

Física Geral I • FIS0703

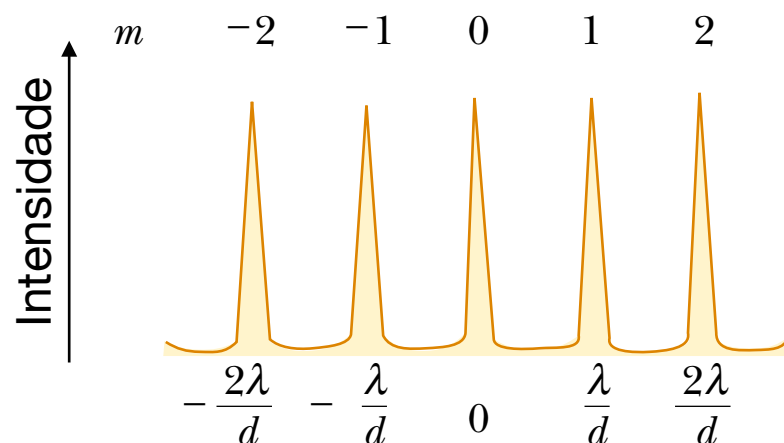
Aula 14

09/11/2016

Redes de difração

- ▶ Um grande número de fendas paralelas equidistantes (redes de **transmissão**: riscas opacas numa placa transparente)
- ▶ Redes de **reflexão**: riscas numa superfície refletora a reflexão nas riscas é difusa, entre as riscas é especular (comporta-se como uma fonte de luz paralela refletida, tal como as fendas numa rede de transmissão)

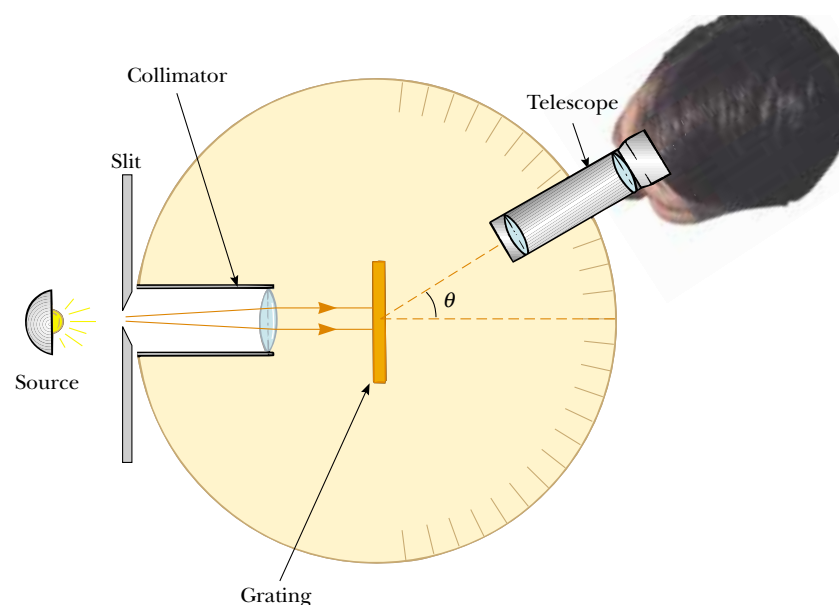
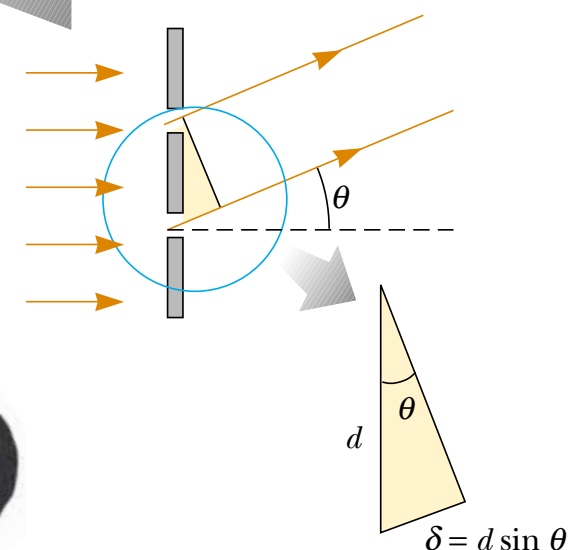
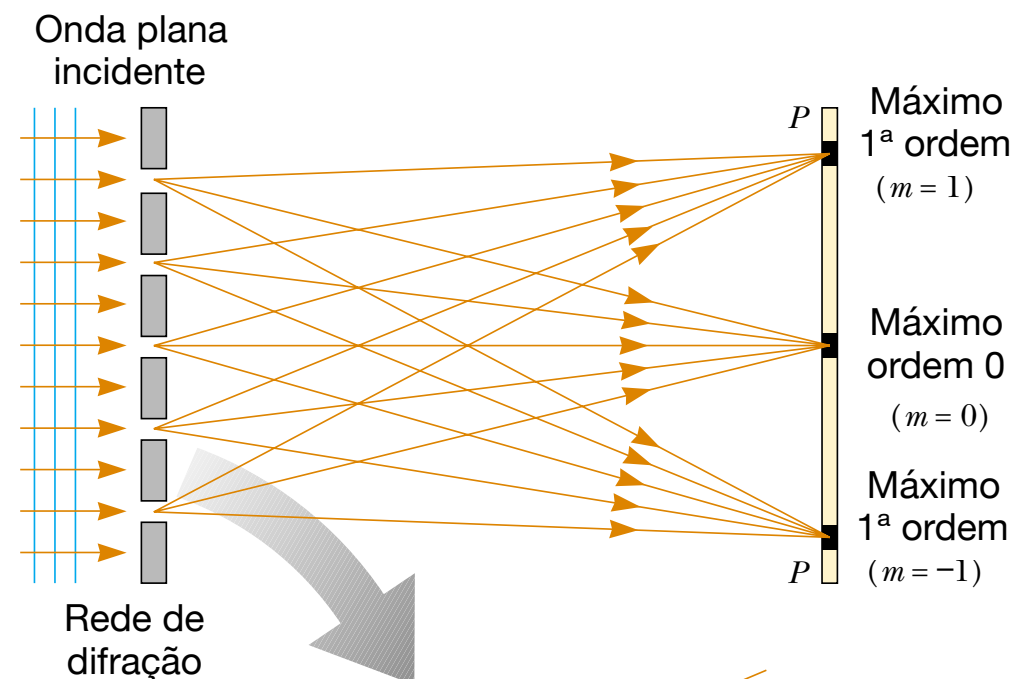
Máximos em $d \sin \theta_{\text{claro}} = m\lambda$ $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$



Vantagem: máximos muito intensos e estreitos

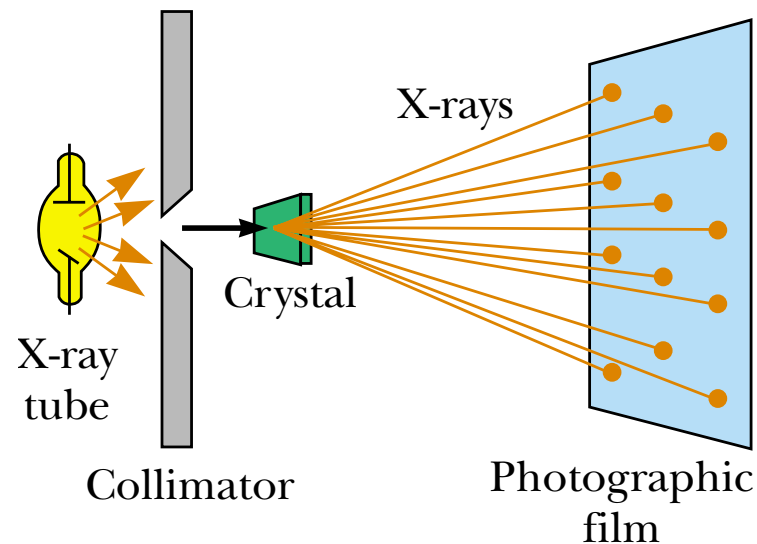
Espectrómetro de rede de difração

Medição precisa dos ângulos em que a imagem da fenda aparece **permite determinar λ** .



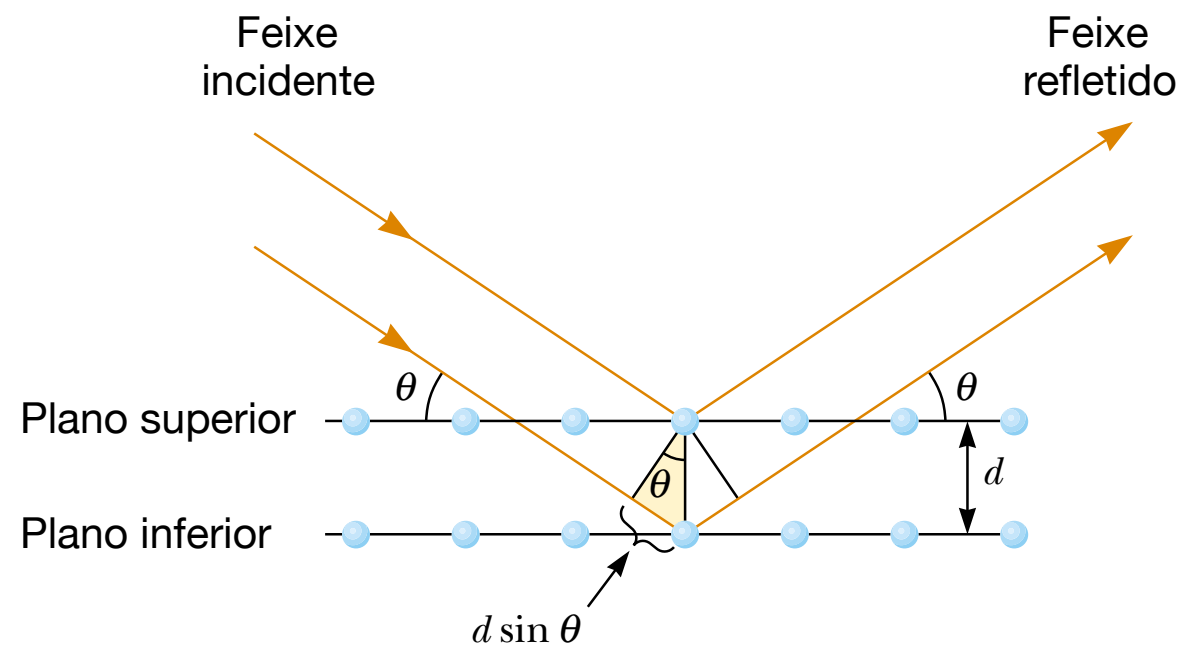
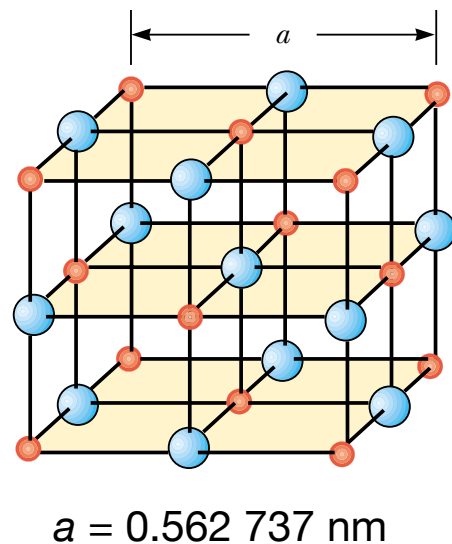
Difração de raios-X

Raios-X: radiação eletromagnética com $\lambda \sim 0.1 \text{ nm}$.



- ▶ Não seria possível fabricar uma rede de difração para c.d.o. tão pequenos — mas eles já existem na natureza!
- ▶ As distâncias entre os átomos num sólido são da ordem de **0.1 nm**.
- ▶ **Laue** sugeriu (1913) que as camadas regulares de átomos num cristal podem funcionar como uma rede 3D de difração para raios-X.

Exemplo: cristal de NaCl



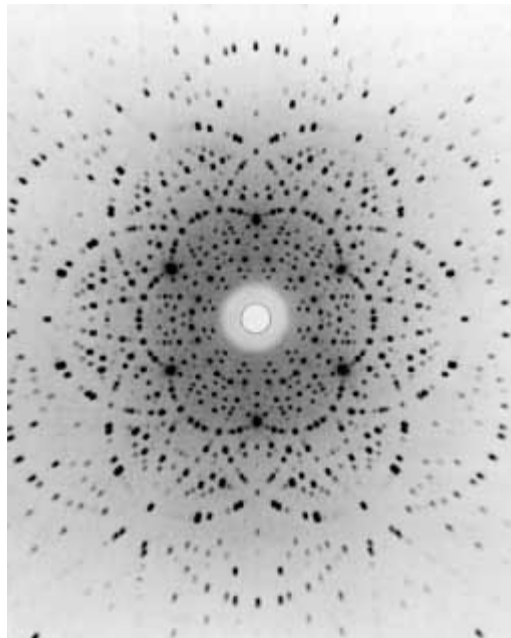
Condição para **interferência construtiva**:

$$2d \sin \theta = m\lambda \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad \text{Lei de Bragg}$$

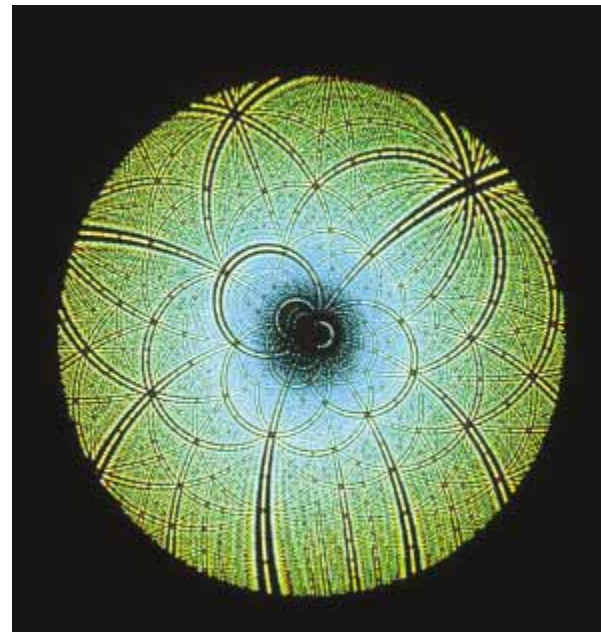
Imagens de Laue

A análise das **posições e intensidades** dos pontos nas imagens de difração de raios-X permite deduzir a **estrutura cristalina** da substância investigada.

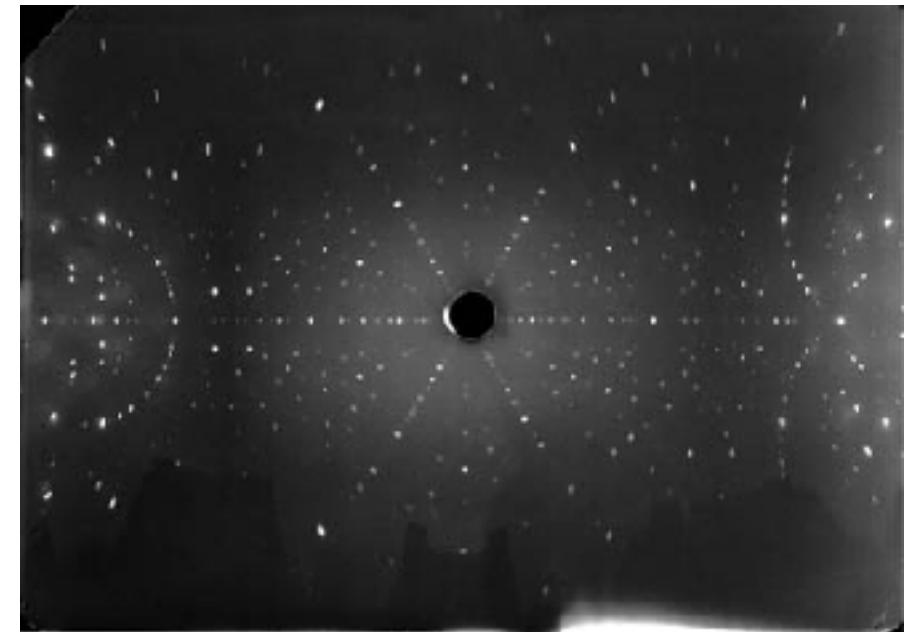
$\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$



Rubisco (enzima)

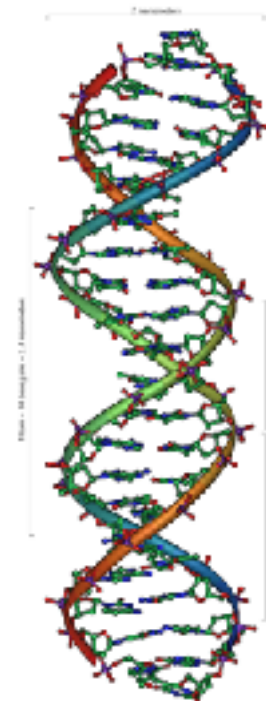
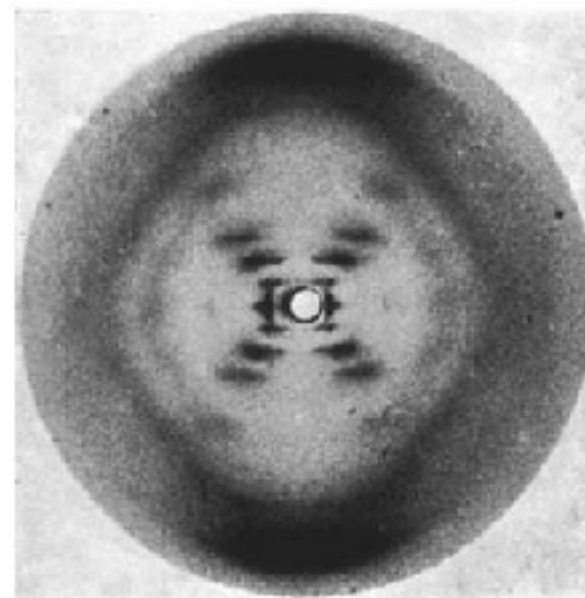


Si



“Photo 51”

Esta imagem de difração de raios-X de ADN foi crucial para a dedução que a sua estrutura é duma **dupla hélice**.

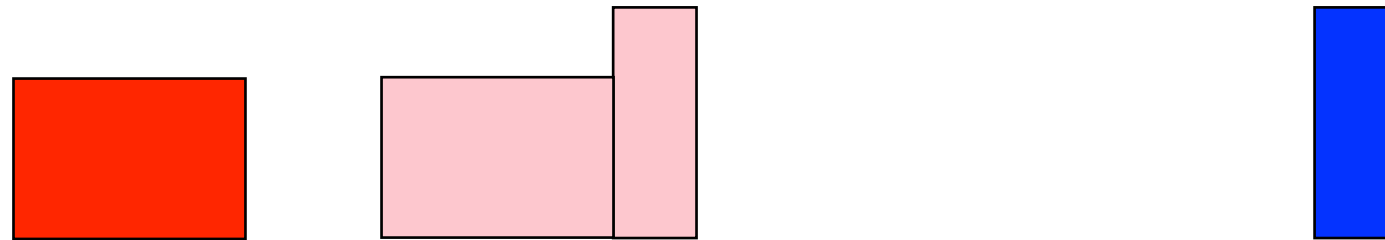


Termodinâmica

Temperatura

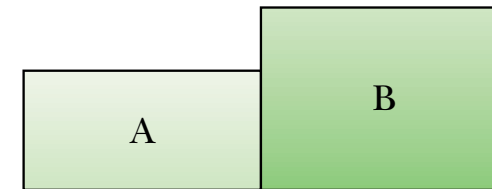
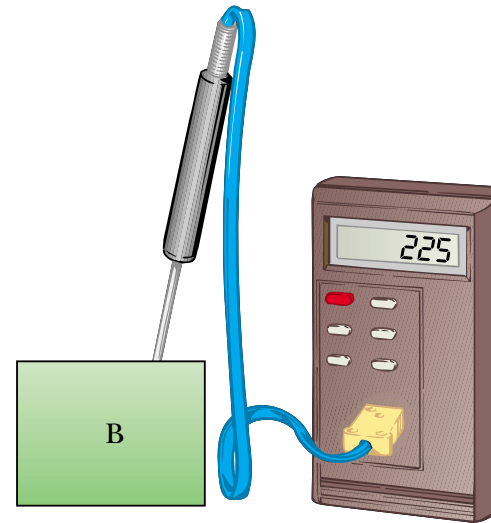
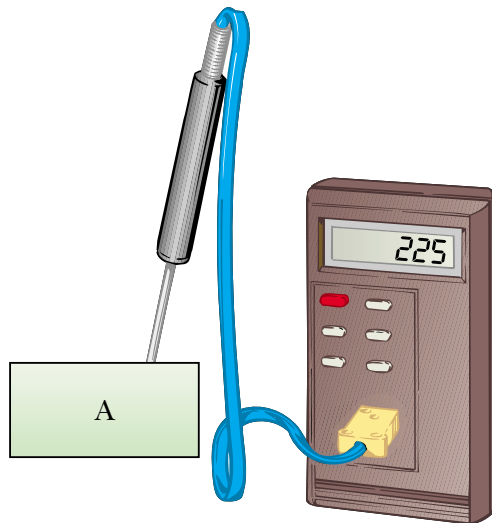
- * Experiência do dia-a-dia: objetos podem estar **frios** ou **quentes**.
- * A nossa percepção de frio e quente é apenas qualitativa, e não é muito fiável.
- * A **temperatura** é uma medida quantitativa da qualidade dum objeto de estar mais quente ou mais frio do que outro.

Equilíbrio térmico:



- Consideremos dois corpos, um mais quente e outro mais frio.
- Os dois são postos em contacto (mas isolados do resto do mundo): o mais quente arrefece, o mais frio aquece, até uma temperatura intermédia é atingida, e **já não se altera**.
- Este contacto chama-se **contacto térmico** quando energia (calor ou radiação e.m.) pode ser transferida.
- Quando as **temperaturas** dos dois corpos são **iguais**, **energia não é transferida** entre os corpos.

A lei zero da termodinâmica



● A lei zero da termodinâmica

Quando os objetos A e B separadamente estão em equilíbrio térmico com o objecto C, então A está também em equilíbrio térmico com B.

O conceito da temperatura fornece um critério para decidir se dois objetos se encontram em equilíbrio térmico um com o outro.

Termómetros

Termómetros são dispositivos que medem a temperatura dum sistema.

Todos os termómetros baseiam-se numa **propriedade física** dum corpo que **varia com a temperatura**.

Por exemplo:

- ▶ O tamanho dum sólido
- ▶ O volume dum líquido
- ▶ A pressão dum gás a volume constante
- ▶ O volume dum gás a pressão constante
- ▶ A resistividade elétrica dum condutor

Calibração: escolher dois pontos de referência e atribuir valores numéricos de uma escala **arbitrária**.

Escala de Celsius:

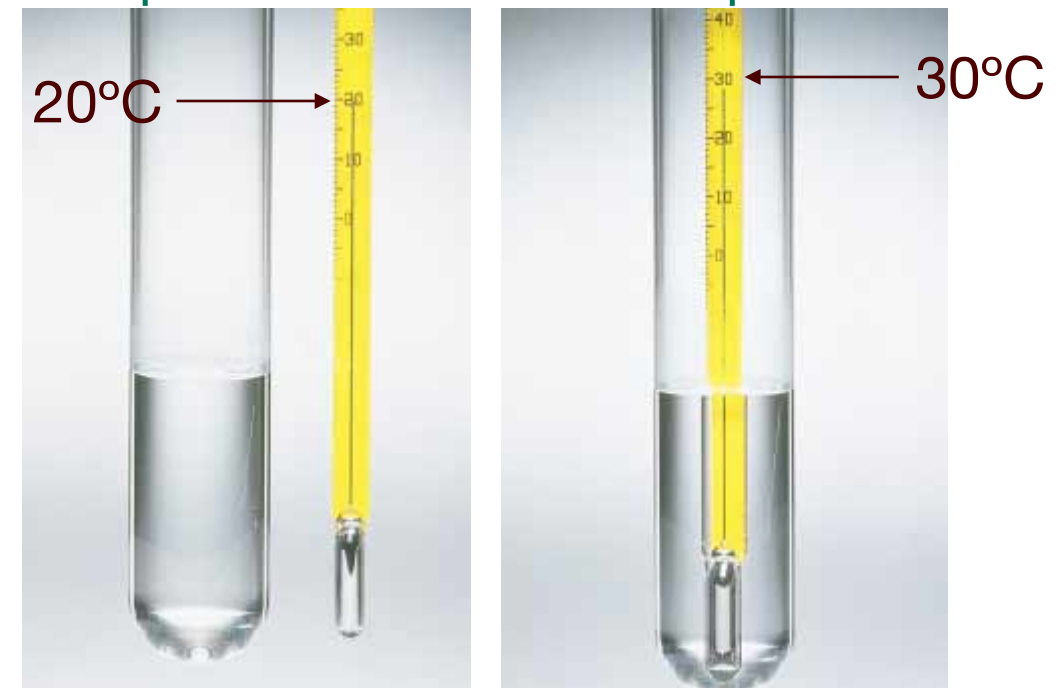
- ▶ Água líquida e gelo em equilíbrio (à pressão atm.) → $T = 0^{\circ}\text{C}$
- ▶ Água líquida e vapor em equilíbrio (à pressão atm.) → $T = 100^{\circ}\text{C}$

No termómetro dum líquido, o comprimento da coluna de mercúrio ou álcool é dividido em **segmentos iguais**.

Não é suficiente para precisão elevada: a expansão térmica de mercúrio e álcool não é perfeitamente uniforme (também pode haver diferenças maiores longe dos pontos de calibração).

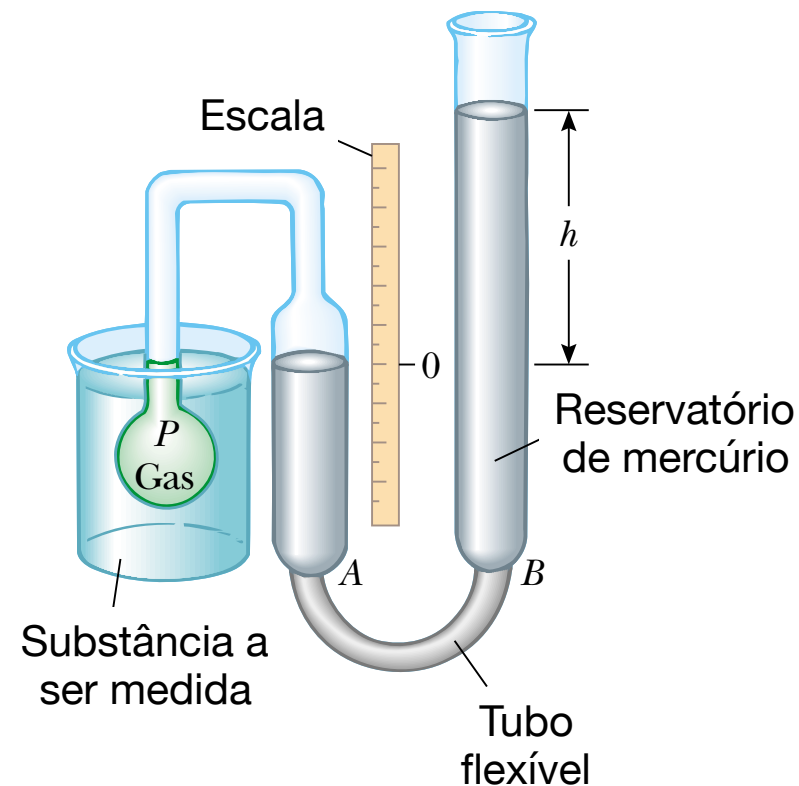
O **alcance** de temperaturas destes termómetros também é **muito limitado**.

Expansão de mercúrio líquido



O termómetro de gás a volume constante

Um termómetro de gás a volume constante baseia-se na dependência da **pressão** dum gás da temperatura a volume constante.



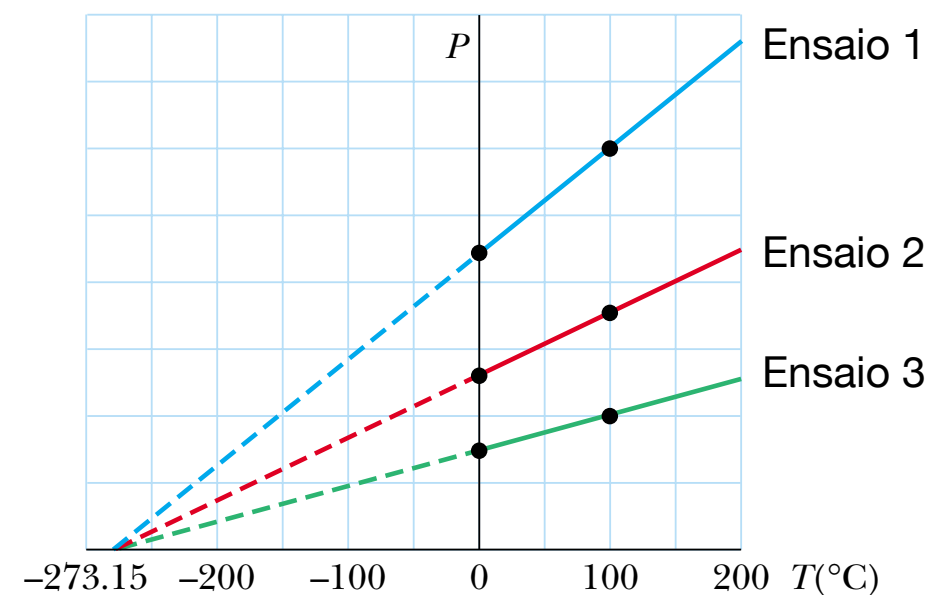
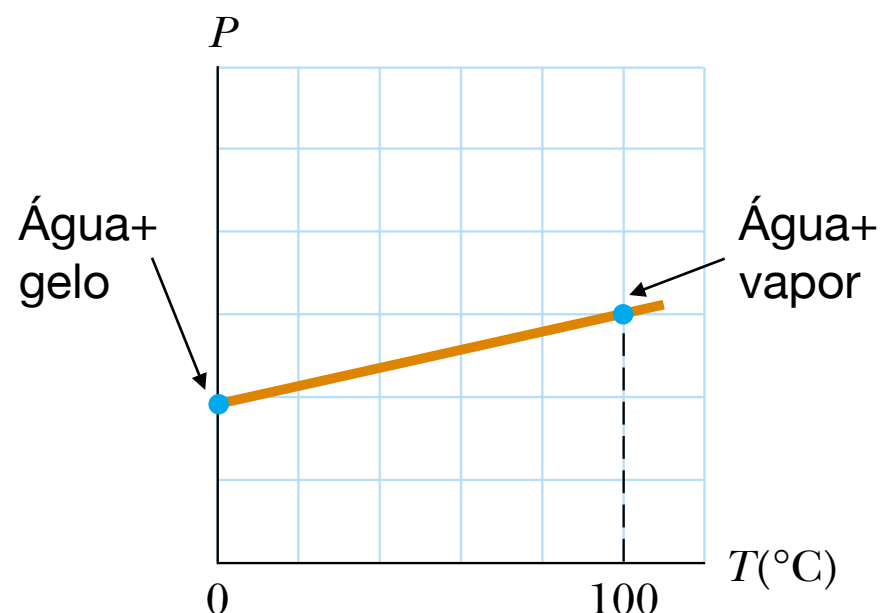
- Para **manter o volume do gás constante**, o reservatório de mercúrio B é levantado ou baixado até o nível de mercúrio em A se mantém inalterado.

- Da altura h da coluna de mercúrio em B obtém-se a pressão do gás,

$$P = P_0 + \rho gh$$

Pressão atmosférica \nearrow P_0 \nwarrow Pressão da coluna de Hg de altura h

Repetição com **gases diferentes** (mas rarefeitos!):



“Zero absoluto”



Todos os casos: $P = 0$ para $T = -273.15^\circ\text{C}$

Escalas de temperatura

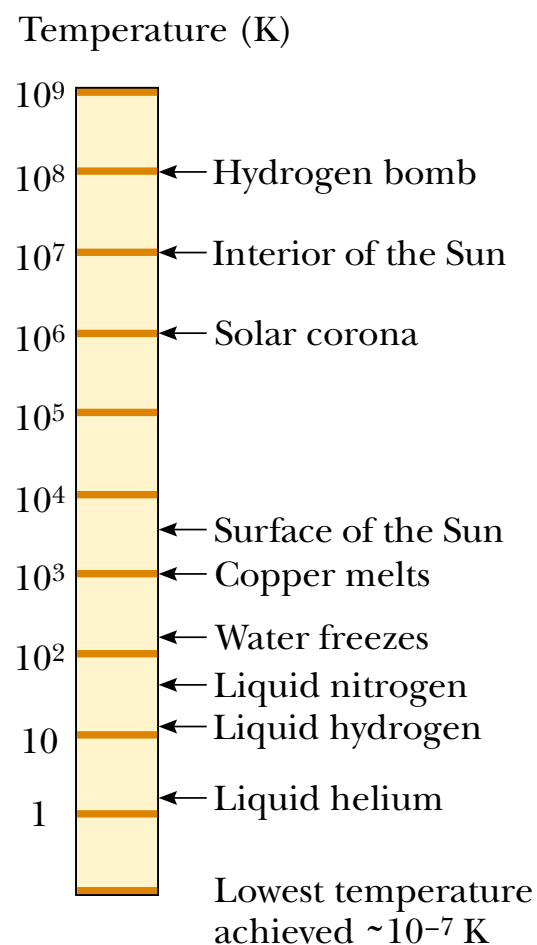
$T = -273.15^{\circ}\text{C}$ é tomada como temperatura de referência (ponto 0) para a escala da **temperatura absoluta**.

Existe uma **única** combinação de pressão e temperatura à qual **gelo, água líquida e vapor de água** coexistem em equilíbrio, **o ponto triplo: $T=0.01^{\circ}\text{C}$, $P=4.58\text{ mm Hg}$** .

Este ponto serve como segundo ponto de referência para a escala da temperatura absoluta.

$$1\text{ K (kelvin)} = (T_{\text{ponto triplo}} - T_{\text{zero absoluto}})/273.16$$

Esta unidade foi escolhida para que **diferenças** de temperaturas em K e em $^{\circ}\text{C}$ coincidam.



Escala de Celsius

$$T_C = (T + 273.15)^{\circ}\text{C}$$

$$T_C = 0^{\circ}\text{C} \quad \text{ponto de fusão de gelo}$$

$$T_C = 100^{\circ}\text{C} \quad \text{ponto de ebulição da água}$$

Escala de Fahrenheit

$$T_F = \left(\frac{9}{5}T_C + 32\right)^{\circ}\text{F}$$

$$T_F = 0^{\circ}\text{F} \quad \text{mistura de gelo, água e cloreto de amônio } \text{NH}_4\text{Cl}$$

$$T_F = 96^{\circ}\text{F} \quad \text{temperatura do corpo humano}$$

(mais tarde: a diferença entre ponto ebulição e fusão da água foi definida como 180°F)

Dilatação térmica de sólidos e líquidos

Uma propriedade bem conhecida de sólidos e líquidos é a sua **expansão** quando a sua **temperatura aumenta** (a base de muitos tipos de termómetros).

Na engenharia é muito importante tomar este efeito em conta, por exemplo na **construção de edifícios, pontes, carris ferroviários, paredes, etc.**

Danos causados por dilatação térmica



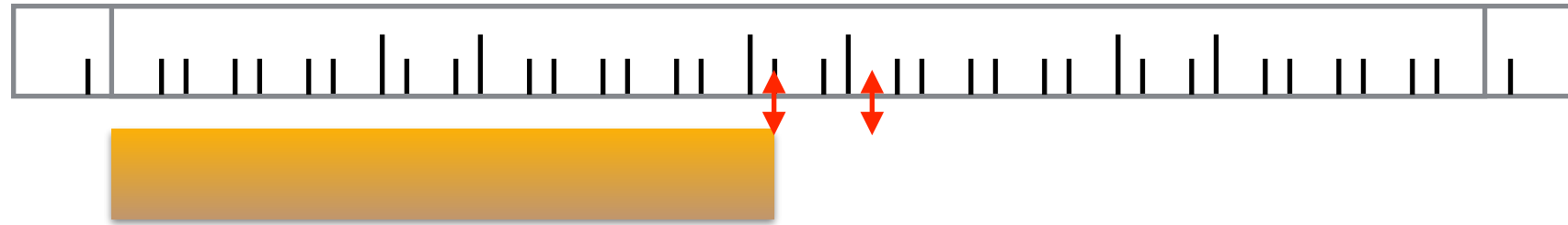
Juntas de dilatação térmica de carris



Juntas de dilatação térmica duma ponte



Descrição da dilatação térmica



L_i comprimento a T_i

L_f comprimento a T_f



$$\Delta L = L_f - L_i$$

$$\Delta T = T_f - T_i$$

Coeficiente médio da dilatação linear

$$\alpha \equiv \frac{\Delta L / L_i}{\Delta T}$$

aproximadamente constante

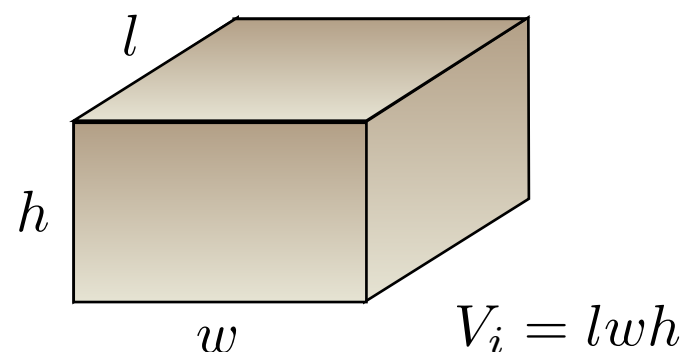
$$\Delta L = \alpha L_i \Delta T$$

Dilatação linear térmica

Dilatação térmica volumétrica

- Quando as dimensões lineares de um corpo aumentam com a temperatura, o volume também tem de aumentar.

Coeficiente médio da expansão volumétrica $\beta \equiv \frac{\Delta V/V_i}{\Delta T}$



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

Expansão térmica volumétrica

$$\beta = 3\alpha$$

relação entre α e β

Caixa sólida isotrópica (α igual em todas as direções)

$$V_i + \Delta V = (l + \Delta l)(w + \Delta w)(h + \Delta h)$$

$$= (l + \alpha l \Delta T)(w + \alpha w \Delta T)(h + \alpha h \Delta T)$$

$$= lwh(1 + \alpha \Delta T)^3$$

$$= V_i [1 + 3\alpha \Delta T + 3(\alpha \Delta T)^2 + (\alpha \Delta T)^3]$$

desprezável

$\alpha \Delta T \ll 1$ para $\Delta T \lesssim 100^\circ\text{C}$

$$\longrightarrow \Delta V = (3\alpha) V_i \Delta T$$

β

- Da mesma forma mostra-se que a dilatação duma área A é descrita por $\Delta A = (2\alpha) A_i \Delta T$

Coeficientes de dilatação térmica

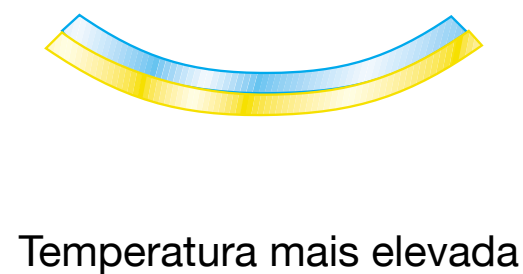
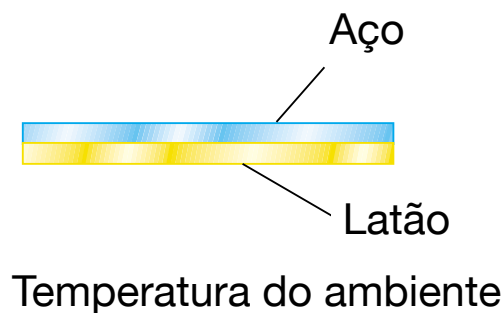
Average Expansion Coefficients for Some Materials Near Room Temperature

Material	Average Linear Expansion Coefficient (α)($^{\circ}\text{C}$) $^{-1}$	Material	Average Volume Expansion Coefficient (β)($^{\circ}\text{C}$) $^{-1}$
Aluminum	24×10^{-6}	Alcohol, ethyl	1.12×10^{-4}
Brass and bronze	19×10^{-6}	Benzene	1.24×10^{-4}
Copper	17×10^{-6}	Acetone	1.5×10^{-4}
Glass (ordinary)	9×10^{-6}	Glycerin	4.85×10^{-4}
Glass (Pyrex)	3.2×10^{-6}	Mercury	1.82×10^{-4}
Lead	29×10^{-6}	Turpentine	9.0×10^{-4}
Steel	11×10^{-6}	Gasoline	9.6×10^{-4}
Invar (Ni–Fe alloy)	0.9×10^{-6}	Air ^a at 0 $^{\circ}\text{C}$	3.67×10^{-3}
Concrete	12×10^{-6}	Helium ^a	3.665×10^{-3}

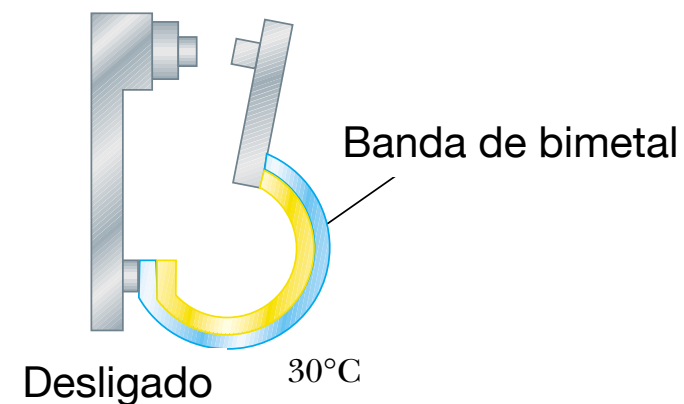
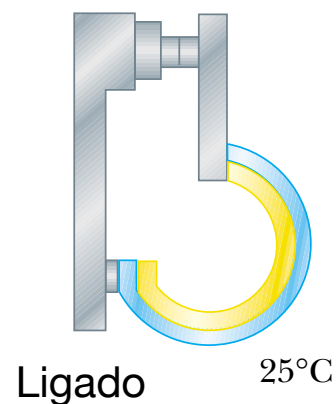
Bimetais

Há dispositivos simples que utilizam a **diferença** entre os coeficientes de dilatação térmica de metais diferentes.

- ▶ Duas bandas de metais diferentes juntas por soldadura.
- ▶ Com uma alteração da temperatura, um metal **expande-se mais do que o outro**.
- ▶ O resultado é que a banda de bimetetal se **encurva**.



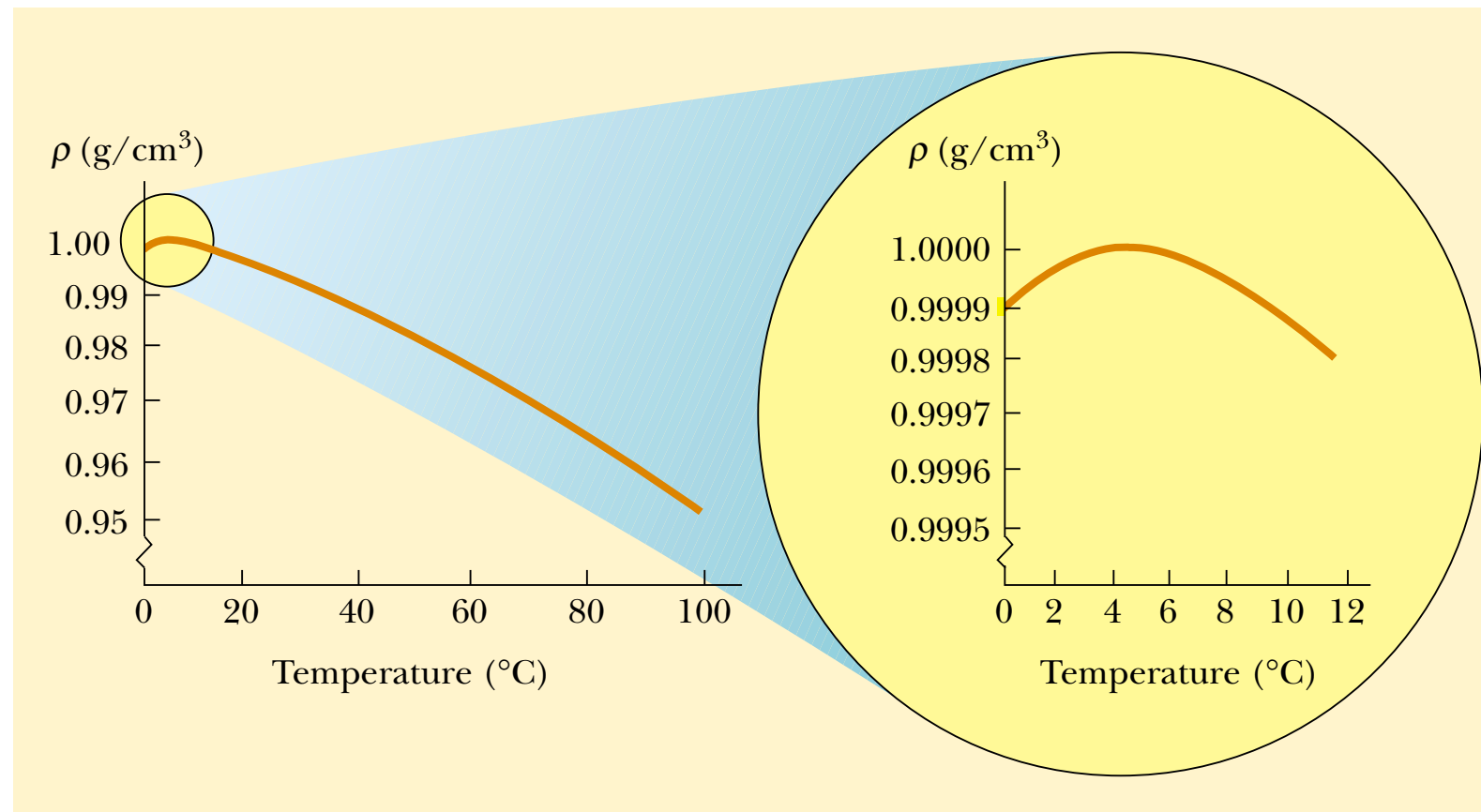
Por exemplo, um simples termostato pode ser construído com um bimetetal:



Dilatação térmica anómala da água

Ao contrário a outros líquidos, a água **contrai** quando a sua temperatura aumenta de 0°C a 4°C.

A densidade é máxima em 4°C (1.000 g/cm³).



Consequências:

- ▶ **Gelo** é menos denso do que água líquida e **flutua** na superfície.
- ▶ Um lago **congela na superfície**, mas não na profundidade.
Se não fosse assim, peixes e outra vida submarina não podiam sobreviver o inverno.