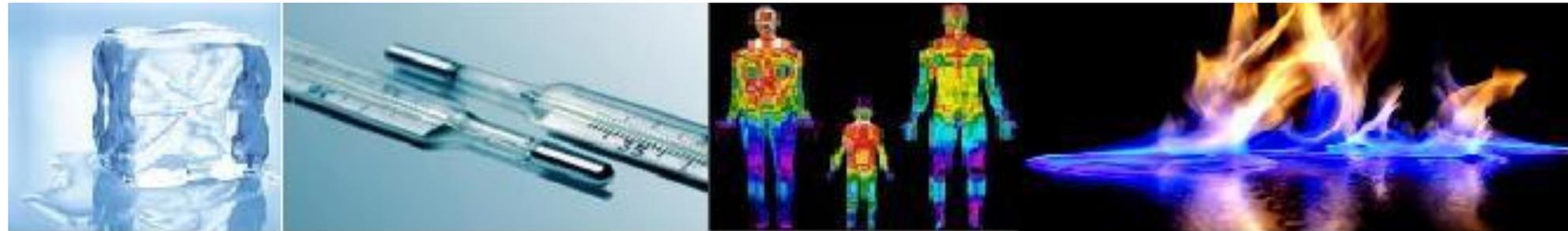


Física 2 – Ciências Moleculares

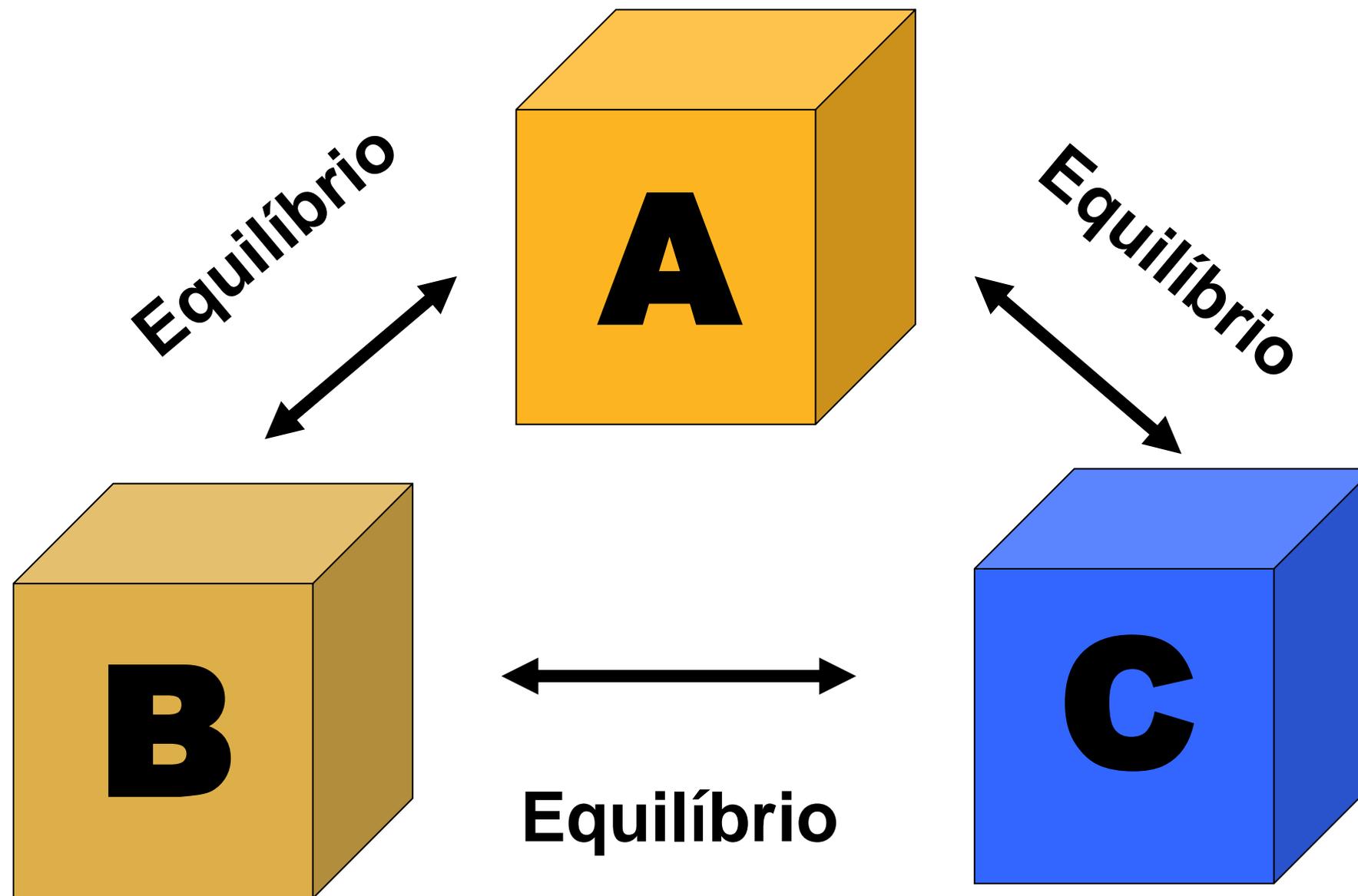


Caetano R. Miranda **AULA 28 – 20/05/2024**

crmiranda@usp.br

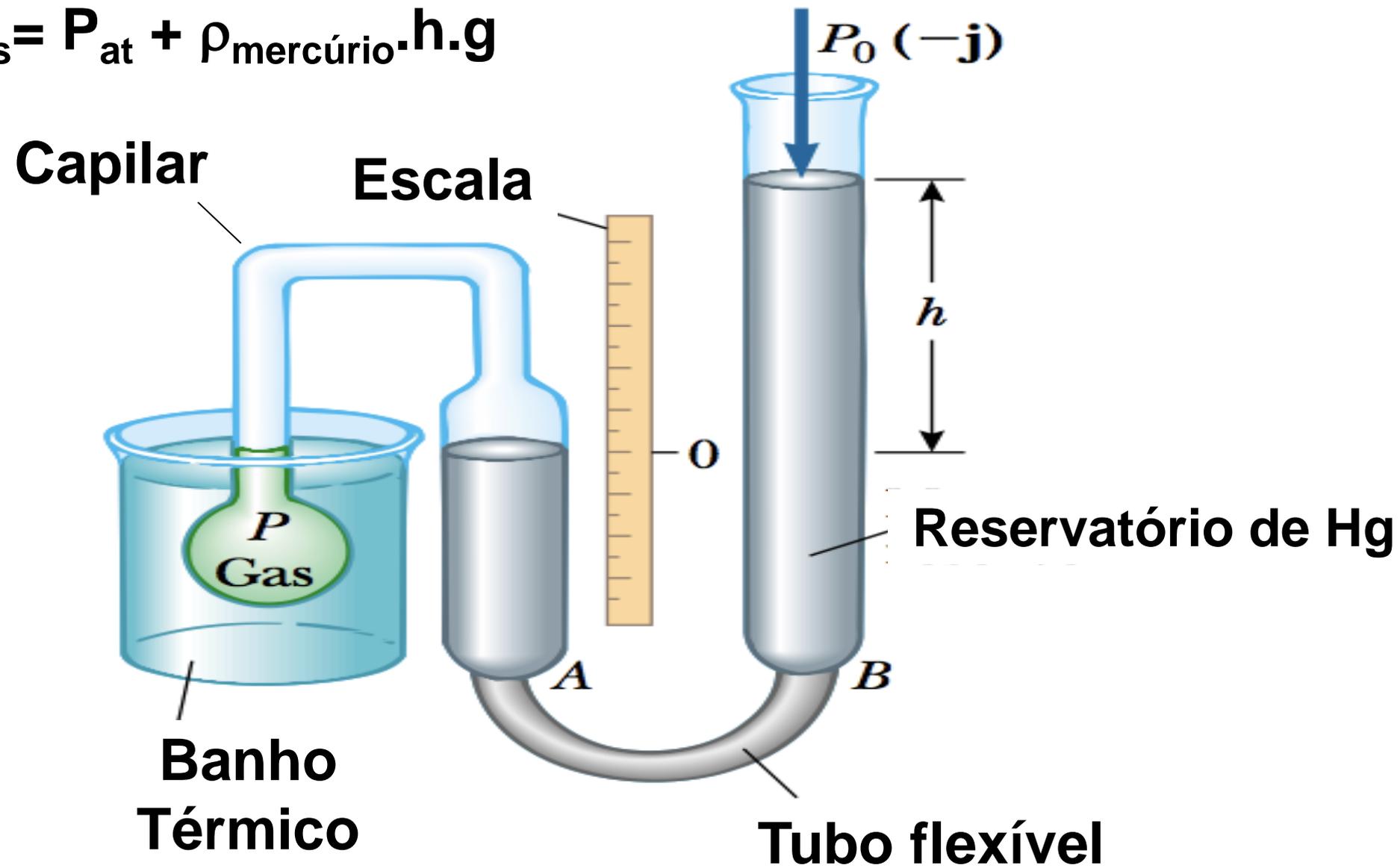


Lei zero da termodinâmica



Termômetro a gás a Volume cte.

$$P_{\text{gás}} = P_{\text{at}} + \rho_{\text{mercúrio}} \cdot h \cdot g$$



Termômetros

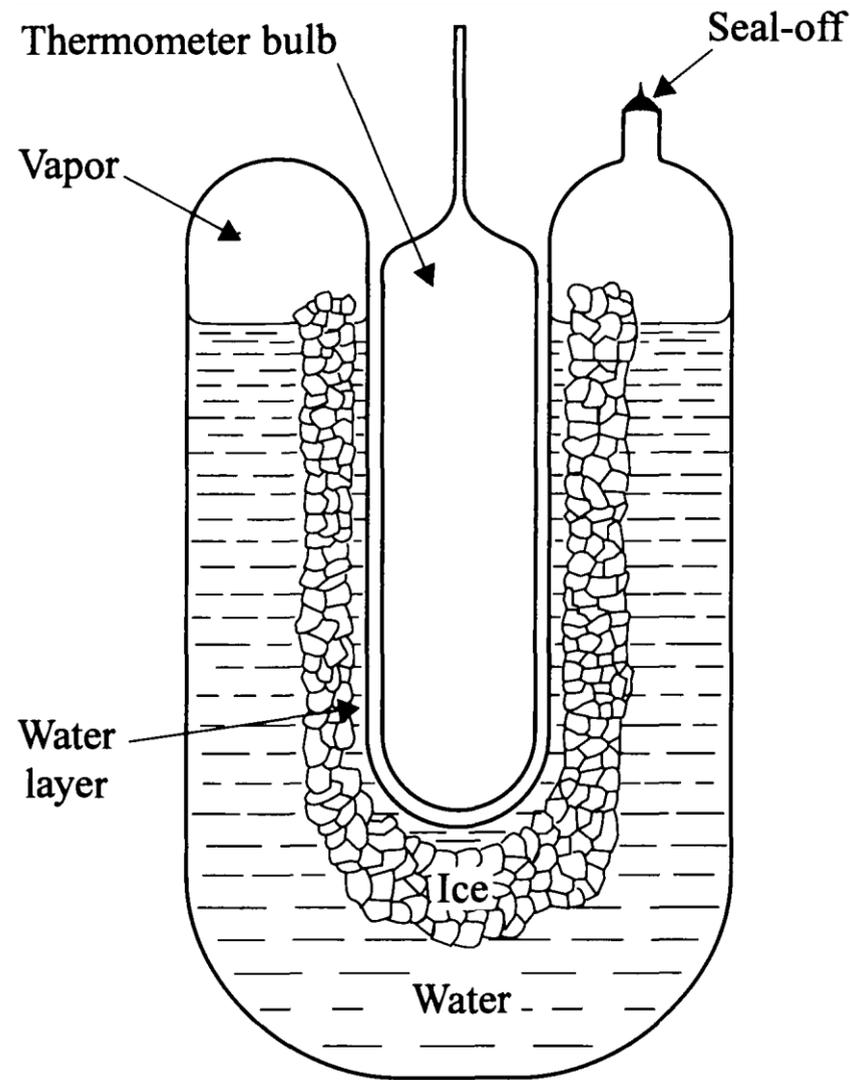


FIGURE 1-5
Triple-point cell.

Gás a volume constante

$$\theta(P) = 273.16 \text{ K} \frac{P}{P_{TP}}$$

Resistor de Pt

$$\theta(R') = 273.16 \text{ K} \frac{R'}{R'_{TP}}$$

Termopar

$$\theta(\mathcal{E}) = 273.16 \text{ K} \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}_{TP}}$$

Termometria

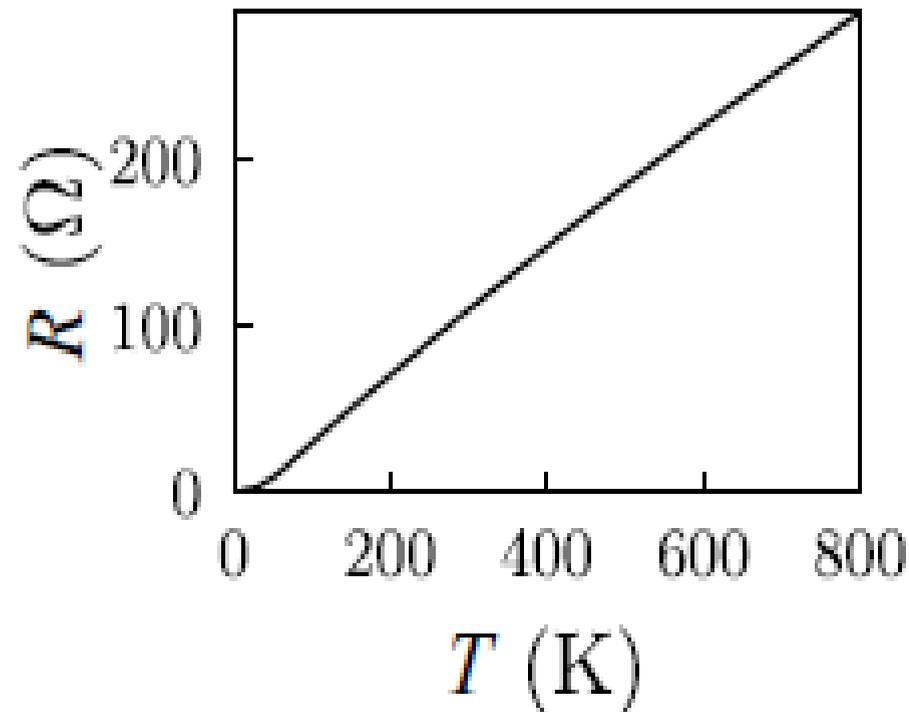


Fig. 4.2 The temperature dependence of the resistance of a typical platinum sensor.

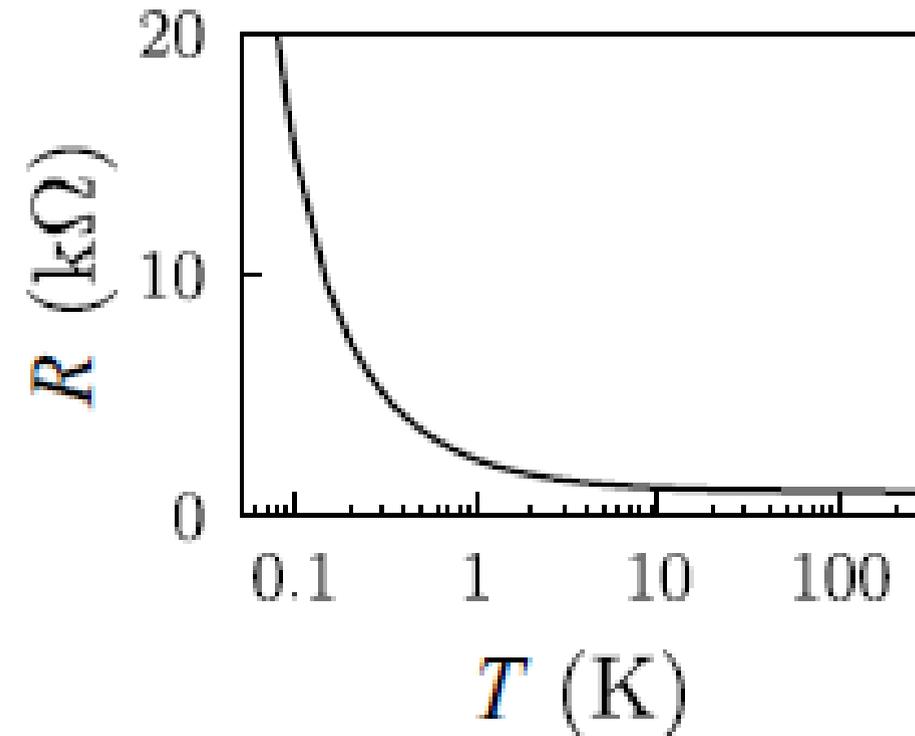
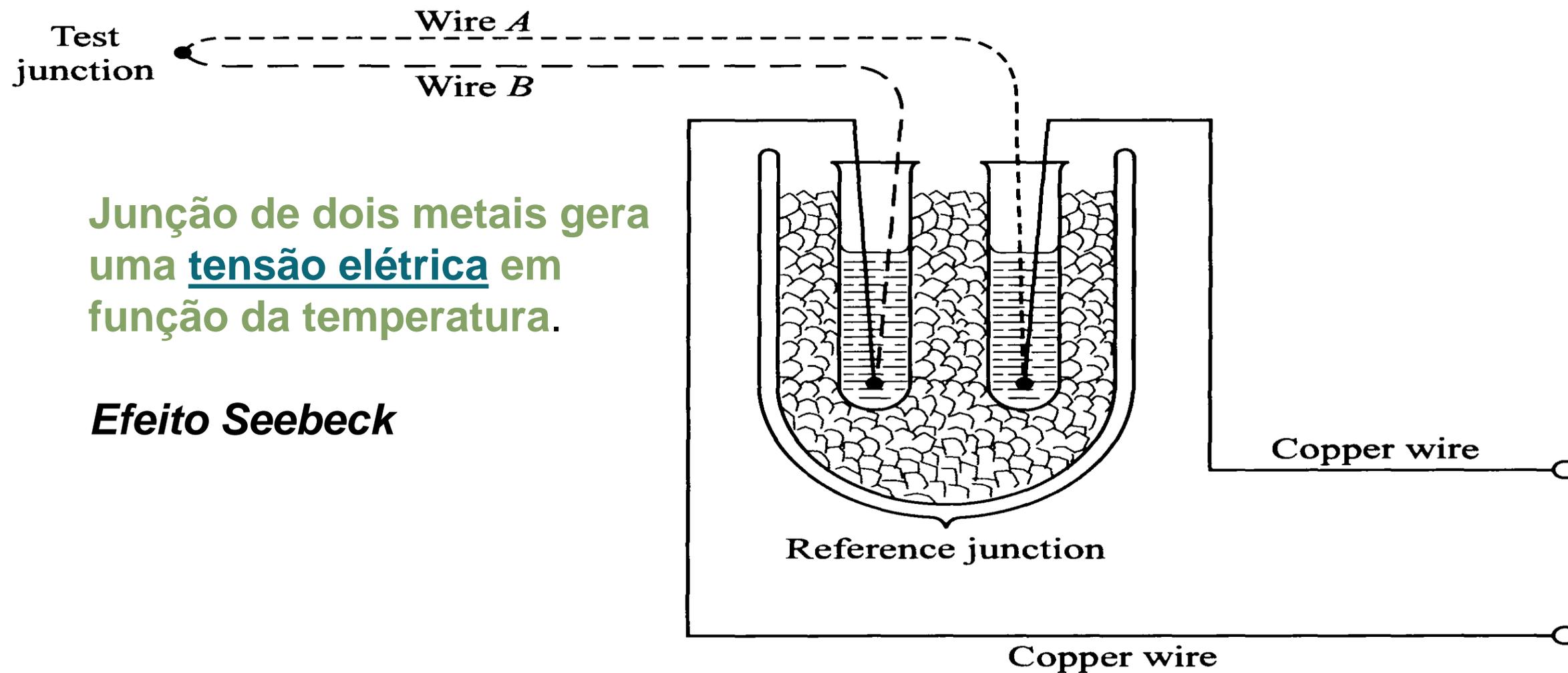


Fig. 4.3 The temperature dependence of the resistance of a typical RuO_2 sensor.

$$R'(T) = R'_{TP}(1 + aT + bT^2),$$

Termopar



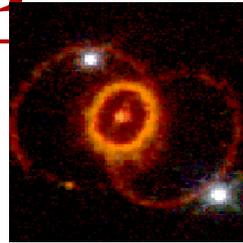
Junção de dois metais gera uma tensão elétrica em função da temperatura.

Efeito Seebeck

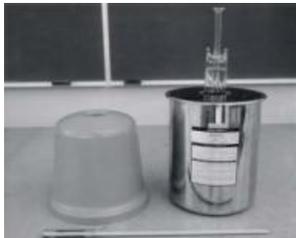
FIGURE 1-8

Thermocouple of wires *A* and *B* with a reference junction, consisting of two junctions with copper wires, ready to be connected to a measuring or monitoring circuit.

Temperatura: ordens de grandeza



Núcleo de um Supernova
100,000,000,000 K



Célula de ponto triplo - 273.16 K



lava
1,200 K



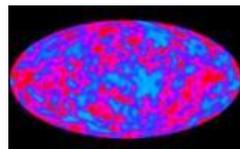
Gelo
273 K



Gelo Seco
164 K

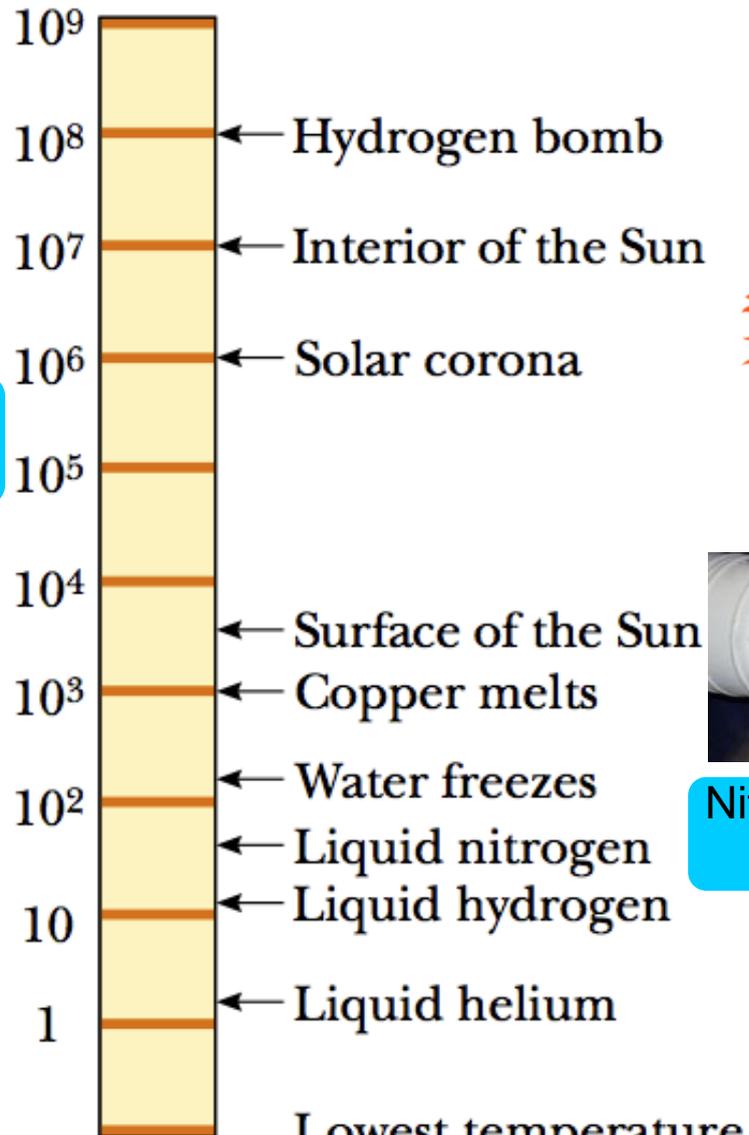


He líquido
4 K



Universo
2.7 K

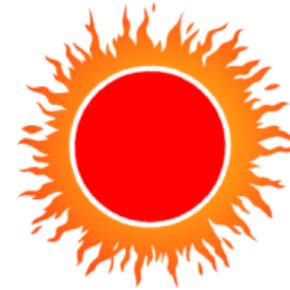
Temperature (K)



Lowest temperature achieved $\sim 10^{-7}$ K

Ponto fixo padrão

Metrologia



Núcleo do Sol
15,000,000 K
Superfície do Sol
6,000 K



Nitrogênio líquido
77 K

Temperatura Ambiente
294 K



Refrigerador a diluição
0.003 K

Temperatura – 38 pico K

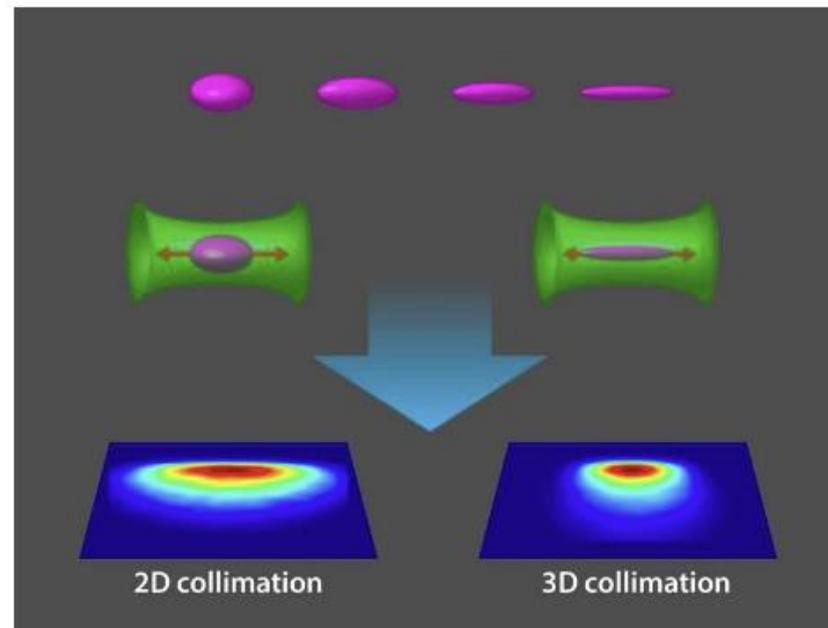
Home / Physics / General Physics
Home / Physics / Quantum Physics



OCTOBER 13, 2021

New record set for lowest temperature—38 picokelvins

by Bob Yirka, Phys.org



The new 3D collimation technique begins by inducing a collective mode oscillation in the Bose-Einstein ...

A team of researchers affiliated with several institutions in Germany and two in France has set a new record for the lowest temperature ever recorded in a lab setting—38 picokelvins. In their paper published in the journal *Physics*, the group describes their work with a time-domain matter-wave lens system. Vincenzo Tamma with the University of Portsmouth has published a [Viewpoint](#) article in the same journal issue discussing the work done by the team in Germany.

Resumo da aula passada

Dois objetos estão em equilíbrio térmico um com o outro se não trocam energia quando estão em contato térmico

Temperatura é a propriedade que determina se um corpo está em equilíbrio térmico com outros. Se eles estão em equilíbrio térmico estão na mesma temperatura. A unidade no SI de temperatura absoluta é o Kelvin.

Enunciado a lei Zero da termodinâmica

LISTA 3A já está disponível no Moodle

Efeitos da temperatura

Dilatação Térmica

O ***mercúrio do termômetro*** é um dos melhores exemplos que o aumento da temperatura pode acarretar em uma mudança de alguma propriedade física (nesse caso o aumento de volume)

Esse fenômeno é conhecido como **expansão térmica ou dilatação térmica.**

Aplicações

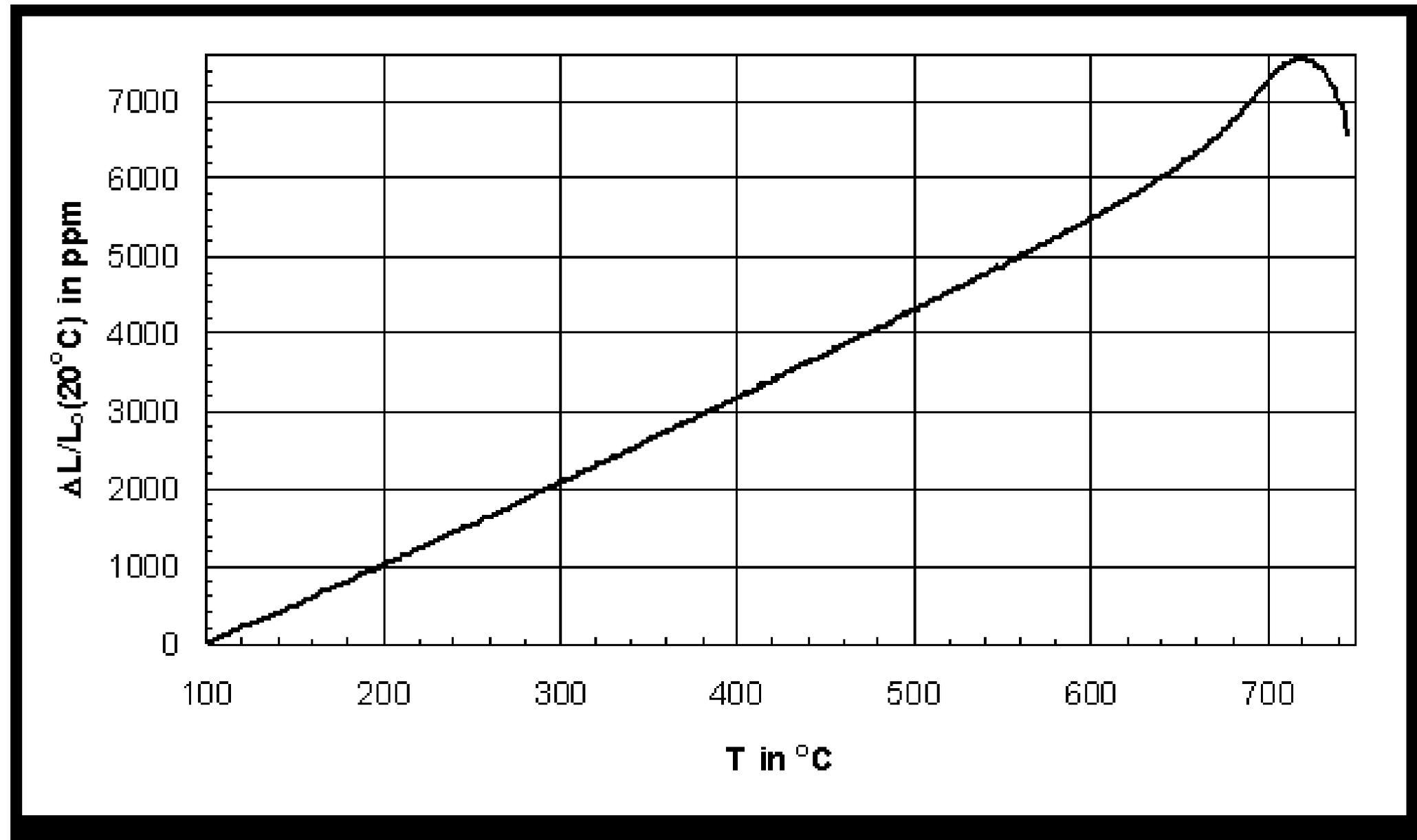


Junções de pontes para dar conta das variações de temperatura



Junção vertical, feita com um material mais macio que a parede para que a parede se expanda ou contraia

Expansão térmica



Expansão térmica

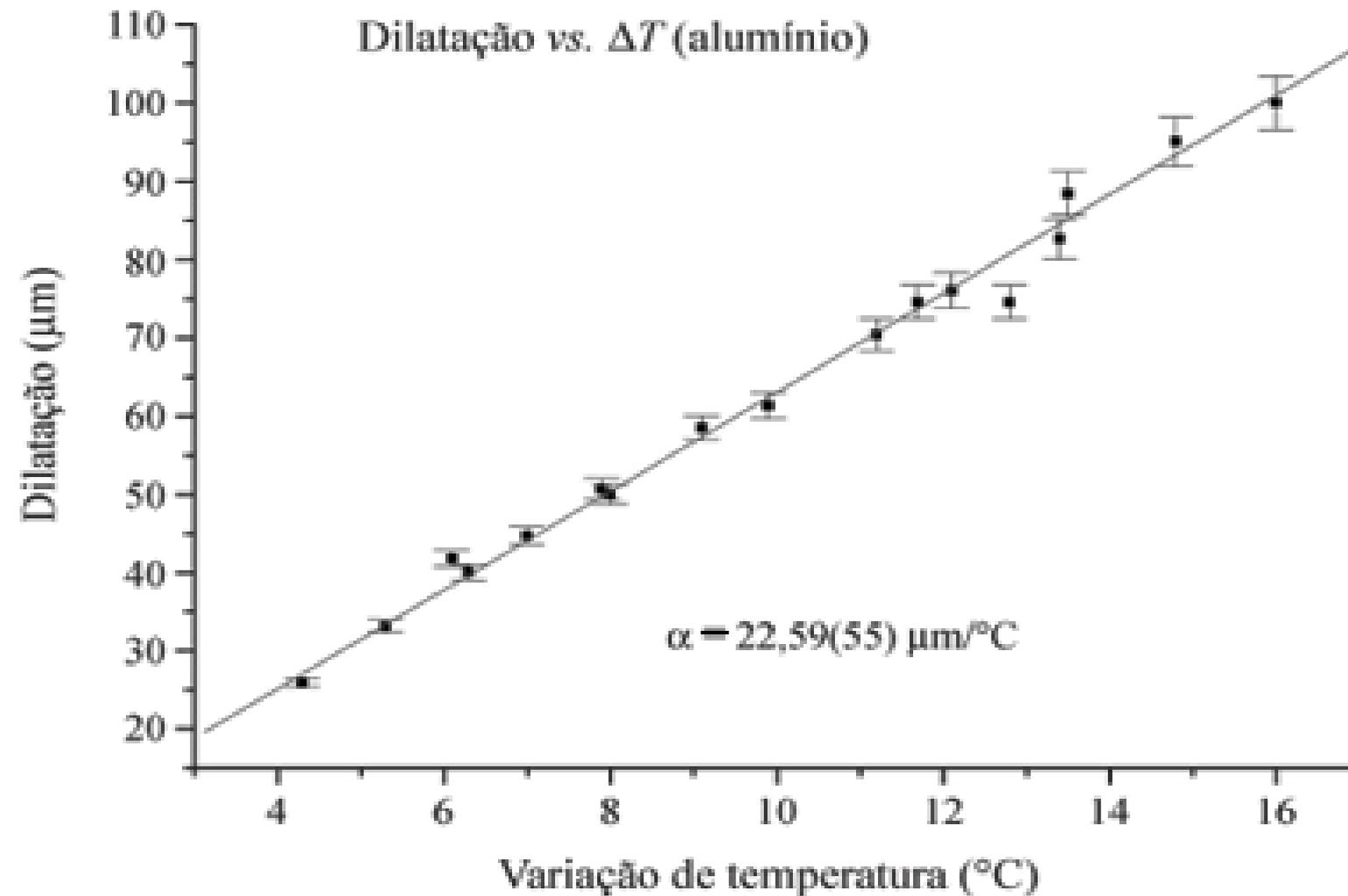
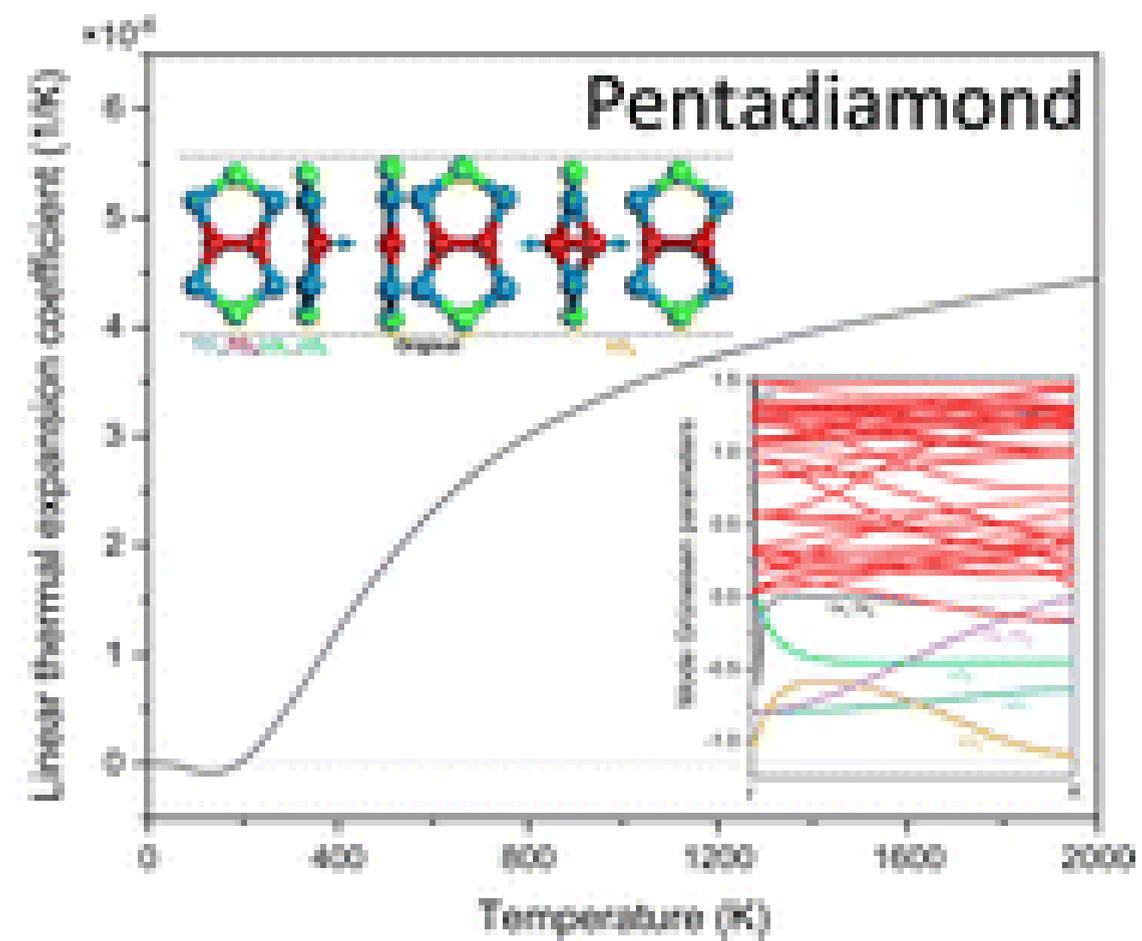
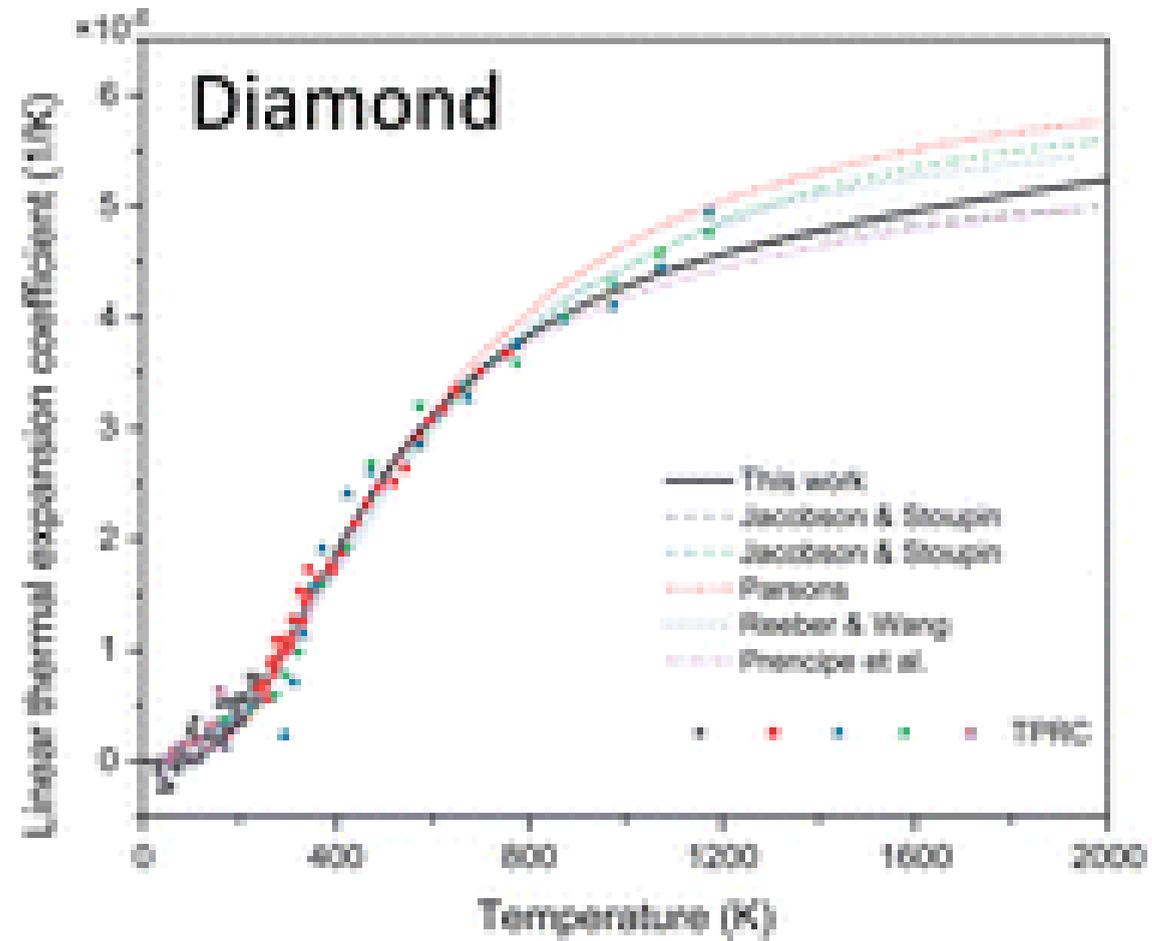


Figura 7 - Curva dos deslocamentos em função da temperatura.



Expansão térmica

Unexpected low thermal expansion coefficients of pentadiamond


 Mingqing Liao,^a Yi Wang,^b Fengjiang Wang,^a Jingchuan Zhu^c and Zi-Kui Liu^b


Expansão térmica negativa

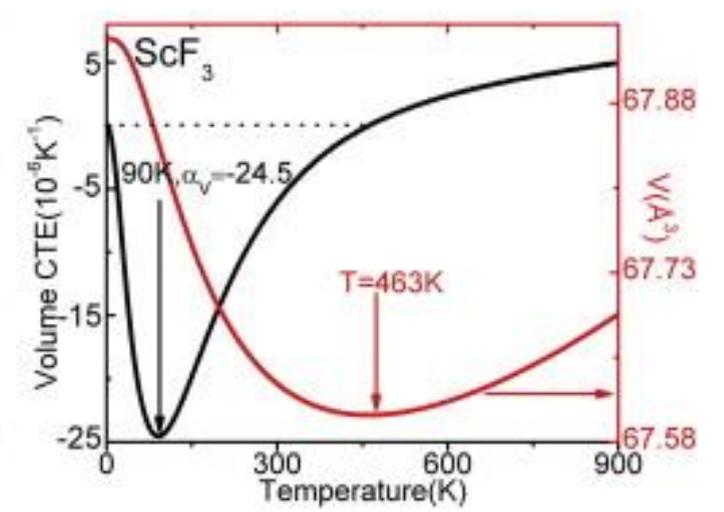
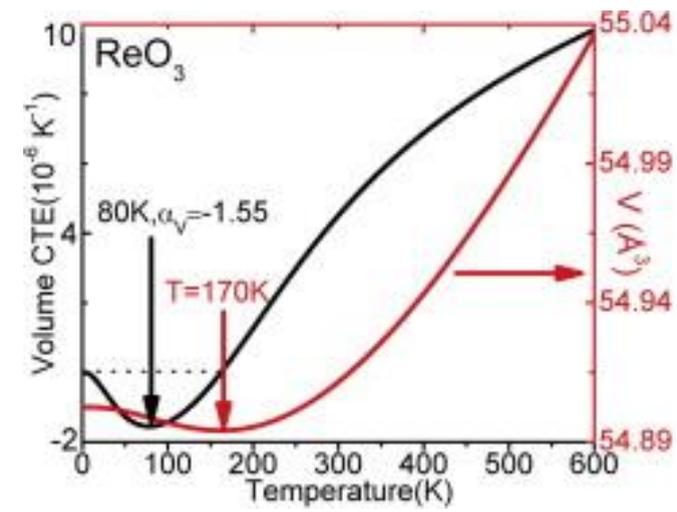
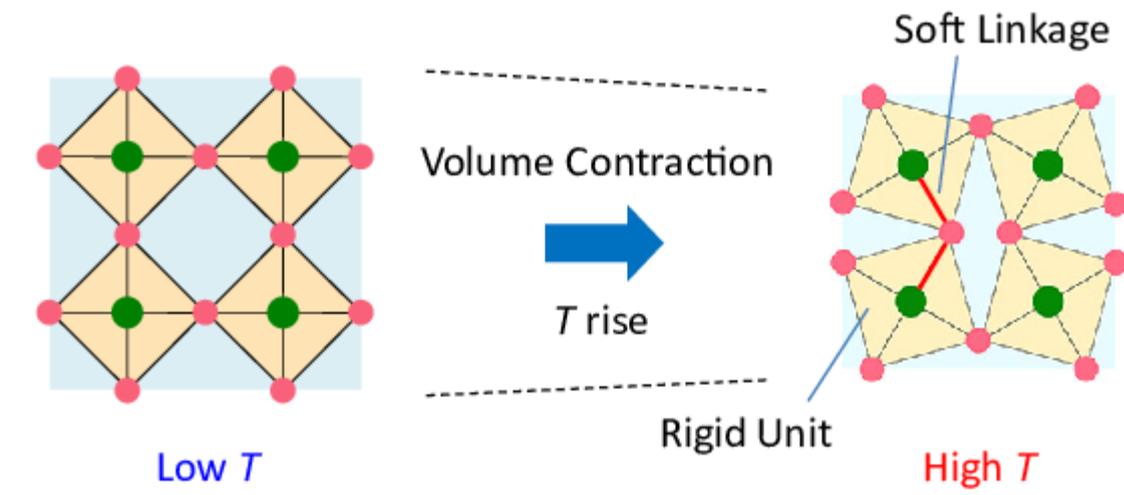
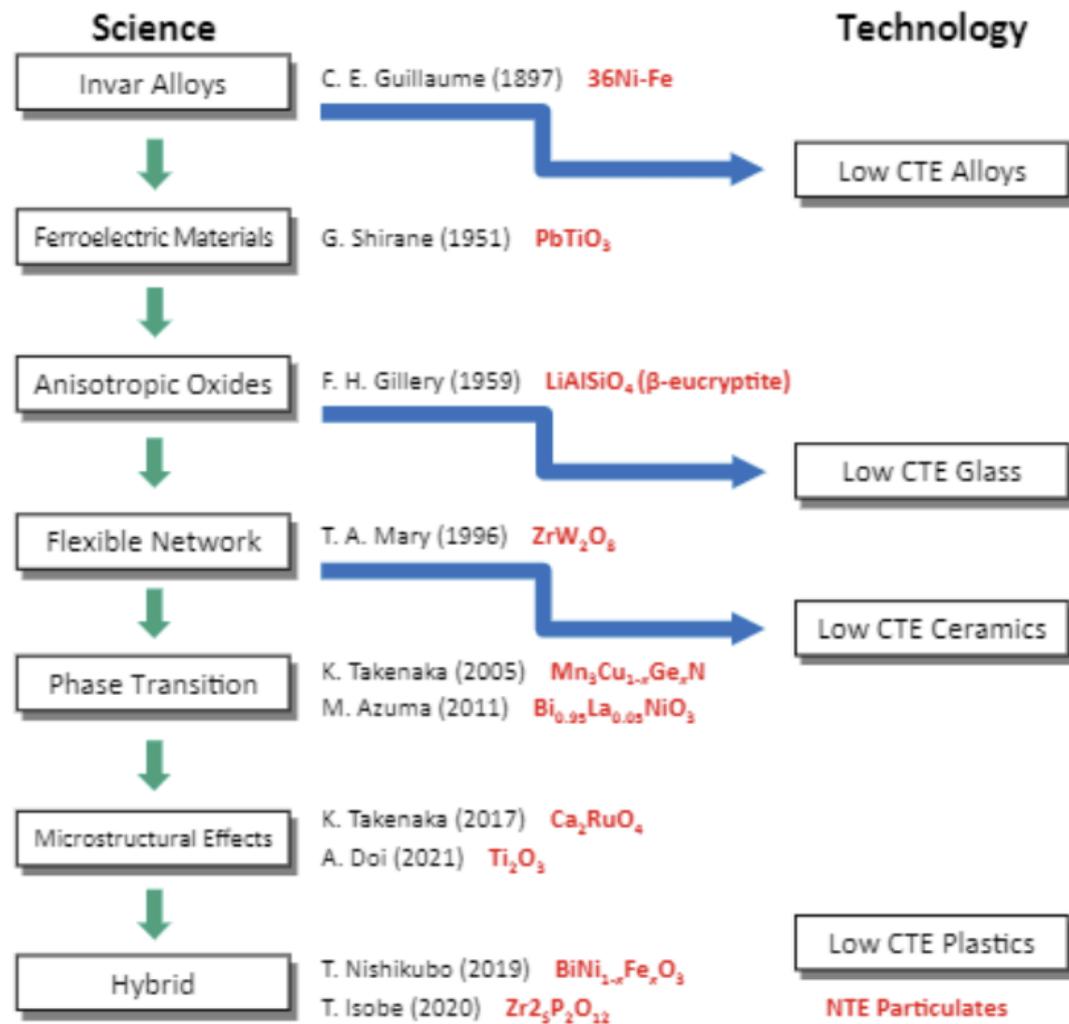
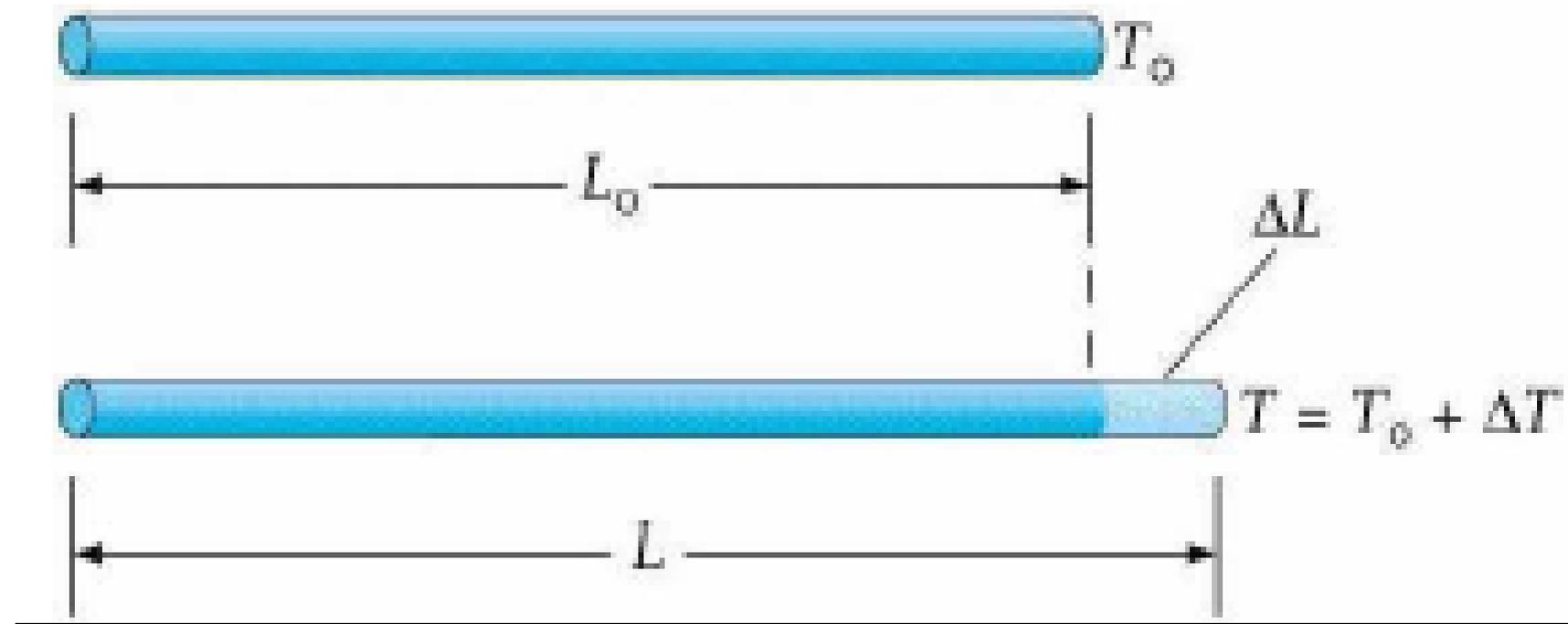


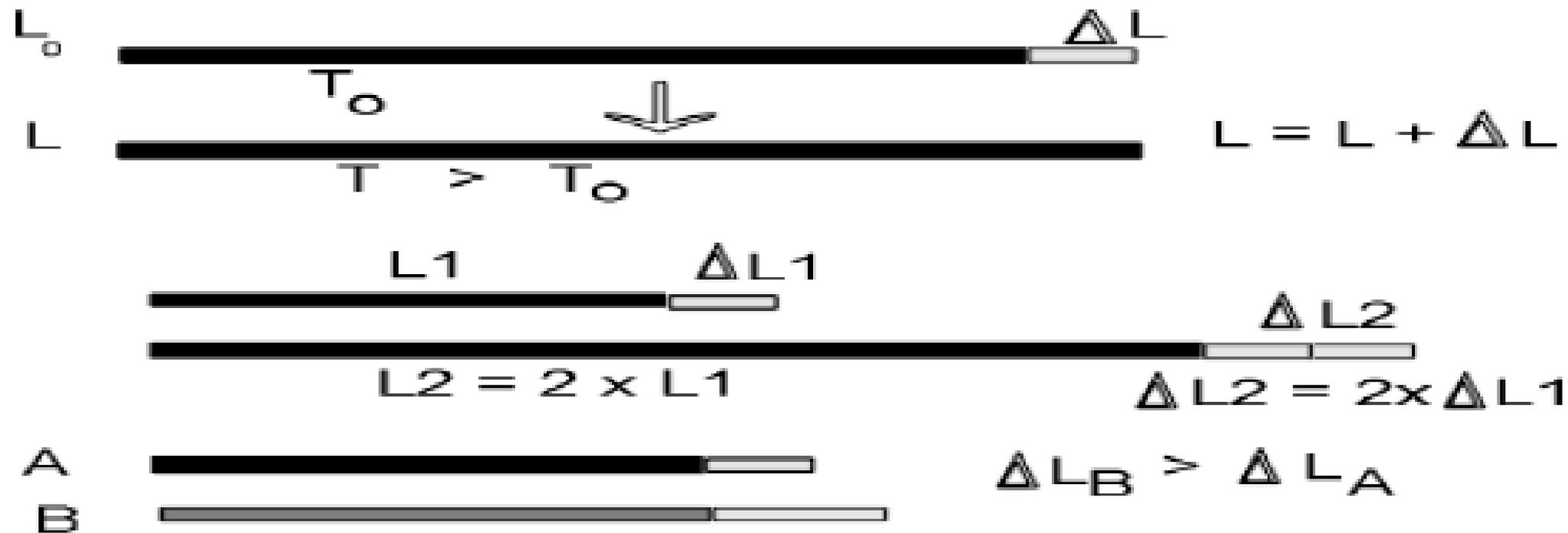
Fig. 1 Progress of research in thermal-expansion anomaly and low or negative thermal expansion.

Modelo físico



O experimento mostra que a variação do comprimento é diretamente proporcional a variação da temperatura.

Dilatação térmica



Para uma mesma variação de temperatura, a dilatação depende do material e do comprimento inicial.

Quando 2 barras do mesmo material sofrem a mesma variação de temperatura, mas possui o dobro da outra, então a variação do comprimento é 2 vezes maior.

O que aprendemos ...

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$$

O que aprendemos ...

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$$

$$L = L_0 + \Delta L$$

$$= L_0 + \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$$

$$= L_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Dilatação linear

Suponha que o um corpo tenha um comprimento inicial L_i ao longo de uma direção em alguma temperatura. Experimentos mostram que quando ΔT é pequeno o bastante, ΔL é dado por

Ou seja:

$$\Delta L = L\alpha \Delta T,$$

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

 **Coeficiente de dilatação linear**

A unidade de α é o $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ou K^{-1}

Alguns coeficientes de dilatação linear

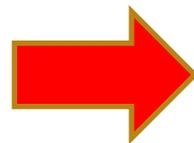


TABLE 18-2

Some Coefficients of Linear Expansion^a

Substance	α ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	Substance	α ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
Ice (at 0°C)	51	Steel	11
Lead	29	Glass (ordinary)	9
Aluminum	23	Glass (Pyrex)	3.2
Brass	19	Diamond	1.2
Copper	17	Invar ^b	0.7
Concrete	12	Fused quartz	0.5

Podemos determinar o coef. De dilatação de alguns metais

^aRoom temperature values except for the listing for ice.

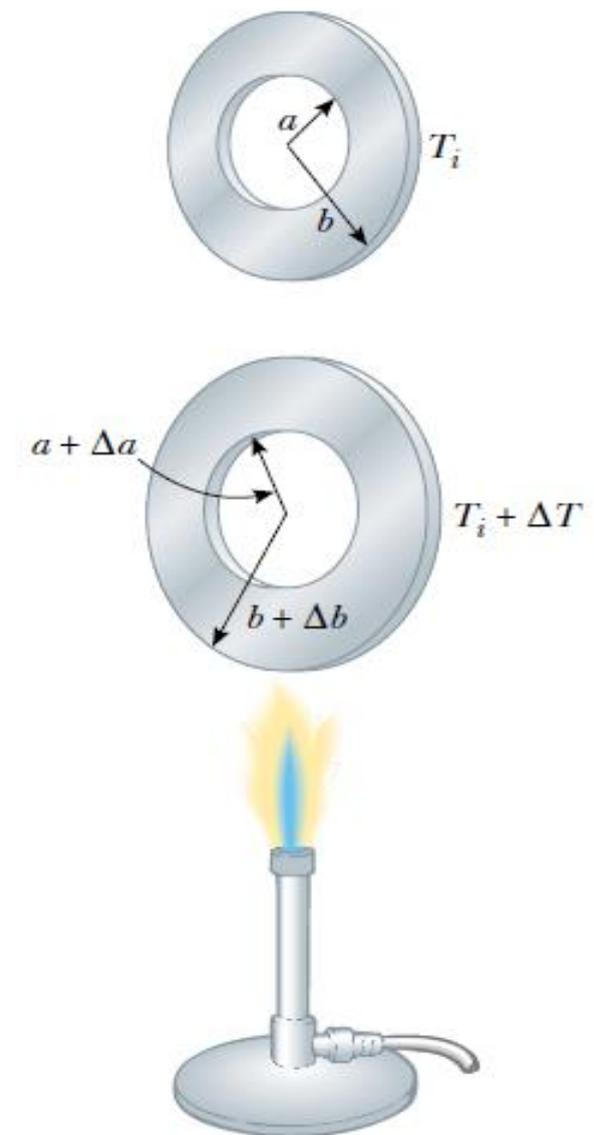
^bThis alloy was designed to have a low coefficient of expansion. The word is a shortened form of “invariable.”

A **dilatação térmica** de um sólido é como **uma ampliação de uma fotografia** (ocorre nas três dimensões, não somente em duas)

A figura mostra esquematicamente uma dilatação exagerada de uma arruela de metal homogênea

A eq. $\Delta L = \alpha L_i \Delta T$ se aplica a

todas as dimensões da arruela incluindo o raio do furo :
Arestas, espessura, diagonais e diâmetro do uma circunferência retirada da régua.



[Anel de Gravesande \(Vídeo 1\) \(youtube.com\)](#)



Atenção: Quando a temperatura de um corpo aumenta, toda a dimensão linear aumenta de tamanho.

Isso inclui qualquer buraco no material, que se expande da mesma maneira como se o buraco estivesse preenchido pelo material

Dilatação volumétrica

Se todas as dimensões de um sólido aumentam com a temperatura, o seu volume também aumenta.

No caso de um líquido, somente podemos falar em termos de dilatação volumétrica

A mudança no volume é proporcional ao volume inicial V e a variação de temperatura da seguinte forma

$$\Delta V = V\beta \Delta T,$$

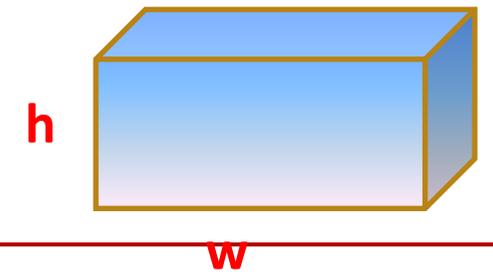
Coeficiente de dilatação volumétrica

Para um sólido o coeficiente de dilatação volumétrica é dado por

$$\beta = 3\alpha.$$

Esta equação assume que o coeficiente de dilatação linear do sólido é o mesmo em todas as direções → o material é isotrópico.

VAMOS DEDUZIR ?



Para demonstrar que $\beta = 3\alpha$ para um sólido.

Considere um sólido no formato de uma caixa de lados l, w, h

Seu volume em T_i e dado por $V_i = \ell wh$.

Em uma temperatura $T_i + \Delta T$, seu volume muda para $V_i + \Delta V$

Cada dimensão muda de acordo com a equação $\Delta L = \alpha L_i \Delta T$

Portanto temos que:

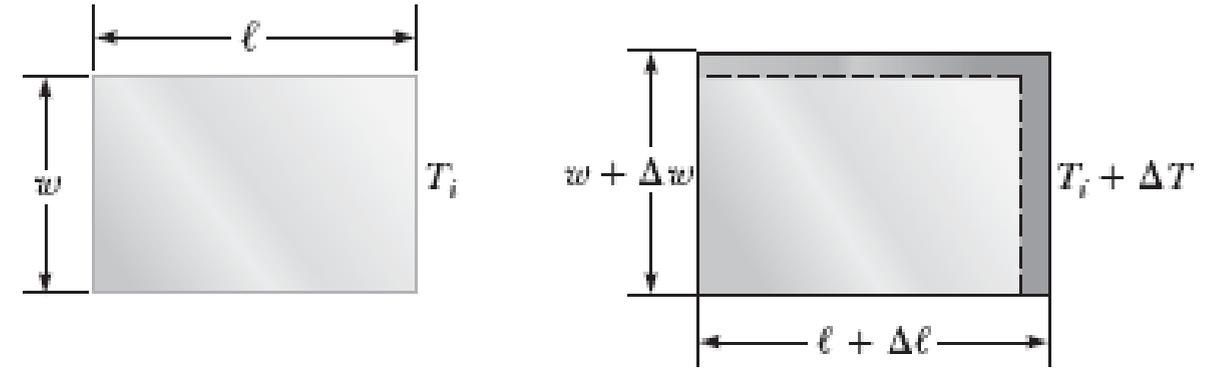
$$\begin{aligned} V_i + \Delta V &= (\ell + \Delta\ell)(w + \Delta w)(h + \Delta h) \\ &= (\ell + \alpha\ell\Delta T)(w + \alpha w\Delta T)(h + \alpha h\Delta T) \\ &= \ell wh(1 + \alpha\Delta T)^3 \\ &= V_i[1 + 3\alpha\Delta T + 3(\alpha\Delta T)^2 + (\alpha\Delta T)^3] \end{aligned}$$

Dividindo ambos os lados por V_i temos e isolando o termo $\Delta V/V_i$,

Desprezando ordens maiores de $\alpha\Delta T$

$$\frac{\Delta V}{V_i} = 3\alpha\Delta T + 3(\alpha\Delta T)^2 + (\alpha\Delta T)^3$$

$$\frac{\Delta V}{V_i} = 3\alpha\Delta T \rightarrow \Delta V = (3\alpha)V_i\Delta T$$



Por um procedimento similar podemos encontrar que o **aumento na área de um corpo** é dado por :

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

onde $\gamma = 2\alpha$ é o **coeficiente médio de expansão da área**.

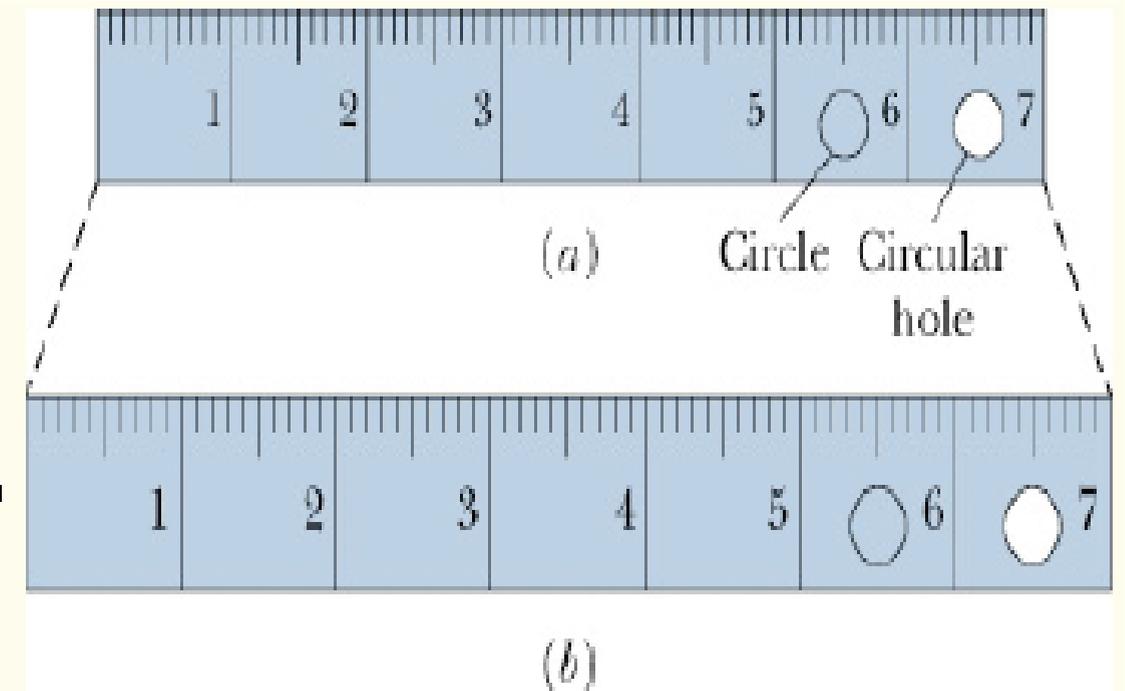
Você consegue fazer essa dedução ?

Expansões em 1, 2 e 3 D

Expansão Linear: $\Delta L = L_f - L_i = \alpha L_i \Delta T$

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

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



Para deduzir as relações abaixo use, e.g. o caso superficial, $\Delta A = (x + i \delta x)(y + j \delta y)$ com $\delta x = \alpha x \Delta T$ e análogo para y . i e j são vetores unitários, considere que $i \cdot j = 0$

$$\beta = 3\alpha \quad \gamma = 2\alpha$$

Expansões em 1, 2 e 3 D

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta T$$

lembrando, $V = L^3$

$$\Delta V = \frac{dV}{dL} \Delta L = 3L^2 \Delta L$$

Como: $\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$

para $V = V_0$ e $L = L_0$

$$\Delta V = 3\alpha L_0^3 \Delta T = 3\alpha V_0 \Delta T$$

$$\therefore \beta = 3\alpha$$
