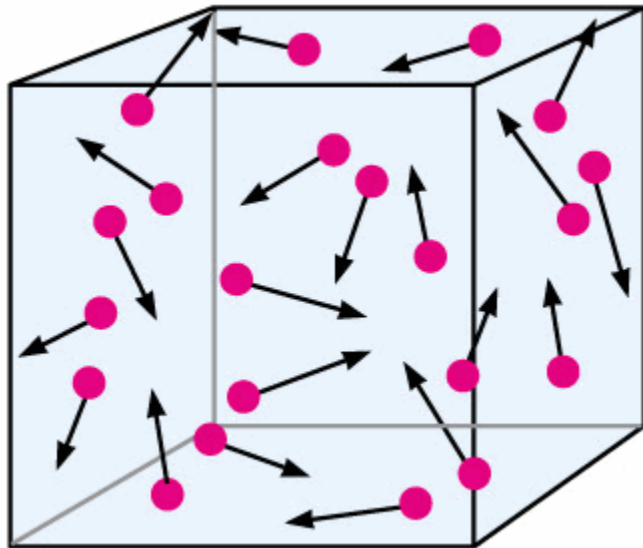


Capítulo 21 – Temperatura

21.1 – Temperatura e equilíbrio térmico

Mecânica: lida com partículas. Variáveis microscópicas: posição, velocidade, etc.

Termodinâmica: lida com sistemas de muitas partículas. Variáveis macroscópicas (médias): pressão, temperatura, etc.

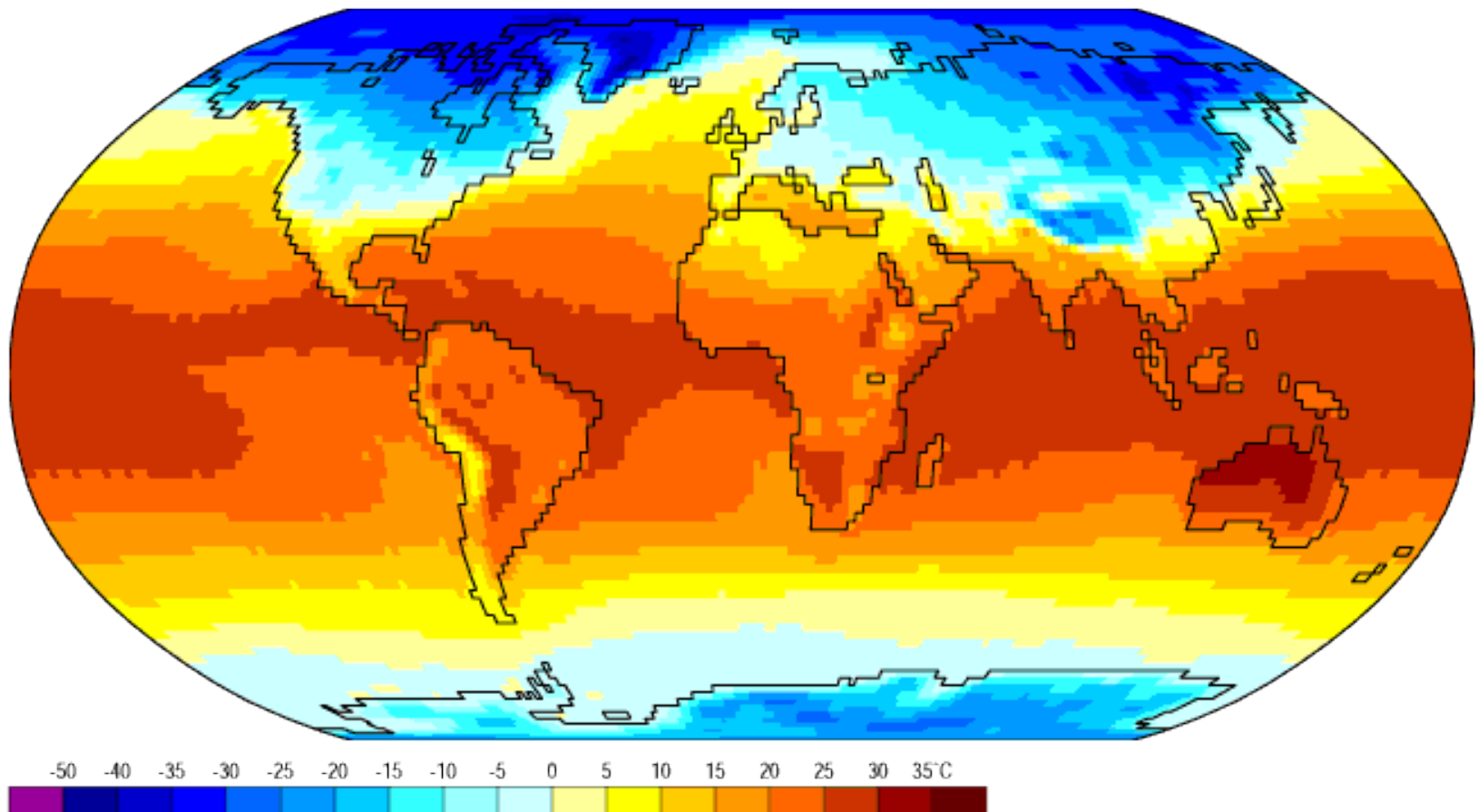


A relação entre as variáveis microscópicas e macroscópicas é feita pela Teoria Cinética dos Gases, que veremos no Capítulo 22

Temperatura: temos noção intuitiva, mas a definição rigorosa é dada pela **Lei Zero da Termodinâmica**

Air Temperature

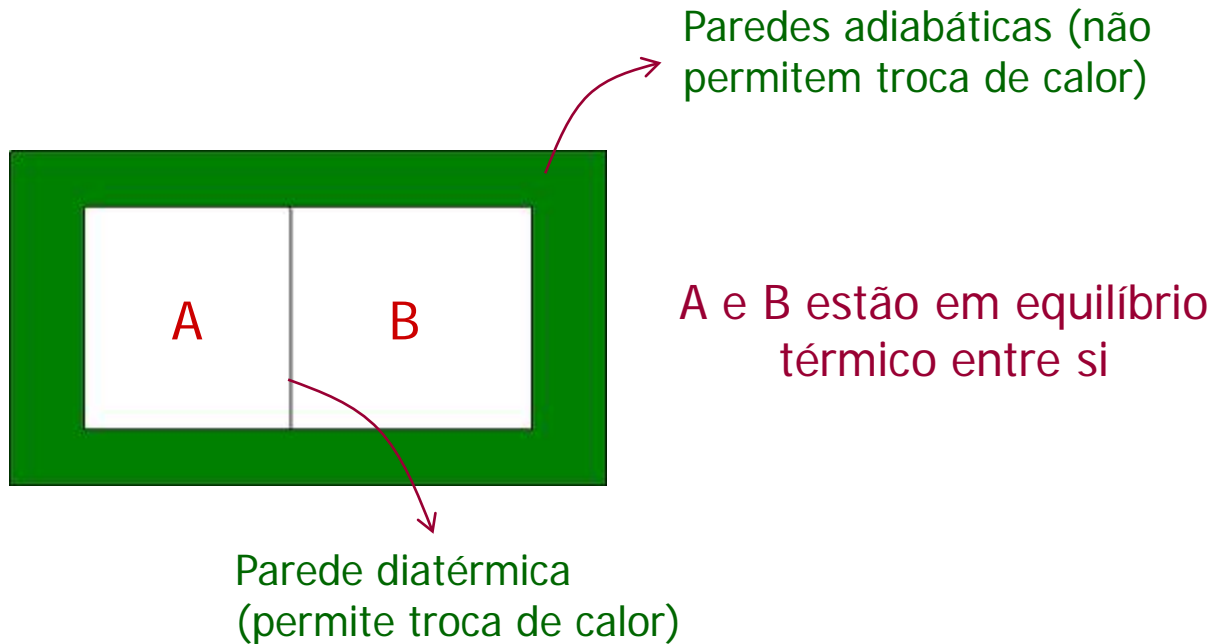
Dec



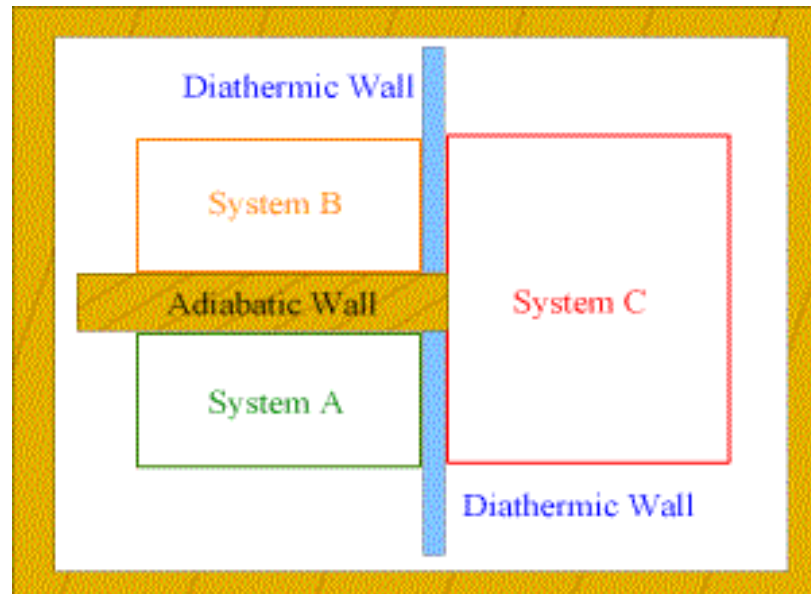
Data: NCEP/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997 Climatologies
Animation: Department of Geography, University of Oregon, March 2000

Lei Zero da Termodinâmica

Equilíbrio térmico – um sistema isolado sempre tende a um estado em que suas variáveis macroscópicas não mudam com o tempo (estado de equilíbrio térmico)



Lei Zero da Termodinâmica – “se dois corpos A e B estão em equilíbrio térmico com um terceiro C, então estão em equilíbrio térmico entre si”



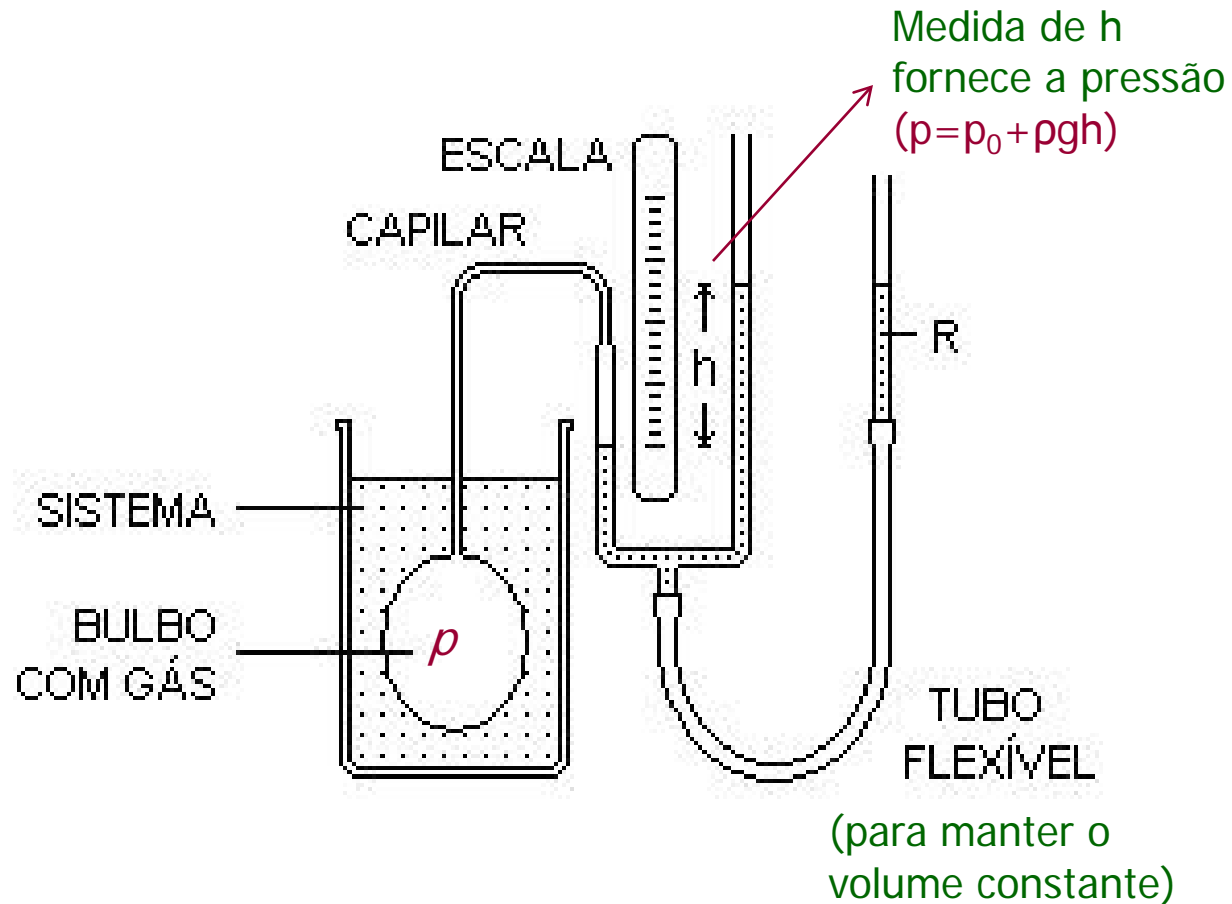
Ou então – “Todo corpo tem uma propriedade escalar chamada temperatura. Quando dois corpos estão em equilíbrio térmico entre si, têm a mesma temperatura”

A Lei Zero foi formulada desta forma apenas na década de 1930, muito depois da formulação da primeira e da segunda leis

Como medir a temperatura?

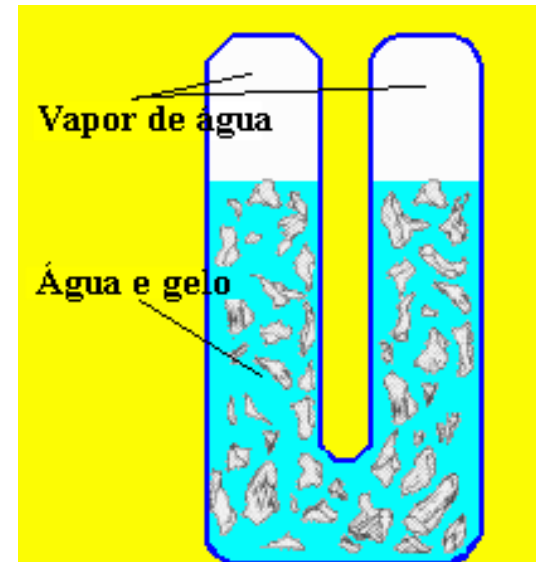
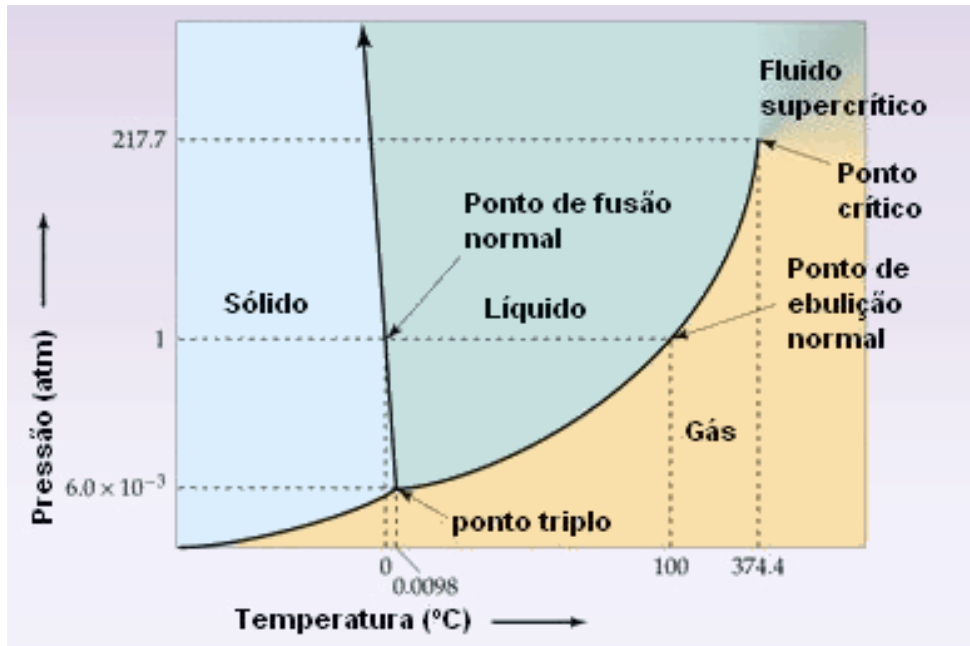
21.3 – Medição da temperatura

O termômetro de gás a volume constante



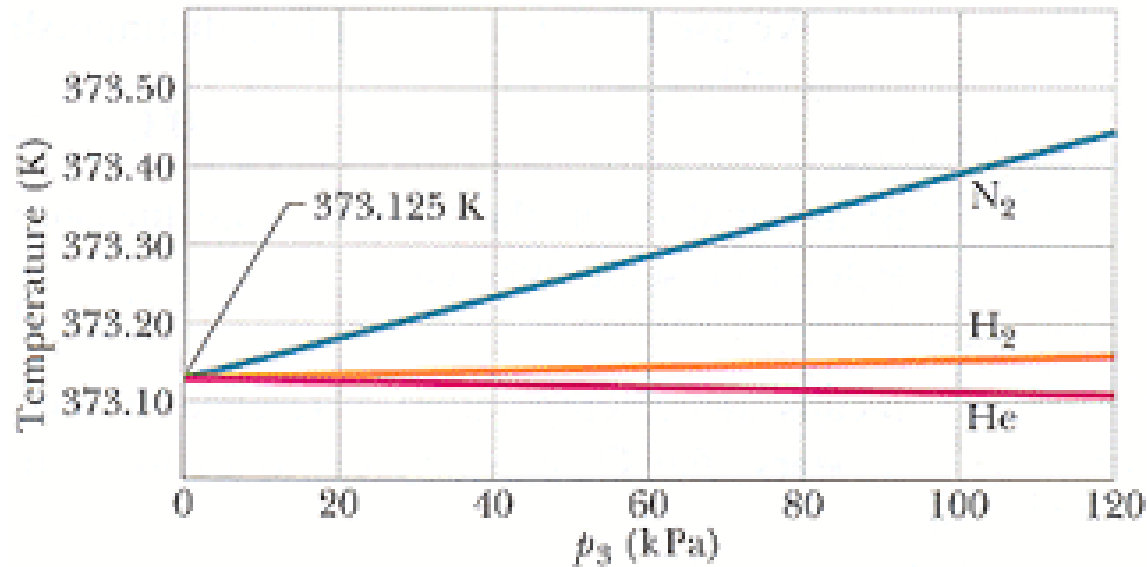
Temperatura relativa: $\frac{T}{T_3} = \frac{p}{p_3}$

T_3 e p_3 definem um padrão de referência. **Convenção:** temperatura e pressão do ponto triplo da água. **Define-se:** $T_3 = 273,16\text{K}$



Assim: $T = (273,16 \text{ K}) \left(\frac{p}{p_3} \right)$ (definição provisória)

No entanto, se usarmos diferentes quantidades de diferentes gases no termômetro, teremos diferentes leituras para T . Porém, todas convergem para o mesmo valor no limite em que o número de moles (n) do gás tende a zero (**gás ideal**)



Define-se então a **temperatura absoluta**:
$$T = \lim_{n \rightarrow 0} (273,16 \text{ K}) \left(\frac{p}{p_3} \right)$$

A temperatura é uma das 7 grandezas básicas do S.I.

Grandeza	Unidade	Símbolo
Comprimento	metro	m
Massa	quilograma	kg
Tempo	segundo	s
Corrente elétrica	ampère	A
Temperatura termodinâmica	kelvin	K
Quantidade de matéria	mol	mol
Intensidade luminosa	candela	cd

Definição do kelvin: $1/273,16$ da temperatura do ponto triplo da água

Na prática, o termômetro de gás é de difícil uso, e ele é usado apenas para calibrar outras temperaturas de referência (**pontos fixos**), que podem então ser usados para calibrar outros termômetros de uso mais conveniente:

Escala Internacional de Temperatura

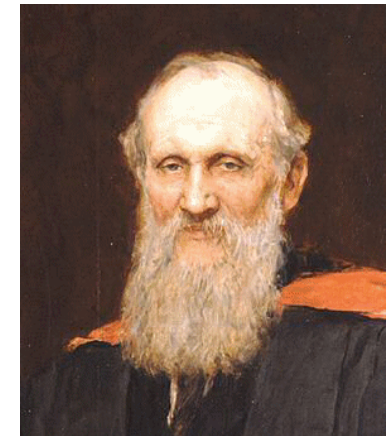
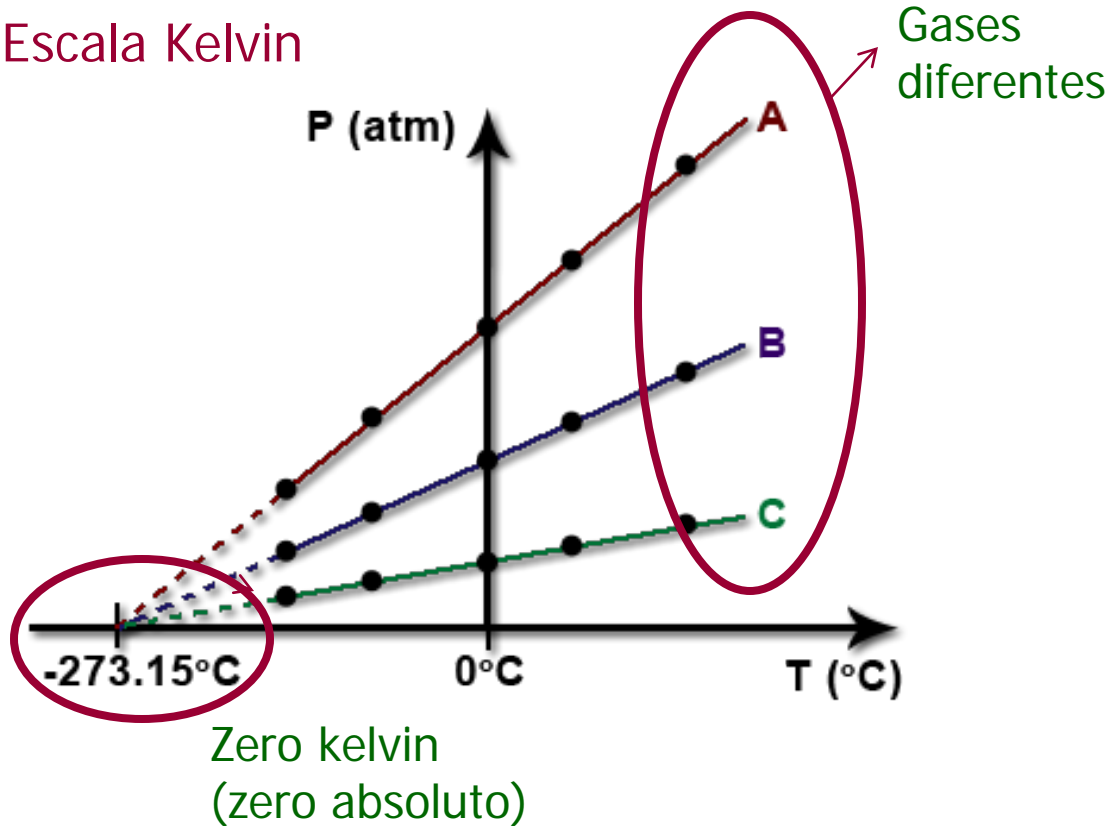
Principais Pontos Fixos	T (°C)
1) Ponto triplo (equilíbrio entre fases sólida, líquida e vapor) do hidrogênio	- 259,34
2) Ponto de vaporização (equilíbrio entre fases líquida e vapor) do hidrogênio à pressão de 250 mmHg	- 256,108
3) Ponto de vaporização normal (pressão de 1 atm) do hidrogênio	- 252,87
4) Ponto de vaporização normal de neon	- 246,048
5) Ponto triplo do oxigênio	- 218,789
6) Ponto de vaporização normal do oxigênio	- 182,962
7) Ponto triplo da água	0,01
8) Ponto de vaporização normal da água	100
9) Ponto de solidificação normal (equilíbrio entre as fases sólida e líquida à pressão de 1 atm) do zinco	419,58
10) Ponto de solidificação normal da prata	961,93
11) Ponto de solidificação normal do ouro	1.064,43

TABELA 21-1 Temperatura de Sistemas Seleccionados

<i>Sistema</i>	<i>Temperatura (K)</i>
Plasma em um reator de fusão de teste	10^8
Centro do Sol	10^7
Superfície do Sol	6×10^3
Ponto de fusão do tungstênio	$3,6 \times 10^3$
Ponto de fusão da água	$2,7 \times 10^2$
Ponto de ebulição normal do N_2	77
Ponto de ebulição normal do 4He	4,2
Temperatura média do universo	2,7
Refrigerador de diluição 3He - 4He	5×10^{-3}
Desmagnetização adiabática de sal paramagnético	10^{-3}
Experimentos de condensação de Bose-Einstein	2×10^{-8}

21.2 – Escalas de temperatura

Escala Kelvin



William Thomson
(Lorde Kelvin)
(1824-1907)

Zero absoluto: limite inatingível. Em laboratório é possível chegar a temperaturas < 1 nK em sistemas de “átomos frios”.

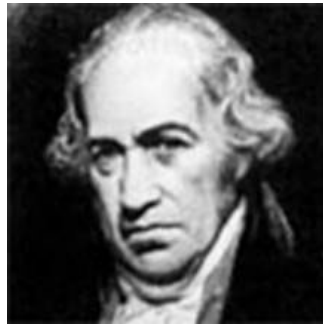
Escalas Celsius e Fahrenheit

$$T_C = T - 273,15$$

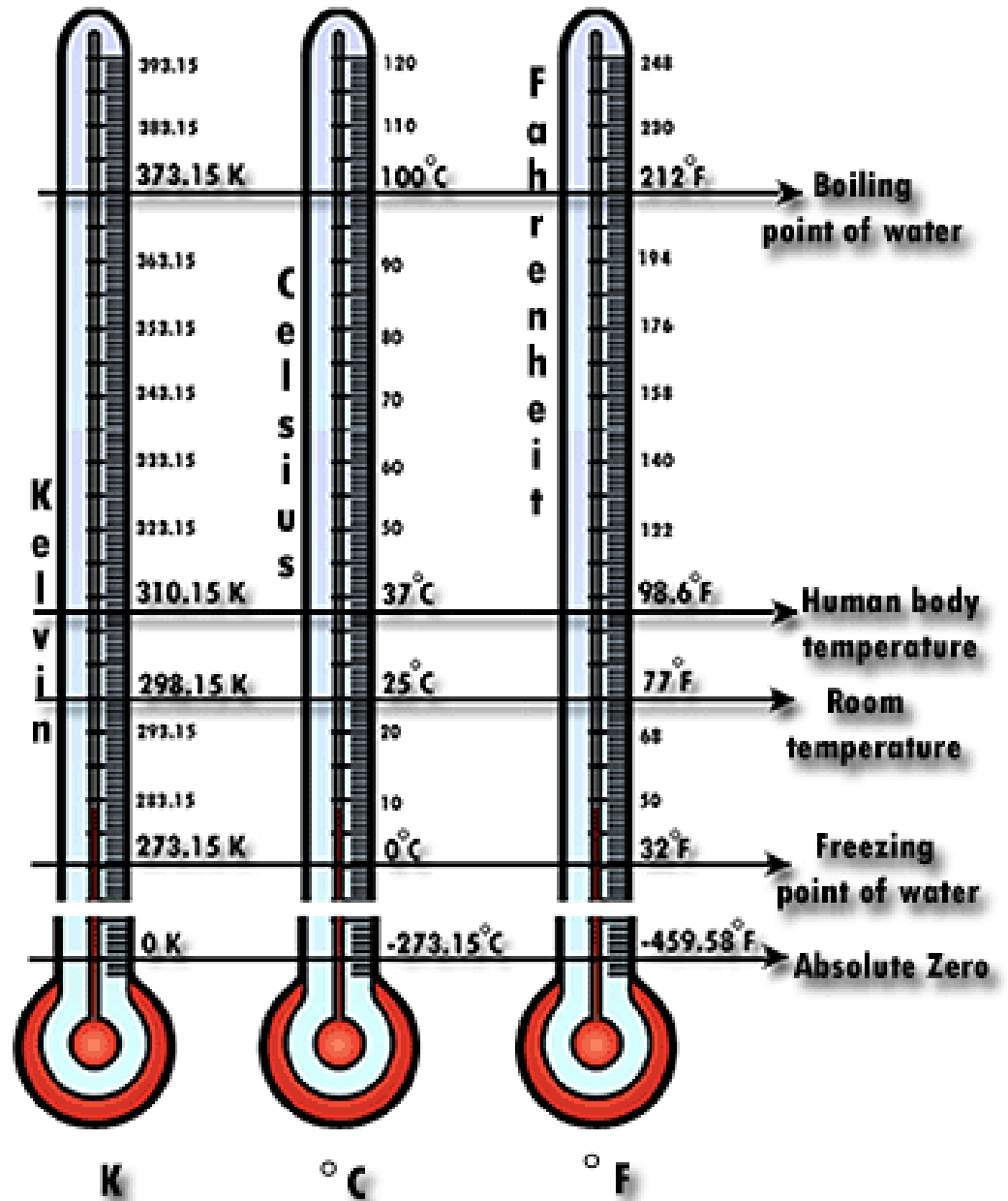
$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$$



Anders Celsius
(1701-1744)



Daniel Gabriel Fahrenheit
(1686-1736)



21.5 – O gás ideal

- Vimos que os diferentes gases se comportam da mesma maneira a densidades baixas: limite do gás ideal
- Abstração útil

Lei empírica: $pV = NkT$

- p: pressão
- V: volume
- N: número de moléculas
- T: temperatura em kelvins
- k: constante de Boltzmann

$$k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

Usando: $N = nN_A$

- n: número de moles
- N_A : número de Avogadro

$$N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ molecules/mol}$$

Temos: $pV = nRT$

$$R = kN_A = 8,31 \text{ J/mol.K}$$

Lei do Gás Ideal: $pV = nRT$ ou $pV = NkT$

Resume as leis de Avogadro, Boyle e Gay-Lussac/Charles



Amedeo Avogadro
(1776-1856)

$$V \propto N$$



Robert Boyle
(1627-1691)

$$p \propto V^{-1}$$



Louis Joseph
Gay-Lussac
(1778-1850)



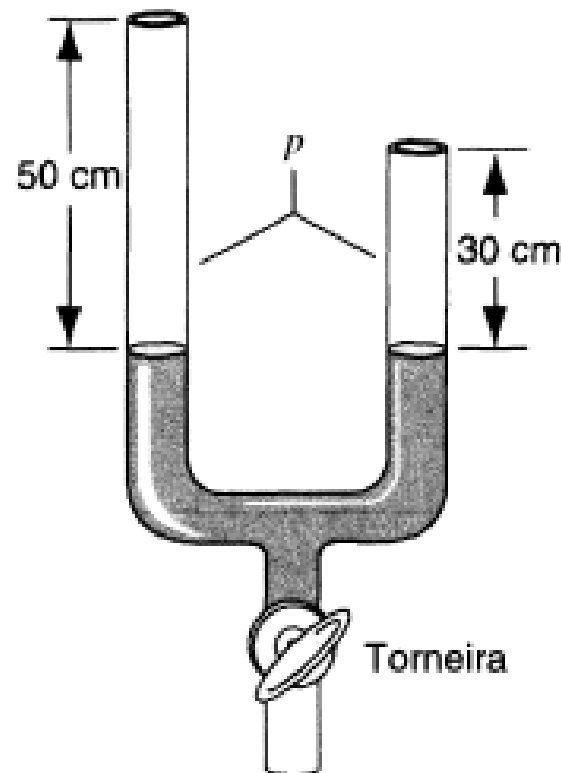
Jacques Alexandre
Cesar Charles
(1746-1823)

$$V \propto T$$

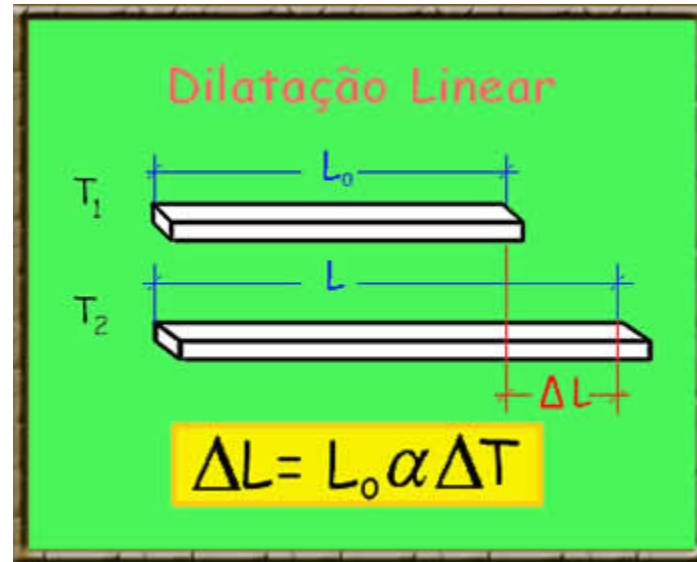
Propriedades do Gás Ideal

1. Moléculas com movimento aleatório e obedecendo às Leis de Newton
2. Volume ocupado pelas moléculas \ll volume do recipiente
3. "Grande" número de moléculas
4. Movimento livre ($F=0$) exceto durante colisões
5. Colisões são elásticas e de duração desprezível

21. Um manômetro de mercúrio com dois braços de mesmo comprimento e de mesma área transversal é selado de modo a ter-se a mesma pressão p nos dois braços, conforme mostrado na Fig. 21-23. Mantendo a temperatura constante, adiciona-se $10,0 \text{ cm}^3$ de mercúrio através da torneira na parte de baixo. O nível da esquerda aumenta de $6,00 \text{ cm}$ e o da direita aumenta de $4,00 \text{ cm}$. Determine a pressão p .



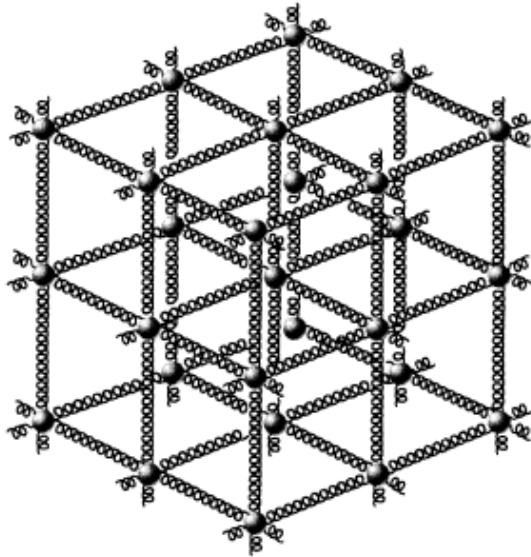
21.4 – Dilatação térmica



$$\alpha = \frac{\Delta L / L_0}{\Delta T} \quad (\text{coeficiente de dilatação linear})$$

Por quê?

Visão microscópica:

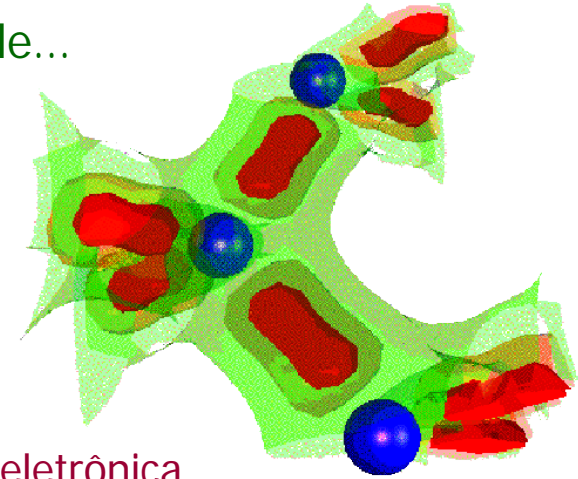


Átomos vibrando em torno das posições de equilíbrio

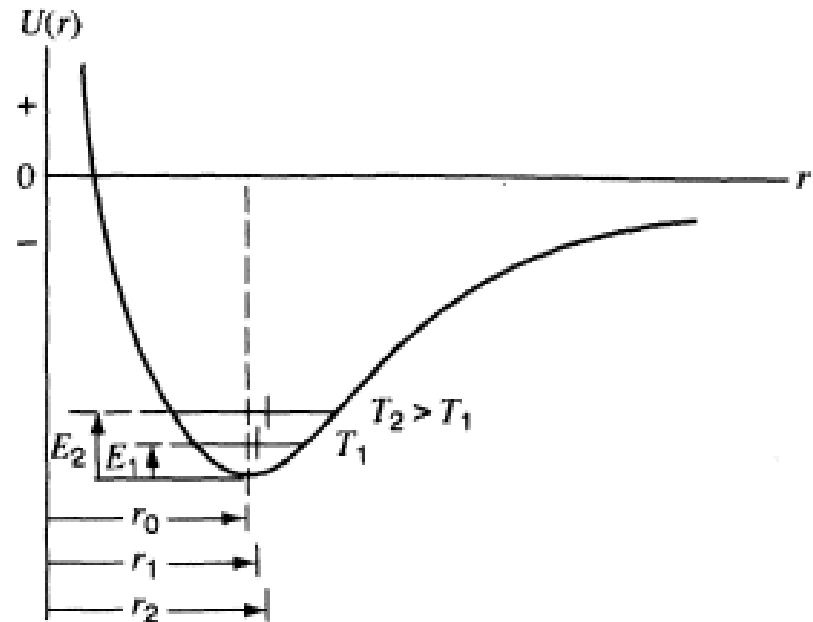
As vibrações não são perfeitamente harmônicas (potencial assimétrico)

Quanto maior a temperatura, maior a amplitude das vibrações e, devido à assimetria do potencial, a distância interatômica média aumenta

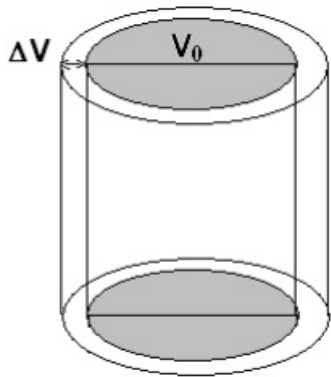
Na verdade...



Densidade eletrônica em um cristal de silício



Dilatação volumétrica:



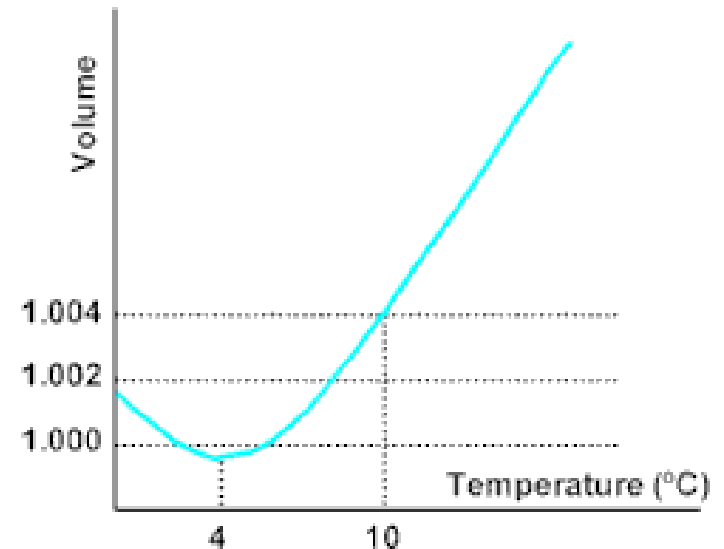
$$\beta = \frac{\Delta V/V_0}{\Delta T} \quad (\text{coeficiente de dilatação volumétrica})$$

$$\text{Para sólidos: } \beta = 3\alpha$$

A maioria dos sólidos se expande ao ser aquecida, mas há exceções.

Exemplo: água para $T < 4 \text{ }^\circ\text{C}$

Por isso o gelo se forma na superfície de um lago!



23. Prove que, se os termos extremamente pequenos forem desprezados, a variação de volume de um sólido que experimenta expansão através de um aumento de temperatura ΔT é dado por $\Delta V = 3\alpha V\Delta T$, onde α é o coeficiente de dilatação linear. Ver Eq. 21-11.

Questões

7. Um pedaço de gelo e um termômetro que está a uma temperatura maior são suspensos em uma caixa com vácuo de modo que não estejam em contato. Por que a leitura do termômetro decresce com o tempo?

22. Uma bola de metal é capaz de passar através de um anel de metal. Entretanto, quando a bola de metal é aquecida ela fica entalada no anel. O que ocorre se, em vez de a bola ser aquecida, o anel for aquecido?

31. Um modelo comum de um sólido supõe que os átomos são pontos que executam um movimento harmônico simples em torno de uma posição média da rede. Qual seria o coeficiente de dilatação linear para uma rede deste tipo?