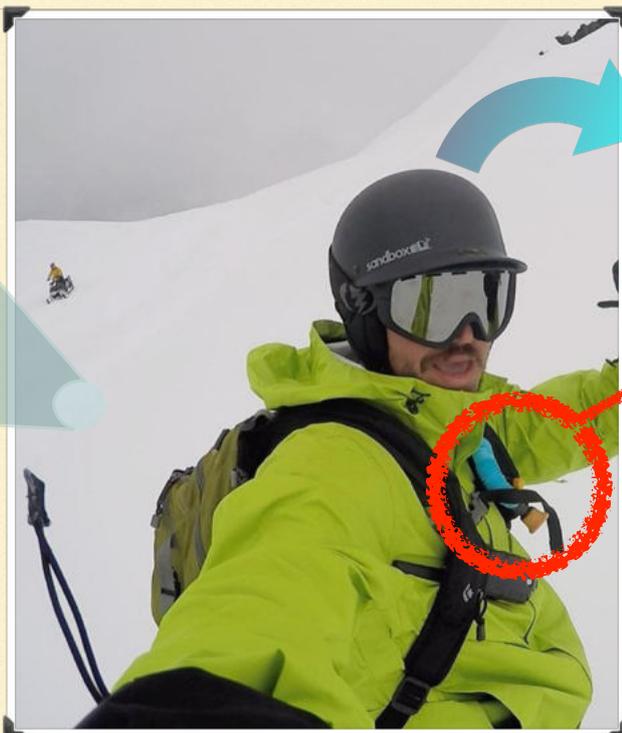
A temperatura pode variar de:
- 30 °C até - 3°C

Externo

Interno

Gelo \neq Neve

A neve fresca
pode conter
93% de Ar



Esse é o Gabriel

Aparelho
utilizado para
retirar ar da
neve.

Objetivos da Aula

- ✓ Saber o que é *Fluxo de Calor* (ou *Fluxo Térmico*).
- ✓ Entender as propriedades do *Regime Estacionário*.
- ✓ Conhecer e saber aplicar a lei de Fourier.
- ✓ Entender a *Condutibilidade Térmica* e sua unidade.
- ✓ Entender fisicamente como o agasalho te conforta.
- ✓ Compreender o isolamento térmico no iglu.

PROPAGAÇÃO DE CALOR

FIM

PROPAGAÇÃO DE CALOR

AULA - 04B

JORDÃO - FÍSICA II

- A Condução Térmica Microscopicamente.
- Efeito Estufa.

Condução Térmica

Os materiais se dividem, em relação a condução de calor, de duas maneiras, grosso modo, condutores e isolantes térmicos. Os condutores permitem a movimentação da energia (calor) que é motivada pela diferença de temperatura existente entre duas partes desse ou onde esse condutor se encontra e o isolante já não permite essa movimentação.

Por que metais ficam mais frios no inverno e mais quentes no verão?

Materiais com alta condutividade térmica roubam energia (se nossa temperatura estiver maior do que a sua) na forma de calor de maneira mais eficiente do que isolantes, por isso, quando em um dia frio tocamos a maçaneta metálica de uma porta de madeira ela nos parece mais fria do que a madeira de que é feita a porta, mesmo ambas estando a mesma temperatura, pois sentimos a sensação de frio quando perdemos calor. Os metais têm de um modo geral maior condutividade térmica, também devido aos elétrons livres que encontramos neles. Quando tocamos a maçaneta em um dia muito quente, termina por ocorrer o inverso.

Valor do Coeficiente de Condutividade Térmica de alguns materiais e substâncias.

Gases : k (W/m.K)

Ar:	0,026
Hélio:	0,15
Hidrogênio:	0,18

Metais: k (W/m.K)

Aço inox:	14
Chumbo:	35
Alumínio:	235
Cobre:	401
Prata:	428

Materiais comuns: k (W/m.K)

Espuma de Poliuretano:	0,024
Lã:	0,043
Fibra de vidro:	0,048
Madeira de pinho:	0,11
Vidro de janela:	1,0
Gelo	2.2
Neve fresca	0,15
Água	0,58

Efeito Estufa

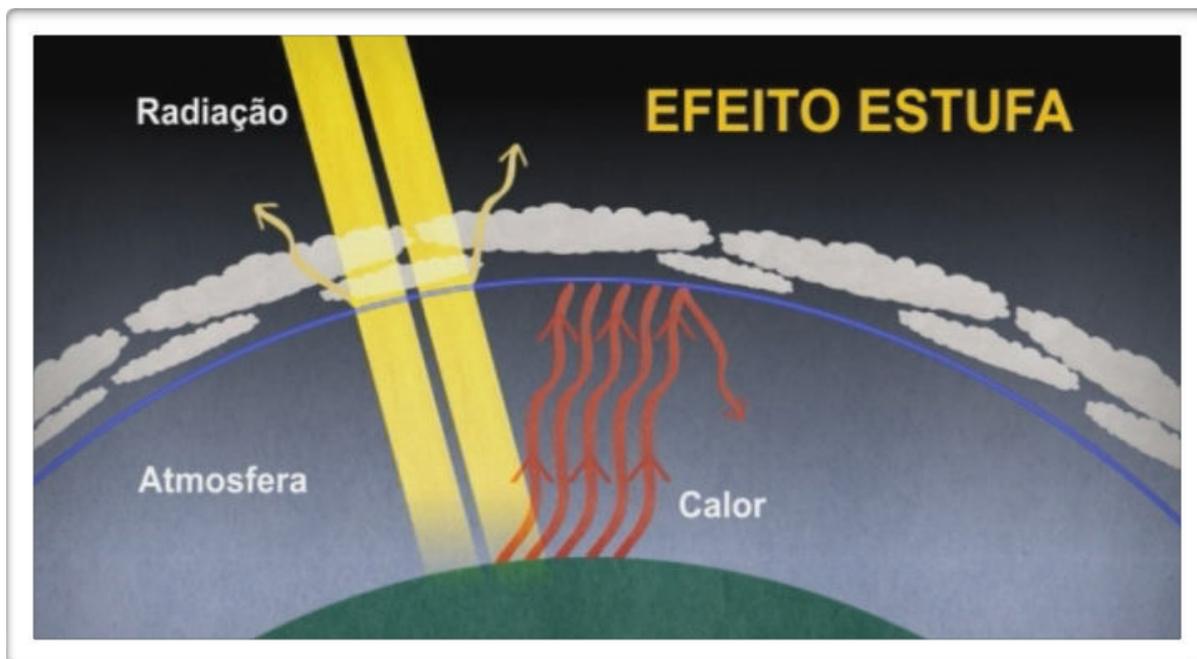


Imagem: <https://eshoje.com.br/poluicao-atmosferica-poluicao-das-aguas-poluicao-dos-solos/>

Na atmosfera terrestre

A presença, na atmosfera, do dióxido de carbono (CO_2), o mais abundante, do óxido nitroso (N_2O), do metano (CH_4), de água (sobretudo na forma de vapor) e de outros gases determina o **efeito estufa** (termo criado pelo químico sueco Svante Arrhenius, no século XIX). Esse efeito é uma condição natural de nosso planeta, que garante à Terra uma temperatura média adequada à vida. O princípio é o mesmo das estufas de plantas. A Terra recebe, durante o dia, parte da energia radiante do Sol e, durante a noite, irradia energia para o

espaço. Entretanto, as substâncias citadas impedem que a superfície terrestre perca, durante a noite, uma grande quantidade de calor para o espaço, absorvendo e reemitindo parte dessa radiação para a Terra.

Os principais gases produtores do efeito estufa são o vapor d'água, o gás carbônico, o metano, o óxido nitroso, o ozônio, os vários clorofluorocarbonetos e diversos outros, presentes em pequenas quantidades, também contribuem para a produção do efeito. Eles têm as propriedades de serem transparentes à radiação na faixa da luz visível, mas são retentores de radiação térmica.

CALORIMETRIA

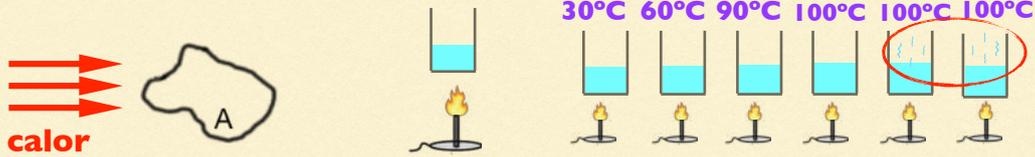
AULA - 05A

Jordão – Física

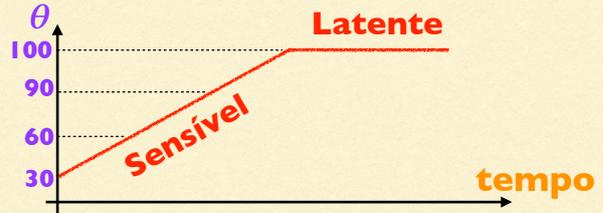
Objetivos da Aula

- Saber diferenciar Calor Sensível de Calor Latente.
- Saber calcular o Calor Latente.
- Saber conceituar o Calor latente de fusão, evaporação, solidificação ...
- Saber calcular o Calor Sensível.
- Distinguir Capacidade Térmica e calor específico.
- Compreender a ideia de Potência.

Tipos de Calor



O calor recebe o nome de acordo com o efeito que ele causa no corpo. O corpo A ao receber calor pode mudar sua temperatura ou mudar seu estado de agregação.



Calor Latente

Produz mudança de estado de agregação (mudança de fase).



Calor Latente de. Nome da Transf.

$$Q = m_T \cdot L$$

Massa transformada



$$|L_{\text{fusão}}| = |L_{\text{Solidif.}}|$$

$$|L_{\text{vap.}}| = |L_{\text{Liq.}}|$$

$$|L_{\text{Subl.}}| = |L_{\text{Ressubl.}}|$$

No S.I

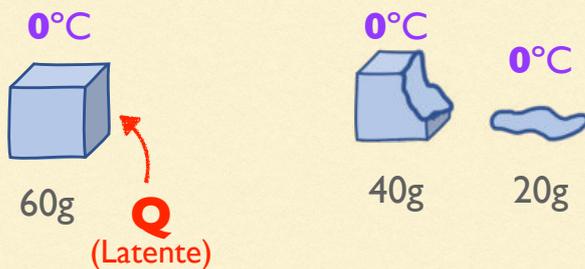
$$U[L] = \frac{J}{kg} \quad \text{Unidade usual: } U[L] = \frac{cal}{g}$$

Calor Latente

e.g. Transformando Gelo em água líquida

Tendo um pedaço de gelo de 60g, qual a quantidade de calor necessária para transformar 20g de gelo em água líquida.

Dado: $L_{\text{fusão}} = 80 \text{ cal/g}$



(Latente)

$$Q = m_T \cdot L_{\text{fusão}}$$

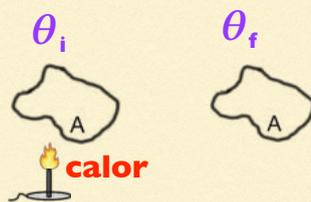
$$Q = 20\text{g} \cdot 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$$

$$Q = 1600 \text{ cal}.$$

5

Calor Sensível

Produz variação de temperatura



$$Q \propto \Delta\theta$$

$$Q = C \cdot \Delta\theta$$

Capacidade Térmica
ou
Capacidade Calorífica

Caract. do corpo

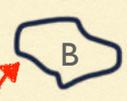
No S.I

$$U[\text{C}] = \frac{\text{J}}{\text{K}} \text{ ou } \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}$$

Calor Sensível

e.g. *Corpos com Capacidades Térmicas diferentes.*

Sejam dois corpos A e B com Capacidades Térmicas $C_A = 5 \text{ cal/}^\circ\text{C}$ e $C_B = 10 \text{ cal/}^\circ\text{C}$. Se fornecermos 20 calorias para cada um desses corpos quais serão suas variações de temperatura?

$C_A = 5 \text{ cal/}^\circ\text{C}$	$C_B = 10 \text{ cal/}^\circ\text{C}$
	
20 cal	20 cal
5 cal - 1°C	10 cal - 1°C
5 cal - 1°C	10 cal - 1°C
5 cal - 1°C	10 cal - 1°C
5 cal - 1°C	10 cal - 1°C
<hr/>	<hr/>
$\Delta\theta_A = 4^\circ\text{C}$	$\Delta\theta_B = 2^\circ\text{C}$

7

Calor Sensível

Produz variação de temperatura



$$Q \propto \Delta\theta$$

Capacidade Térmica

$$Q = C \cdot \Delta\theta$$

Todo **corpo** possui massa e é formado de determinada substância

$$C \propto m \quad C = c \cdot m$$

c - calor específico

Caract. da Substância

$$U[c] = \frac{\text{J/K}}{\text{kg}} = \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

Unidade usual: $U[c] = \frac{\text{cal}}{\text{g } ^\circ\text{C}}$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$



Potência

Quantidade de Energia (gasta ou fornecida) em um certo intervalo de tempo.

$$\text{Pot} = \frac{\text{Energia}}{\text{tempo}} \begin{array}{l} \longrightarrow \text{Ec ; Ep ; Em ; Q ; } \tau \\ \longrightarrow \text{s ; min ; h ; dia ; ano} \end{array}$$

$$U[\text{Pot}] = \frac{\text{J}}{\text{s}} \quad \text{W} \\ \text{watt}$$

$$U[E] = U[\text{Pot}] \cdot U[\text{tempo}]$$

$$U[E] = \text{W} \cdot \text{min}$$

$$U[E] = \text{HP} \cdot \text{dia}$$

$$U[E] = \text{W} \cdot \text{h}$$

Outras unidades:
HP ; Cavalo - Vapor

Objetivos da Aula

- Saber diferenciar Calor Sensível de Calor Latente.
- Saber calcular o Calor Latente.
- Saber conceituar o Calor latente de fusão, evaporação, solidificação ...
- Saber calcular o Calor Sensível.
- Distinguir Capacidade Térmica e calor específico.
- Compreender a ideia de Potência.

CALORIMETRIA

Jordão – Física

FIM

CALORIMETRIA

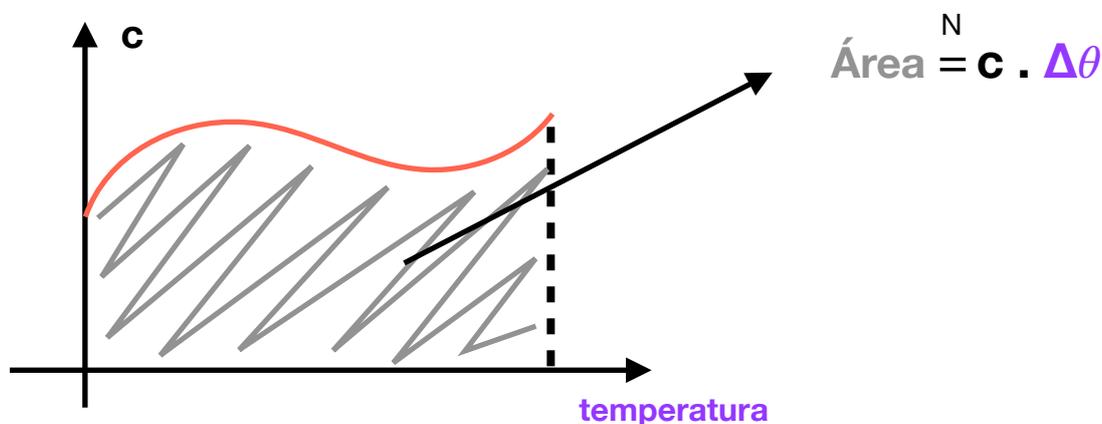
AULA - 05B

JORDÃO - FÍSICA II

- O calor específico.
- Problema resolvido.
- Caloria

Calor Específico

Estudamos o calor latente ($Q = m.L$), que provoca variação de estado de agregação e o calor sensível ($Q = m.c.\Delta\theta$), que produz variação de temperatura do sistema. No estudo da calorimetria a maioria das vezes consideramos o **calor específico (c)** constante, mesmo que esse varie um pouco com a temperatura, pois, essa variação nos sólidos e líquidos é muito pequenina. Se fossemos levar em conta a variação do calor específico devemos olhar o seu gráfico em função com a temperatura.

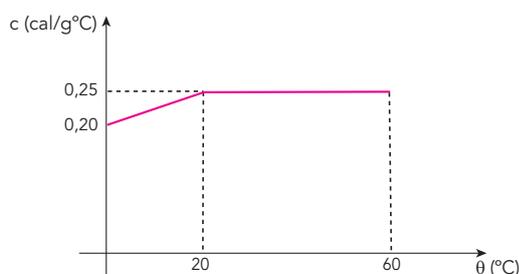


Nos gases porém c depende da variação de p (**pressão**) e V (**volume**), mas isso veremos mais para frente no estudos dos gases.

Vamos aqui ver uma questão da UERJ do vestibular de 2020, em que o Calor específico variava.

QUESTÃO
43

Para aquecer a quantidade de massa m de uma substância, foram consumidas 1450 calorias. A variação de seu calor específico c , em função da temperatura θ , está indicada no gráfico.

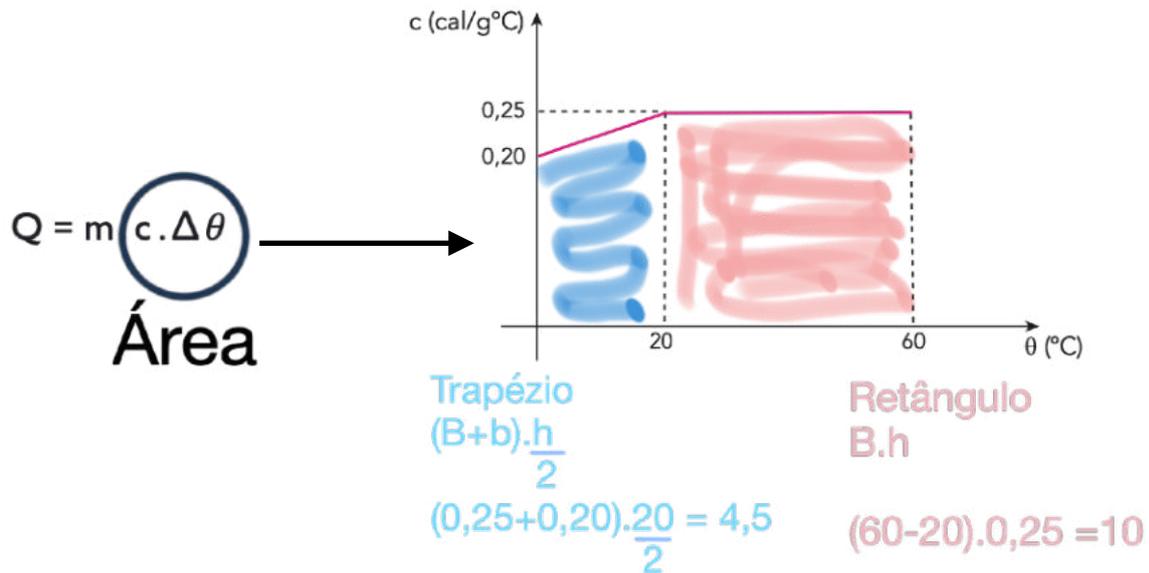


O valor de m , em gramas, equivale a:

- (A) 50
- (B) 100
- (C) 150
- (D) 300

Resolução.

Atente ao enunciado que a banca fala a quantidade de calor para aquecer a quantidade de massa m , então essa quantidade de calor (1450 cal) levou a amostra de 0°C até 60°C . Assim a área do gráfico será $c \cdot \Delta\theta$



Assim ficamos com:

$$1450 = m (4,5 + 10)$$

$$m = 100\text{g}$$

Gab. B (que corresponde ao gabarito oficial)

Problema Resolvido

Qual a quantidade de calor precisamos fornecer para 20 g de gelo a -10°C para transformar essas 20 g em 20 g de água líquida a 30°C ?

Dados:

calor específico do gelo = $0,5 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$;

Calor latente de fusão = 80 cal/g ;

calor específico da água líquida = $1,0 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$.

Resolução.

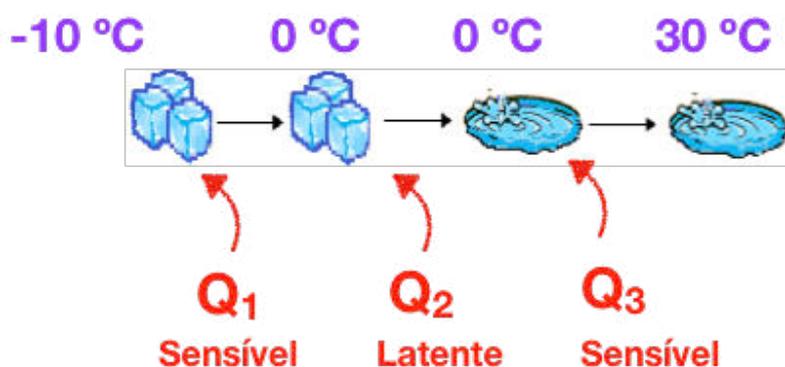
1ª Parte: temos que levar esse gelo de gelo a -10°C até gelo a 0°C .

Para isso utilizamos o calor sensível $Q_1 = m \cdot c_{\text{gelo}} \cdot \Delta\theta$

2ª Parte: agora temos que levar esse gelo a 0°C até água líquida a 0°C . Para isso o calor usado é o calor latente $Q_2 = m_T \cdot L_{\text{fusão}}$, repare que a massa transformada será de 20g.

3ª Parte: agora sim, levamos essa água a 0°C até a temperatura de 30°C . Para isso vamos utilizar o calor sensível

$Q_3 = m \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta\theta$



$$Q_1 = 20 \cdot 0,5 \cdot [0 - (-10)] = 100 \text{ cal}$$

$$Q_2 = 20 \cdot 80 = 1600 \text{ cal}$$

$$Q_3 = 20 \cdot 1 \cdot [30 - 0] = 600 \text{ cal}$$

$$Q_{\text{total}} = 2400 \text{ cal}$$

Caloria

A vida do ser humano depende de uma fonte de energia: as calorias contidas nos alimentos. Quando são ingeridas pelo organismo, elas são metabolizadas no seu interior, gerando a energia química que necessitamos para nossa sobrevivência. As calorias são encontradas em forma de energia em cada alimento; isso será utilizado pelo corpo para todas as funções, como digestão, respiração, prática de exercícios etc.

Todos os alimentos possuem calorias, mas em diferentes quantidades. Os alimentos gordurosos (por exemplo, carnes gordas e laticínios) são os que mais contêm calorias. Já os carboidratos, são os que possuem as calorias mais fáceis de serem absorvidas e metabolizadas, sendo fontes de energia muito boas.

Quando usamos **caloria** para nos referirmos ao valor energético dos alimentos, na verdade queremos dizer a quantidade de energia necessária para elevar a temperatura de 1 quilograma (equivalente a 1 litro) de água de 14,5 °C para 15,5 °C. O correto neste caso seria utilizar kcal (quilocaloria), porém o uso constante em nutrição fez com que se modificasse a medida. Assim, quando se diz que uma pessoa precisa de 2.500 calorias por dia, na verdade são 2.500.000 calorias (2.500 quilocalorias) por dia.

Hoje é comum os nutricionistas expressarem quilocalorias escrevendo abreviatura de caloria "Cal" com a letra C em maiúsculo.

e.g.: 1 Cal = 1000 cal = 1 kcal.

Essa notação não é científica e não é reconhecida pelo sistema de unidades, mas já é comum no cotidiano.

CALORIMETRIA

AULA - 06

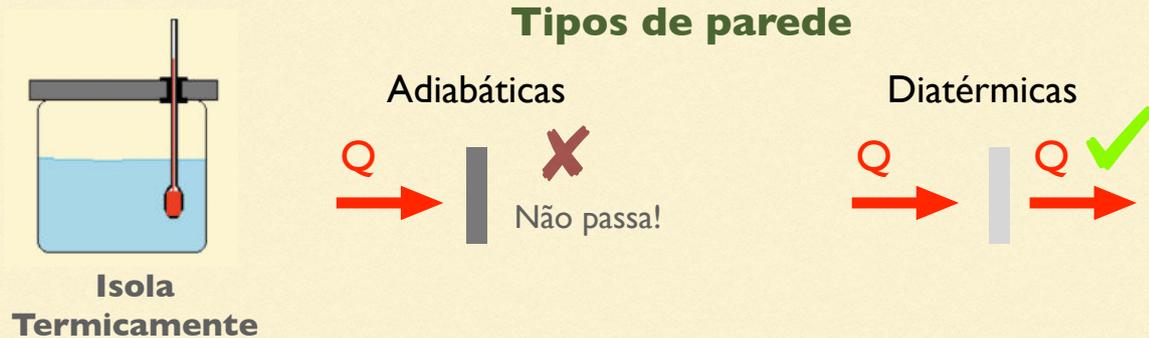
Jordão – Física

Objetivos da Aula

- Entender o que é e para que serve um calorímetro.
- Saber a diferença entre uma parede adiabática e uma diatérmica.
- Compreender o que é o equivalente em água ou outra substância.
- Saber aplicar o Princípio Geral das Trocas de Calor.

Calorímetro

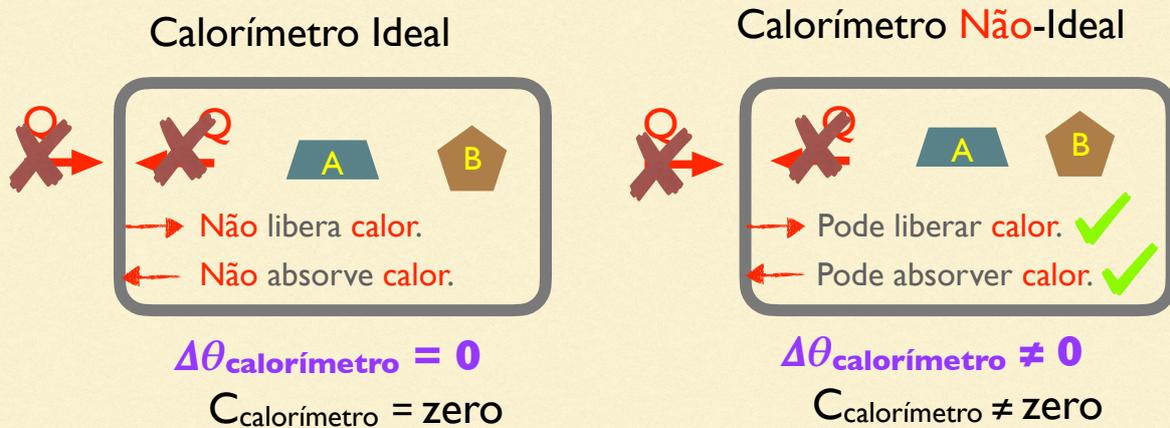
Dispositivo utilizado para determinar c , C e quantidades de calor trocadas. O mais simples é o de mistura ou de água.



3

Calorímetro

O calorímetro deve interferir o mínimo possível na medida.



4

Equivalente em Água

As vezes a $C_{\text{calorímetro}}$ é dada indiretamente através do seu *equivalente em água (E)*, i.e. , a massa de água que apresenta a mesma C que o calorímetro.

e.g. Quando se diz que o equivalente em água (E) do calorímetro é de 20g, temos:

$$E = m_{\text{água}} \text{ de } 20\text{g}$$

$$C_{\text{calorímetro}} = C_{\text{água}}$$

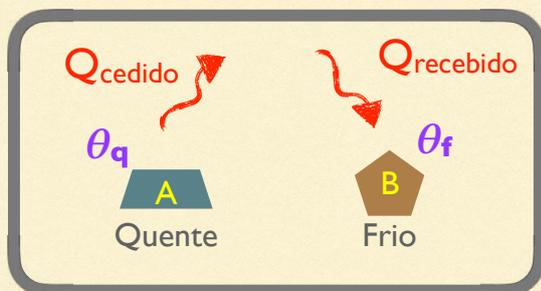
$$C_{\text{calorímetro}} = m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}}$$

$$C_{\text{calorímetro}} = 20\text{g} \cdot 1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C} = 20 \text{ cal/}^{\circ}\text{C}$$

5

Princípio Geral das Trocas de Calor

Quando dois ou mais corpos (ou sistemas) trocam calor entre si, até ser atingido o equilíbrio térmico, é nulo o *somatório algébrico* das quantidades de calor trocadas.



Calorímetro Ideal

$$Q_{\text{cedido}} + Q_{\text{recebido}} = 0$$

Cuidado!

$$|Q_{\text{cedido}}| = |Q_{\text{recebido}}| \quad \checkmark$$

Princípio Geral das Trocas de Calor



$$Q_{cedido} + Q_{recebido} = 0$$

Princípio Geral das Trocas de Calor

e.g. Um pedaço de gelo de 150g à temperatura de -20°C é colocado dentro de uma garrafa térmica contendo 400g de água à temperatura de 22°C . Considerando a garrafa térmica como um sistema perfeitamente isolado e com capacidade térmica desprezível, pode-se dizer que ao atingir o equilíbrio térmico o sistema no interior da garrafa apresenta-se como:

Dados: $L_{fusão} = 80 \text{ cal/g}$ e $C_{gelo} = 0,5 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$

- a) um líquido a $10,5^\circ\text{C}$.
- b) um líquido a $15,4^\circ\text{C}$.
- c) uma mistura de sólido e líquido a 0°C
- d) um líquido a 0°C

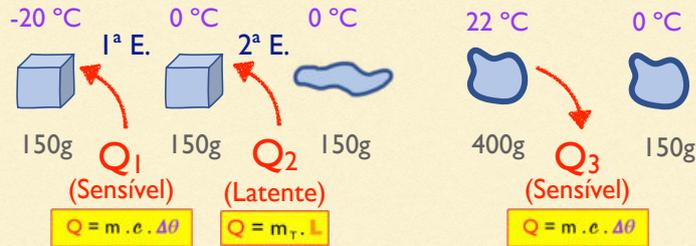


Resolução

Será que esses 400g de água a 22°C têm energia suficiente para derreter esses 150 g de gelo?

1° - Análise

Para derreter o gelo. Os 400g conseguem derreter?



$$Q_1 = 150 \cdot 0,5 \cdot [0 - (-20)]$$

$$Q_1 = 1.500 \text{ cal} \quad 1^{\text{a}} \text{ Etapa}$$

$$Q_2 = 150 \cdot 80$$

$$Q_2 = 12.000 \text{ cal} \quad 2^{\text{a}} \text{ Etapa}$$

$$Q_3 = 400 \cdot 1 \cdot [0 - (22)]$$

$$Q_3 = - 8.800 \text{ cal}$$



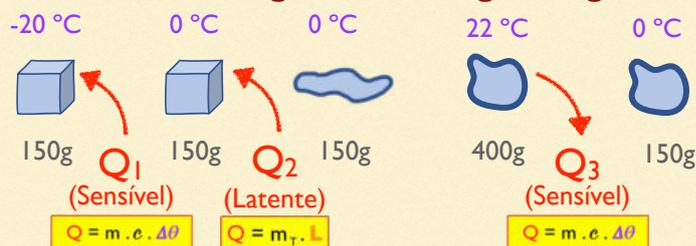
9

Resolução

Será que esses 400g de água a 22°C têm energia suficiente para derreter esses 150 g de gelo?

1° - Análise

Para derreter o gelo. Os 400g conseguem derreter?



$$Q_1 = 150 \cdot 0,5 \cdot [0 - (-20)]$$

$$Q_1 = 1.500 \text{ cal} \quad 1^{\text{a}} \text{ Etapa}$$

$$Q_2 = 150 \cdot 80$$

$$Q_2 = 12.000 \text{ cal} \quad 2^{\text{a}} \text{ Etapa}$$

$$Q_3 = 400 \cdot 1 \cdot [0 - (22)]$$

$$Q_3 = - 8.800 \text{ cal}$$

1ª Etapa
 -20°C 1.500 cal 0°C
 150g ✓ 150g
 Quanto sobra?
 8.800 - 1.500 = 7.300 cal
 Consigo realizar a 2ª Etapa?
 2ª Etapa 12.000 cal
 Sobrou 7.300 cal

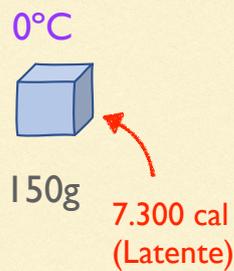
R.: Não.

Mas com esses 7.300 cal consigo derreter parte do gelo.

10

Resolução

Mas com esses 7.300 cal consigo derreter parte do gelo.



$$7.330 = m_T \cdot 80$$
$$m_T = 91,25 \text{ g}$$



Gab. Letra c

c) uma mistura de sólido e líquido a 0°C

11

Objetivos da Aula

- Entender o que é e para que serve um calorímetro.
- Saber a diferença entre uma parede adiabática e uma diatérmica.
- Compreender o que é o equivalente em água ou outra substância.
- Saber aplicar o Princípio Geral das Trocas de Calor.

CALORIMETRIA

Jordão – Física

FIM

DIAGRAMA DE FASES

AULA - 07 A

Jordão – Física

1

Objetivos da Aula

- Compreender o conceito de pressão.
- Entender que existe uma relação entre: estado físico, pressão e temperatura.
- Saber interpretar o gráfico de diagrama de fases.

2

Influência da pressão no estado de agregação

As substâncias apresentam diferentes estados de agregação para diferentes valores de pressão e temperatura.

Assim, ser:



Sólido



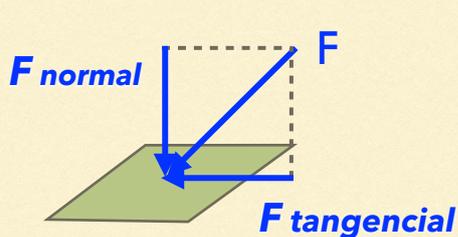
Líquido



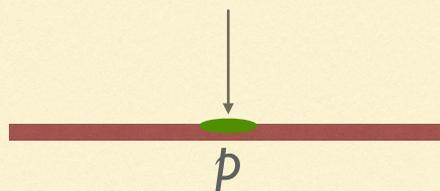
Gasoso

Depende tanto da **Temperatura** quanto da **Pressão**.

Pressão *Grandeza escalar*



Partícula do fluido •

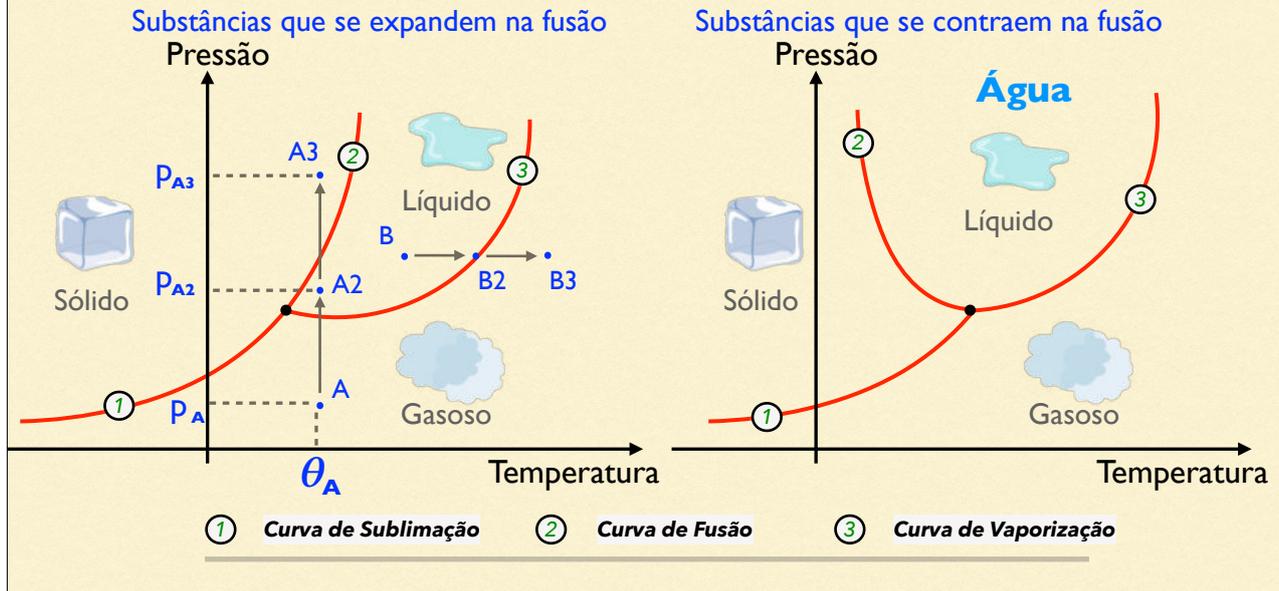


$$p = \frac{F_{normal}}{Área}$$

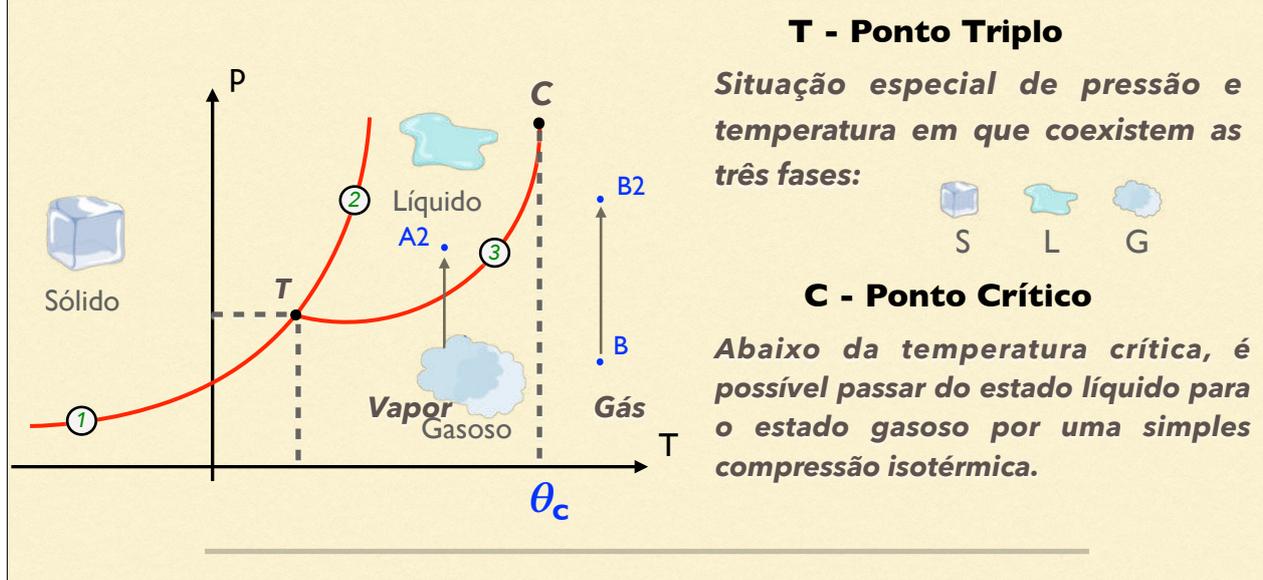
Unidade [p]: Pa (Lê-se: pascal) = N/m²

Outras unidades usuais: atm, cmHg, mmHg, Torr

Diagrama de Fases (Substâncias puras)



Pontos Importantes do Gráfico de Fases



Transição : Líquido ↔ Gasoso

Do Líquido para o Gasoso chama-se genericamente: **Vaporização**

Evaporação

Se processa de modo suave e lento e ocorre a qualquer temperatura.

e.g.



Roupas estendidas no varal.



Poça de água secando.

Ebulição (fervura ou Vap. Típica)

Se processa de modo violento, a temperatura e pressão bem definidas.

e.g.



Água fervendo.

Essas bolhas são a substância H_2O no estado gasoso.

Transição : Líquido ↔ Gasoso

Evaporação - Se processa de modo suave e lento e ocorre a qualquer temperatura.

e.g.



Roupas estendidas no varal.



Poça de água secando.

Fatores que influenciam a velocidade de evaporação

Natureza do líquido.

Área da superfície livre.

Pressão externa.

Temperatura

Concentração de vapor no ambiente

Transição : Líquido ⇌ Gasoso

Ebulição

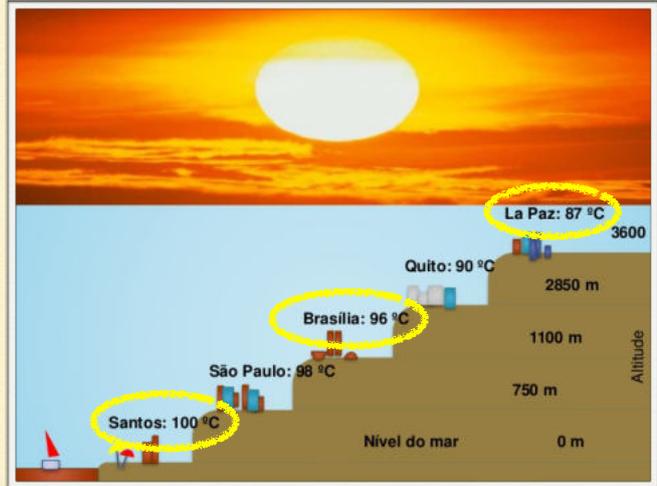
Se processa de modo violento, a temperatura e pressão bem definidas.

e.g.



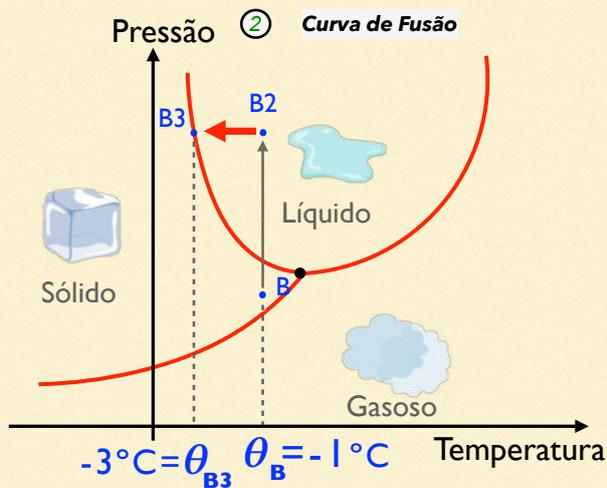
Água fervendo.

Essas bolhas são a substância H_2O no estado gasoso.

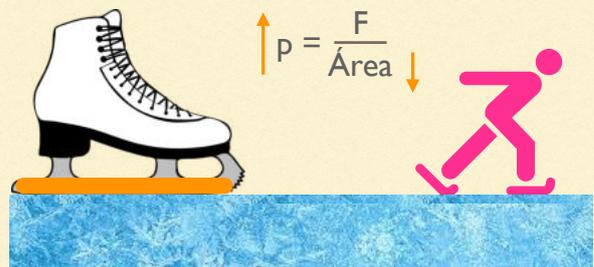


Transição : Sólido ⇌ Líquido

Diagrama de Fases da Água



Patinação no Gelo



Objetivos da Aula

- ✓ Compreender o conceito de pressão.
- ✓ Entender que existe uma relação entre estado físico, pressão e Temperatura.
- ✓ Saber interpretar o gráfico de diagrama de fases.

11

DIAGRAMA DE FASES

Jordão – Física

Fim

DIAGRAMA DE FASES

AULA - 07 B

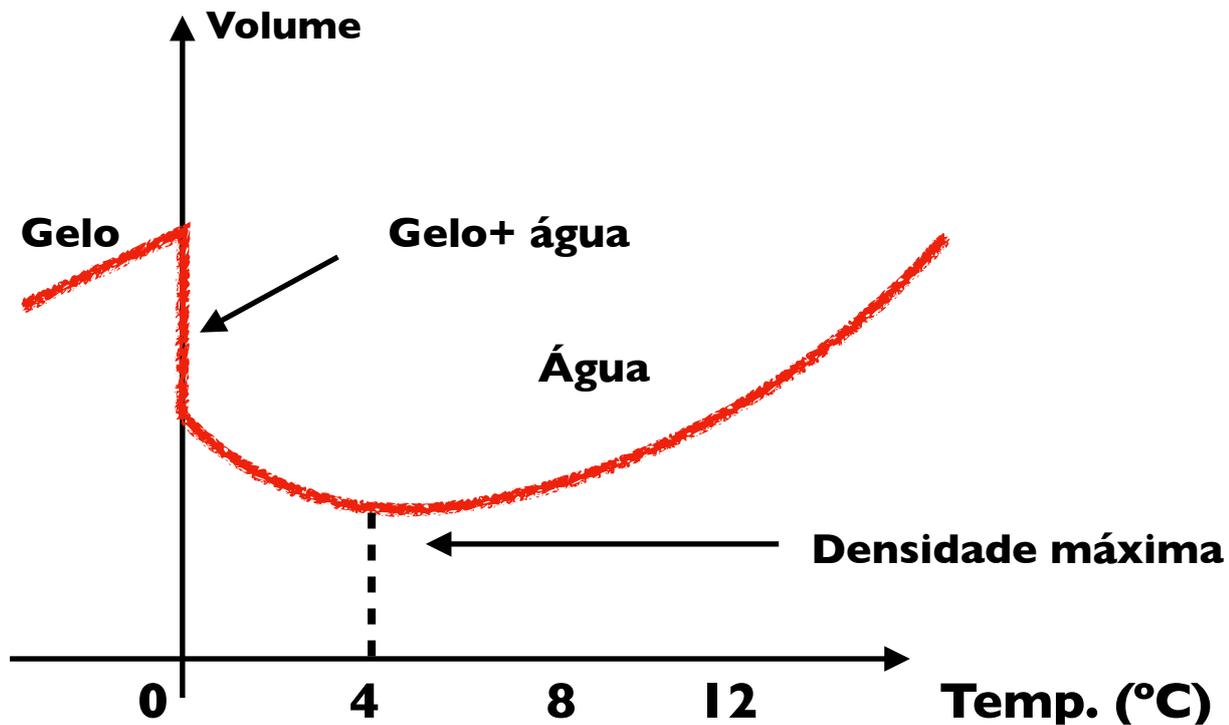
JORDÃO - FÍSICA II

Dilatação Anômala da Água

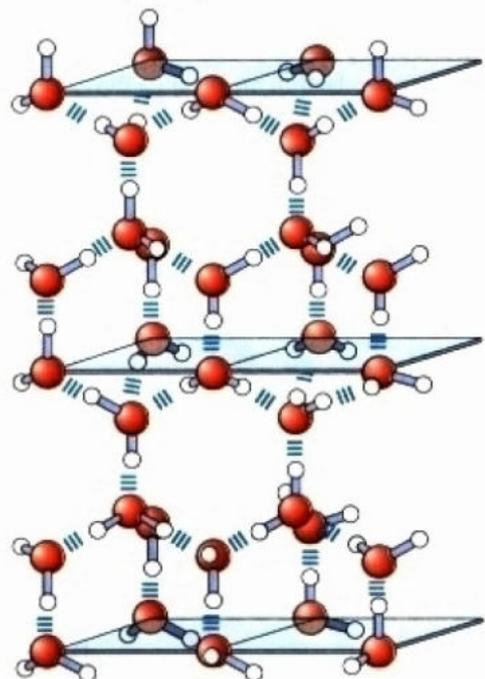
Pressão Máxima de Vapor

Dilatação Anômala da Água

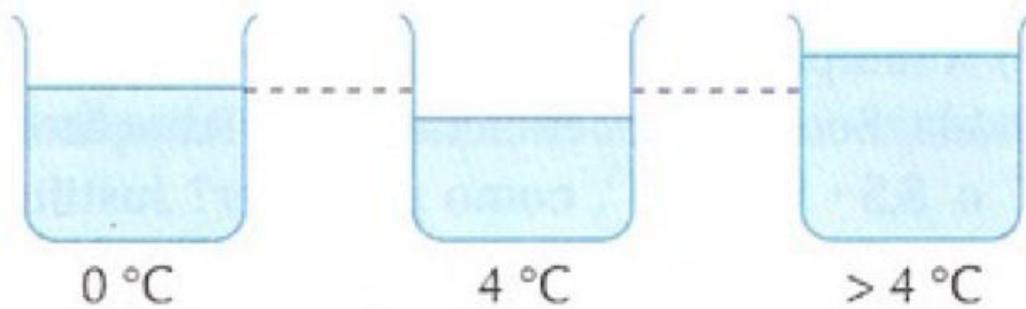
A maioria das substâncias sofre expansão quando aquecidas, e retração quando resfriadas, porém água é uma substância que se contrai ao sofrer fusão, apresentando um comportamento distintos da maioria das substâncias, ela apresenta um comportamento invertido entre 0 °C e 4 °C.



Como as moléculas de água apresentam uma polaridade, isto é, uma não homogeneidade de distribuição da carga elétrica (elétrons e prótons) no espaço, isso juntamente com a geometria da molécula, faz aparecer as chamadas ligações de Hidrogênio, que possuem valor significativo quando a água está no estado sólido (gelo). Essa nova geometria que as moléculas formam (estruturas hexagonais) terminam por gerar espaços vazios entre elas aumentando assim o seu volume e conseqüentemente diminuindo a densidade, motivo pelo qual o gelo boia na água.

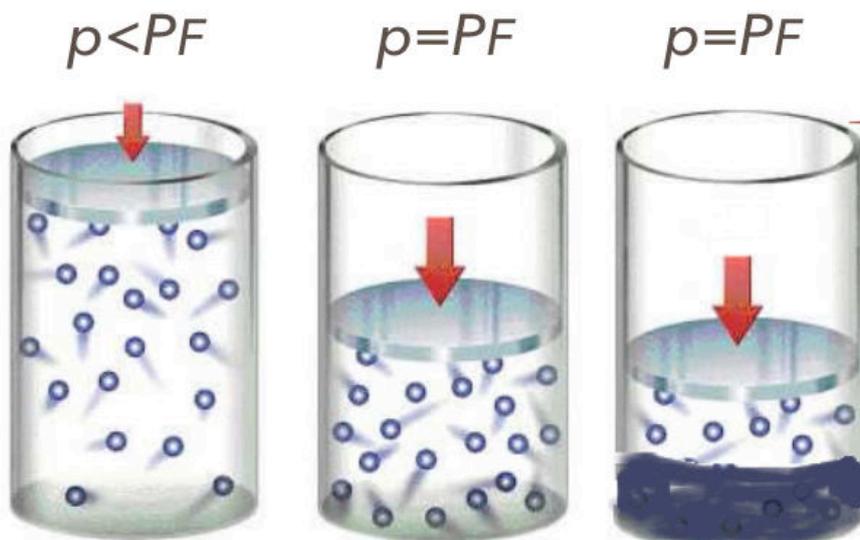


Quando a água passa para o estado líquido essas ligações se enfraquecem e o espaço entre as moléculas começa a ser defeito, sendo então ocupado por outras moléculas, resultando assim na diminuição de volume, que persiste até a temperatura atingir 4 °C, então a agitação molecular passa a ser dominante novamente resultando em um aumento de volume, voltando assim a água a se comportar como a maioria das substâncias.



Pressão Máxima de Vapor

Imaginemos que, no interior de um cilindro provido de êmbolo, seja colocado um fluido gasoso mantendo constante a temperatura, seu volume seja diminuído. Quando a temperatura está inferior a temperatura crítica e comprime-se isotermicamente a substância, a pressão aumenta até um valor máxima P_F , quando passa a ocorrer a transição entre o vapor e o líquido.



Toda vez que, num recipiente fechado, sob pressão e temperatura constantes, um líquido estiver na presença do seu vapor, este estará exercendo a pressão Máxima P_F para aquela temperatura. O vapor nessas condições é denominado *vapor saturante*. Se o recipiente for aberto, escapando parte do vapor, uma parte do líquido se vaporiza para que a pressão se mantenha constante no valor de P_F .

Caso o recipiente seja conservado aberto, o líquido se vaporiza por completo. Quando o líquido deixa de existir, temos no interior do recipiente apenas vapor, exercendo uma pressão inferior à pressão máxima. Nessa situação, o vapor é denominado *vapor seco*.



DILATOMETRIA (OU DILATAÇÃO)

AULA - 08 A

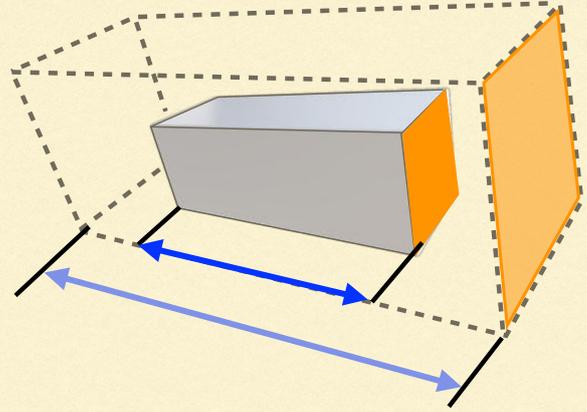
Jordão – Física

Objetivos da Aula

- Compreender o fenômeno da Dilatação.
- Saber aplicar as leis da Dilatação linear, superficial e volumétrica.
- Compreender o significado físico do Coef. de dilatação.
- Conhecer a relação entre os Coef. de dilatação.

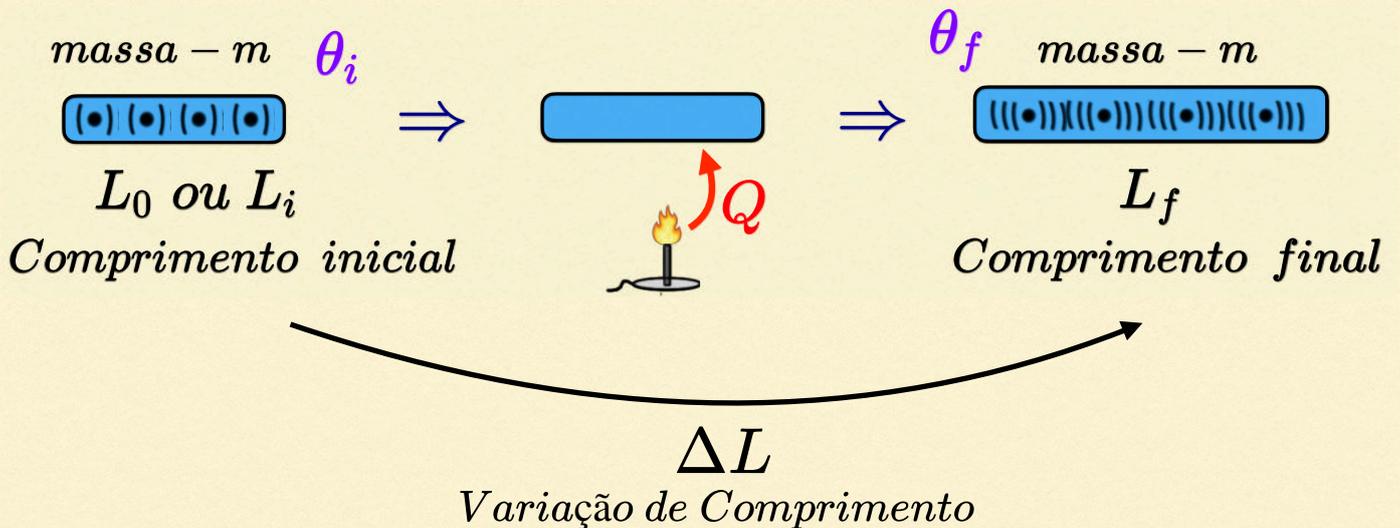
Dilatação ou Dilatometria

Quando a temperatura de um corpo varia, as distâncias atômico-moleculares variam, resultando em uma mudança em suas dimensões. O estudo da dilatação é experimental e para facilitar esse estudo costuma-se dividir a dilatação dos sólidos em três tipos, conforme o número de dimensões que são analisadas

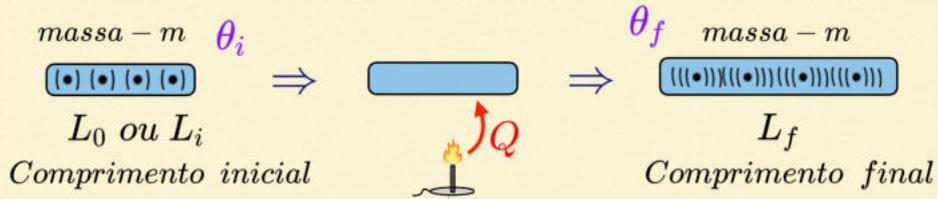


Dilatação Linear - I D

Dilatação que fica mais evidente em fios, barras, trilhos de trem etc.



Dilatação Linear - I D



Como o ΔL_i depende do L_i

L_i	$\Delta\theta$	ΔL
-------	----------------	------------

Como o ΔL_i depende do $\Delta\theta$

L_i	$\Delta\theta$	ΔL
-------	----------------	------------

Análise:

$$\Delta L \propto L_i \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta L = \alpha \cdot L_i \cdot \Delta\theta$$

Característica do Material

α – Coef. de dilatação linear

$$\Delta L = L_i \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

5

Dilatação Linear - I D

$$\Delta L = L_i \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

α – Coef. de dilatação linear

Característica do Material

$$U[\alpha] = \frac{\Delta L}{L_i \Delta\theta} \quad \therefore \quad U[\alpha] = \frac{\cancel{m}}{\cancel{m} \cdot K} = \frac{1}{K} = K^{-1}$$

kelvin
recíproco

Unidade usual: $U[\alpha] = \frac{1}{^\circ C} = ^\circ C^{-1}$ (grau Celsius recíproco)

6

Alguns Cuidados!

Unidade usual: $U[\alpha] = \frac{1}{^\circ\text{C}} = ^\circ\text{C}^{-1}$
 $\frac{1}{^\circ\text{C}}$ É uma VARIACÃO de Temperatura.

e.g. 10°F 46°F
 L_i L_f

$$\Delta L = L_i \cdot n^\circ \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot 36 \Delta\theta_F$$

Devemos converter a VARIACÃO da Temp. em Fahrenheit

$$\Delta\theta_F = 36^\circ\text{F}$$

$$\frac{\Delta\theta_C}{5} = \frac{\Delta\theta_F}{9} \quad \text{ou} \quad \theta_C = \frac{\theta_F - 32}{9}$$

$$\frac{\Delta\theta_C}{5} = \frac{36}{9} \quad \therefore \Delta\theta_C = 20^\circ\text{C}$$

$$\Delta L = L_i \cdot n^\circ \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot 20^\circ$$

7

Interpretação física do Coef. de dilatação linear

34°C $\Delta\theta = 2^\circ\text{C}$ 36°C

 $L_i = 5\text{ m}$?

$$\alpha = 0,1 \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

8

Interpretação física do Coef. de dilatação linear

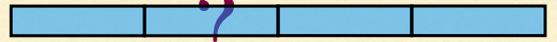
34 °C

$\Delta\theta = 2\text{ °C}$

36 °C



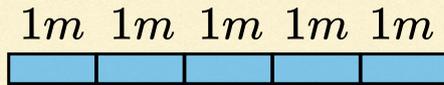
$L_i = 5\text{ m}$



1,2m 1,2m 1,2m 1,2m 1,2m

$L_f = 6\text{ m}$

$$\alpha = 0,1 \frac{1}{\text{°C}}$$

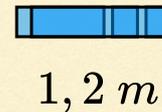


$\Delta L = 1\text{ m}$

$$\alpha = \frac{0,1\text{ m}}{\text{m} \cdot \text{°C}} \Delta l$$

$$\Delta\theta = 2\text{ °C}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta l \\ \Delta l \end{array} \right\} \begin{array}{l} 0,1\text{ m} \\ 0,1\text{ m} \end{array}$$



1,2 m

9

Alguns valores de Coef. de dilatação

Coeficientes de dilatação linear

(Valores médios)

Material	Coeficiente α (°C ⁻¹)
Chumbo	$2,7 \cdot 10^{-5}$
Zinco	$2,6 \cdot 10^{-5}$
Alumínio	$2,2 \cdot 10^{-5}$
Ferro	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Platina	$9,0 \cdot 10^{-6}$
Vidro comum	$8,0 \cdot 10^{-6}$
Porcelana	$3,0 \cdot 10^{-6}$
Vidro pirex	$3,0 \cdot 10^{-6}$

O valor é “pequeno”.

Material	Coeficiente α (°C ⁻¹)
Vidro comum	$8,0 \cdot 10^{-6}$

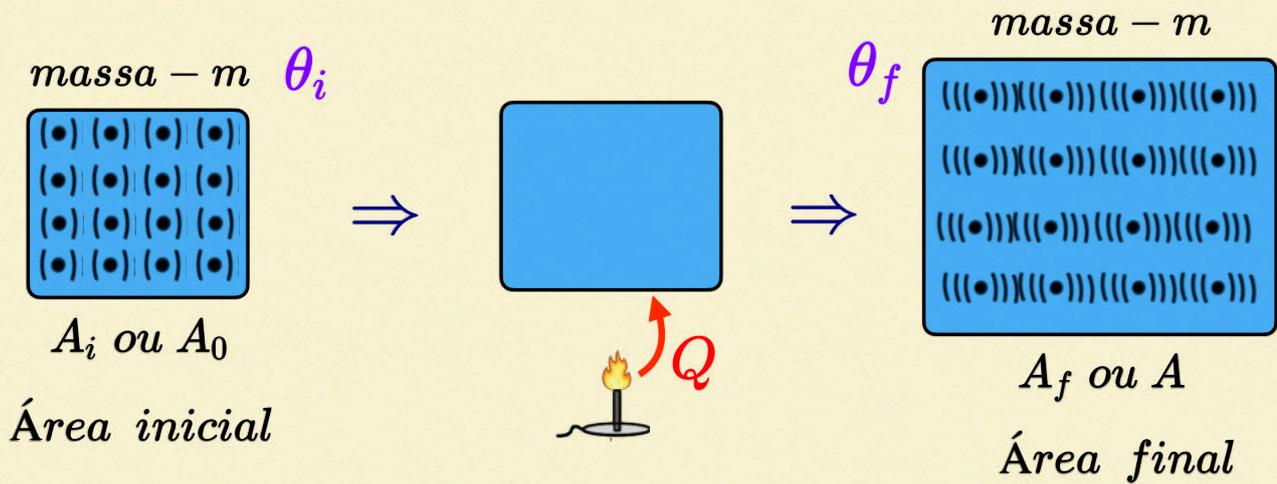
$$\alpha_{\text{vidro}} = \frac{0,000008\text{ m}}{\text{m} \cdot \text{°C}} \Delta l$$

Obs. : O termo α^2 é muito pequeno, sendo desprezível em muitos casos.

10

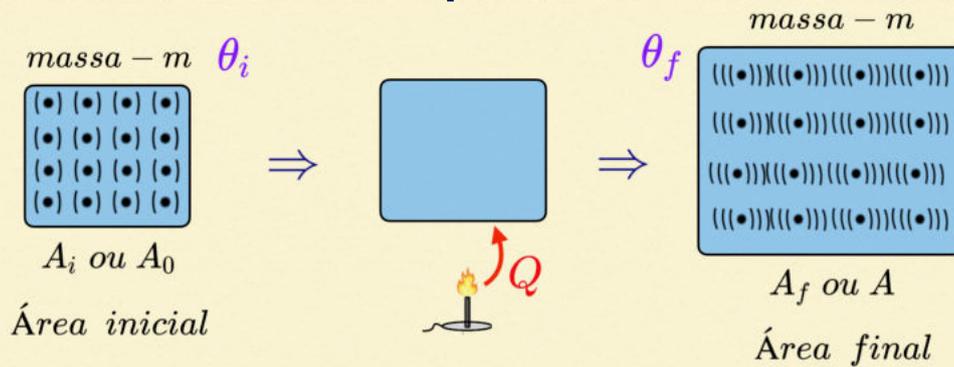
Dilatação Superficial - 2 D

Dilatação que fica mais evidente em azulejos, chapas etc.



11

Dilatação Superficial - 2 D



Análise:

$$\Delta A \propto A_i \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta A = \beta \cdot A_i \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta A = A_i \cdot \beta \cdot \Delta\theta$$

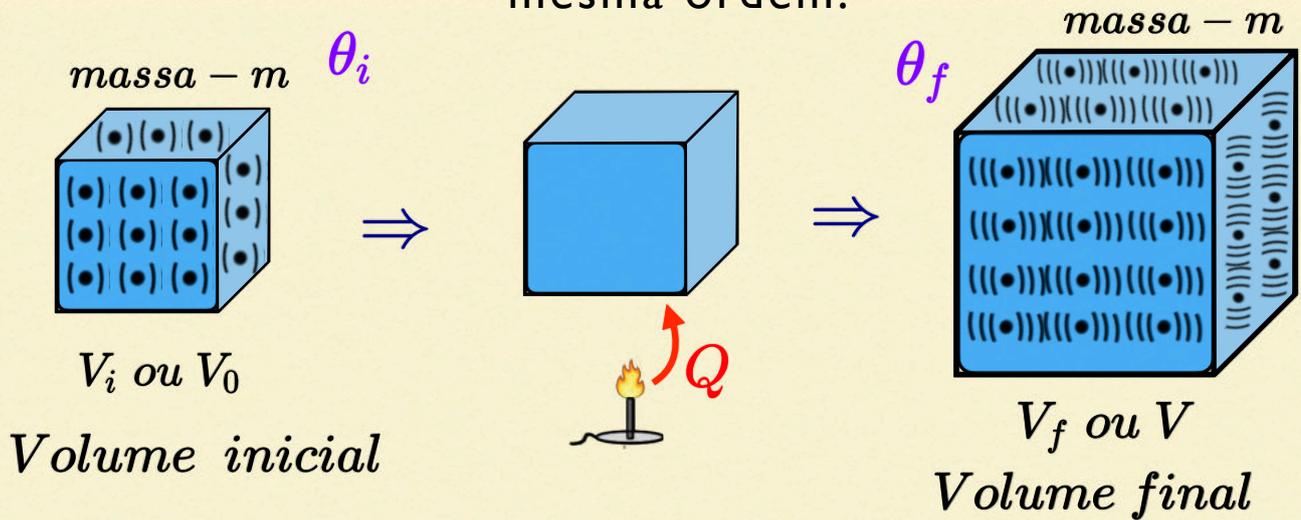
β – Coef. de dilatação superficial

Característica do Material

12

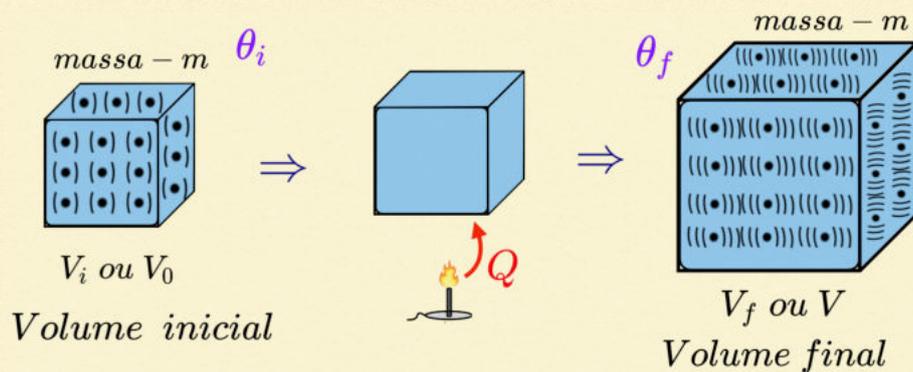
Dilatação Volumétrica do Sólido - 3 D

Fica mais evidente em sólidos com as 3 dimensão da mesma ordem.



13

Dilatação Volumétrica do Sólido - 3 D



Análise:

$$\Delta V \propto V_i \cdot \Delta \theta$$

$$\Delta V = \gamma \cdot V_i \cdot \Delta \theta$$

$$\Delta V = V_i \cdot \gamma \cdot \Delta \theta$$

γ – Coef. de dilatação volumétrica
Característica do Material

14

Relação entre os Coeficientes de dilatação.

Os coeficientes de dilatação de um mesmo material se relacionam de acordo com a relação

$$\frac{\alpha}{1} = \frac{\beta}{2} = \frac{\gamma}{3}$$

e.g. $\frac{\alpha}{1} = \frac{\beta}{2} = \frac{\gamma}{3}$

$$\beta = 2\alpha$$

~~$\frac{\alpha}{1} = \frac{\beta}{2} = \frac{\gamma}{3}$~~

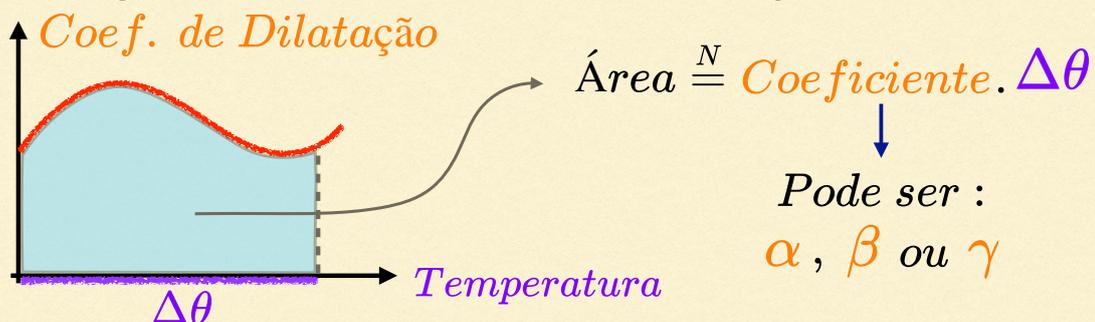
$$\gamma = 3\alpha$$

Obs. : Existem materiais com coef. dil. negativo. Tais materiais se contraem quando a temperatura aumenta.

15

Variação do Coef. de dilatação.

No estudo da dilatação na maioria das vezes consideramos o **Coeficiente de dilatação** constante, mesmo que esse varie um pouco com a temperatura. Se formos levar em conta a variação do **Coef. de dilatação** devemos olhar o seu gráfico em função com a temperatura.



16

Objetivos da Aula

- Compreender o fenômeno da Dilatação.
- Saber aplicar as leis da Dilatação linear, superficial e volumétrica.
- Compreender o significado físico do Coef. de dilatação.
- Conhecer a relação entre os Coef. de dilatação.

17

DILATOMETRIA (OU DILATAÇÃO)

AULA - 08 A

Jordão – Física

18

DILATOMETRIA

(OU
DILATAÇÃO)

AULA - 08 B (ESCRITO)

JORDÃO - FÍSICA II

Juntas de Dilatação

Dilatação dos Corpos Ocos.

Lâmina Bimetálica.

Juntas de Dilatação.

As juntas de dilatação são espaços ou estruturas que servem para “proteção” do sistema, pois as estrutura (corpos) ao sofrerem uma variação de temperatura podem alterar suas dimensões a ponto de causarem algum estrado na estrutura a qual estão inseridos.

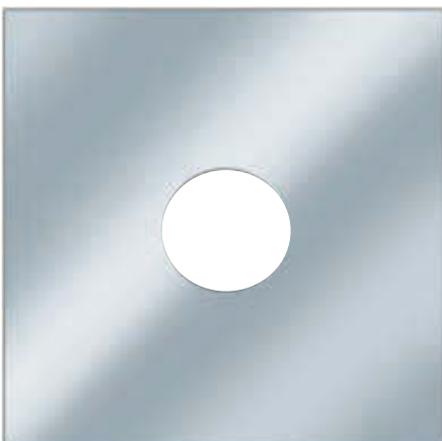


Imagem: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/juntas-de-dilatacao-ajudam-a-evitar-fadiga-estrutural-de-pontes-e-viadutos/14462>

Dilatação dos Corpos Ocos.

Os corpos ocos se dilatam como se fossem maciços e feitos do próprio material que constitui o corpo.

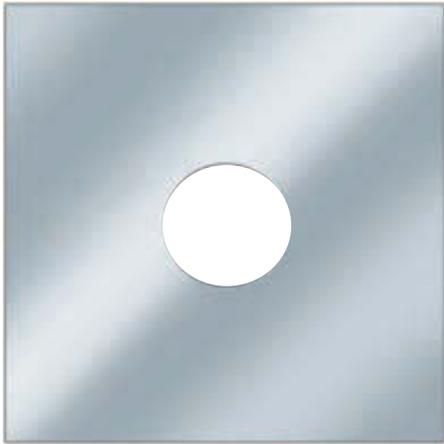
Furo em uma Chapa.



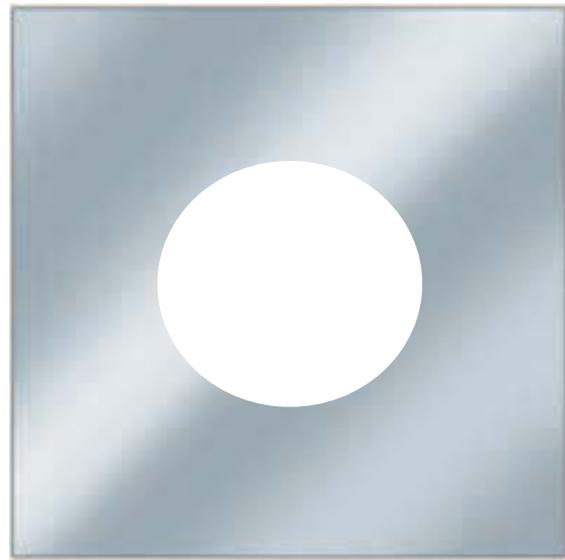
Quando aquecidos, o furo e o anel dilatam-se como se o seu interior (parte oca) fosse também formada do próprio material da chapa!

Por isso, eles tornam-se maiores.

Antes de aquecer.



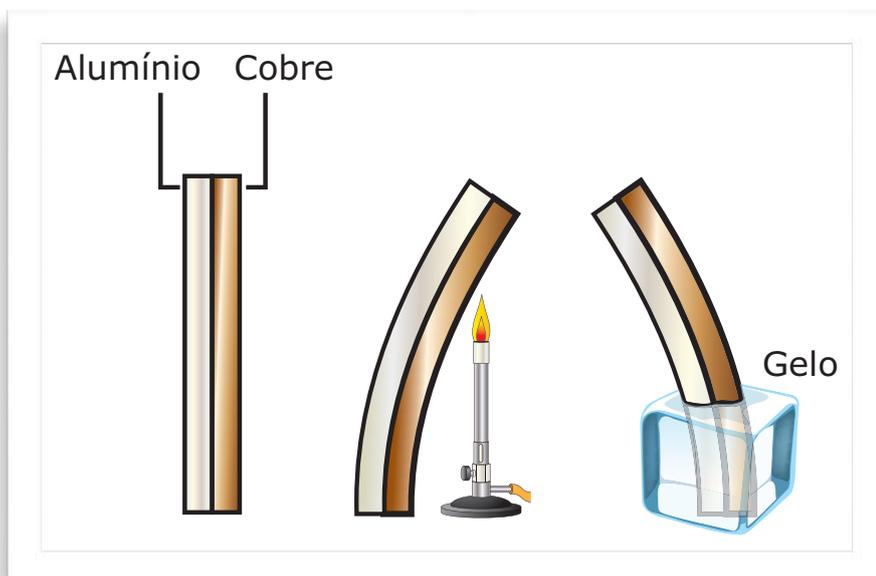
Depois de aquecer.



Para o resfriamento ocorre o inverso.

Lâmina Bimetálica.

As lâminas bimetálicas são construídas como próprio nome sugere de dois metais que possuem coeficiente de dilatação diferentes, por isso tendem a dilatar-se de maneira diferente. Como as lâminas são solidárias uma a outra para poderem dilatar de maneira diferente devem entortar para algum lado de acordo com a situação!



Você conseguiria uma explicação geométrica para esse fato?

DILATOMETRIA (OU DILATAÇÃO)

AULA - 09

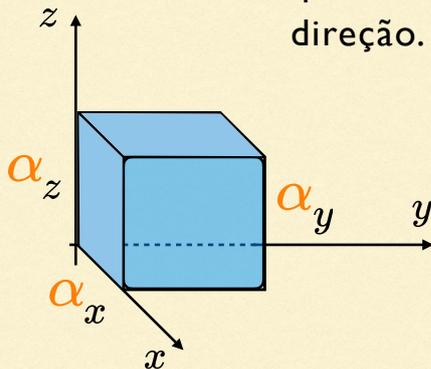
Jordão – Física

Objetivos da Aula

- Compreender o que são os sólidos anisótropos.
- Entender a variação da densidade com a temperatura.
- Relacionar alguns feitos mecânico com a dilatação.
- Saber como calcular a dilatação de um líquido.

Dilatação dos Sólidos Anisótropos (Anisotrópicos)

Anisotropia - é a característica que uma substância possui em que uma certa propriedade física varia com a direção.

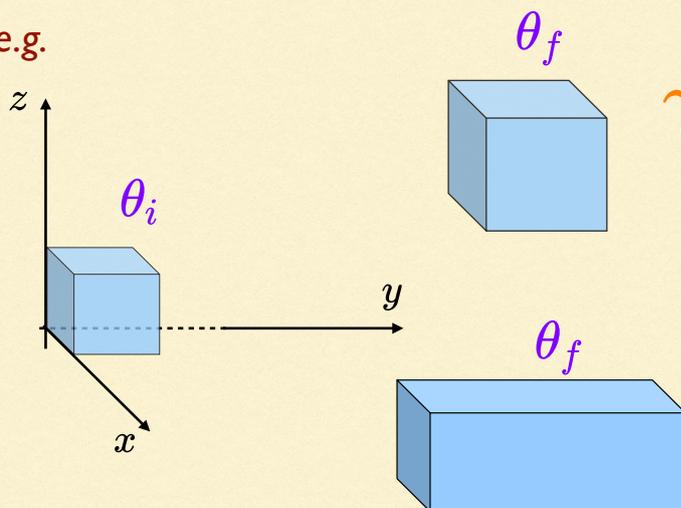


No caso da dilatação essa propriedade é o *coeficiente de dilatação*.

$$\gamma = \alpha_x + \alpha_y + \alpha_z$$

Dilatação dos Sólidos Anisótropos

e.g.



Isotrópicos

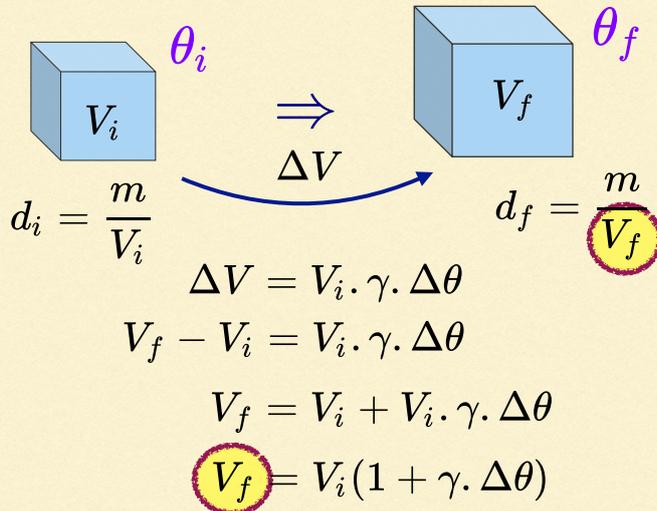
$$\gamma = \alpha_x + \alpha_x + \alpha_x$$

$$\gamma = 3\alpha_x$$

Anisotrópicos

$$\gamma = \alpha_x + \alpha_y + \alpha_z$$

Variação da Densidade com a Temperatura



Substituindo:

$$d_f = \frac{m}{V_i (1 + \gamma \cdot \Delta\theta)}$$

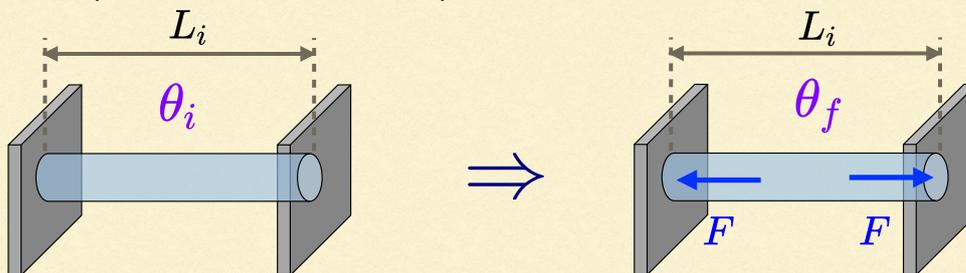
$$d_f = \frac{m}{V_i} \cdot \frac{1}{(1 + \gamma \cdot \Delta\theta)}$$

$$d_f = \frac{d_i}{(1 + \gamma \Delta\theta)}$$

5

Efeitos Mecânicos da Dilatação Térmica

O efeito da dilatação térmica é, dentro dos limites da lei de Hooke (deformação elástica), determinável.



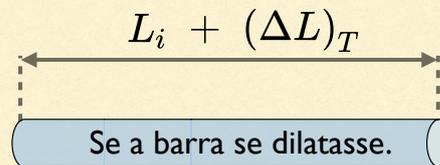
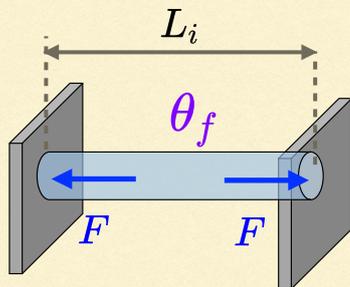
Paredes rígidas e indesejáveis.

Se a barra pudesse se dilatar, ela sofreria uma variação de comprimento.

$$(\Delta L)_T = L_i \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

6

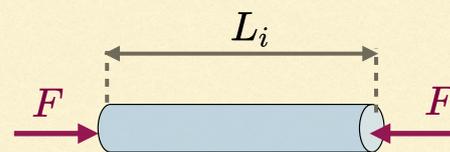
Efeitos Mecânicos da Dilatação Térmica



Mas a força elástica não deixa essa dilatação ocorrer e "causa" uma contração $(\Delta L)_E$

Se a barra pudesse se dilatar, ela sofreria uma variação de comprimento.

$$(\Delta L)_T = L_i \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

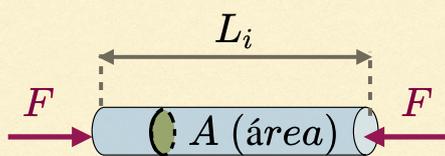


Força Elástica.

Força Elástica.

7

Efeitos Mecânicos da Dilatação Térmica



Força Elástica.

Força Elástica.

Lei de Hooke para Sólidos.

$$F \propto |(\Delta L)_E|$$

Juntando a dilatação com a Lei de Hooke.

$$F = \frac{E \cdot A}{L_i} \cdot |(\Delta L)_E|$$

$$|(\Delta L)_T| = |(\Delta L)_E|$$

E – Módulo de Young
(elasticidade do material)

$$F = \frac{E \cdot A}{L_i} \cdot |(\Delta L)_E| \quad (\Delta L)_T = L_i \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

8

Efeitos Mecânicos da Dilatação Térmica

Juntando a dilatação com a Lei de Hooke.

$$F = \frac{E \cdot A}{L_i} \cdot |(\Delta L)_E| \quad (\Delta L)_T = L_i \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

$$F = \frac{E \cdot A}{L_i} \cdot L_i \cdot \alpha \cdot \Delta\theta \quad \therefore \quad F = E \cdot A \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

O fenômeno mecânico que se produz em consequência de alguma ação térmica é tal que, pelo seu efeito, opõe-se ao fenômeno térmico.

9

Dilatação Térmica dos Líquidos

Quando aquecidos (ou resfriados), os líquidos em geral se dilatam e a lei da dilatação é idêntica à que foi estabelecida para os sólidos.

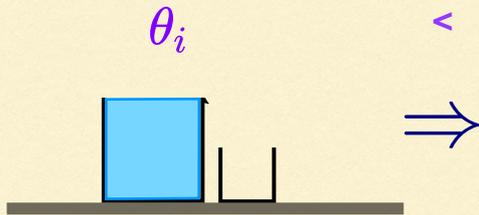
$$\Delta V = V_i \cdot \gamma \cdot \Delta\theta$$

De modo geral, os líquidos se dilatam mais que os sólidos.

Líquido	Coefficiente γ (°C ⁻¹)	Sólido	Coefficiente γ (°C ⁻¹)
Mercúrio	$1,8 \cdot 10^{-4}$	Chumbo	$8,1 \cdot 10^{-5}$
Petróleo	$9,0 \cdot 10^{-4}$	Zinco	$7,8 \cdot 10^{-5}$
Alcool Etílico	$1,1 \cdot 10^{-3}$	Alumínio	$6,6 \cdot 10^{-5}$
Gasolina	$1,2 \cdot 10^{-3}$	Ferro	$3,6 \cdot 10^{-5}$

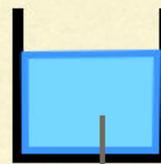
10

Dilatação Térmica dos Líquidos



11

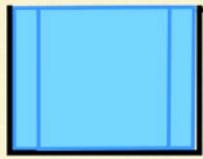
Dilatação Térmica dos Líquidos



$$\Delta V_{\text{líquido (real)}} = \Delta V_{\text{Recipiente}} + \Delta V_{\text{aparente}}$$

12

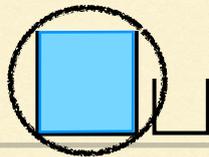
Dilatação Térmica dos Líquidos



$$\Delta V_{\text{líq}} = \Delta V_{\text{Rec}} + \Delta V_{\text{ap}}$$

$$V_i \cdot \gamma_{\text{líq}} \cdot \Delta\theta = V_i \cdot \gamma_{\text{Rec}} \cdot \Delta\theta + ?$$

Existe algum líquido aqui que tenha volume V_i e se dilate ΔV_{ap} ?



R : Não



13

Dilatação Térmica dos Líquidos

$$\Delta V_{\text{líq}} = \Delta V_{\text{Rec}} + \Delta V_{\text{ap}}$$

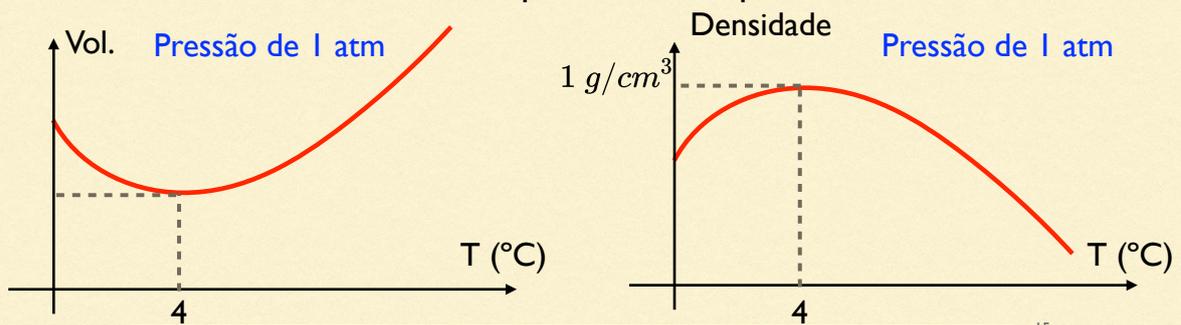
$$\cancel{V_i} \cdot \cancel{\gamma_{\text{líq}}} \cdot \cancel{\Delta\theta} = \cancel{V_i} \cdot \cancel{\gamma_{\text{Rec}}} \cdot \cancel{\Delta\theta} + \cancel{V_i} \cdot \cancel{\gamma_{\text{ap}}} \cdot \cancel{\Delta\theta}$$

$$\gamma_{\text{líq}} = \gamma_{\text{Rec}} + \gamma_{\text{ap}}$$

14

Comportamento Térmico da Água

De 0° a 4°C ocorre o rompimento (gradativo) de parte das ligações de hidrogênio (pontes de H), causando uma aproximação entre as moléculas. Esse efeito predomina sobre o afastamento intermolecular (devido a agitação), que se torna mais significativo acima de 4°C, ocasionando a expansão do líquido.



Objetivos da Aula

- Compreender o que são os sólidos anisótropos.
- Entender a variação da densidade com a temperatura.
- Relacionar alguns feitos mecânico com a dilatação.
- Saber como calcular a dilatação de um líquido.

DILATOMETRIA (OU DILATAÇÃO)

AULA - 09

Jordão – Física

AULA DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS GASES

AULA 10 A

JORDÃO - FÍSICA II

- O mol e Massa Molar
- Gases
- Equação de Clapeyron
- Lei Geral dos Gases Perfeitos

Comportamento Térmico dos Gases.

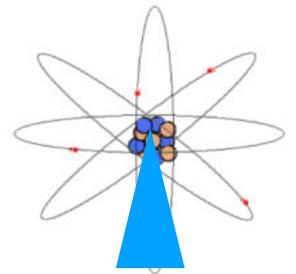
O comportamento térmico dos gases é uma matéria com diversas aplicações no cotidiano. Viu-se por experiências que, o mais importante no estudo dos gases é o **NUMERO DE MOLÉCULAS** e **NÃO** a massa do gás. Assim vamos relembrar alguns conceitos de química que serão usados no estudo dos gases.

O mol e a Massa Molar

Para comparar as massas dos diversos átomos e moléculas, foi adotado um padrão a partir do isótopo do Carbono 12 (C^{12}).

C^{12} - 6p⁺ e 6n (no núcleo) 1 unidade de massa atômica (1u) = $\frac{\text{Massa do } C^{12}}{12}$

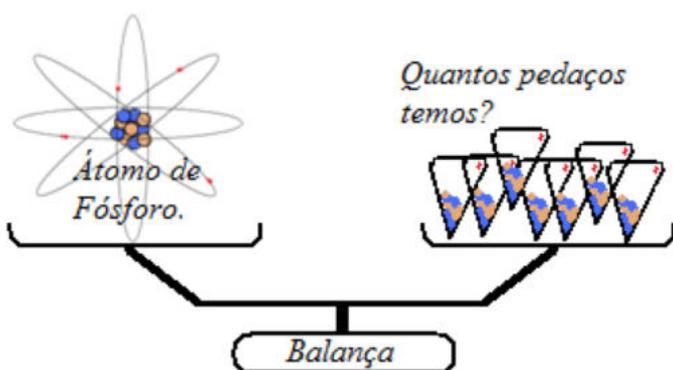
1 u \approx 1,66 x 10⁻²⁷ kg



- **Massa atômica**

Compara-se a massa de **um** átomo desse elemento com a unidade de massa atômica.

Exemplo: Massa atômico do Fósforo (P)



30 + 0,97 pedaços

Assim: Massa atômica do fósforo
P = 30,97 u

- **Massa molecular**

Massa da molécula com a unidade de massa atômica u.

Exemplo: Massa molecular da Amônia (NH₃)
1 átomo de N } Massa atômica do N - 14 u

Assim: 1 x 14u + 3 x 1u = 17u

Massa molecular da NH₃ = 17u

3 átomos de H Massa atômica do H - **1 u**

- **0 mol**

Para contagem do número de objetos microscópicos como átomos e moléculas, frequentemente usa-se o *mol*.

1 mol de objetos = 6,023 . 10²³ objetos

O número **6,023 . 10²³** é conhecido como **Número de Avogadro N_A**

O número é análogo a outras unidades básicas.

Exemplo:

1 dúzia = 12

1 dezena = 10

1 mol = 6,02 . 10²³

- **Massa Molar (M)**

Massa Molar de um elemento ou molécula é a massa de **1 mol** desse elemento ou molécula, expressa em **g / mol**.

Exemplo:

M do alumínio = ? Sabemos que Massa atômica do Al = **27 u**

Assim basta substituir **u** por **g/mol** . **M do Al = 27 g/mol**

M da Amônia = ? Sabemos que Massa molecular da NH₃ = **17 u**

Assim basta substituir **u** por **g/mol** . **M do NH₃ = 17 g/mol**

Com isso podemos agora relacionar a *massa de uma amostra (m)*, o *número de mol (n)* e a *Massa Molar (M)*

$$m = n \cdot M$$

Gases

Os gases são compostos por diversas moléculas, muitas vezes consideradas partículas. O estudo de cada uma delas é inviável e também dispendioso, por isso trabalhamos com dados estatísticos, através da média das grandezas.

- **Gás Ideal (ou Perfeito)**

É considerado um gás ideal (ou perfeito) aquele que possui moléculas que não interagem entre si e chocam-se elasticamente. (pequenas bolas de bilhar)

Obs.: Os gases reais rarefeitos (baixa densidade) a altas temperatura e baixas pressões se comportam como ideais.

- **Variáveis de Estado**

Um estado termodinâmico fica bem definido se conhecemos as variáveis de estado: *Volume (V)*, *Pressão (p)* e *Temperatura absoluta (T)*, que se relacionam através da equação de estado do fluido, isto é, se conhecermos duas dessas variáveis a outra ficará automaticamente determinada.

Equação de Clapeyron

O físico francês Paul Clapeyron estabeleceu a relação que relaciona as variáveis de estado p, V e T .

$$p V = n R T$$

$$R = \left\{ \begin{array}{l} \text{equação que} \\ 0,082 \text{ atm.L / mol.K} \\ 8,31 \text{ J / mol.K (No SI)} \\ 2,0 \text{ cal / mol.K} \end{array} \right.$$

R - Constante Universal dos Gases Perfeitos

Obs.: O valor da constante não é o mais importante e sim as suas unidades.

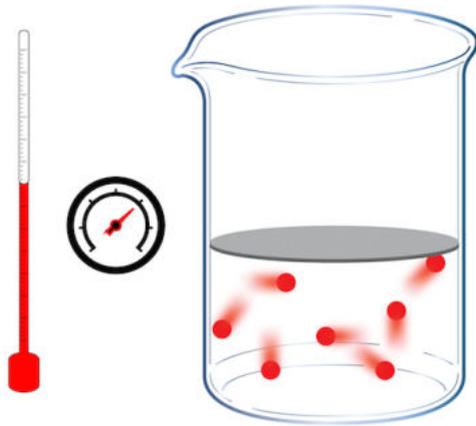
Obs.: Nas Condições Normais de Temp. e pressão (CNTP): $p = 1\text{atm}$ e $T = 273\text{K}$

Lei Geral dos Gases Perfeitos

Considerando uma transformação sofrida por um gás ideal desde um estado inicial **i** até um estado final **f**

Estado inicial

Variáveis: p_i, n_i, V_i, T_i

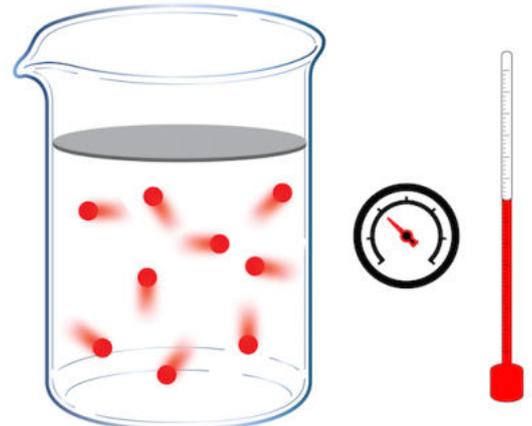


Eq. de Clapeyron para o estado inicial

$$p_i V_i = n_i R T_i$$

Estado final

Variáveis: p_f, n_f, V_f, T_f



Eq. de Clapeyron para o estado final

$$p_f V_f = n_f R T_f$$

Agora isolamos o **R** em ambas as equações

$$\frac{p_i V_i}{n_i T_i} = R \quad \longleftrightarrow \quad R = \frac{p_f V_f}{n_f T_f}$$

iguais

$$\frac{p_i V_i}{n_i T_i} = \frac{p_f V_f}{n_f T_f}$$

COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS GASES

AULA - 10B

Jordão – Física

Objetivos da Aula

- Compreender as transformações particulares.
- Saber interpretar os gráficos das transformações.

Transformações Gasosas Particulares

Vamos agora analisar 4 transformações gasosas particulares, em três delas, além da massa, uma das variáveis de estado se mantém constante. Dependendo da variável de estado que fica constante, a transformação recebe um nome especial. Veremos também a transformação adiabática.

Transformação
Isotérmica

Transformação
Isobárica

Transformação
Isocórica

Transformação
Adiabática

*Isovolumétrica
Isométrica*

Transformação Isotérmica

Transformação que a temperatura permanece constante podendo variar a pressão e o volume simultaneamente.

Obs.: Não temos variação de massa.

$$\frac{p_i V_i}{\cancel{nT}} = \frac{p_f V_f}{\cancel{nT}}$$

$$C_A = 120 \quad C_B = 360$$

x	y
2	60
3	40
6	20
20	6
40	3

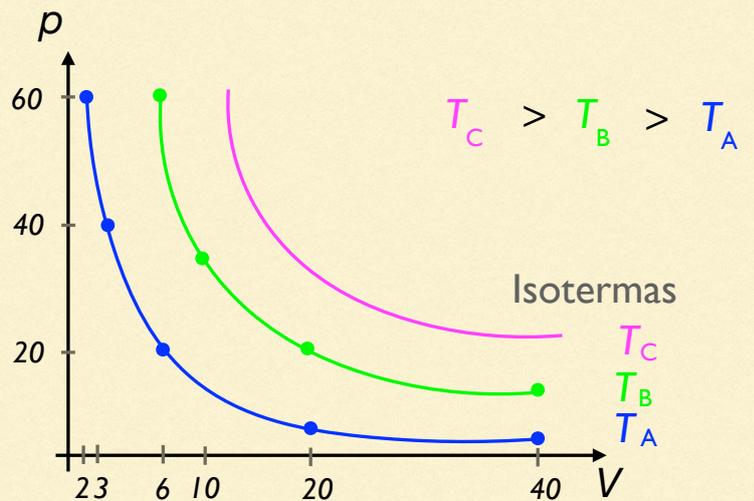
x	y
6	60
10	36
20	18
40	9

$$p \cdot V = \text{Constante}$$

$$p \cdot V = nRT$$

$$y \cdot x = C$$

$$C_C = 480$$



Transformação Isobárica

Transformação que a pressão permanece constante podendo variar a temperatura e o volume simultaneamente.

Obs.: Não temos variação de massa.

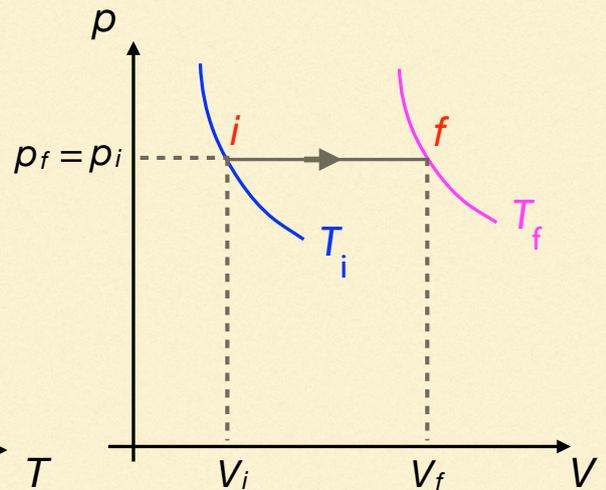
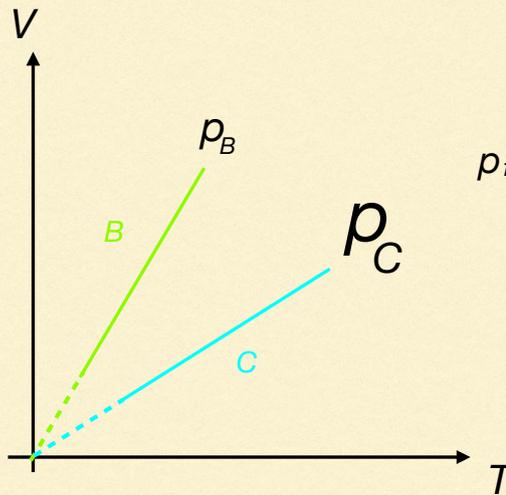
$$\frac{\cancel{p} V_i}{\cancel{n} T_i} = \frac{\cancel{p} V_f}{\cancel{n} T_i}$$

$$\frac{V}{T} = \text{Constante}$$

$$\frac{V}{T} = \frac{nR}{p} = a$$

$$\frac{V}{T} = a \quad \therefore \quad V = a T$$

$y = a x + b$



Transformação Isocórica

Transformação que o volume permanece constante podendo variar a temperatura e a pressão simultaneamente.

Obs.: Não temos variação de massa.

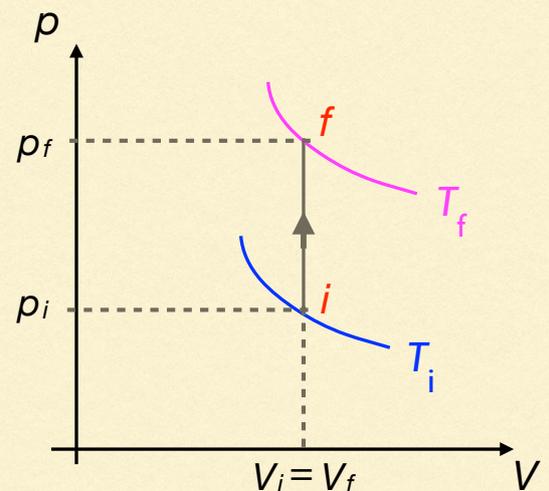
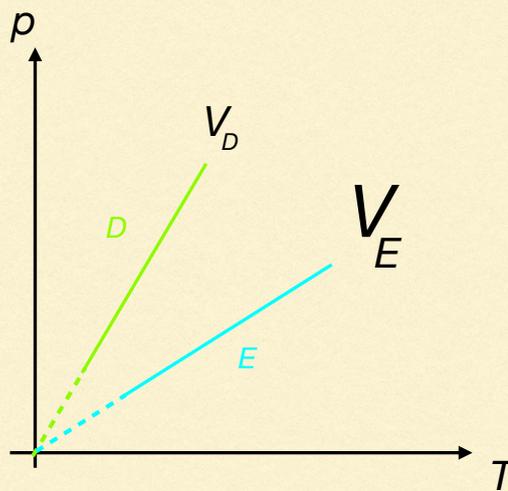
$$\frac{p_i V}{n T_i} = \frac{p_f V}{n T_i}$$

$$\frac{p}{T} = \text{Constante}$$

$$\frac{p}{T} = \frac{nR}{V} = a$$

$$\frac{p}{T} = a \quad \therefore p = a T$$

$$y = a x + b$$



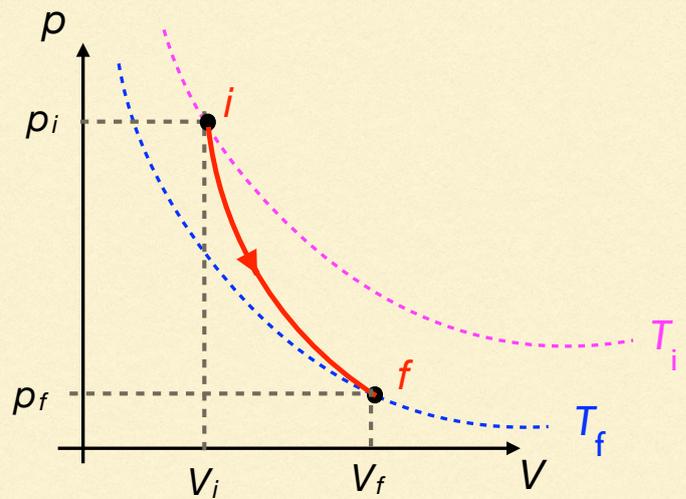
Transformação Adiabática

Na transformação adiabática **Não** ocorre Transferência de **Calor**, ou gás é isolado do meio ou a transformação ocorre muito rapidamente, não dando tempo para que ocorra a transferência de calor.

Obs.: Não temos variação de massa.

$$p_i \cdot V_i^\gamma = p_f \cdot V_f^\gamma$$

γ - Expoente de Poisson
(Coeficiente)



Objetivos da Aula

- Compreender as transformações particulares.
- Saber interpretar os gráficos das transformações.

COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS GASES

Jordão – Física

Fim

AULA DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS GASES

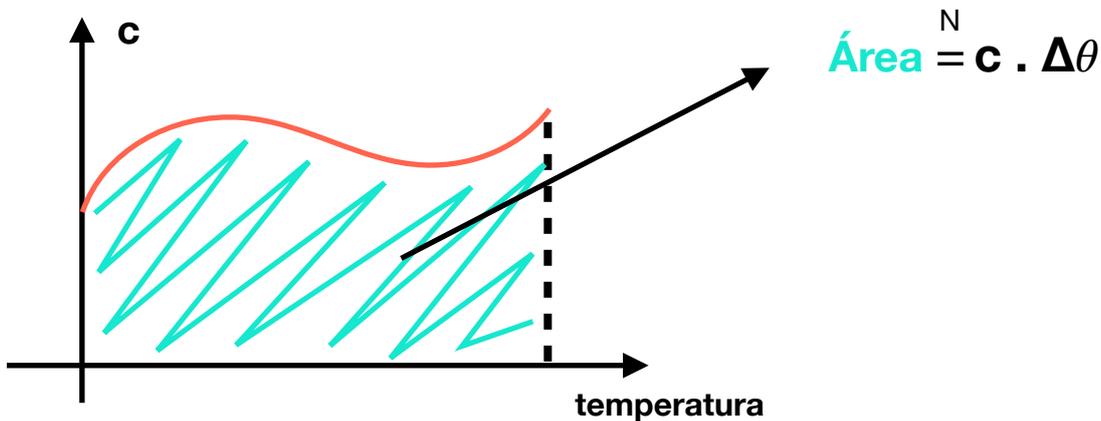
PARTE - 10C

JORDÃO - FÍSICA II

- Calores Específicos dos Gases
- Calor Específicos Principais
- Calores Molares e Relação de Mayer
- Transformação Adiabática

Calores Específicos dos Gases.

Em calorimetria estudamos o calor latente ($Q = m.L$), que provoca variação de estado de agregação e o calor sensível ($Q = m.c.\Delta\theta$), que produz variação de temperatura do sistema, No estudo dos gases estaremos interessado em como o calor provoca a variação da temperatura, então relacionaremos o calor sensível ao estudo dos gases. No estudo da calorimetria onde se aplicou a equação do fundamental da calorimetria, isto é, a equação do calor sensível, onde consideramos o **calor específico (c)** constante, mesmo que esse variasse um pouco com a temperatura, pois, essa variação nos sólidos e líquidos é muito pequenina. Se formos levar em conta a variação do calor específico devemos olhar o seu gráfico em função com a temperatura.



Nos gases porém c depende da variação de p e V . Assim para cada tipo de transformação há um c diferente.

Calores Específicos Principais

Como mencionado acima, o calor específico depende da transformação em questão, quando ocorre mudança de temperatura. Assim poderemos ter:

c_v - calor específico a Volume constante (transformação **Isocórica**)

c_p - calor específico a pressão constante (transformação **Isobárica**)

$$C_p > C_v$$

Relação entre c_p e c_v :

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

Expoente de Poisson

Tente pensar ou busque saber o por quê $c_p > c_v$?

Calores Molares e Relação de Mayer

Vimos que podemos relacionar a massa de uma amostra com seu número de mol através da relação: $m = n \cdot M$ (M - Massa Molar). Assim é possível substituir a massa na equação fundamental da calorimetria: $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$.

$$Q = n \cdot M \cdot c \cdot \Delta\theta \quad \Rightarrow$$

$$Q = n \cdot \underbrace{C^M}_{\text{Calor Molar}} \cdot \Delta\theta$$

$$\text{Calor Molar} = M \cdot c$$

Como o calor específico depende da transformação, o Calor Molar também dependerá.

$C_v = M \cdot c_v$ - Calor Molar a volume constante.

$C_p = M \cdot c_p$ - Calor Molar a pressão constante.

$$C_p > C_v$$

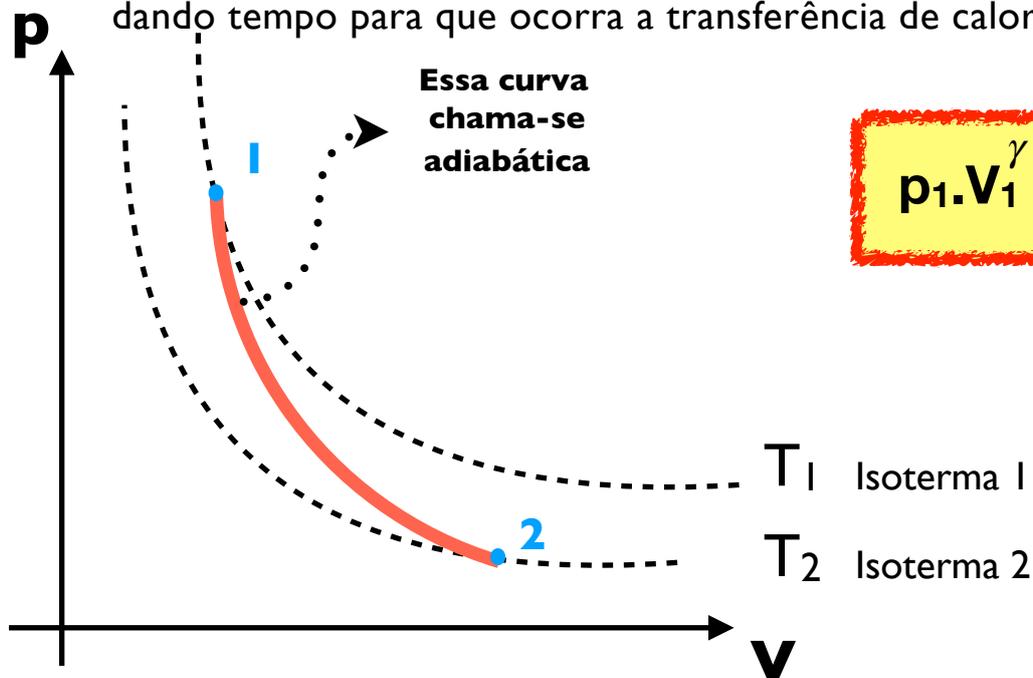
Relação de Mayer

$$C_p - C_v = R$$

R - C^{te} Universal dos gases perfeitos.

Transformação Adiabática

Na transformação adiabática **Não** ocorre Transferência de **Calor**, o gás é isolado do meio ou a transformação ocorre muito rapidamente, não dando tempo para que ocorra a transferência de calor.



Vemos pelo gráfico, que a adiabática (curva) cai mais rapidamente do que uma isoterma, pois o expoente de Poisson é maior do que 1.

I^a LEI DA TERMODINÂMICA

AULA - IIA

Jordão – Física

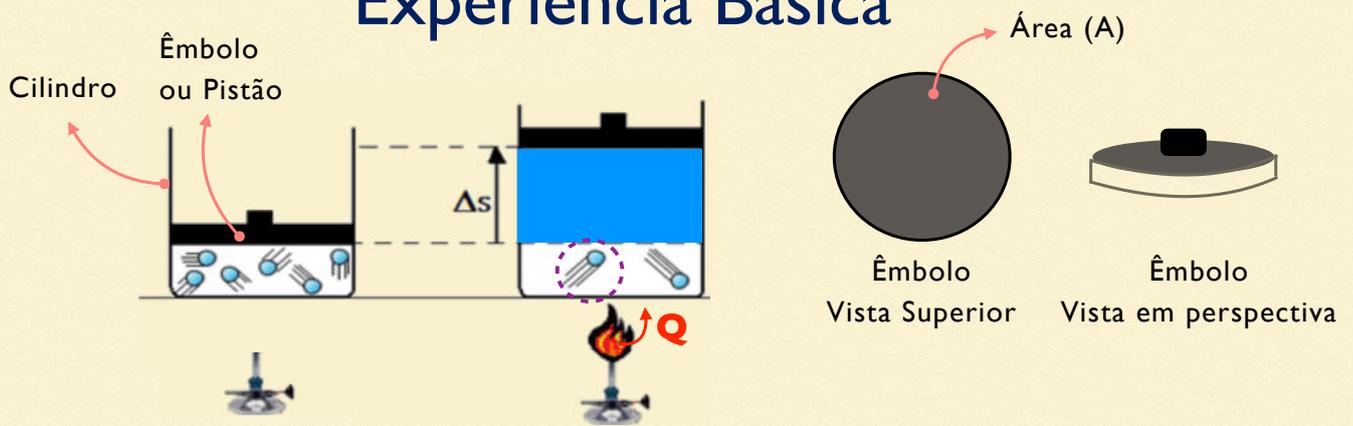
1

Objetivos da Aula

- Relacionar calor, trabalho e energia interna através da I^a lei da termodinâmica.
- Saber relacionar o trabalho com o gráfico $p \times V$.

2

Experiência Básica



Observe que:

Calor provocou **Expansão** e **Aquecimento**

Energia = **Energia** + **Energia**

Calor é a energia que se dá ou se retira do sistema.

- $Q > 0$ Ganha calor
- $Q < 0$ Perde calor
- $Q = 0$ Sistema é adiabático
(Não ganha nem perde calor)

Trabalho $W = \underline{F} \cdot \Delta S \frac{A}{A}$ $W = p \cdot \Delta V$

- $W > 0$; $\Delta V > 0$ $\therefore V_f > V_i \rightarrow$ Expansão
- $W < 0$; $\Delta V < 0$ $\therefore V_f < V_i \rightarrow$ Contração
- $W = 0$; $\Delta V = 0$ $\therefore V$ é C^{te} **Transf. Isocórica**

- Trabalho realizado pelo gás será Positivo
- Trabalho realizado sobre o gás será Negativo

Energia Interna (U) - é a Ec de agitação das moléculas do gás

$$U \propto T \therefore \Delta U \propto \Delta T$$

Obs.: Para um gás Monoatômico

$$\Delta U > 0 ; \Delta T > 0 \therefore T_f > T_i \rightarrow \text{Aquecimento}$$

$$\Delta U < 0 ; \Delta T < 0 \therefore T_f < T_i \rightarrow \text{Resfriamento}$$

$$\Delta U = 0 ; \Delta T = 0 \therefore T_f = T_i \therefore T \text{ é } C^{te} \text{ Transf. Isotérmica}$$

$$U = \frac{3}{2} n R T$$

1ª Lei da Termodinâmica

Calor provocou **Expansão** e **Aquecimento**

Energia = **Energia** + **Energia**

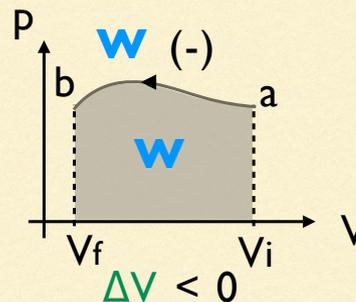
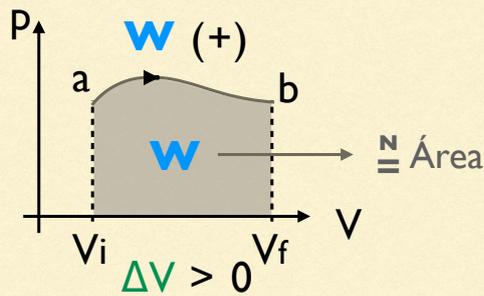
$$Q = W + \Delta U$$

A 1ª lei da Termodinâmica expressa a conservação da energia em sistemas térmicos.

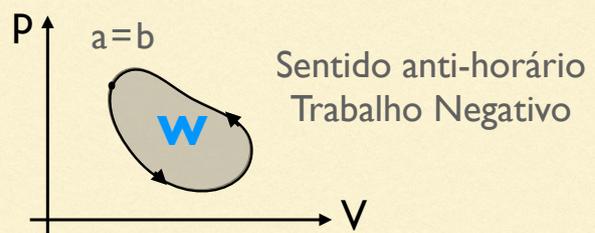
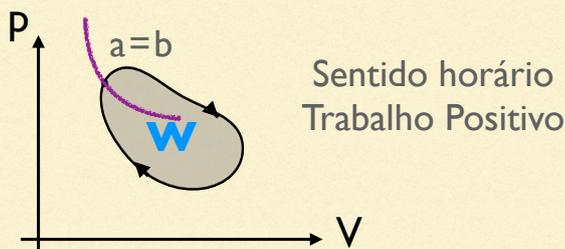
$$\Delta U = Q - W$$

$$W = Q - \Delta U$$

Gráficos



Em um **Ciclo**, $\Delta T = 0$ então $\Delta U = 0$; Teremos que: $Q = W$



Objetivos da Aula

- Relacionar calor, trabalho e energia interna através da 1ª lei da termodinâmica.
- Saber relacionar o trabalho com o gráfico $p \times V$.

7

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

Jordão – Física

Fim

AULA DE I^a LEI DA TERMODINÂMICA

AULA IIB

JORDÃO - FÍSICA II

- Grandezas Macroscópicas e Microscópicas
- Lei de Joule dos Gases Perfeitos

Grandezas macroscópicas e Microscópicas.

Poderíamos tentar aplicar as leis da mecânica a cada molécula do gás, porém isto não nos ajudaria muito, visto que temos muitas moléculas e não saberíamos o que fazer com os dados que mudam a cada segundo. Assim, foi criada uma teoria chamada *mecânica estatística* para trabalhar com sistemas formados por um número muito grande de partículas. Em vez de acompanhar o movimento de cada partícula, essa teoria usa métodos estatísticos, procurando calcular os valores médios das grandezas.

A Pressão (média) nas paredes do recipiente que contém um gás ideal é dada por:

$$p = \frac{1}{3} \cdot \frac{Nm'}{V} \cdot \overline{v^2}$$

N - número total de moléculas.
m' - massa de uma molécula.
 $\overline{v^2}$ - velocidade média quadrática.

Agora se igualarmos o produto p.V nessa expressão ao produto p.V na Eq. de Clapeyron ($pV=nRT$) e multiplicar os dois lado por meio, teremos:

$$\frac{Nm'}{2} \cdot \overline{v^2} = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T \quad \therefore \quad E_c = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$$

Repare que $N \cdot m'$ é a massa total do gás. Como a E_c no gás monoatômico é a Energia Interna (U), então provamos a expressão:

$$U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$$

Sendo e_c a E_c média de cada partícula temos:

$$e_c = \frac{E_c}{N} = \frac{3}{2} \frac{nR}{N} T = \frac{3}{2} \frac{nR}{nN_A} T \quad \therefore \quad e_c = \frac{3}{2} k \cdot T$$

Onde $k = R/N_A$ é a constante de Boltzmann ($k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K)

No gás ideal (monoatômico) a Energia Interna é a soma das Ec de translação das suas moléculas, a Ec de rotação é desprezível. Para gases diatômicos, formado por dois átomos e Poliatômicos, formados mais de dois átomos, passam a ser significativas outras formas de Energia (rotação, potencial, vibração) e teremos:

$$U > \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$$

Lei de Joule dos Gases Perfeitos

A Lei de Joule para os gases perfeitos expressa o fato da Energia Interna ser uma Variável de Estado, isto é, só depender do estado em que o gás se encontra.

“A ΔU depende exclusivamente dos estados inicial e final. Não depende das particularidades das transformações.”

Obs.: W e Q depende das particularidades das Transformações.

Para qualquer caminho vale a relação:

$$\Delta U = n \cdot C_V \cdot \Delta T$$

Pois pode ser pensada como uma transformação isotérmica e uma isocórica.

