

Universidade Federal do Pampa
UNIPAMPA

Temperatura, calor e
1ª Lei da Termodinâmica

INTRODUÇÃO

Termodinâmica

A termodinâmica explica as principais propriedades da matéria e a correlação entre estas propriedades e a mecânica dos átomos e moléculas

O estudo da termodinâmica envolve

- Conceitos de transferências de energia, entre um sistema e seu ambiente
- As variações resultantes na temperatura ou mudanças de estados.

Questões práticas tratadas pela termodinâmica

- Como um refrigerador arrefece ?
- Que tipos de transformações ocorrem num motor de carro?
- Porque uma bomba de bicicleta se aquece enquanto alguém enche o pneu?

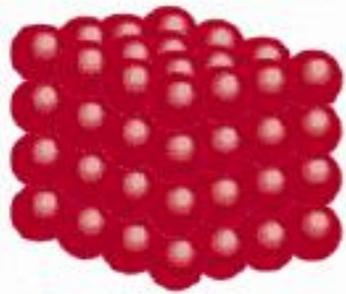
A termodinâmica trata das transformações da matéria nos seus quatro estados

SÓLIDO

LÍQUIDO

GÁS

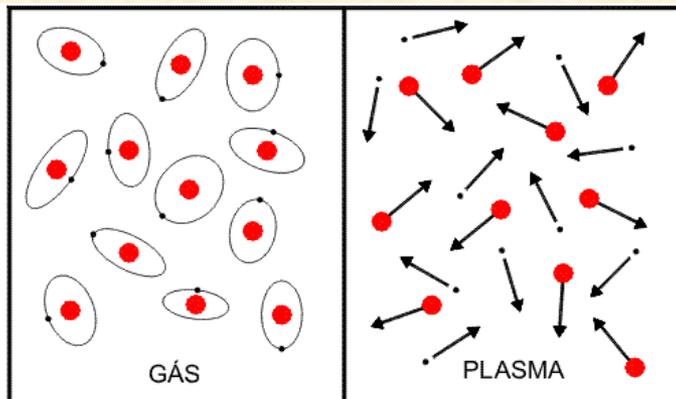
PLASMA



Sólido

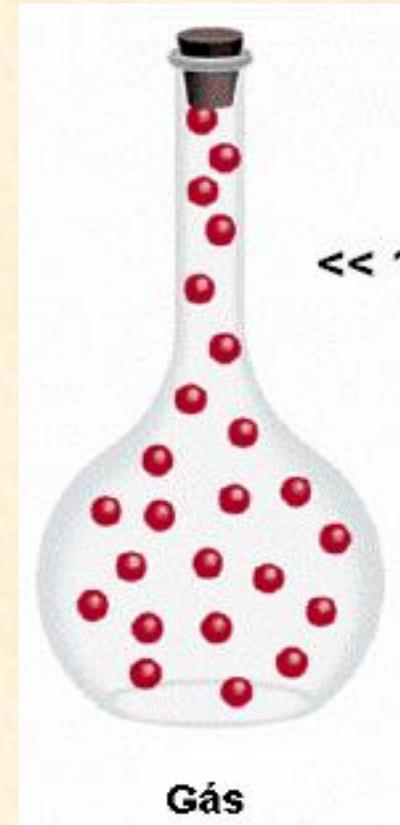


Líquido



GÁS

PLASMA



Gás

As Leis da Termodinâmica

A Termodinâmica é Baseada em Princípios Estabelecidos Experimentalmente

- **A Lei Zero da Termodinâmica** – é a base para a medição de temperatura
- **O Primeiro Princípio da Termodinâmica** – conservação da energia e da conservação da massa
- **O Segundo Princípio da Termodinâmica** – determina o aspecto qualitativo de processos em sistemas físicos, isto é, os processos ocorrem numa certa direcção mas não podem ocorrer na direcção oposta

Propriedades Macroscópicas

Teoria Cinética dos Gases

Propriedades Microscópicas

1. Temperatura e lei zero

Frequentemente associamos o conceito de temperatura com o grau de calor ou de frio de um corpo que tocamos

A nossa pele é sensível à taxa de transferência de energia e não à temperatura do corpo

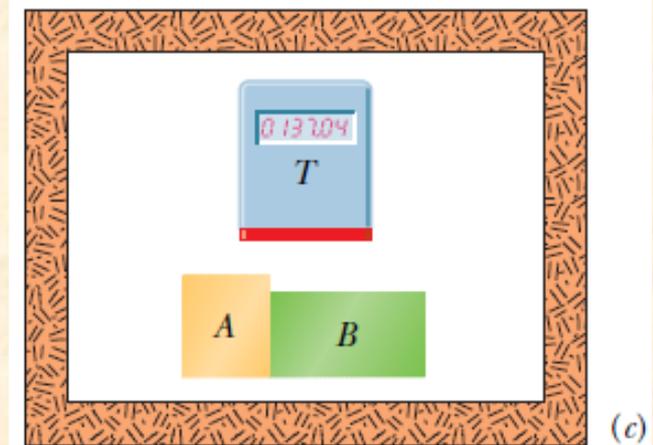
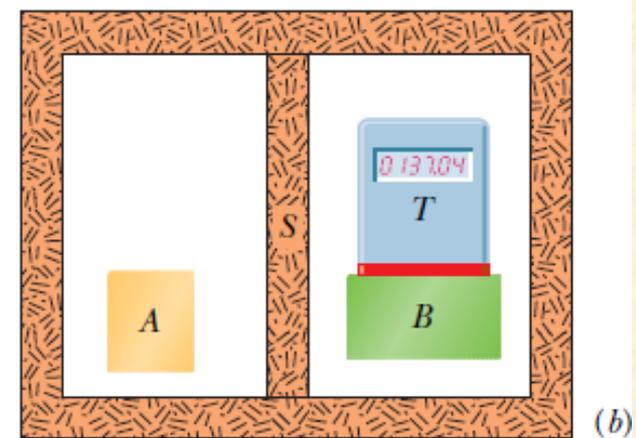
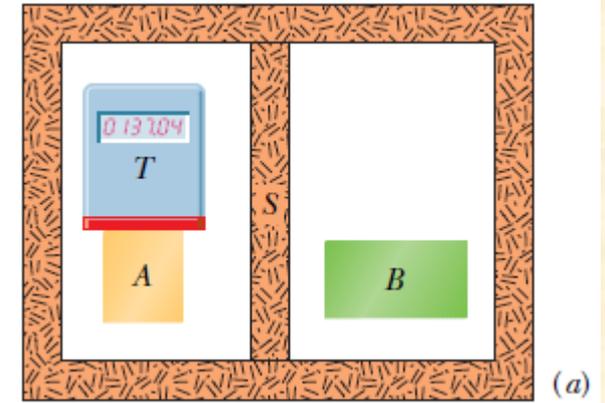
Se os corpos estiverem a temperaturas diferentes, a energia pode ser trocada entre eles por meio de, por exemplo, calor ou radiação electromagnética

Diz-se que estão em contacto térmico os corpos que podem trocar energia uns com os outros desta maneira

No **equilíbrio térmico** os corpos em contacto térmico deixam de trocar energia

Lei zero da termodinâmica

- *"Se os corpos A e B estão em equilíbrio térmico com um terceiro corpo T, então existe equilíbrio térmico entre eles"*
- Numa linguagem menos formal: se dois corpos estão em equilíbrio térmico, a temperatura de ambos é a mesma (e vice versa)
- (essa formulação passou a ser utilizada nos anos 1930, após o estabelecimento da primeira e segunda leis)



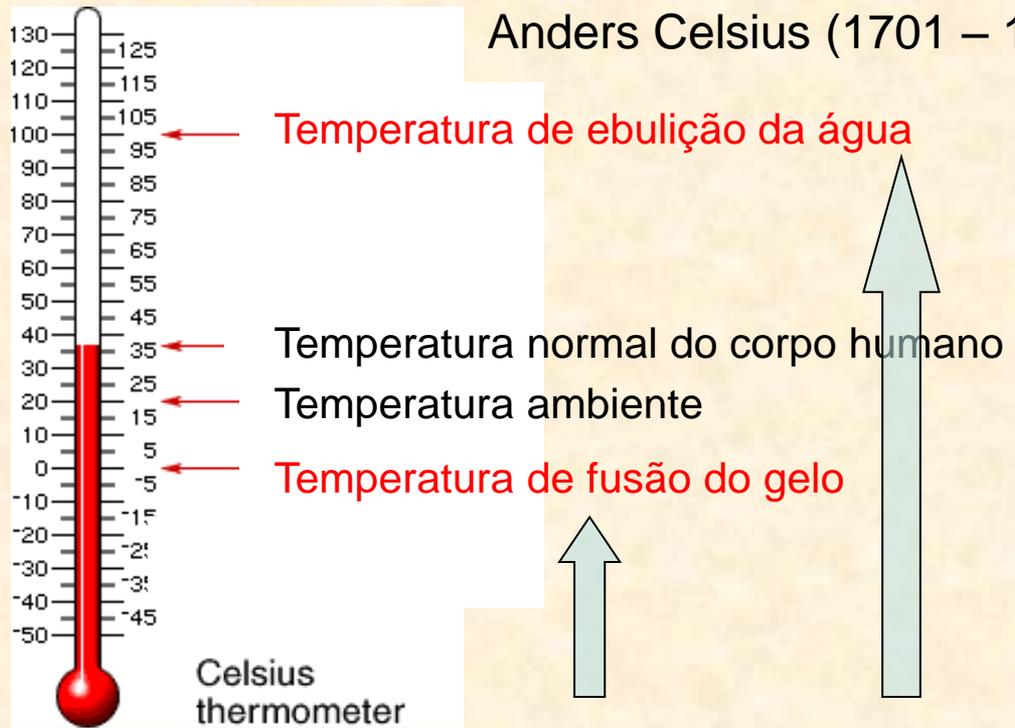
Termoscópios e termômetros



Anders Celsius (1701 – 1744)

Quando alguma propriedade física de um corpo se modifica com a alteração da temperatura temos um **termoscópio**.

Quando **calibramos** um termoscópio temos um **termômetro**. Com o qual é possível aferir quantitativamente a temperatura para uma dada **escala**



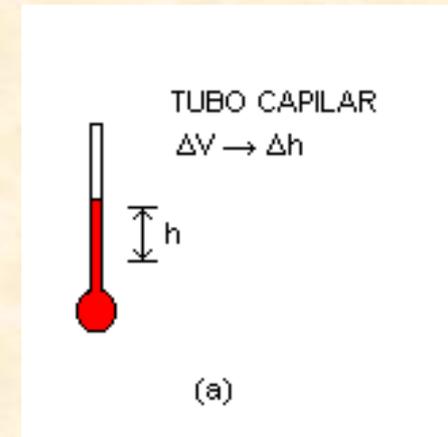
Calibração utilizada por Celsius

Termômetros e a Escala Celsius

Os termômetros são dispositivos utilizados para medir a temperatura de um corpo ou dum sistema com o qual o termómetro está em equilíbrio térmico

Algumas das propriedades físicas que mudam com a temperatura e que são usadas nos termómetros:

- O volume de um líquido (a)
- O comprimento de um sólido
- A pressão de um gás mantido a volume constante
- O volume de um gás mantido a pressão constante
- A resistência eléctrica de um condutor
- A cor de um corpo quente

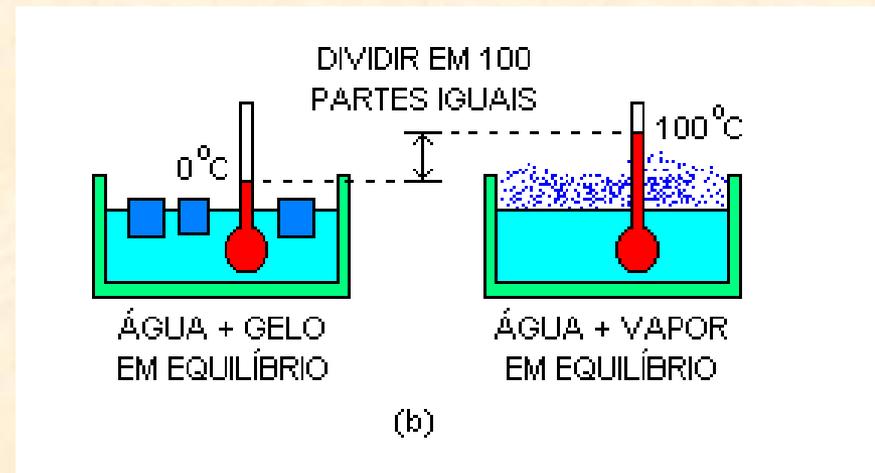


Escala Celsius de Temperatura

As extremidades da coluna do líquido no termómetro foram marcadas em dois pontos:

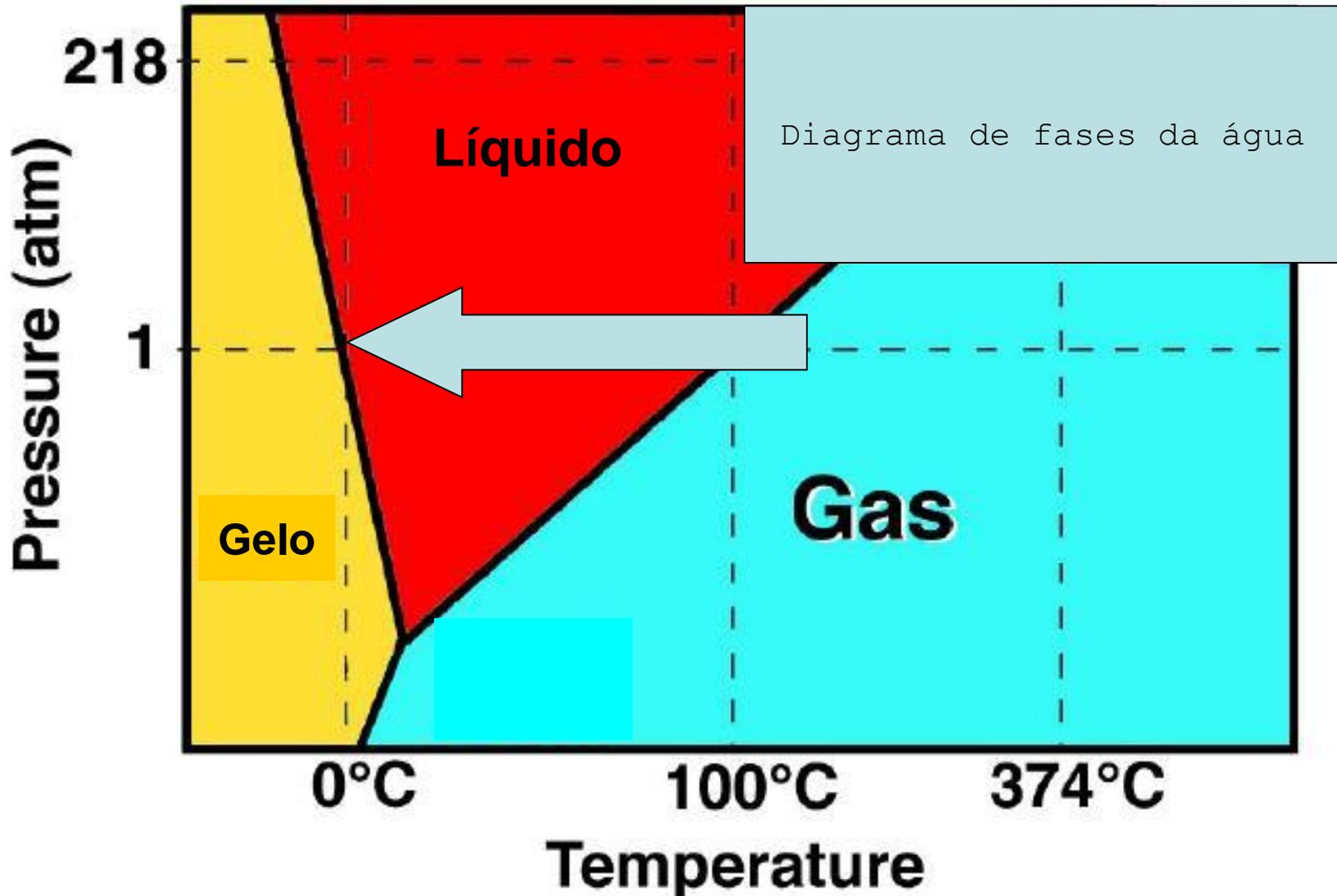
- Ponto de fusão do gelo - 0°C
- Ponto de ebulição da água - 100°C

A distância entre as marcas é dividida em 100 seguimentos iguais, cada um denotando uma variação na temperatura de um grau Celsius



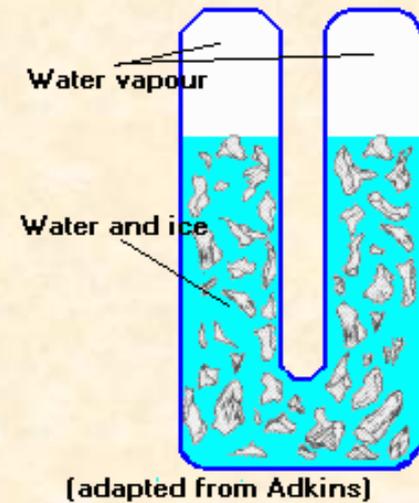
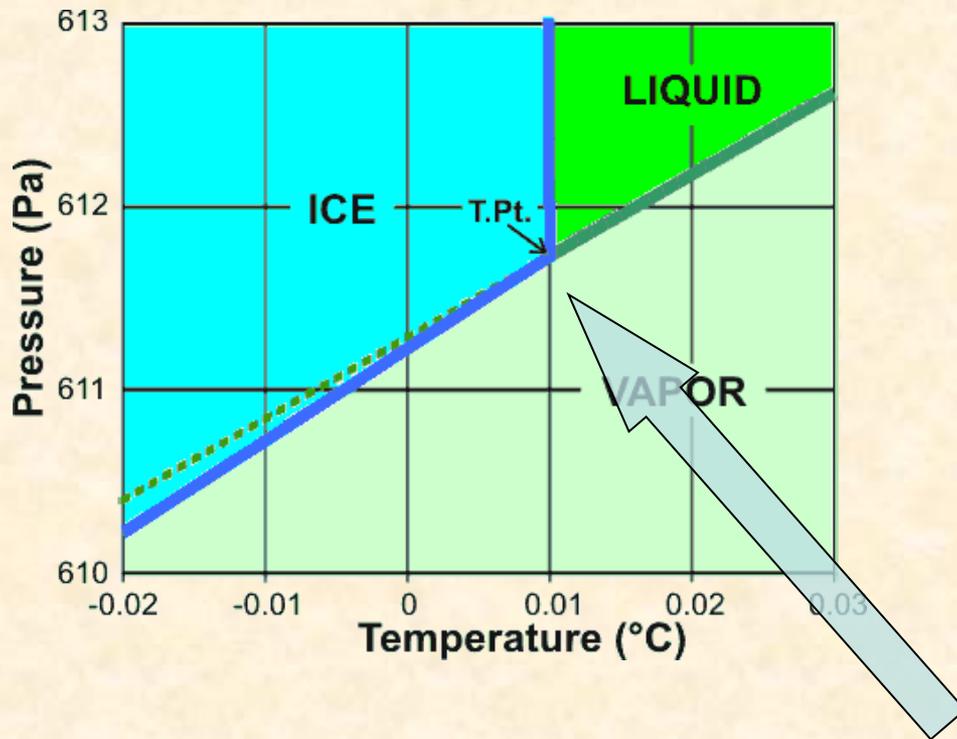
Escala Celsius

Qual é o problema com essa calibração ?



Medidas de temperatura e escala Kelvin

O ponto triplo da água:
Gelo, água e vapor podem coexistir em equilíbrio térmico para somente um conjunto de valores para temperatura e pressão



$$T_3 = 273,16K$$

O Termómetro de Gás a Volume Constante e a Escala Kelvin

O Termómetro de Gás

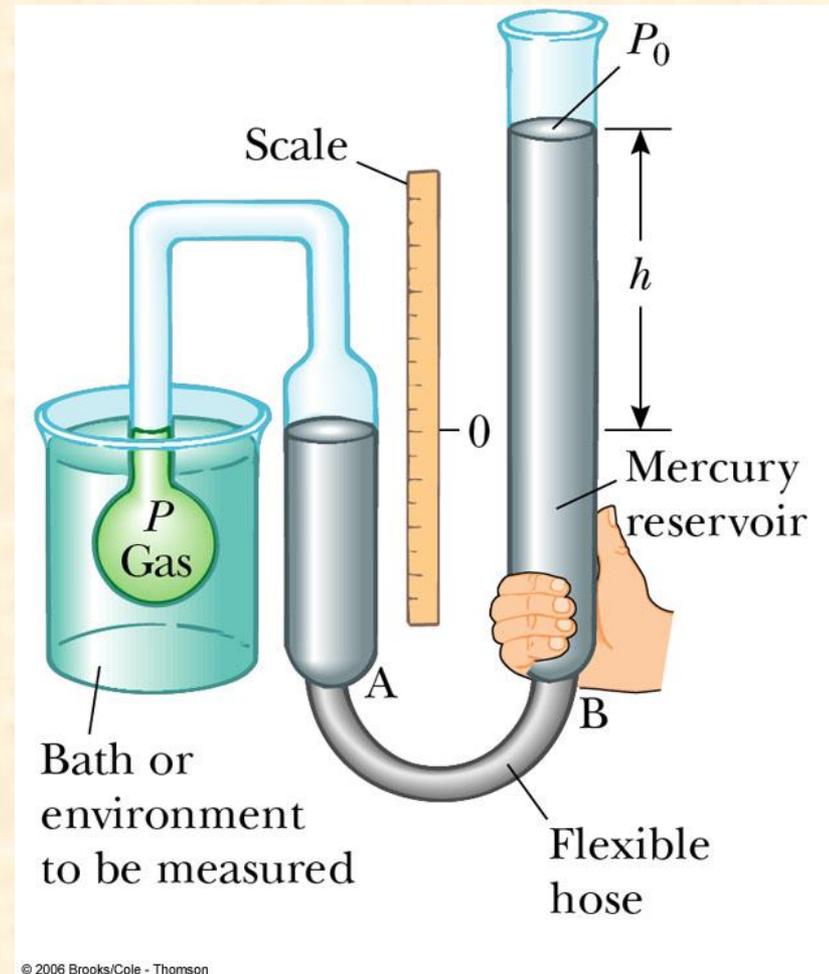
O comportamento observado nesse dispositivo é a variação da pressão com a temperatura de um volume fixo de gás

Foi calibrado utilizando-se os pontos de fusão do gelo e de ebulição da água

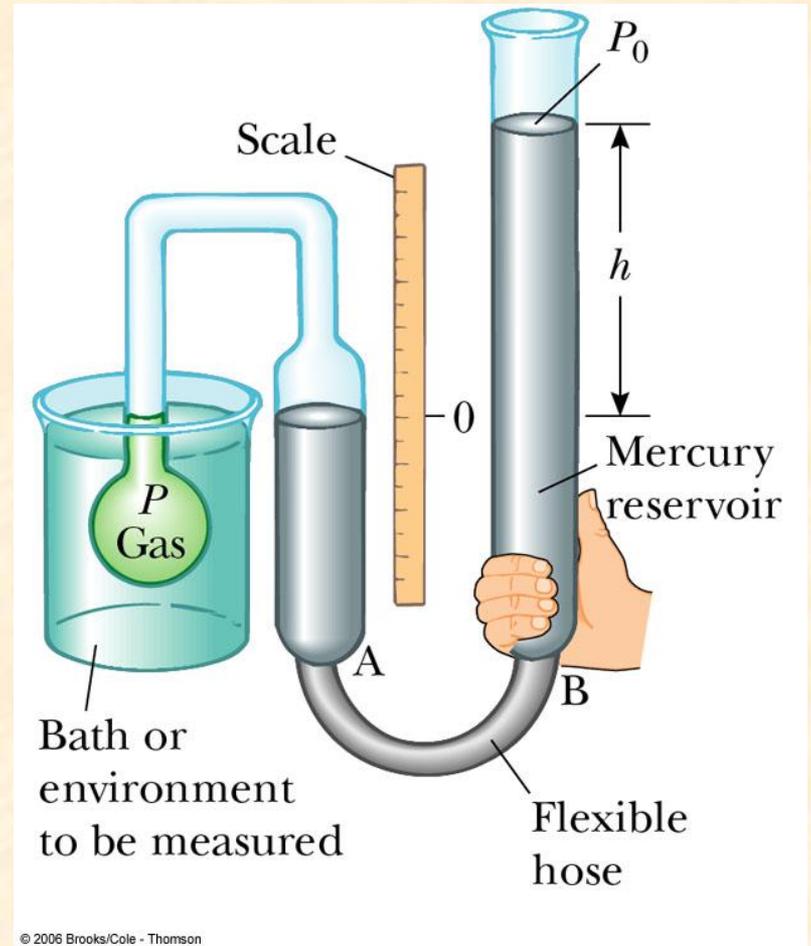
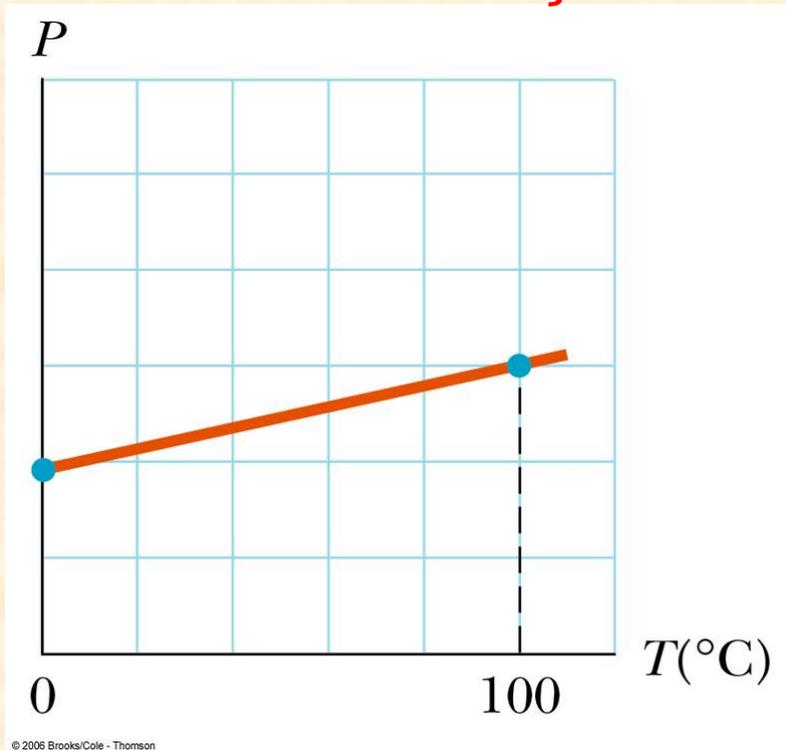
O reservatório *B* de mercúrio é levantado ou abaixado até que o volume do gás confinado esteja em algum valor, indicado pelo ponto zero da régua

A altura *h* (a diferença entre os níveis do reservatório e da coluna à esquerda) indica a pressão no frasco, de acordo com a equação:

$$P = P_0 + \rho gh$$



Curva de calibração

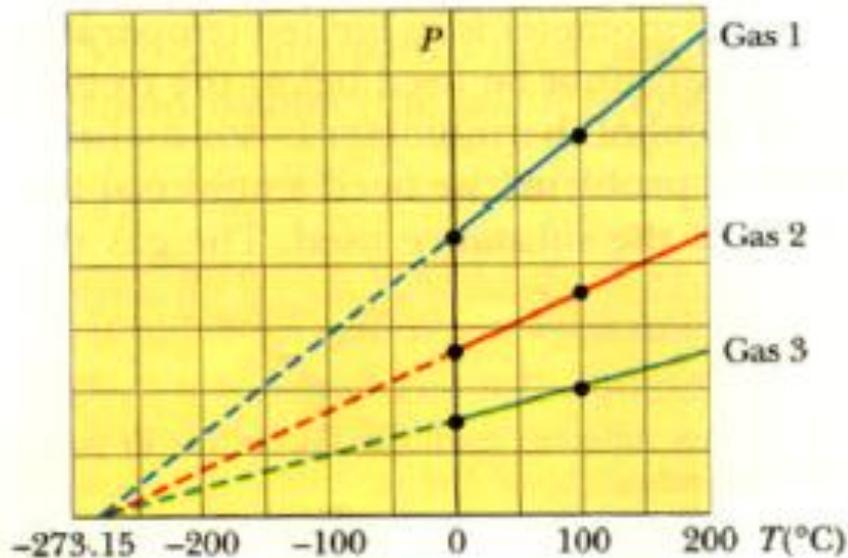


Se quisermos medir a temperatura de uma substância, colocamos o frasco de gás em contacto térmico com a substância e ajustamos a coluna de mercúrio até que o nível na coluna A retorne a zero

A altura da coluna nos informa a pressão do gás e podemos, então, encontrar a temperatura da substância a partir da curva de calibração.

Experimentos mostram que as leituras do termómetro são quase independentes do tipo de gás utilizado - para pressão do gás seja baixa e a temperatura bem acima do ponto no qual o gás se liquefaz

A Figura mostra a curva de calibração para três gases diferentes



Observamos que se estendermos as retas rumo às temperaturas negativas, para $P=0$, a temperatura é de -273.15 °C para as três retas

Isso sugere que essa temperatura em particular tem importância universal pois não depende da substância usada no termómetro

Tal temperatura deve representar um limite inferior para os processos físicos porque a pressão mais baixa possível é $P=0$ (seria um vácuo perfeito)

Definimos a temperatura de -273.15 °C como sendo o zero absoluto

Escala Kelvin de Temperatura

A escala Kelvin de temperatura estabelece $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ como seu ponto zero (0 K)

O tamanho de um grau na escala Kelvin é escolhido para ser idêntico ao tamanho de um grau na escala Celsius

$$\Delta T_C = \Delta T \longrightarrow$$

T_C é a temperatura na escala Celsius ($^{\circ}\text{C}$)

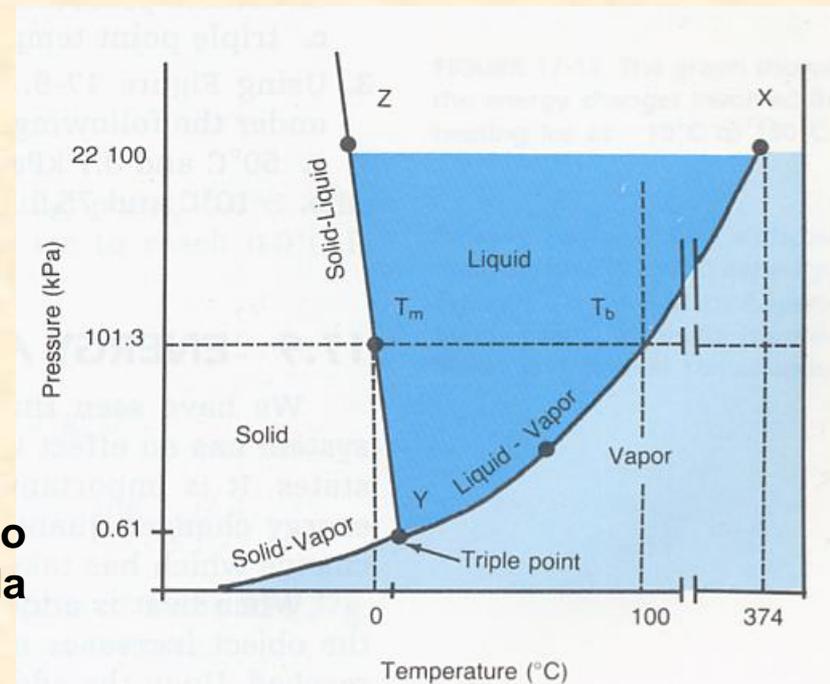
T é a temperatura na escala Kelvin (temperatura absoluta) (K)

Conversão entre as escalas de temperaturas Kelvin e Celsius

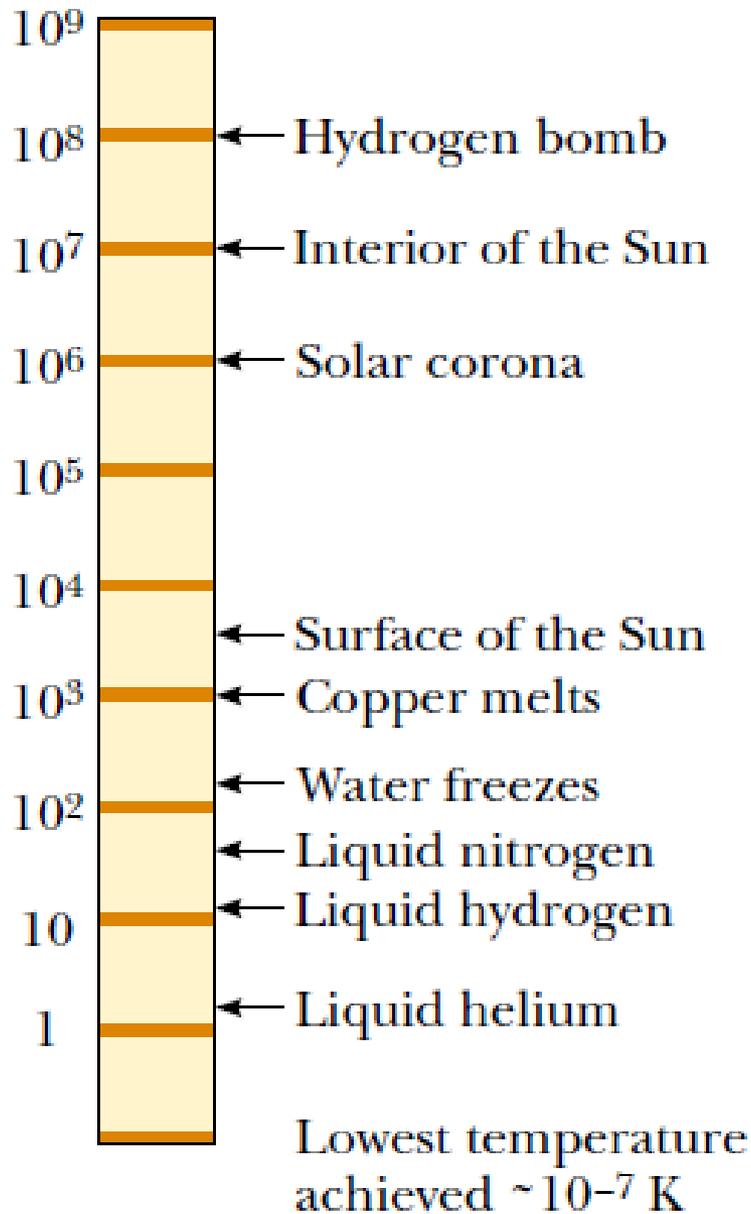
$$T_C = T - 273,15$$

O primeiro ponto é o zero absoluto e o segundo ponto é o ponto triplo da água em 273.16 K (1954)

Assim, a unidade da temperatura do SI, o kelvin, é definida como $1/273.16$ da temperatura do ponto triplo da água.



Temperature (K)



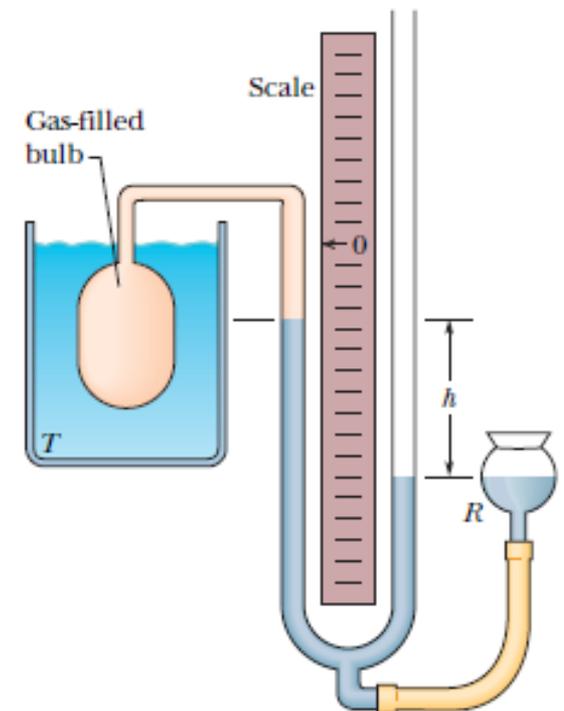
$$T = Cp,$$

$$p = p_0 - \rho gh,$$

$$T_3 = Cp_3,$$

$$T = T_3 \left(\frac{p}{p_3} \right) = (273.16 \text{ K}) \left(\frac{p}{p_3} \right) \quad (\text{provisional}).$$

$$T = (273.16 \text{ K}) \left(\lim_{\text{gas} \rightarrow 0} \frac{p}{p_3} \right).$$



Escala Fahrenheit

A escala de temperatura mais comum no uso diário nos Estados Unidos é a escala Fahrenheit

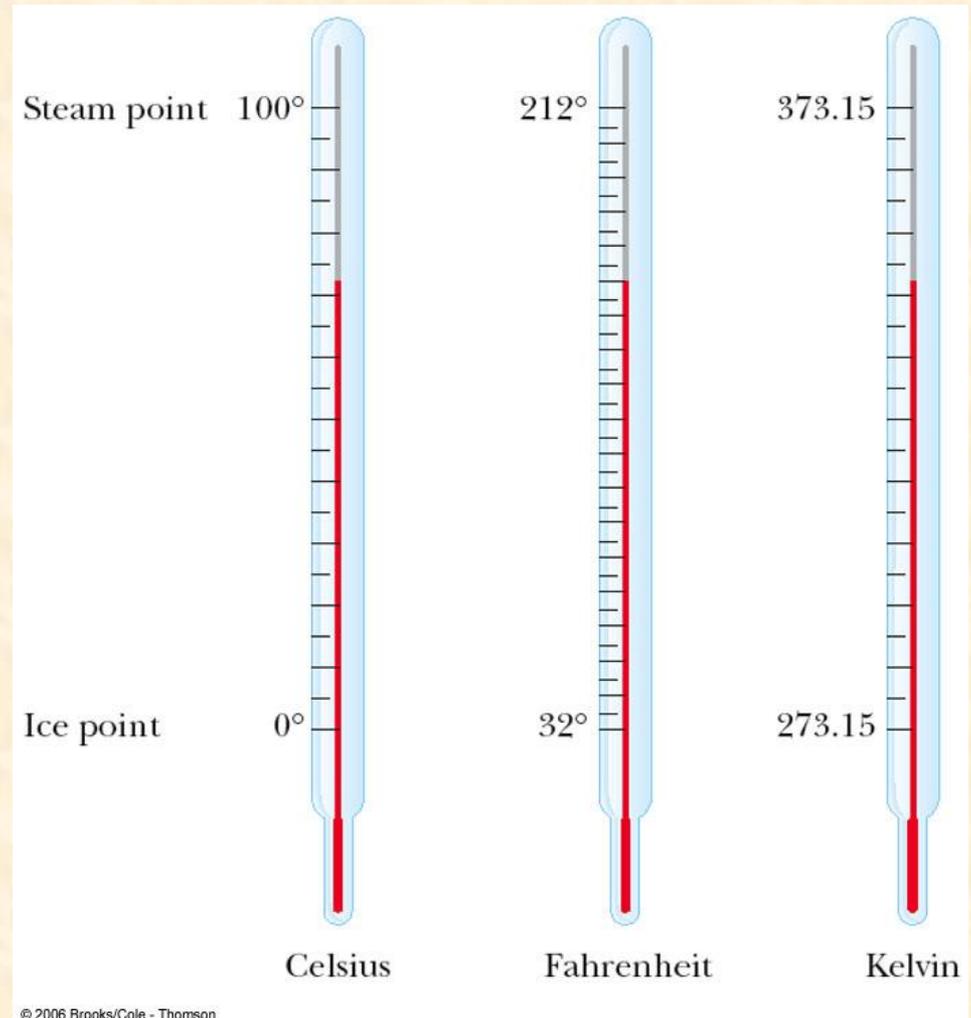
- Ponto de fusão em 32 °F
- Ponto de vapor em 212 °F

Relação entre as escala Celsius e Fahrenheit

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32^\circ$$

O tamanho de um grau na escala Celsius é diferente ao tamanho de um grau na escala Fahrenheit

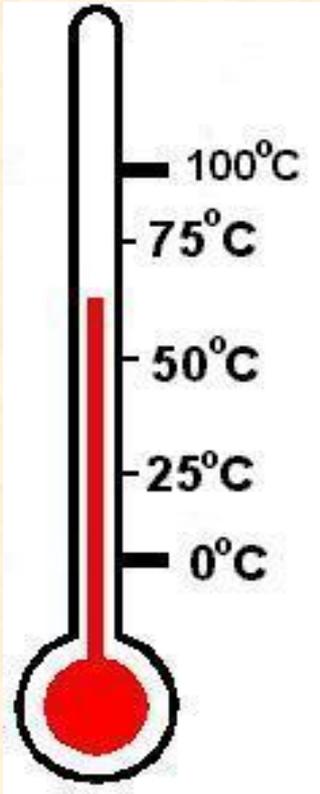
$$\Delta T_F = \frac{9}{5}\Delta T_C$$



Exemplo:

Em um dia quando a temperatura alcança 50 °F, qual é a temperatura em graus Celsius e em Kelvins?

Expansão ou Dilatação Térmica de Sólidos e Líquidos



No termómetro de líquido vimos que quando a temperatura aumenta, o volume aumenta

Esse fenómeno é conhecido como expansão térmica

Juntas de expansão térmica devem ser incluídas em edifícios, estradas, trilhos de estrada de ferro e pontes para compensar a mudanças nas dimensões que ocorrem com as variações da temperatura

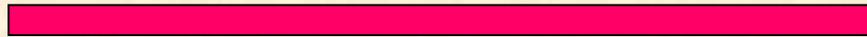


A expansão térmica global de um corpo é uma consequência da mudança na separação média entre seus átomos ou moléculas constituintes

Um corpo tem um comprimento inicial L_i

Para uma variação de temperatura ΔT o comprimento aumenta ΔL

L_i, T_i



L_f, T_f



Para ΔT pequeno

$$\Delta L = \alpha L_i \Delta T$$

ou

$$L_f - L_i = \alpha L_i (T_f - T_i)$$

α é chamado de **coeficiente médio de expansão linear** para um determinado material e tem unidades $^{\circ}\text{C}^{-1}$

A Tabela mostra o coeficiente médio de expansão linear de vários materiais

Para esses materiais, α é positivo, indicando um acréscimo no comprimento com o aumento da temperatura

substância	Coeficiente de expansão linear (α) em $^{\circ}\text{C}^{-1}$
aço	$1,1 \times 10^{-5}$
alumínio	$2,4 \times 10^{-5}$
chumbo	$2,9 \times 10^{-5}$
cobre	$1,7 \times 10^{-5}$
ferro	$1,2 \times 10^{-5}$
latão	$2,0 \times 10^{-5}$
ouro	$1,4 \times 10^{-5}$
prata	$1,9 \times 10^{-5}$
vidro comum	$0,9 \times 10^{-5}$
vidro pirex	$0,3 \times 10^{-5}$
zinco	$6,4 \times 10^{-5}$

A calcita (CaCO_3), expande-se ao longo de uma dimensão (α positivo) e contraem ao longo de outra (α é negativo) com o aumento da temperatura.

Da mesma forma que as dimensões lineares de um corpo variam com a temperatura, o volume e a área da superfície também variam com a temperatura

Volume

$$V_f = (L_i + \alpha L_i \Delta T)^3 = L_i^3 + 3\alpha L_i^3 \Delta T = V_i + 3\alpha V_i \Delta T$$

$$\Delta V = V_f - V_i = \beta V_i \Delta T$$

Coefficiente médio de expansão do volume $\beta = 3\alpha$

Área

$$\Delta A = A_f - A_i = \gamma A_i \Delta T$$

Coefficiente médio de expansão da área $\gamma = 2\alpha$

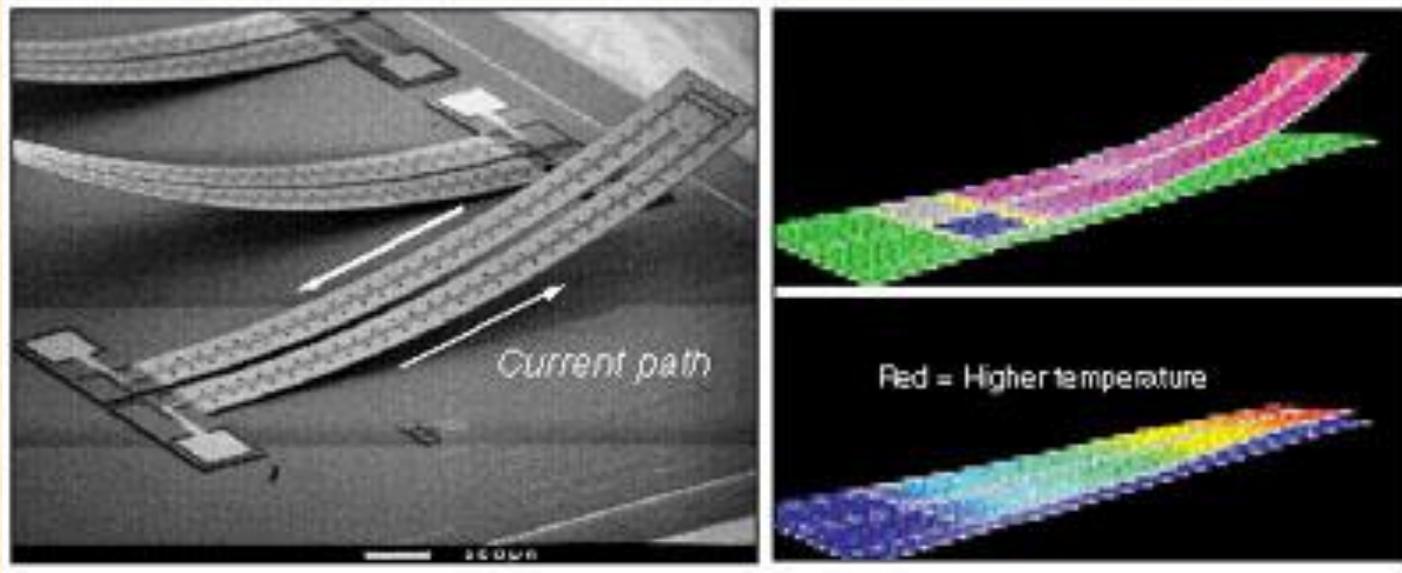
A Tabela mostra o coeficiente médio de expansão volúmica de várias substâncias

substância	Coefficiente de dilatação volumétrica (γ) em $^{\circ}\text{C}^{-1}$
álcool	100×10^{-5}
gases	$3,66 \times 10^{-3}$
gasolina	11×10^{-4}
mercúrio	$18,2 \times 10^{-5}$

Aplicações em nanotecnologia

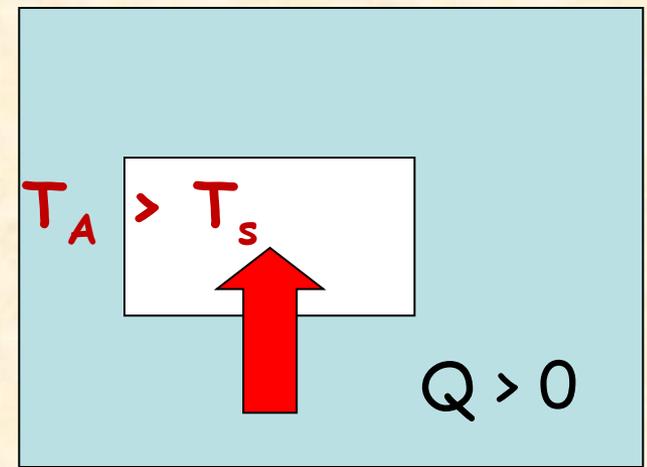
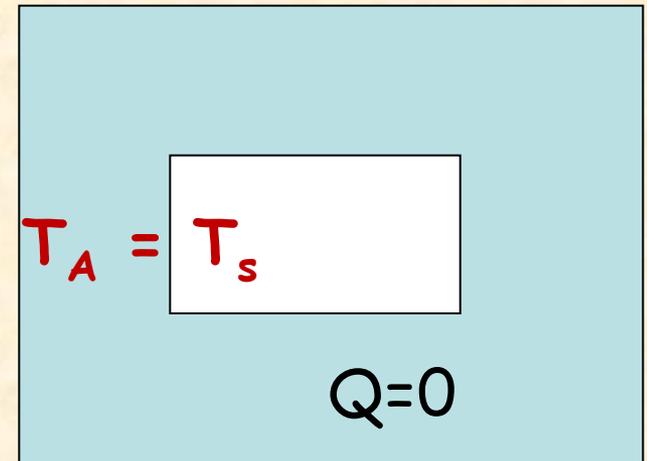
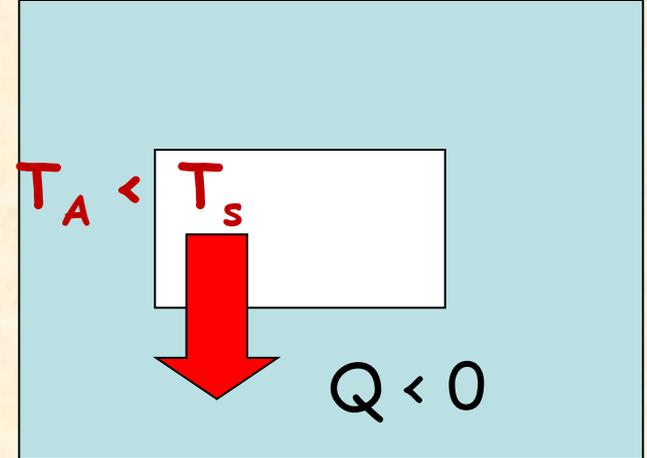
Tecnologia **MEMS**: Microelectromechanical Systems

Construção de atuadores micro(nano)métricos, utilizando a dilatação em bicamadas provocada por passagem de corrente elétrica



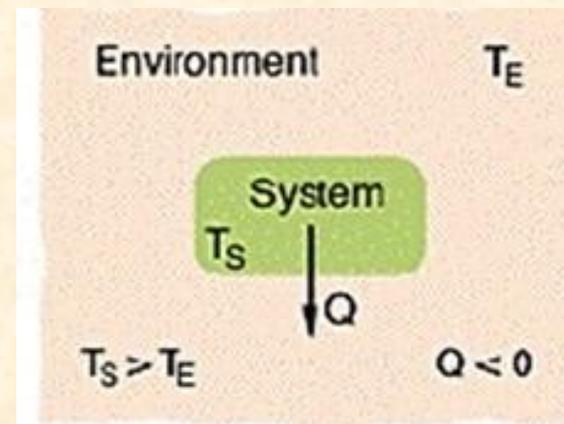
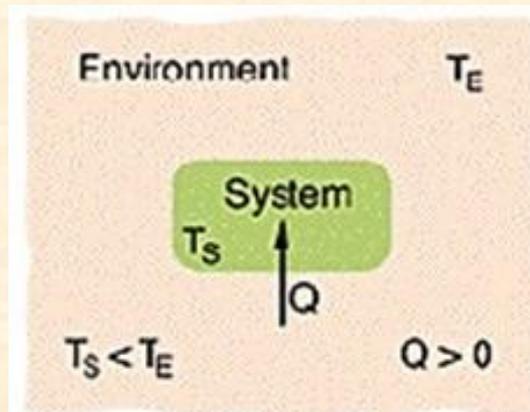
Temperatura e calor

- Calor é a energia transferida entre um sistema e o ambiente devido à diferença de temperatura entre eles.
- O calor é *negativo* se a energia é transferida do sistema ao ambiente.
- O calor é *positivo* se a energia é transferida do ambiente ao sistema.
- Energia também pode ser transferida entre o sistema e o ambiente como trabalho devido a uma força agindo sobre o sistema!



Convenções de Sinais: Calor

Calor - Modo de transferência de energia resultante da diferença de temperatura entre dois sistemas (ou um sistema e a vizinhança):



- $Q > 0$ → calor que entra no sistema
- $Q < 0$ → calor que sai do sistema

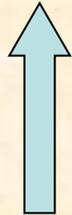
Unidades de calor

- Antes dos cientistas perceberem que calor é energia transferida, calor era medido em termos da habilidade de aumentar a temperatura da água:
- 1 cal = calor necessário para aumentar 1g de água de 14,5 °C para 15,5 °C
- 1 cal = 4,186 Joule

Absorção de calor pelos corpos sólidos e líquidos

Capacidade térmica:

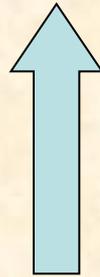
$$\Delta Q = C\Delta T = c(T_f - T_i)$$



A capacidade térmica, C (J/K), é uma expressão de origem histórica, que pode induzir a erros de interpretação. Os corpos não tem uma capacidade determinada de armazenar ou absorver calor. Um corpo absorve calor enquanto ΔT for diferente de zero. É claro que o corpo pode fundir ou evaporar nesse processo, mas isso é outra história

Calor específico:

$$\Delta Q = cm\Delta T$$



É conveniente definir a capacidade térmica por unidade de massa de um material específico: **calor específico**

$$c = 1 \text{ cal/g} \cdot \text{C}^\circ = 1 \text{ Btu/lb} \cdot \text{F}^\circ = 4186.8 \text{ J/kg} \cdot \text{K}.$$

Tabela de alguns calores específicos a 25 °C

Substance	Specific Heat J/(g · °C)	Molar Heat Capacity J/(mol · °C)
Air (dry)	1.01	29.1
Aluminum	0.902	24.4
Copper	0.385	24.4
Gold	0.129	25.4
Iron	0.450	25.1
Mercury	0.140	28.0
NaCl	0.864	50.5
Water(s)*	2.03	36.6
Water(l)	4.179	75.3

*At -11°C

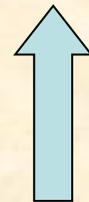
Um ponto importante

Lei zero da termodinâmica:

Calor é a energia transferida entre um sistema e o ambiente devido à diferença de temperatura entre eles.

Calor, no entanto, também pode ser absorvido sem aumento de temperatura do sistema. A energia térmica absorvida é utilizada para quebrar ligações químicas e provocar **mudanças de fases**

Calor de transformação: $Q = Lm$

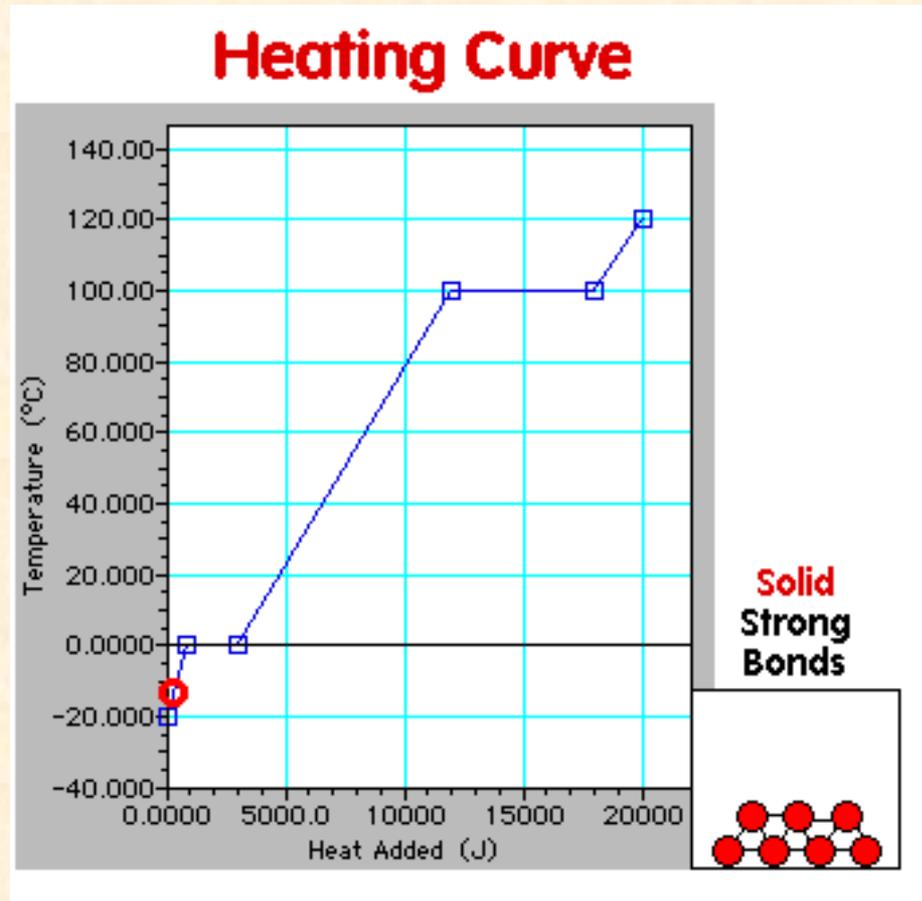


Calor latente (fusão ou vaporização)

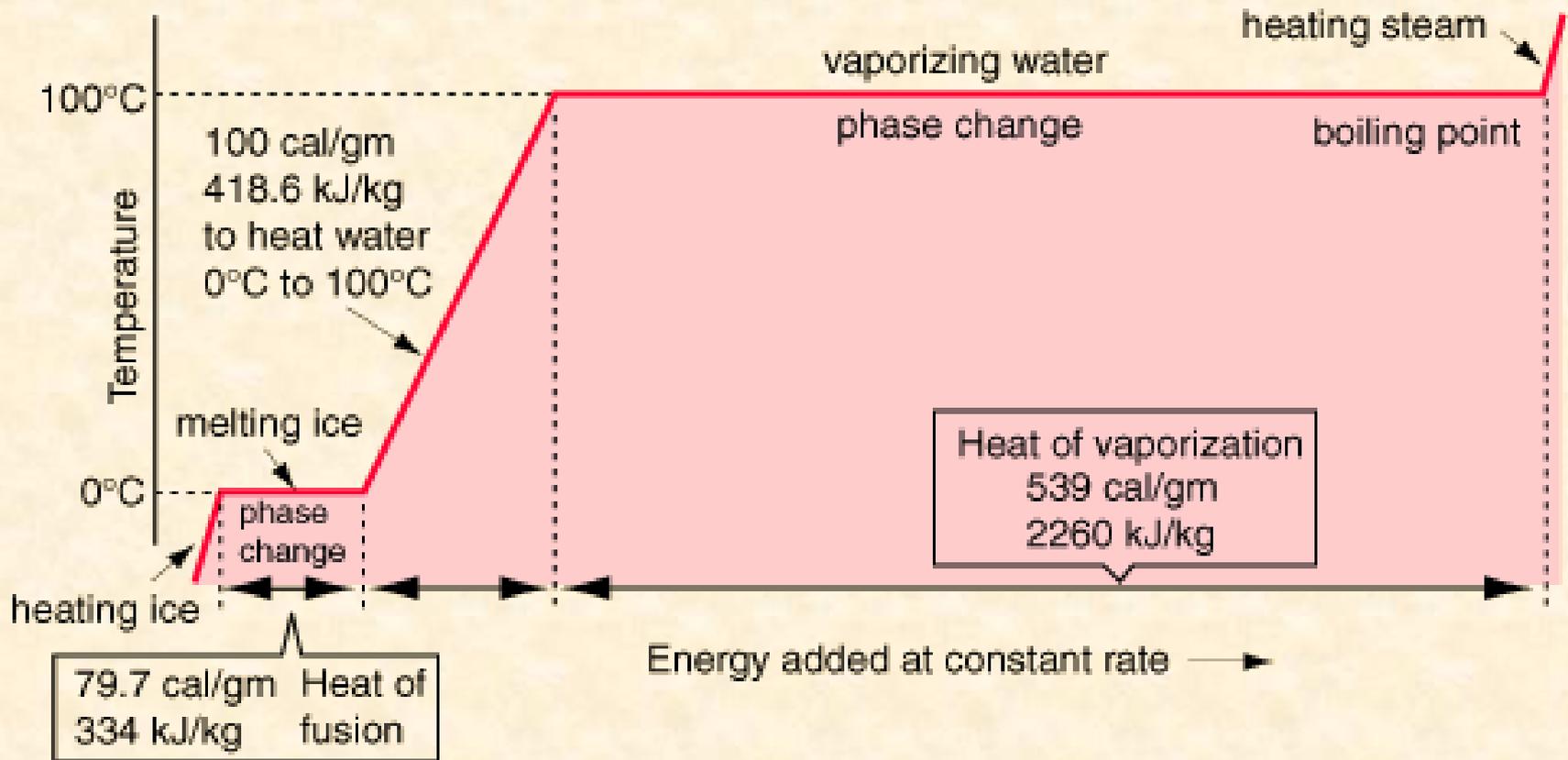
Tabela de calores de transformação

substância (at 1 atm)	ponto de fusão Tm (K)	calor de fusão Lf (cal/g)	ponto de ebulição Tb (K)	calor de vaporização Lv (cal/g)
Hydrogen	13.8	14.0	20.3	108
Oxygen	54.4	3.3	90.2	50.9
Nitrogen	63.3	6.1	77.3	48.0
Ethyl Alcohol	156	24.9	351	205
Mercury	234	2.7	630	70.0
Water	273.15	79.7	373.15	539
Lead	600	5.9	2023	208
Aluminum	932	94.5	2740	2500
Gold	1336	15.4	2933	377
Copper	1359	32.0	1460	1210
Iron	1808	69.1	3023	1520

Exemplo: água



Exemplo da água



Localize esses valores nas tabelas anteriores

Exemplo 1:

Que quantidade de calor deve absorver uma amostra de gelo de massa $m = 720 \text{ g}$ a $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ para passar ao estado líquido a $15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Exemplo 2:

Um lingote de cobre de massa $m_c = 75 \text{ g}$ é aquecido em um forno de laboratório até a temperatura $T = 312 \text{ }^\circ\text{C}$. Em seguida, o lingote é colocado em um béquer de vidro contendo uma massa de água $m_a = 220 \text{ g}$. A capacidade térmica C_b do béquer é 45 cal/K . A temperatura inicial da água e do béquer é $T_i = 12 \text{ }^\circ\text{C}$. Supondo que o lingote, o béquer e a água são um sistema isolado e que a água não é vaporizada, determine a temperatura final T_f do sistema quando o equilíbrio é atingido.