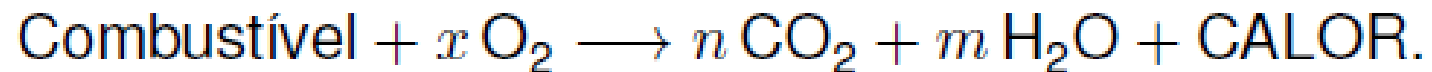


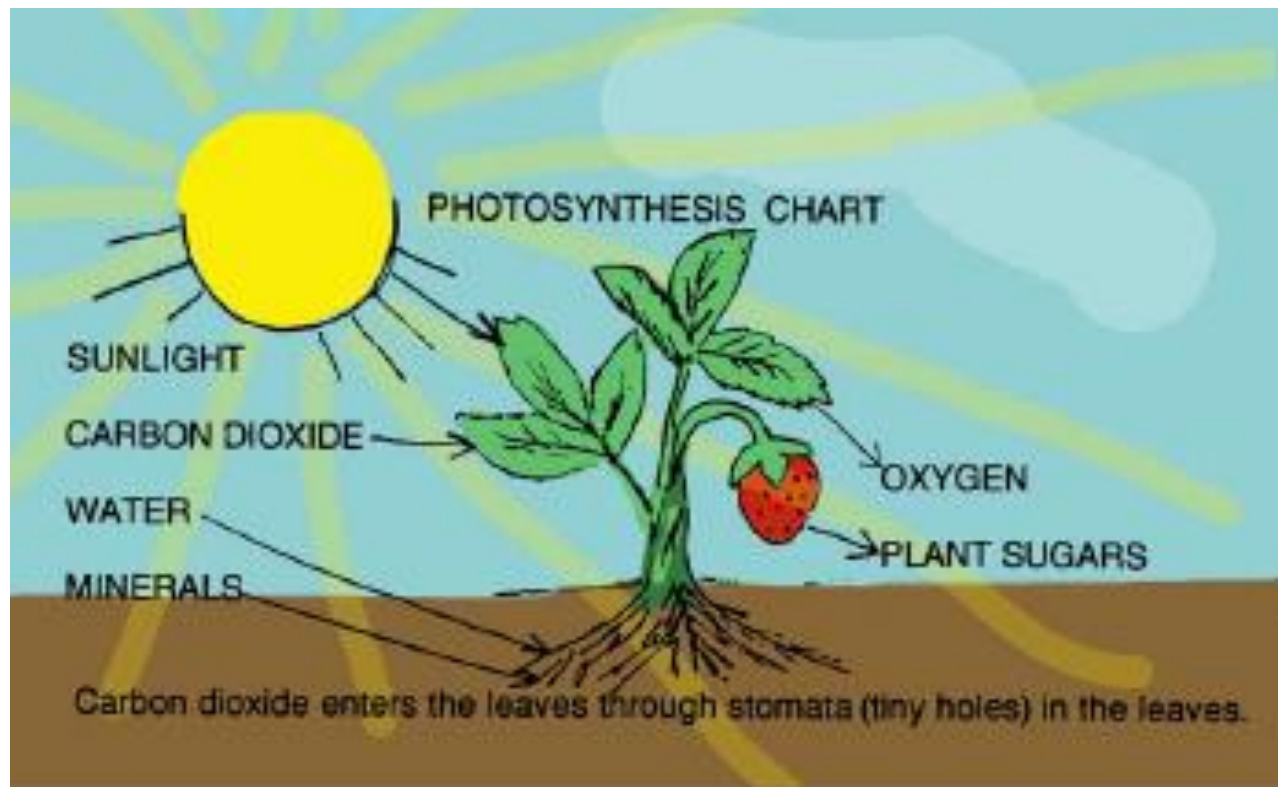
- **Combustão:** Reação de um combustível com oxigênio em que parte da energia química armazenada do combustível é liberada na forma de calor (energia térmica).



- **Fotossíntese:** é um importante exemplo de reação química com armazenamento de energia química.



Neste exemplo, energia da luz é armazenada, como energia química, no carboidrato  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  (glicose).

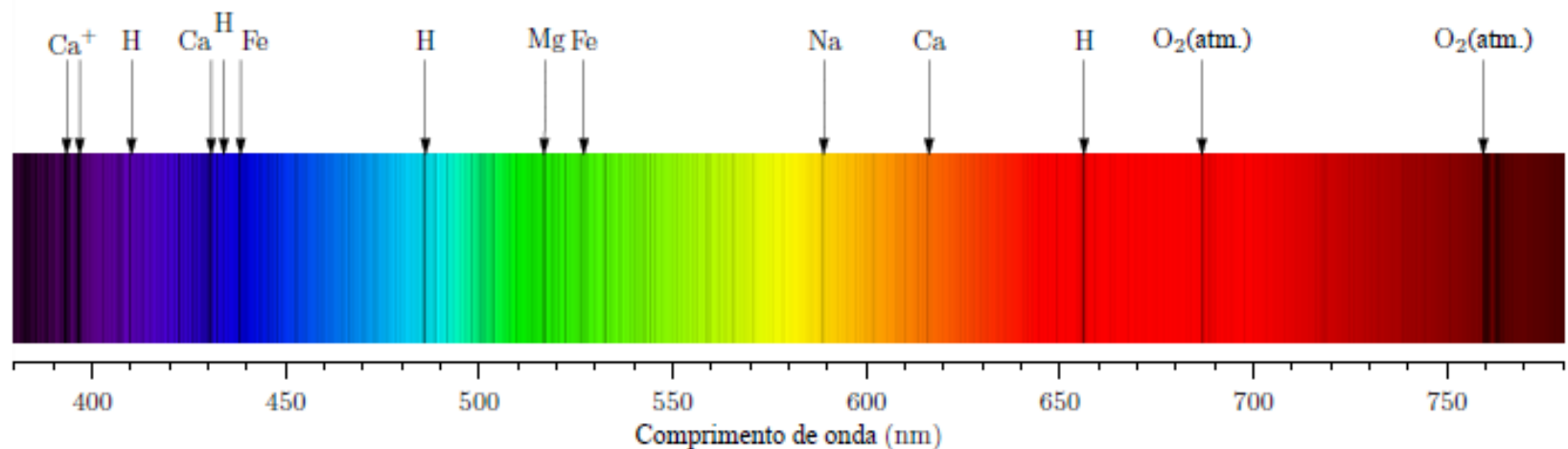


# Energia Solar



# Energia Solar

## Espectro Visível



**Linhas de Fraunhofer.** Espectro visível da radiação solar na superfície da Terra, mostrando as linhas de Fraunhofer. Algumas linhas estão identificadas pelo elemento ou molécula absorvedor.[1]

# Energia Solar

Alguns dados

Constante solar:  $I_S = 1,361 \text{ kW/m}^2$

Raio da órbita da Terra:  $\bar{r} = 150 \times 10^6 \text{ km}$

Potência irradiada pelo Sol:  $P = 4\pi\bar{r}^2 I_S = 3,85 \times 10^{26} \text{ W}$

Raio do Sol:  $r_S = 6,96 \times 10^8 \text{ m}$

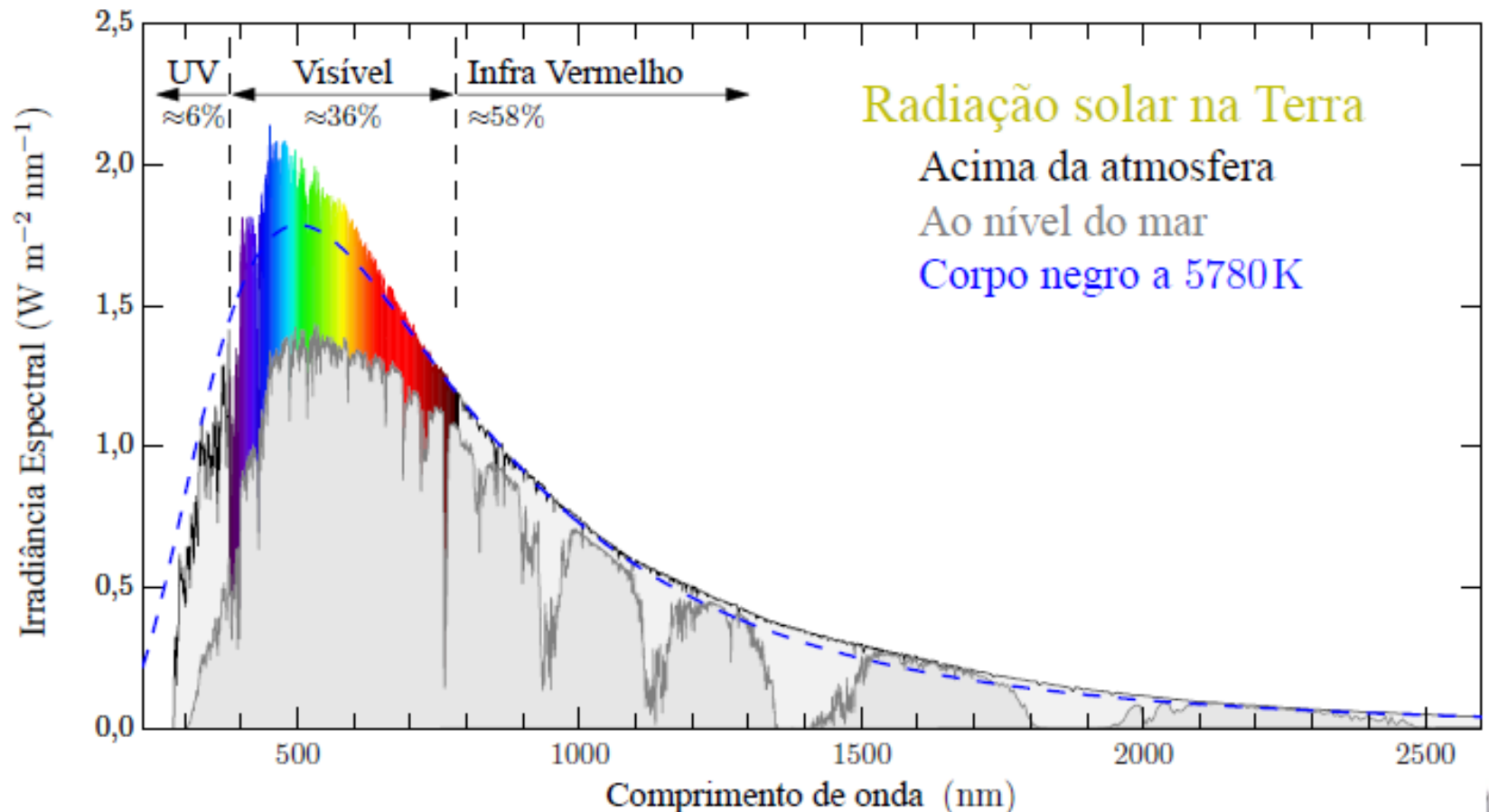
Radiância solar:  $R_T = \frac{P}{4\pi r_S^2} = 63,2 \text{ MW/m}^2$

Lei de Stefan-Boltzmann:  $R_T = \sigma T^4 \Rightarrow T = 5,78 \times 10^3 \text{ K}$

Lei de Wien:  $\lambda_{\text{máx}} T = b \Rightarrow \lambda_{\text{máx}} = 501 \text{ nm}$

# Energia Solar

## Espectro Solar na Terra



**Espectro Solar.** Espectro da radiação solar,[2] observada acima da atmosfera e ao nível do mar e a curva esperada tratando o Sol como um corpo negro à temperatura obtida pela lei de Stefan-Boltzmann.

# Energia Solar

## Radiação da Terra

Raio da Terra:  $r_T = 6,37 \times 10^6 \text{ m}$

Potência incidente:  $P_S = I_S \pi r_T^2 = 1,73 \times 10^{17} \text{ W}$

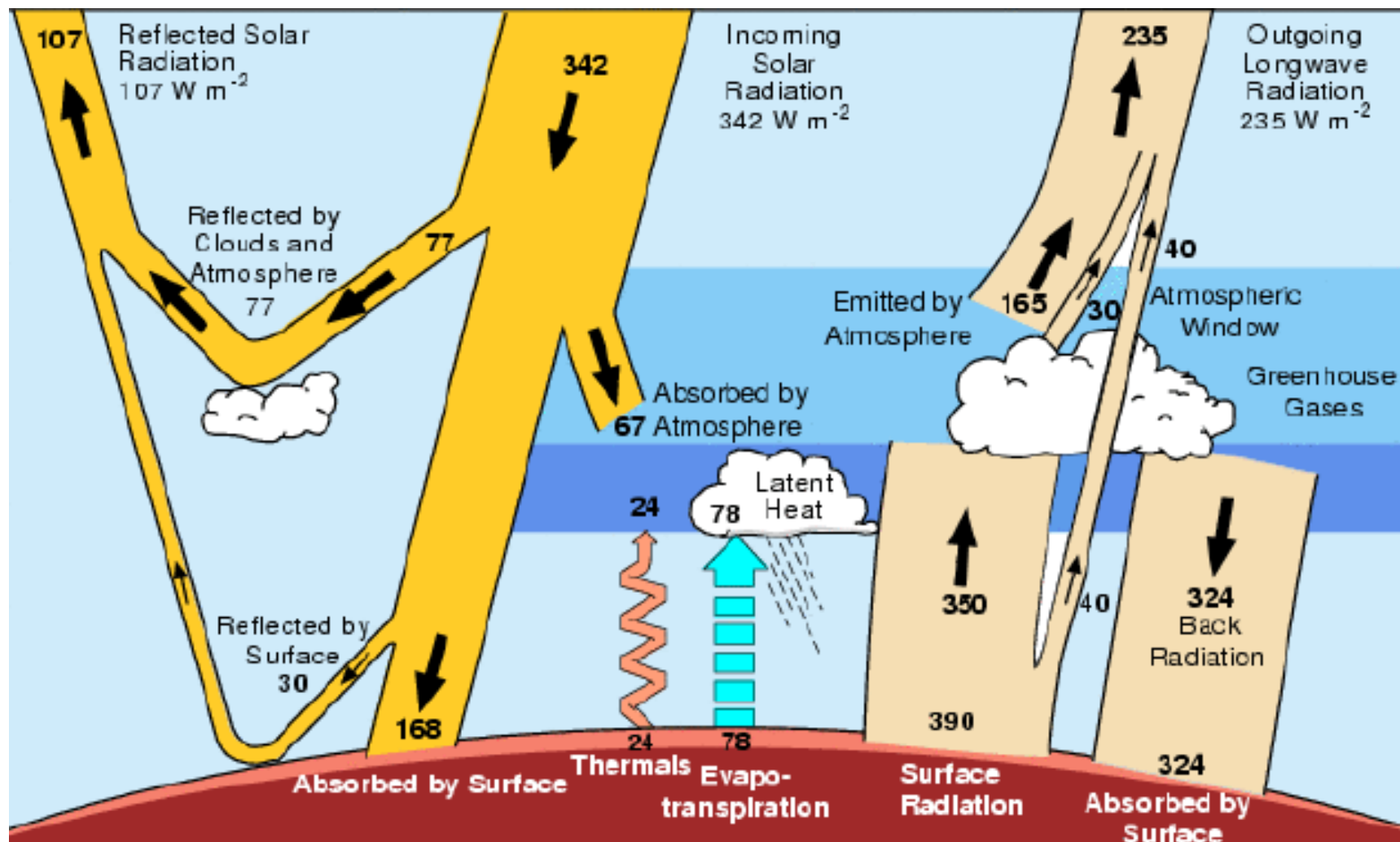
Temperatura média na superfície:  $T = 288 \text{ K} (15^\circ \text{C})$

Radiância da Terra:  $R_T = \sigma T^4 = 390 \text{ W/m}^2$   
 $\lambda_{\text{máx}} = 10,1 \text{ }\mu\text{m}$

Potência irradiada:  $P = 4\pi r_T^2 R_T = 1,99 \times 10^{17} \text{ W}$

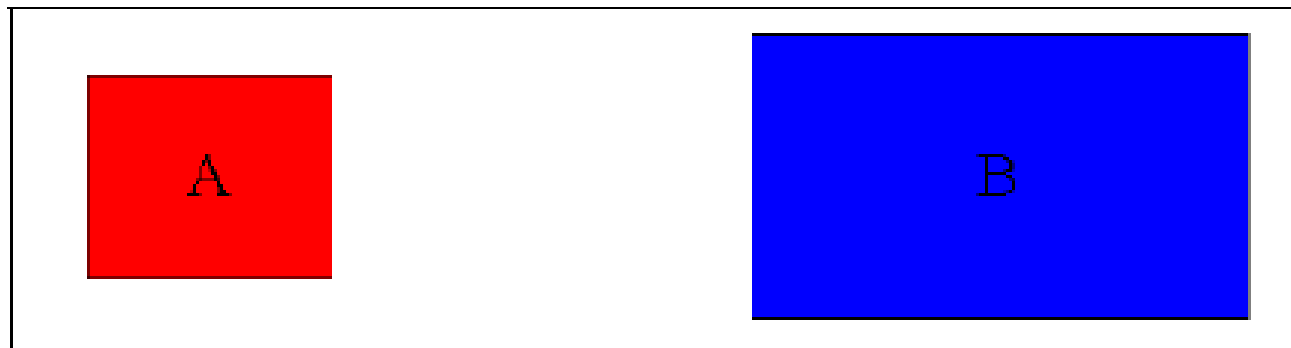
# Energia Solar

## Balço Energético da Terra



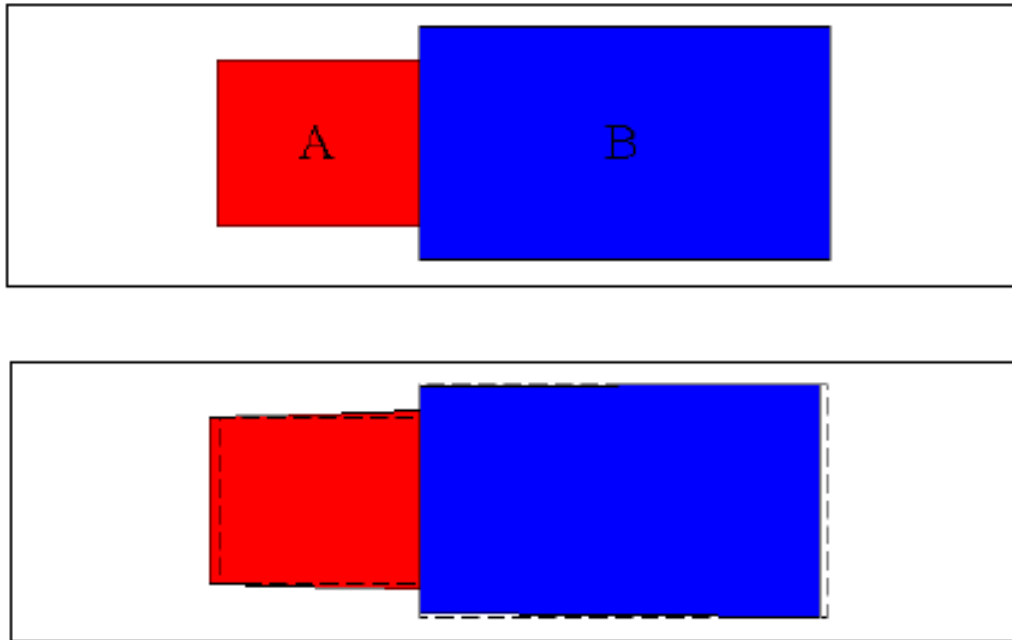
# Equilíbrio Térmico, Calor e Temperatura

## Equilíbrio Térmico

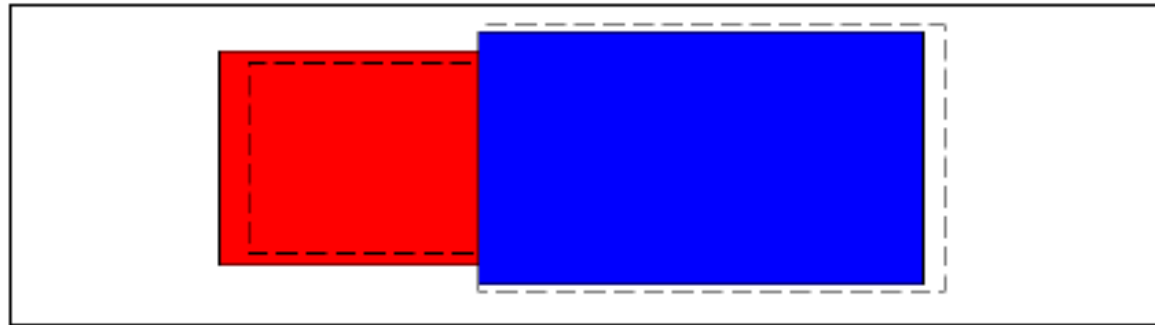


Um bloco frio (A) e um bloco quente (B) estão afastados um do outro (isolados termicamente). Nenhuma transformação é observada ao nível macroscópico.

Cada um dos blocos se encontra num **estado de equilíbrio**. Suas temperaturas são tais que  $t_B > t_A$ .



Os blocos são postos em contato térmico. Seus estados começam a se transformar, o que se pode observar, por exemplo, pelas suas deformações. As transformações decorrem da **transferência de calor** do bloco quente para o bloco frio.



As transformações vão se tornando cada vez mais lentas até que, depois de um tempo suficientemente longo, cessam completamente. O **equilíbrio térmico** entre os dois blocos é estabelecido: **suas temperaturas são iguais**,  $t_B = t_A$ , e **não há nenhum fluxo de calor** entre eles.

# Lei Zero da Termodinâmica

## Temperatura

**Lei Zero:** Se dois corpos (A e C) estão em equilíbrio térmico com um terceiro (B) eles estão em equilíbrio térmico entre si.



A e C em contato térmico  
até atingir o equilíbrio térmico → anota  $T_A$



B e C em contato térmico  
até atingir o equilíbrio térmico → anota  $T_B$

$$t_A = t_B \wedge t_C = t_B \Rightarrow t_A = t_C$$

# Termômetros

Termômetros comuns consistem de uma massa de líquido (mercúrio ou álcool) que se expande em um tubo capilar quando aquecido. A propriedade física, aqui, é a variação do volume do líquido. A escala deve ser calibrada, colocando-o em equilíbrio térmico com um sistema que permanece com a temperatura constante



Escala Celcius ou centígrada de temperatura:

0°C: água em equilíbrio com gelo

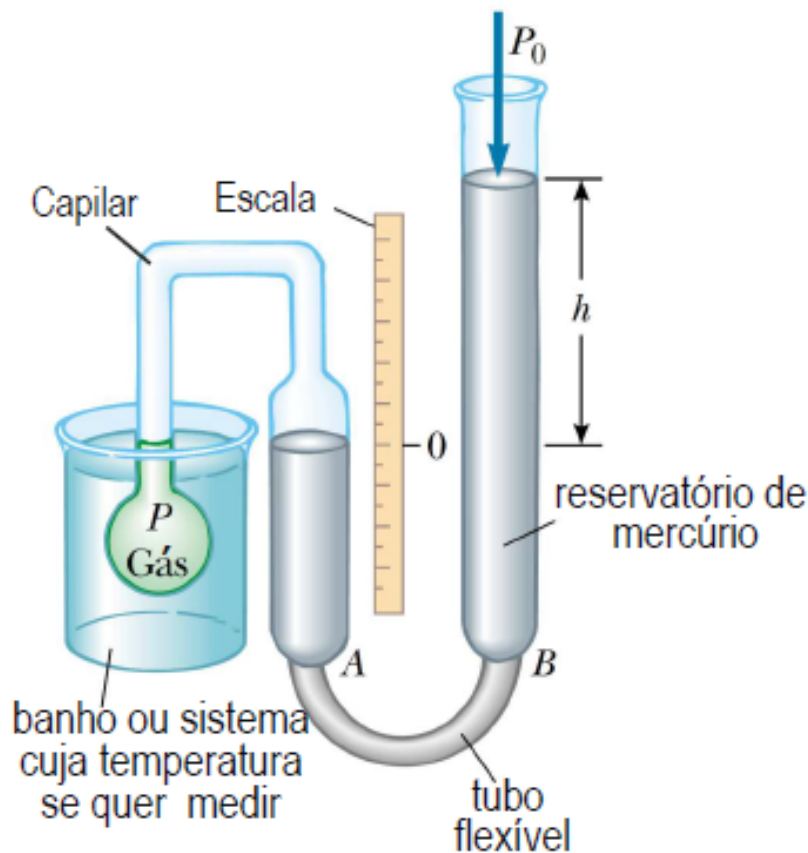
100°C: água em equilíbrio com vapor

Divisão: 100 segmentos iguais e cada um denota um grau

Não são muito precisos: dependem da substância e não servem para medir temperaturas muito longe dos pontos de calibração

# Termômetros de Gás à Volume Constante

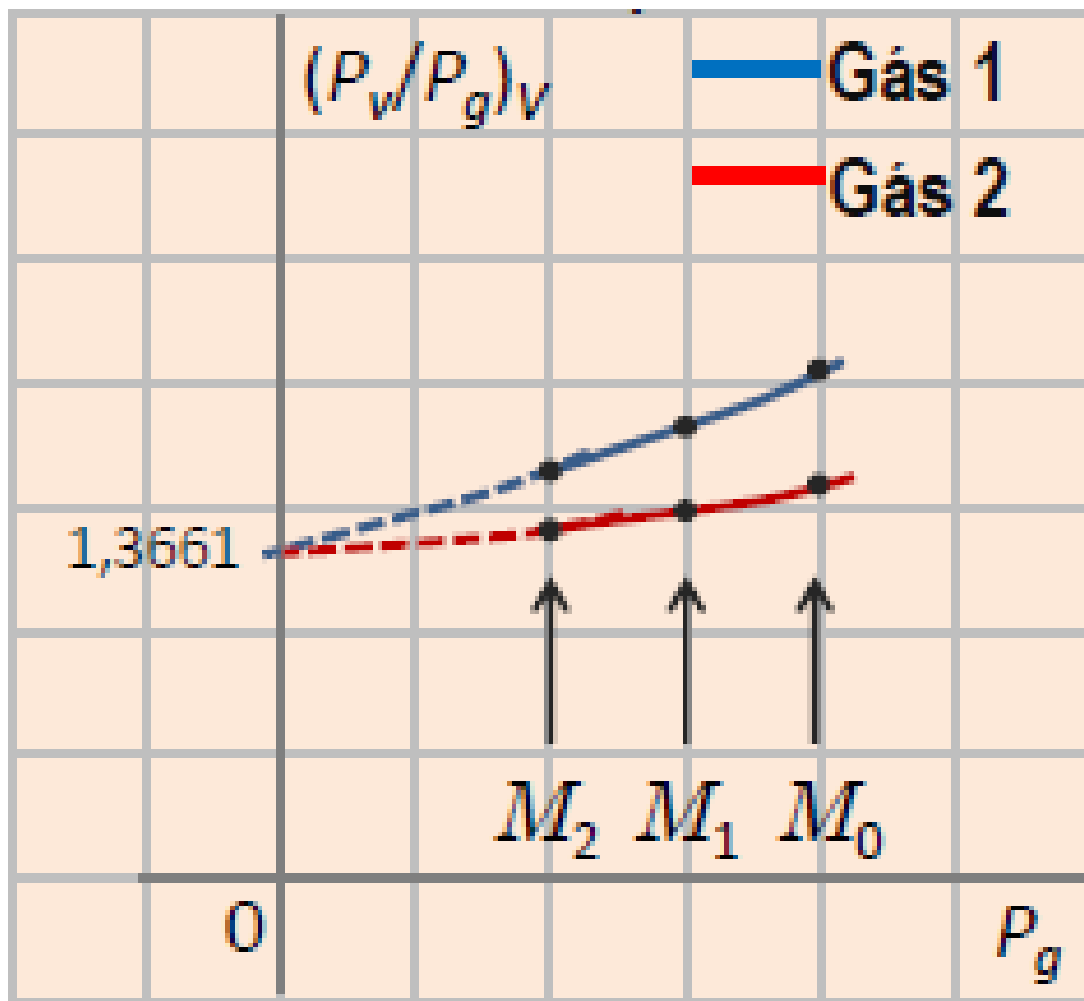
A propriedade física, aqui, é a variação da pressão de um volume fixo de gás, com a temperatura.



Este aparato mede a pressão do gás contido no recipiente imerso em um banho. O volume do gás (p.e. hidrogênio) no recipiente e no capilar é mantido constante através do aumento ou diminuição do nível de mercúrio no reservatório  $B$ , para manter constante o nível de mercúrio na coluna  $A$ . A pressão  $P$  do gás no recipiente, é dada pela expressão:

$$P = P_0 + \rho g h$$

$\rho$  = densidade  
do mercúrio



$$T_g = 273,15 \text{ K} \text{ e } T_v = 373,15 \text{ K}$$

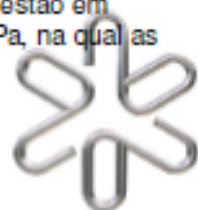
# Termômetros

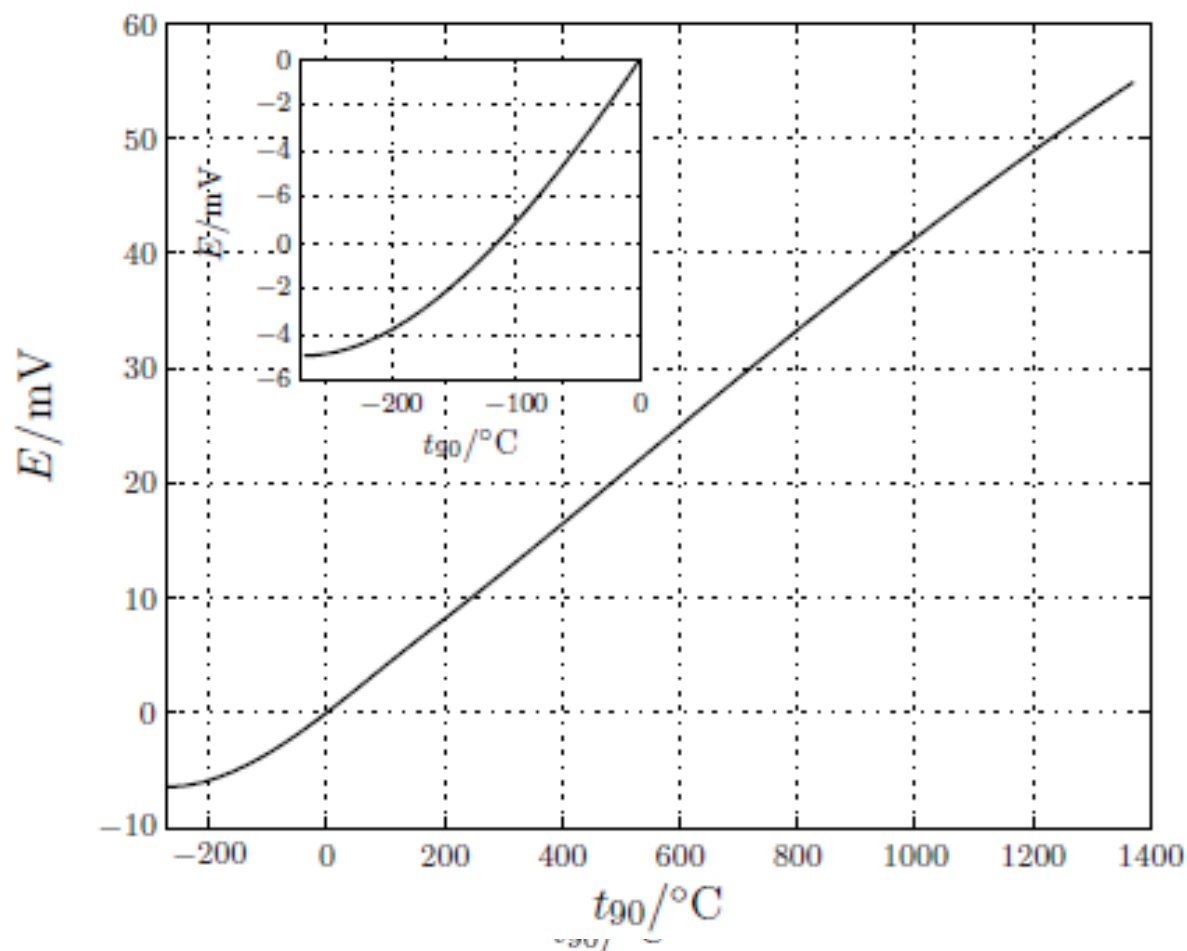
Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90)

## EIT-90. Pontos fixos de definição.

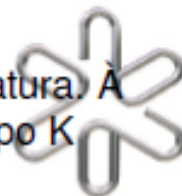
| Número | Temperatura       |                           | Substância<br>( <sup>a</sup> ) | Estado<br>( <sup>b</sup> ) |
|--------|-------------------|---------------------------|--------------------------------|----------------------------|
|        | $T_{90}/\text{K}$ | $t_{90}/^{\circ}\text{C}$ |                                |                            |
| 1      | 3 a 5             | -270,15 a -268,15         | He                             | V                          |
| 2      | 13,803 3          | -259,346 7                | e-H <sub>2</sub>               | T                          |
| 3      | ≈ 17              | ≈ -256,15                 | e-H <sub>2</sub> (ou He)       | V (ou G)                   |
| 4      | ≈ 20,3            | ≈ -252,85                 | e-H <sub>2</sub> (ou He)       | V (ou G)                   |
| 5      | 24,556 1          | -248,593 9                | Ne                             | T                          |
| 6      | 54,358 4          | -218,791 6                | O <sub>2</sub>                 | T                          |
| 7      | 83,805 8          | -189,344 2                | Ar                             | T                          |
| 8      | 234,315 6         | -38,834 4                 | Hg                             | T                          |
| 9      | 273,16            | 0,01                      | H <sub>2</sub> O               | T                          |
| 10     | 302,914 6         | 29,764 6                  | Ga                             | M                          |
| 11     | 429,748 5         | 156,598 5                 | In                             | F                          |
| 12     | 505,078           | 231,928                   | Sn                             | F                          |
| 13     | 692,677           | 419,527                   | Zn                             | F                          |
| 14     | 933,473           | 660,323                   | Al                             | F                          |
| 15     | 1 234,93          | 961,78                    | Ag                             | F                          |
| 16     | 1 337,33          | 1 064,18                  | Au                             | F                          |
| 17     | 1 357,77          | 1 084,62                  | Cu                             | F                          |

- <sup>a</sup> Todas as substâncias exceto <sup>3</sup>He são de composição isotópica natural, e-H<sub>2</sub> é hidrogênio na concentração de equilíbrio das formas orto e para.
- <sup>b</sup> Para definições completas e conselhos para a realização destes vários estados, veja "Supplementary Information for the ITS-90"[15]. Os símbolos têm os seguintes significados: V: ponto de pressão de vapor; T: ponto triplo (temperatura na qual as fases sólida, líquida e de vapor estão em equilíbrio); G: ponto de termômetro de gás; M, F: ponto de fusão, ponto de congelamento (temperatura, a uma pressão de 101 325 Pa, na qual as fases sólida e líquida estão em equilíbrio).

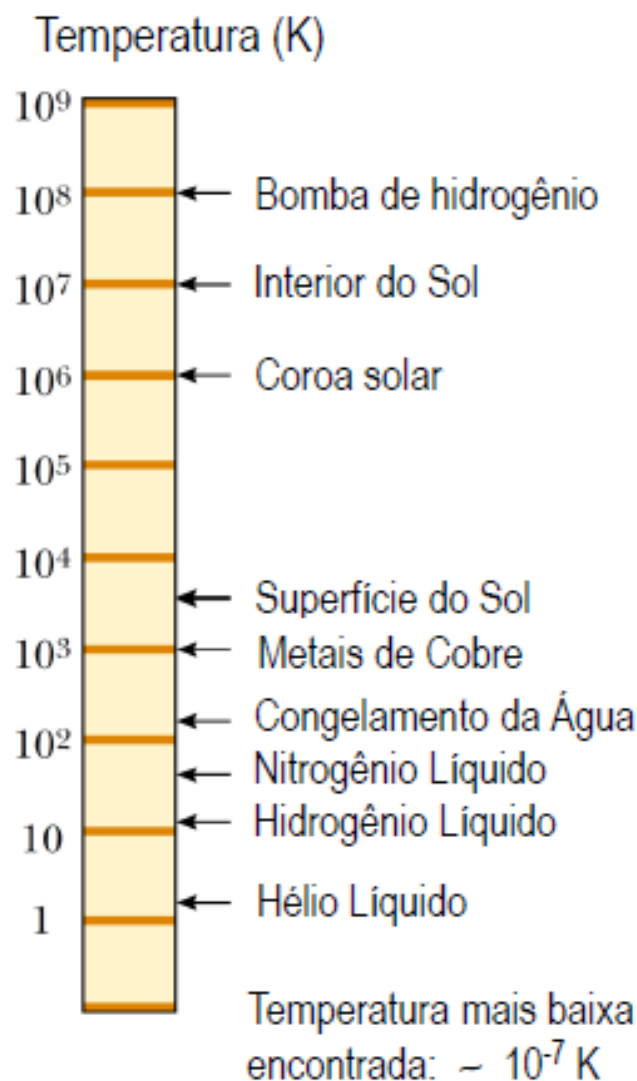




**Termopar tipo K.** Termopar conectado a um multímetro digital que mostra a temperatura. À direita, função de referência,  $E(t_{90})$  para a f.e.m. termoelétrica de termopares do tipo K (Cromel/Alumel). A temperatura de referência (junta fria), é 0  $^{\circ}\text{C}$ . [16]



# Escala Absoluta de Temperatura



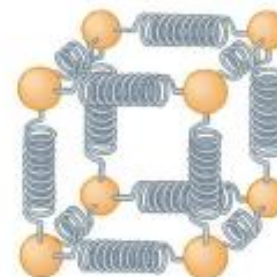
Temperatura absoluta nas quais vários processos físicos ocorrem. A figura está em escala logarítmica

USA: Escala Fahrenheit

$$T_F = \frac{9}{5} T_C - 32,0^\circ\text{F}$$

# Dilatação ou Expansão Térmica

Princípio utilizado na construção do termômetro à gás:  
volume aumenta com a temperatura → Dilatação



Expansão Térmica: consequência do aumento do espaçamento atômico médio

$\ell_0$  → distância entre dois pontos em um sólido em  $T_0$

$\Delta\ell$  → variação da distância para  $\Delta T$  pequeno

$$\Delta\ell = \alpha \ell_0 \Delta T$$



onde  $\alpha$  é o coeficiente de dilatação linear

# Dilatação ou Expansão Térmica

$$\alpha = \frac{1}{\Delta T} \left( \frac{\Delta \ell}{\ell_0} \right) \longrightarrow \frac{\Delta \ell}{\ell_0} = \alpha \Delta T$$

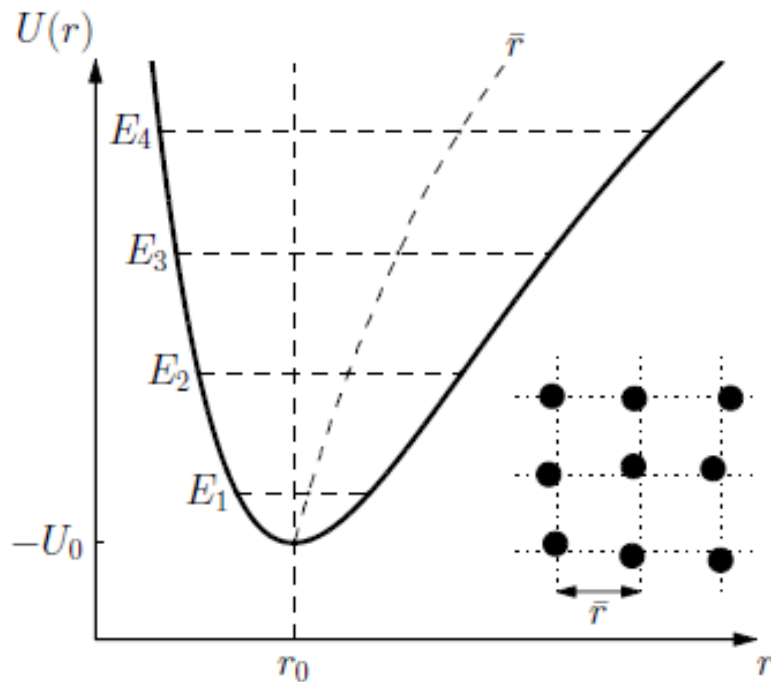
O coeficiente de dilatação linear  $\alpha$  representa a *variação percentual* de comprimento por unidade de variação de temperatura, mas podemos desprezar sua dependência com  $T$  (longe do ponto de fusão do sólido) e escrever  $\ell_T$ , o comprimento à temperatura  $T$ , como

$$\ell_T = \ell_0 [1 + \alpha (T - T_0)]$$

Para sólidos anisotrópicos, o coeficiente de dilatação linear assume valores diferentes em direções diferentes. Para um cristal isotrópico,  $\alpha$  é independente da direção.

# Expansão Térmica

## Origem microscópica



**Potencial atômico.** Representação esquemática do potencial entre dois átomos num sólido. Os átomos vibram em torno de suas posições de equilíbrio separadas pela distância  $r_0$ . Por causa da assimetria do potencial, a distância média entre átomos vizinhos,  $\bar{r}$ , cresce quando a energia média dos átomos aumenta, resultando na dilatação térmica.

# Dilatação ou Expansão Térmica

Podemos imaginar que a expansão térmica é uma magnificação do objeto. Se uma arruela metálica é esquentada, todas dimensões, incluindo o raio do buraco, crescem. No entanto, existem exceções.

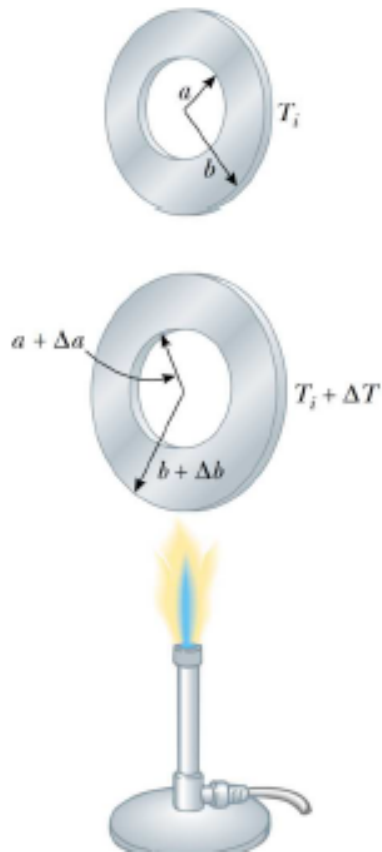
A calcita, por exemplo, expande-se em uma dimensão e contrai nas outras duas quando a temperatura aumenta. Se as dimensões lineares dos objetos variam com a temperatura, áreas e volumes são modificados, também. A variação percentual da área  $A_0$  de uma lâmina delgada ou do volume  $V_0$  de um sólido isotrópico é

$$\frac{\Delta A}{A_0} = 2\alpha \Delta T$$

$$\frac{\Delta V}{V_0} = 3\alpha \Delta T$$

Coeficiente de dilatação superficial:  $2\alpha$

Coeficiente de dilatação volumétrica:  $3\alpha$



# Dilatação ou Expansão Térmica

Para um líquido, que toma a forma do recipiente que o contém, só interessa o coeficiente de dilatação volumétrica, dado por

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \beta \Delta T \quad \text{em geral: } \beta > 0$$

No termômetro de mercúrio, em que se enche completamente o bulbo de vidro à temperatura de  $0^\circ\text{C}$ , os volumes do bulbo e do mercúrio, à temperatura  $T$ , serão

$$V_{\text{vidro}} = V_0 (1 + 3\alpha T)$$

$$V_{\text{mercúrio}} = V_0 (1 + \beta T)$$

O volume de mercúrio expelido do bulbo que irá para o capilar é

$$V_{\text{expelido}} = V_0 (\beta - 3\alpha) T$$

$\beta - 3\alpha \longrightarrow$  coeficiente de dilatação aparente do líquido (mercúrio)

# Dilatação ou Expansão Térmica

| Média do Coeficiente de Expansão Linear |                                    | Média do Coeficiente de Expansão Volumétrica |                                   |
|-----------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------|
| Material                                | $(\alpha) (^{\circ}\text{C})^{-1}$ | Material                                     | $(\beta) (^{\circ}\text{C})^{-1}$ |
| Alumínio                                | $24 \times 10^{-6}$                | Álcool                                       | $1,12 \times 10^{-4}$             |
| Bronze                                  | $19 \times 10^{-6}$                | Benzeno                                      | $1,24 \times 10^{-4}$             |
| Cobre                                   | $17 \times 10^{-6}$                | Acetona                                      | $1,50 \times 10^{-4}$             |
| Vidro                                   | $9 \times 10^{-6}$                 | Glicerina                                    | $4,85 \times 10^{-4}$             |
| Pirex                                   | $3,2 \times 10^{-6}$               | Mercúrio                                     | $1,82 \times 10^{-4}$             |
| Aço                                     | $11 \times 10^{-6}$                | Gasolina                                     | $1,50 \times 10^{-4}$             |
| Concreto                                | $12 \times 10^{-6}$                | Ar ( $0^{\circ}\text{C}$ )                   | $3,67 \times 10^{-3}$             |

# Dilatação ou Expansão Térmica

A água tem um comportamento anômalo para temperaturas entre 0°C e 4°C, onde  $\beta < 0$ . A densidade máxima da água é atingida a 4°C, e quando a temperatura diminui, na região abaixo de 4°C ela se expande ao invés de se contrair, até se congelar.

