

Capítulo - 1 - Lei Zero

1

Sensação de Frio ou Calor \longleftrightarrow medida!

Grandeza física \rightarrow

TEMPERATURA

FALHA

Percepção humana.

Método objetivo

medir \longleftrightarrow comparar

IGUALdade de temperatura!

Mas como?

Qd as propie/d termométricas
NÃO variam mais.

Propried/termométricas

Equilíbrio Térmico

Parâmetros observáveis que variam qd a "temperatura" do sistema varia e que podem ser medidos (grandezas físicas)

Temperatura

"Parâmetro" (Grandeza física) propie/d que diz se os corpos estão em equilíbrio térmico

Existe um problema!

$A \sim B$ e $B \sim C$
 $\nwarrow \nearrow$ T_1 $\nwarrow \nearrow$ T_2

so/e faz sentido a. ∃ da "propried" temperatura se
 $A \sim C \Rightarrow T_1 = T_2 = T$

Experi/al/e $A \sim C$ \longleftrightarrow VERdade!

próxima página.

↓

Lei zero \Rightarrow Define temperatura (2)

Medida de temperatura?

Problema \Rightarrow \nexists uma unidade, i.e., \nexists uma "equação" (derivada de uma lei) da qual a grandeza temperatura pode ser definida a partir de outras grandezas fundamentais ou derivadas por ex. $\vec{F} := \frac{d\vec{p}}{dt}$ ou $\vec{F} = m\vec{a}$.

Podemos definir temperatura, por exemplo, da fusão da água, mas \nexists um processo que nos diga qd a temperatura é, por ex. o dobro dessa.

Medir temperatura \rightarrow atribuir valores numéricos



seleciona um sistema, chamado Termometro, que tenha uma propriedade termonétrica facilmente medida.

Termômetro \Rightarrow propriedade termonétrica de certa substância termonétrica



Volume — Hg,
resistência elétrica
Termopar — f.e.m.



Termômetro
↓
propriedade termonétrica
+
substância termonétrica

Medida



Volume (pressão), resistência elétrica, f.e.m., ...



cada valor da propriedade termonétrica \Rightarrow

$\Theta(X)$ deve ser uma função bijetora.



Hg, gás (He, N_2 , ...), ...
platina, germânio, ...

Deve corresponder a um, e um só, Θ para a temperatura.

Como ~~7~~ nada que diga sobre como deva ser $\Theta(x)$,
escolhemos, em geral, a mais simples \Rightarrow a linear

(3)

\Downarrow

$\Theta(x) = ax + b$

\Leftarrow

$\Theta = \Theta(x)$
Equação termométrica

\Downarrow

Escala de temperatura

Definida apenas para aquele termômetro (propried + subst. + função termométrica). Em geral, Não concorda com outras.

\Downarrow Remover

| Definir Padrões |

\Downarrow

Termômetro
(substância + propriedade)

Relação entre a temperatura empírica nessa escala com uma escala aceita universal (temperatura absoluta)

Escala termométrica \Rightarrow é uma sequência ordenada das temperaturas que definem, em graus, todos os estados térmicos ordenados dos mais frios aos mais quentes.

Considerando que cada $\Delta\theta$ corresponde a um mm ΔX , então

$$\boxed{\theta(x) := ax + b} \Leftarrow \text{Eq. termométrica (linear)} \quad (4)$$



a e b determinados por designar valores numéricos de temperatura θ_1 e θ_2 para dois estados padrão 1 e 2 (fácil e reproduzíveis e que conhecida/e tenham sempre as mm temperaturas).

$$\Rightarrow \boxed{\neq \text{escolhas de valores para } \theta_1 \text{ e } \theta_2.}$$



\neq escalas de temperatura
Empíricas

⇐ Pq se atribui valores arbitrários para θ_1 e θ_2 .



$$\boxed{\theta_1 \rightarrow \theta_G \text{ e } \theta_2 \rightarrow \theta_V}$$

Antes de 1954

$$\frac{\theta_G}{\theta} = \frac{X_G}{X} \quad (1)$$

$$\text{e } \frac{\theta_V}{\theta} = \frac{X_V}{X} \quad (2)$$

$$\Rightarrow \frac{(\theta_V - \theta_G)}{\theta} = \frac{(X_V - X_G)}{X}$$

$$\boxed{\theta(x) = \frac{(\theta_V - \theta_G) X}{(X_V - X_G)}}$$

Apr 20's 1954

$$\frac{\Theta}{\Theta_{Tr}} = \frac{X}{X_{Tr}} \Rightarrow$$

$$\Theta(X) = \Theta_{Tr} \left(\frac{X}{X_{Tr}} \right)$$

(5)

$$\Theta_v = a X_v + b \quad (1) \quad \text{e} \quad \Theta_g = a X_g + b \quad (2)$$

$$\Theta_v - \Theta_g = a (X_v - X_g) \Rightarrow a = \frac{(\Theta_v - \Theta_g)}{(X_v - X_g)} \quad (3)$$

$$\Theta(X) = \frac{(\Theta_v - \Theta_g)}{(X_v - X_g)} X + b$$

$$\text{Da eq. (1)} \rightarrow a = (\Theta_v - b)/X_v =$$

$$\Downarrow$$
$$\text{Eq. (2)} \Rightarrow \Theta_g = \frac{(\Theta_v - b)X_g}{X_v} + b,$$

$$\Theta_g X_v = \Theta_v X_g - b X_g + b X_v,$$

\Downarrow

$$b = \frac{(\Theta_g X_v - \Theta_v X_g)}{(X_v - X_g)}$$

$$\text{Para que } b=0 \Rightarrow \left[\frac{\Theta_g}{\Theta_v} = \frac{X_g}{X_v} \right] \Rightarrow \text{Escala } \Theta(X) = aX$$

\Downarrow
 $\Theta=0 \text{ qd } X=0$

Escala $\Rightarrow \Theta(X)=0$ corresponde a um valor nulo da proprie/d termométrica

Temperatura empírica $\Theta=0$ qd proprie/d termométrica $X=0$

$$\Theta(X) = aX \Rightarrow \frac{\Theta}{X_3} = \frac{X}{X_3} \Rightarrow \text{Necessidade de um único ponto de calibração.}$$

Escolha \Rightarrow ponto tríplice da água.

$$\Rightarrow \Theta = \Theta_{tr} \left(\frac{X}{X_{Tr}} \right)$$

Note que o valor numérico de Θ_{tr} pode ser escolhido arbitrariamente. \neq escolhas para o valor de $\Theta_{tr} \rightarrow \neq$ escalas.

(6)

Problema \Rightarrow Θ como definido acima é válida apenas para determinado termômetro, i.e., determinada propriedade termométrica e substância termométrica, podendo conduzir a diferentes valores de temperatura empírica MM para termômetros com qtd \neq da MM substância termométrica.

Exemplificando: Considere um termômetro termopar, um de resistência de platina, um de gás a volume cte de H_2 à pressão de 6,8 atm e outro de gás a volume cte tb de H_2 porém à pressão de 1 atm.

- 1º passo \rightarrow Coloca-se em contato com água + gelo + vapor em equilíbrio até atingirem o equilíbrio térmico.
- 2º passo \rightarrow Mede-se o valor da propriedade termométrica de cada termômetro no ponto tríplice.
- 3º passo \rightarrow Coloca-se cada um dos termômetros em contato com o sistema o qual deseja-se medir a temperatura.
- 4º passo \rightarrow Mede-se a propriedade termométrica de cada termômetro após cada um deles alcançar o equilíbrio térmico.

Então, espera-se que escolhido um mm valor de referência para Θ_{tr} os valores de

$$\Theta_{\text{termo par}} = \Theta_{tr} \frac{E}{E_{tr}} ; \Theta_{\text{mist}} = \Theta_{tr} \frac{R}{R_{tr}} ; \Theta_{\text{gás}, 6,8} = \Theta_{tr} \frac{P}{P_{tr, 6,8}}$$
$$\text{e } \Theta_{\text{gás}, 1} = \Theta_{tr} \frac{P}{P_{tr, 1}} \text{ fossem iguais, i.e.,}$$

$$\Theta_{\text{termo par}} = \Theta_{\text{mist}} = \Theta_{\text{gás}, 6,8} = \Theta_{\text{gás}, 1}.$$

Contudo, isso NÃO ocorre, pois $\frac{E}{E_{tr}} \neq \frac{R}{R_{tr}} \neq \frac{P}{P_{tr, 6,8}} \neq \frac{P}{P_{tr, 1}}$.

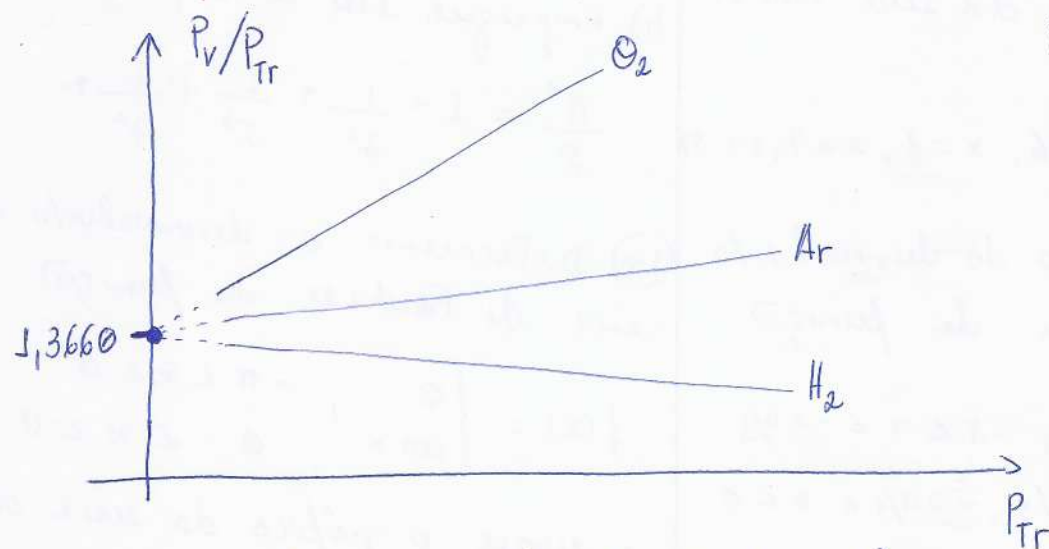
Problema \Rightarrow $\left\{ \begin{array}{l} \neq \text{propriedades} \Rightarrow \neq \text{valores de medida} \\ \neq \text{substâncias ou qtds delas} \Rightarrow \neq \text{valores de medida} \end{array} \right.$ (7)

Solução \Rightarrow Escolher um termômetro padrão.

\rightarrow Melhor escolha \Rightarrow aquela com as menores \neq para MM propriedades porém diferentes substâncias termométricas

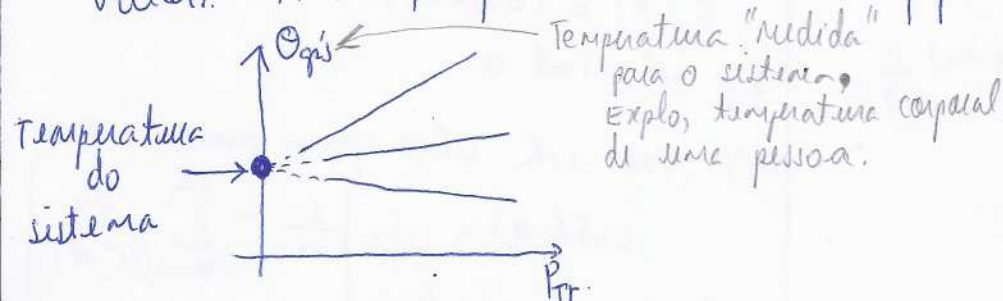
Termômetro de gás a volume cte.

Err, \neq qtd do MM gás $\rightarrow \neq$ medidas



$P_v \equiv$ pressão de água e vapor em equilíbrio.

Note que qtd menor P_{Tr} (qtd de gás) menor fica a \neq na medida para \neq gases. Qd $P_{Tr} \rightarrow 0$ todos os gases medirão o MM Valor. Assim, para um sistema qq:



Termômetro padrão \Rightarrow Termômetro de gás a volume cte, no limite em que $P \rightarrow 0$. (8)



Termômetro de gás ideal $\Rightarrow \Theta_{\text{gas}}$

Escala

Antes de 1954

$$\frac{\Theta_v}{\Theta_g} = \lim_{P \rightarrow 0} \left(\frac{P_v}{P_g} \right)_{V_{\text{cte}}}$$

$$\text{Experimental} \Rightarrow \lim_{P \rightarrow 0} \left(\frac{P_v}{P_g} \right)_{V_{\text{cte}}} = 1,3661.$$

i) Escala Kelvin $\Rightarrow \Theta_v - \Theta_g = 100^\circ \text{K}$

$$\Theta_v = \Theta_g \lim_{P \rightarrow 0} \left(\frac{P_v}{P_g} \right)_{V_{\text{cte}}} \Rightarrow \Theta_g + 100^\circ = \Theta_g \left(\frac{P_v}{P_g} \right)$$

$$\Theta_g = \frac{100^\circ}{\left[\left(\frac{P_v}{P_g} \right) - 1 \right]} \text{ K} \Rightarrow \Theta_g = \frac{100}{0,3661} \approx 273,15^\circ \text{K}$$

\rightarrow no limite $P \rightarrow 0$

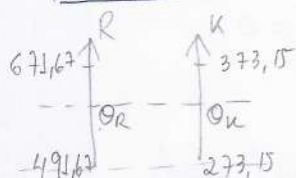
$$\boxed{\Theta_g = 273,15^\circ \text{K}} \quad \text{e} \quad \boxed{\Theta_v = 373,15^\circ \text{K}}$$

ii) Escala Rankine $\Rightarrow \Theta_v - \Theta_g = 180^\circ \text{R}$

$$\Theta_g = \frac{180^\circ}{\left[\left(\frac{P_v}{P_g} \right) - 1 \right]} \text{ R} \Rightarrow \Theta_g = \frac{180}{0,3661} \approx 491,67^\circ \text{R}$$

$$\boxed{\Theta_g = 491,67^\circ \text{R}} \quad \text{e} \quad \boxed{\Theta_v = 671,67^\circ \text{R}}$$

Kelvin \longleftrightarrow Rankine $\Rightarrow \frac{(\Theta_R - 491,67)}{(1,67 - 491,67)} = \frac{(\Theta_K - 273,15)}{(373,15 - 273,15)} \quad (9)$



$$\frac{\Theta_R - 491,67}{180} = \frac{\Theta_K - 273,15}{100}$$

$$\Theta_R = \frac{9}{5} \Theta_K - \frac{9}{5} \cdot 273,15 + 491,67$$



$$\Theta_R = \frac{9}{5} \Theta_K$$

$$\Delta \Theta_R = \frac{9}{5} \Delta \Theta_K$$

$$\Theta_{\text{Rankine Tr}} = \frac{9}{5} \cdot 273,16 \Rightarrow \Theta_{\text{Tr}} = 491,69^\circ \text{R}$$

Após 1954

$$\Theta_3 = \Theta_{\text{Tr}}$$

i) Escala Kelvin \Rightarrow

$$\Theta_{\text{Tr}} := 273,16^\circ \text{K}$$

$$\Theta_{\text{gas}} := 273,16 \lim_{P_{\text{Tr}} \rightarrow 0} \left(\frac{P}{P_{\text{Tr}}} \right)_{V_{\text{el}}}$$

ii) Escala Rankine

$$\Theta_{\text{Tr}} := 491,69^\circ \text{R}$$

$$\Theta_{\text{gas}} := 491,69 \lim_{P_{\text{Tr}} \rightarrow 0} \left(\frac{P}{P_{\text{Tr}}} \right)_{V_{\text{el}}}$$

iii) Escala Celsius ou centígrada

10

Definida como

$$\Theta_c := \Theta_K - 273,15^\circ \Rightarrow \Delta\Theta_c = \Delta\Theta_K$$

o que implica em $\Theta_g = 0^\circ\text{C}$ e $\Theta_v = 100^\circ\text{C}$.

iv) Escala Fahrenheit

Definida como

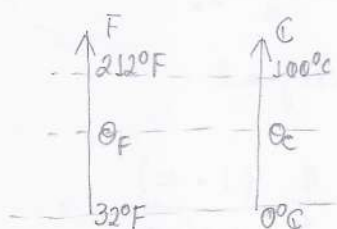
$$\Theta_F := \Theta_R - 459,67^\circ \quad \Delta\Theta_F = \Delta\Theta_R$$

o que implica em $\Theta_g = 491,67 - 459,67$

$$\Theta_g = 32^\circ\text{F}$$

$$\text{e } \Theta_v = 671,67 - 459,67 \Rightarrow \Theta_v = 212^\circ\text{F}$$

Celsius \leftrightarrow Fahrenheit



$$\Rightarrow \frac{(\Theta_F - 32)}{(212 - 32)} = \frac{(\Theta_C - 0)}{(100 - 0)} \Rightarrow \frac{\Theta_F - 32}{180} = \frac{\Theta_C}{100}$$

$$\Theta_F = \frac{9}{5} \Theta_C + 32$$

$$\Theta_C = \frac{5}{9} (\Theta_F - 32)$$

$$\Delta\Theta_F = \frac{9}{5} \Delta\Theta_C$$

Temperaturas absolutas (ou termodinâmicas)

11

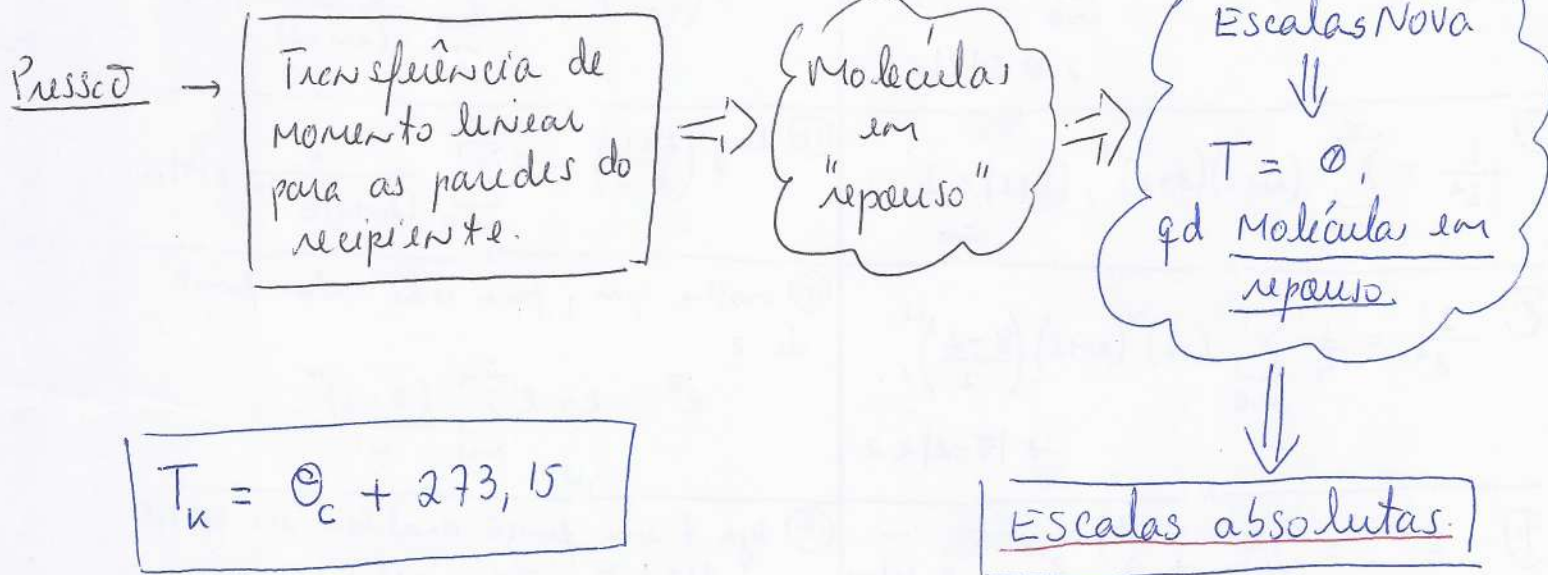
i) Kelvin

Lord Kelvin observou experimentalmente que a pressão diminui de $\frac{1}{273,15}$ do valor inicial qd o gás é resfriado, a $V_{\text{g}} \equiv \text{cte}$, de 0°C a -1°C . Ptt, a pressão será nula qd o gás atingir $-273,15^{\circ}\text{C}$.

ii) Fahrenheit

ou de $\frac{1}{491,67}$ do valor inicial qd o gás é resfriado, a $V_{\text{g}} \equiv \text{cte}$, de 32°F a 31°F . Ptt, a pressão será nula qd o gás atingir

$$\Theta_F = 32 - 491,67 \Rightarrow \Theta_F = -459,67^{\circ}\text{F}.$$



$$T_K = \Theta_C + 273,15$$

ou

$$T_R = \Theta_F + 459,67$$

Alg. as escalas Kelvin e Rankine são de temperaturas absolutas não se usa o grau. Assim,

$$T_{\text{gelo}} = 273,15\text{K ou } T_{\text{gelo}} = 491,67\text{R}.$$

É fácil ver que as temperaturas empíricas de um termômetro de gás a volume cte, $\Theta_{\text{gás}}$ coincidem com as temperaturas absolutas ou termodinâmicas. Então, $\Theta_{\text{gás}} \equiv T$