

EQUILÍBRIO TÉRMICO

* LEI ZERO DA TERMODINÂMICA:

SE DOIS OBJETOS ESTÃO EM EQUILÍBRIO TÉRMICO COM UM TERCEIRO OBJETO, ENTÃO OS TRÊS OBJETOS ESTÃO EM EQUILÍBRIO TÉRMICO ENTRE SI.

- O QUE SIGNIFICA DOIS OBJETOS ESTAREM EM EQUILÍBRIO TÉRMICO?

R: SIGNIFICA QUE, QUANDO EM CONTATO TÉRMICO, AS PROPRIEDADES MACROSCÓPICAS DESSES OBJETOS NÃO MUDAM NO TEMPO.

- O QUE SÃO PROPRIEDADES MACROSCÓPICAS?

R: SÃO AS PROPRIEDADES MENSURÁVEIS DE OBJETOS MACROSCÓPICOS.

EX: DENSIDADE, MAGNETIZAÇÃO, CONDUTIVIDADE (TÉRMICA / ELÉTRICA), VISCOSIDADE, VOLUME, PRESSÃO, ETC.

* TEMPERATURA = DEFINE-SE QUE QUANDO DOIS OBJETOS ESTÃO EM EQUILÍBRIO TÉRMICO ENTRE SI, ENTÃO ELES TÊM A MESMA TEMPERATURA.

• NOTE QUE ESTA É UMA CONSEQUÊNCIA DA LEI ZERO

• VALE A PENA REAFIRMAR QUE AS LEIS DA TERMODINÂMICA, INCLUINDO A LEI ZERO, SÃO LEIS EM PÍRICAS.

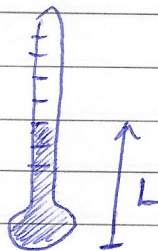
- QUANTIFICANDO A TEMPERATURA

NOTE QUE QUALQUER PROPRIEDADE TERMOMÉTRICA (OU PROPRIEDADE MACROSCÓPICA MENSURÁVEL) PODE SER USADA PARA ESTABELEÇER UMA ESCALA DE TEMPERATURA

EXEMPLO: É COMUM USAR UMA COLUNA DE MERCÚRIO PARA QUANTIFICAR A TEMPERATURA. NOTE QUE O COMPRIMENTO (OU VOLUME) É A PROPRIEDADE TERMOMÉTRICA SENDO UTILIZADA PARA QUANTIFICAR A TEMPERATURA

- ESCALAS DE TEMPERATURA

CELSIUS ($^{\circ}\text{C}$)



MESE-SE O COMPRIMENTO DA COLUNA DE MERCÚRIO

USA-SE COMO REFERÊNCIA ~~COMO REFERÊNCIA~~ AS TEMPERATURAS DE FUSÃO E EBULIÇÃO DA ÁGUA COMO 0°C E 100°C , RESPECTIVAMENTE.

MEDINDO OS COMPRIMENTOS DA COLUNA DE MERCÚRIO NAS TEMPERATURAS 0°C (L_0) E 100°C (L_{100}) ENTÃO A TEMPERATURA CORRESPONDENTE PARA QUANDO O COMPRIMENTO VALE L É

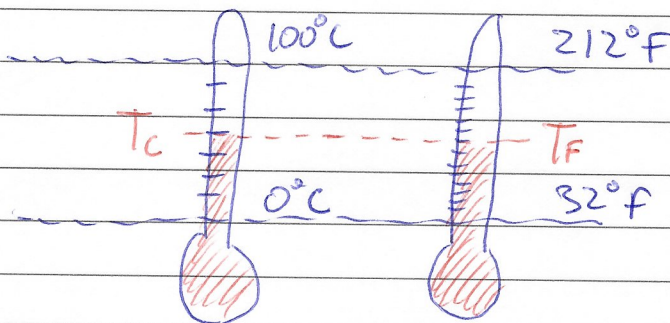
$$T = \left(\frac{L - L_0}{L_{100} - L_0} \right) \times 100^{\circ}\text{C}$$

FAHRENHEIT ($^{\circ}\text{F}$) = É UMA OUTRA ESCALA DE TEMPERATURA (COMUMMENTE USADA NOS EUA). NESTA, OS PONTOS DE FUSÃO E EBULIÇÃO DA ÁGUA CORRESPONDEM A 32°F E 212°F , RESPECTIVAMENTE.

LOGO, A TEMPERATURA EM FAHRENHEIT PARA UMA TEMPERATURA QUANDO A COLUNA DO TERMÔMETRO DE MERCÚRIO É L É IGUAL A

$$T_F = \left(\frac{L - L_{32}}{L_{212} - L_{32}} \right) \times 180^{\circ}\text{F}$$

COMO "TRADUZIR" $^{\circ}\text{CELSIUS}$ EM $^{\circ}\text{FAHRENHEIT}$?



$$\frac{T_C - 0^{\circ}\text{C}}{100^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}} = \frac{T_F - 32^{\circ}\text{F}}{212^{\circ}\text{F} - 32^{\circ}\text{F}} \Rightarrow$$

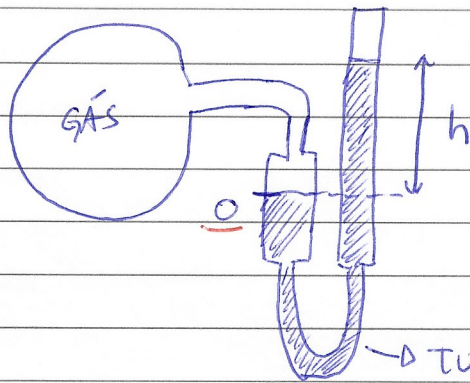
$$T_C = \frac{5}{9} (T_F - 32^{\circ}\text{F})$$

OU

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

* HÁ TERMÔMETROS QUE USAM OUTRAS PROPRIEDADES TERMOMÉTRICAS COMO PRESSÃO, RESISTÊNCIA ELÉTRICA, ETC.

TERMÔMETRO DE GÁS A VOLUME CONSTANTE



O VOLUME DO GÁS É MANTIDO CONSTANTE ABAIXANDO OU LEVANTANDO O TUBO DA DIREITA DE TAL MANEIRA QUE O FLUIDO FIQUE NO NÍVEL O MARCADO

A PRESSÃO É MEDIDA USANDO A LEI DE STEVIN

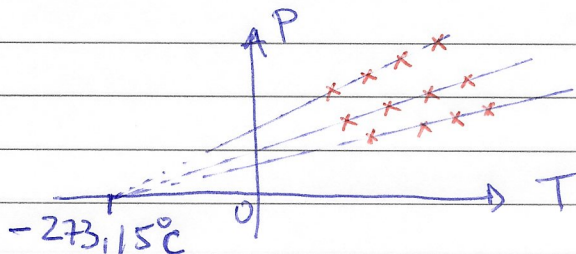
$$P_{\text{GÁS}} = \rho g h + P_{\text{atm}}$$

MEDINDO AS PRESSÕES NAS TEMPERATURAS DE REFERÊNCIAS (P_0 E P_{100} , POR EXEMPLO) ENTÃO

$$T_c = \left(\frac{P - P_0}{P_{100} - P_0} \right) \times 100^\circ\text{C} = \left(\frac{h - h_0}{h_{100} - h_0} \right) \times 100^\circ\text{C}$$

ESCALA DE TEMPERATURA KELVIN

EXPERIMENTO: MEDE-SE A PRESSÃO E TEMPERATURA DE DIVERSOS GASES A VOLUME CONSTANTE. OS RESULTADOS EXPERIMENTAIS SÃO "ILUSTRADOS" (NÃO SÃO OS DADOS EXPERIMENTAIS TOMADOS, APENAS UMA REPRESENTAÇÃO QUALITATIVA) NA FIGURA ABAIXO.



COMO A PRESSÃO DO GÁS NÃO PODE SER MENOR DO QUE ZERO, ENTÃO $-273,15^\circ\text{C}$ É O MÍNIMO DE TEMPERATURA

→ O ZERO ABSOLUTO DE TEMPERATURA.

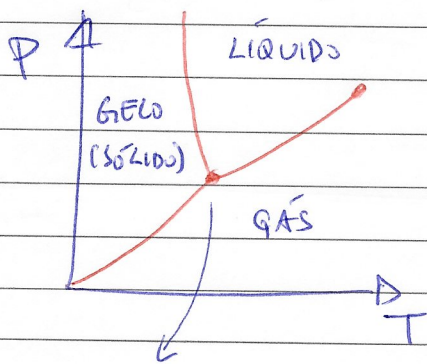
DEFININDO UMA ESCALA DE TEMPERATURA
(A ESCALA KELVIN) COMO SENDO

$$T_K = T_C + 273,15 K$$

⇒ O MÍNIMO DE TEMPERATURA É O
ZERO KELVIN. ~~FOZ~~: NÃO É GRAUS KELVIN.
APENAS KELVIN

CALIBRAÇÃO DE TEMPERATURA

AS TEMPERATURAS DE FUSÃO E EBULIÇÃO DEPENDEM
DA PRESSÃO DO ~~FLUIDO~~ FLUIDO. COMO PODEMOS
MELHOR DEFINIR A ~~TEMPERATURA~~ TEMPERATURA DE
REFERÊNCIA?



O PONTO TRIPLO ~~É~~ É
UMA BOA REFERÊNCIA
PORQUE ACONTECE EM
APENAS UMA PRESSÃO E
TEMPERATURA BEM
DEFINIDAS

PONTO TRIPLO:

ÁGUA: $T_3 = 273,16 K = 0,01^\circ C = 32,018^\circ F$
 $P_3 = 4,58 \text{ mm Hg} = 611,657 \text{ Pa} = 9,00603659 \text{ ATM}$

~~OUTRA~~ O PT TRIPLO DE OUTRAS SUBSTÂNCIAS
FORNECEM OUTRAS TEMPERATURAS DE
REFERÊNCIA

HIDROGÊNIO: $T_3 = 13,8033 K$, $P_3 = 7,04 \text{ KPa}$

TENDO ACESSO AO PONTO TRIPLO COM ~~UM~~
UM TERMÔMETRO DE GÁS A VOLUME CONSTANTE,
MEDE-SE QUALQUER OUTRA TEMPERATURA
(NÃO MUITO DISTANTE DA TEMPERATURA DE
REFERENCIA) COMO

$$T = \frac{P}{P_3} \times T_3$$

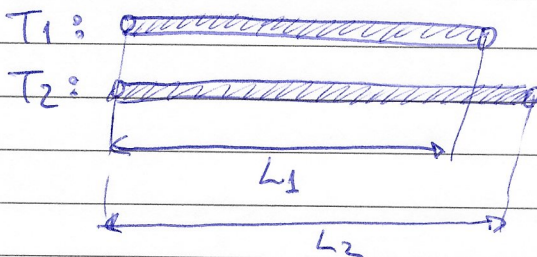
COM T_3 E T EM KELVINS.

EXPANSÃO TÉRMICA

7

AQUECENDO OU ESPRIANDO UM OBJETO, O SEU VOLUME MUDA. CONCLUI-SE QUE EXISTE UMA RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA E AS DIMENSÕES DOS OBJETOS MACROSCÓPICOS. NA VERDADE, ESSA RELAÇÃO PODE SER USADA PARA DEFINIR TEMPERATURA, COMO VIMOS NO CASO DOS TERMÔMETROS,

CONSIDERE UMA BARRA MUITO FINA



COEFICIENTE DE EXPANSÃO LINEAR

$$\alpha \equiv \frac{\Delta L / L_1}{\Delta T}$$

ONDE $\Delta L = L_2 - L_1$
 $\Delta T = T_2 - T_1$

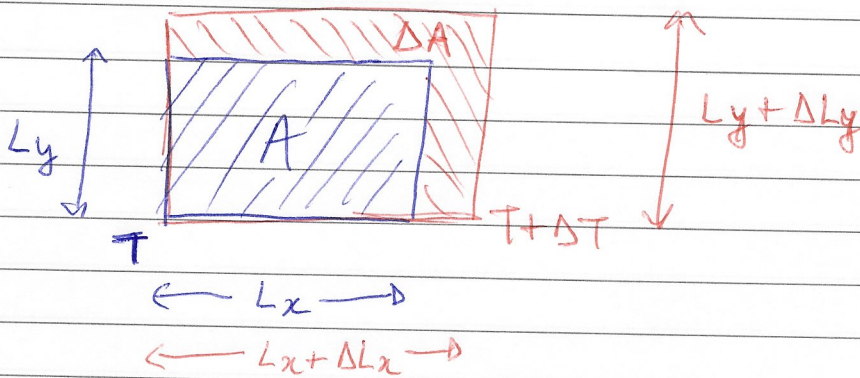
DIMENSÃO

~~UNIDADE~~: $[\alpha] = \frac{1}{\text{TEMPERATURA}}$

O COEFICIENTE DE EXPANSÃO LINEAR, EM GERAL, NÃO É CONSTANTE E DEPENDE DA TEMPERATURA. POR ISSO, FAZ SENTIDO DEFINI-LÓ COMO

$$\alpha \equiv \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{\Delta L / L_1}{\Delta T} = \frac{1}{L} \frac{dL}{dT}$$

PARA ALGUNS MATERIAIS E ΔT DE POUCOS $^{\circ}\text{C}$ (OU POUCAS DEZENAS DE $^{\circ}\text{C}$) α PODE SER CONSIDERADO COMO CONSTANTE

EXPANSÃO SUPERFICIAL

DEFINIÇÃO = COEFICIENTE DE EXPANSÃO SUPERFICIAL

$$\beta \equiv \frac{1}{A} \frac{\Delta A}{\Delta T}$$

$$\begin{aligned} \text{MAS } \Delta A &= (L_x + \Delta L_x)(L_y + \Delta L_y) - L_x L_y \\ &= L_x \Delta L_y + L_y \Delta L_x + \underbrace{\Delta L_x \Delta L_y}_{\text{DESPREZAR}} \\ &\approx L_x \Delta L_y + L_y \Delta L_x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MAS } \Delta L_x &= \alpha L_x \Delta T \\ \Delta L_y &= \alpha L_y \Delta T \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \Delta A \approx L_x (\alpha L_y \Delta T) + L_y (\alpha L_x \Delta T) = 2\alpha \overset{A}{L_x L_y} \Delta T$$

$$\Rightarrow 2\alpha = \frac{1}{A} \frac{\Delta A}{\Delta T} \equiv \beta$$

$$\Rightarrow \boxed{\beta \approx 2\alpha}$$

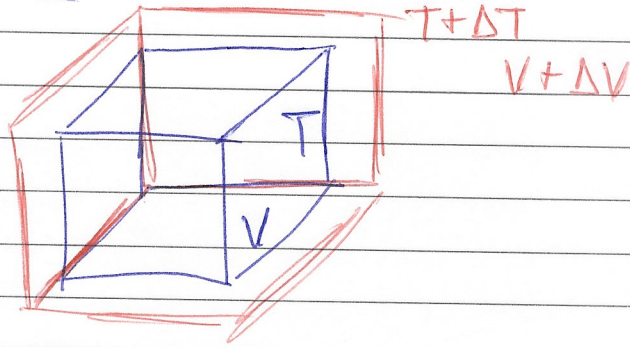
NO LIMITE $\Delta T \rightarrow 0$, ESTA
RELAÇÃO APROXIMADA SE
TORNA EXATA

$$\Rightarrow \boxed{\beta = 2\alpha}$$

EXPANSÃO VOLUMÉTRICA

ANALOGAMENTE,

$$\gamma \equiv \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{V \Delta T}$$



$$\begin{aligned} \Delta V &= (L_x + \Delta L_x)(L_y + \Delta L_y)(L_z + \Delta L_z) - L_x L_y L_z \\ &= L_x L_y \Delta L_z + L_x L_z \Delta L_y + L_y L_z \Delta L_x \\ &\quad + (L_x \Delta L_y \Delta L_z + L_y \Delta L_x \Delta L_z + L_z \Delta L_x \Delta L_y + \Delta L_x \Delta L_y \Delta L_z) \end{aligned}$$

MUITO PEQUENO, DESPREZAR

$$\Rightarrow \Delta V \approx L_x L_y \Delta L_z + L_x L_z \Delta L_y + L_y L_z \Delta L_x$$

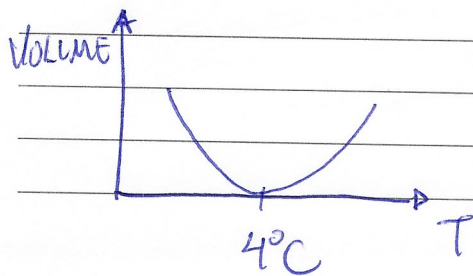
$$= L_x L_y (\alpha L_z \Delta T) + L_x L_z (\alpha L_y \Delta T) + L_y L_z (\alpha L_x \Delta T)$$

$$= 3\alpha L_x L_y L_z \Delta T$$

$$= 3\alpha V \Delta T$$

$$\Rightarrow 3\alpha \approx \frac{\Delta V}{V \Delta T} \Rightarrow \boxed{\gamma = 3\alpha}$$

ANOMALIA DA ÁGUA: EM GERAL (NA MAIORIA DAS SUBSTÂNCIAS) OS MATERIAIS SE EXPANDEM QUANDO AQUECIDOS $\Rightarrow \alpha > 0$ ($\beta, \gamma > 0$). A ÁGUA, ENTRETANTO, É UMA IMPORTANTE EXCESSÃO ENTRE 0°C E 4°C . NESTA JANELA DE TEMPERATURAS, A ÁGUA SE CONTRAI QUANDO AQUECIDA

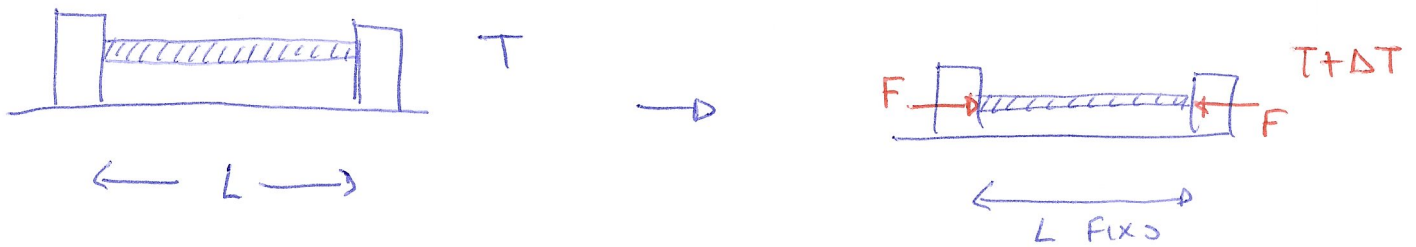


\rightarrow NOTE QUE O VOLUME DA ÁGUA AUMENTA QUANDO SE ABaixa A TEMPERATURA PARA BAIXO DE 4°C . $\Rightarrow \gamma < 0$ **spirali** PARA $T < 4^\circ\text{C}$

TENSÃO TÉRMICA

(10)

COLOCA-SE UMA BARRA DE TAMANHO L ENTRE DOIS PONTOS FIXOS. EM SEQUÊNCIA, AUMENTA-SE A TEMPERATURA DA BARRA DE T PARA $T + \Delta T$. A BARRA AUMENTARIA DE TAMANHO DE L PARA $L + \Delta L$. ENTRETANTO, ELA ESTÁ FIXA ENTRE OS 2 PONTOS. ENTÃO EXISTE UMA TENSÃO (TÉRMICA) ENTRE ESSES PONTOS PORQUÊ A BARRA "QUER" SE EXPANDIR. PARA ΔL PEQUENO, A BARRA É COMO SE FOSSE UMA MOLLA. ESSA TENSÃO É DEVIDA À COMPRESSÃO DESSA "MOLLA".



COMO EQUACIONAR O PROBLEMA?

IMAGINE TER QUE COMPRIMIR UMA MOLLA DE $L + \Delta L$ PARA L . A FORÇA NECESSÁRIA É $F = k \Delta L$, ONDE k É A CONSTANTE DE MOLLA. MAS QUAL É A CONSTANTE DE MOLLA DE UMA BARRA?

O ANÁLOGO DA CONSTANTE DE MOLLA PARA SÓLIDOS É O MÓDULO DE YOUNG. ELE É DEFINIDO

DA SEGUINTE MANEIRA:

$$Y \equiv \frac{F/A}{\Delta L/L}$$

NOTE A DIMENSÃO DO MÓDULO DE YOUNG

$$\{Y\} = \frac{\text{FORÇA}}{\text{ÁREA}} = \text{PRESSÃO}$$

AQUI, F É A FORÇA NECESSÁRIA PARA COMPRIMIR A BARRA DE $L + \Delta L$ PARA L ,
E A É A ÁREA TRANSVERSAL DA BARRA. (11)

O MÓDULO DE YOUNG É UMA QUANTIDADE QUE DEPENDÊ DO MATERIAL, DA TEMPERATURA, MAS NÃO DE SUA FORMA GEOMÉTRICA (SE A BARRA É CILÍNDRICA, RETANGULAR, ETC.)

DE POSSE DESSE DADO, PODEMOS CALCULAR A FORÇA QUE OS PONTOS FIXOS (OS ANTEPAROS) ESTÃO EXERCENDO SOBRE A BARRA (E VICE-VERSA)

$$F = A \frac{\Delta L}{L} Y, \quad \text{MAS } \Delta L \text{ É DEVIDO À EXPANSÃO TÉRMICA } \epsilon, \text{ PORTANTO, É}$$
$$\Delta L = \alpha L \Delta T$$

FINALMENTE,

$$F = Y A \alpha \Delta T$$

OBS: ESTAMOS ASSUMINDO QUE AS PAREDES DOS ANTEPAROS SÃO PERFEITAMENTE RÍGIDAS. NA PRÁTICA, ISSO NÃO É VERDADE. AS PAREDES DOS ANTEPAROS TAMBÉM DEFORMAM E O VALOR DE ΔL (E CONSEQUENTEMENTE DE F) SÃO MENORES

ESTAMOS TAMBÉM ASSUMINDO QUE A TENSÃO PRODUZIDA NA BARRA E NOS ANTEPAROS NÃO É SUFICIENTE PARA DEFORMAR E/OU FRATURÁ-LOS.

EXEMPLO:

UMA BARRA DE ALUMÍNIO DE 10 cm (12)
 É COLOCADA ENTRE DUAS PAREDES PERFEITAMENTE RÍGIDAS QUE DISTAM DE 10 cm. A BARRA ESTÁ INICIALMENTE A 17,2°C E É AQUECIDA ATÉ 22,3°C. QUAIS A FORÇA EXERCIDA SOBRE AS PAREDES? (A SEÇÃO TRANSVERSA DA BARRA TEM 20 cm² DE ÁREA.)

R: USAMOS QUE $\frac{F}{A} = Y \alpha \Delta T$ ONDE $Y = Y_{AL} \approx 7,0 \times 10^{10} \text{ Pa}$
 $\alpha = \alpha_{AL} \approx 2,4 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$
 $\Delta T = 5,1^\circ\text{C} = 5,1 \text{ K}$
 $\Rightarrow \frac{F}{A} \approx 8,6 \times 10^6 \text{ Pa} \approx 86 \text{ ATM}$
 $\Rightarrow F \approx 17,2 \text{ KN}$
 NOTE QUE É DIFERENÇA DE TEMPERATURA

*NOTE QUE O COMPRIMENTO DA BARRA $L = 10 \text{ cm}$
 NÃO É INFORMAÇÃO RELEVANTE PARA ESSE PROBLEMA.

SUBSTÂNCIA	COEFICIENTE DE DILATAÇÃO $\left(\frac{10^{-6}}{^\circ\text{C}}\right)$ A 20°C	SUBSTÂNCIA	MÓDULO DE YOUNG (GPa)
H ₂ O	69 (VOLUMÉTRICO)	BORRACHA	0,01 - 0,1
AL	24 (LINEAR)	PIVITO (MADEIRA)	8,9
QUARTZO	0,59 "	CONCRETO	30
Ag	18 "	VIDRO	50 - 90
Au	14 "	BRONZE	100 - 125
PVC	52 "	ACÇO	200
ETANOL	250 (VOLUMÉTRICO)	NANOTUBO DE CARBONO	> 5000
GASOLINA	317 "	DIAMANTO	1220

GÁS IDEAL

(13)

O GÁS IDEAL É AQUELE SISTEMA EM QUE SEUS CONSTITUÍNTES (MOLÉCULAS) NÃO INTERAGEM ENTRE SI OU INTERAGEM MUITO FRACAMENTE DE TAL MANEIRA QUE ESSAS INTERAÇÕES PODEM SER DESPREZADAS.

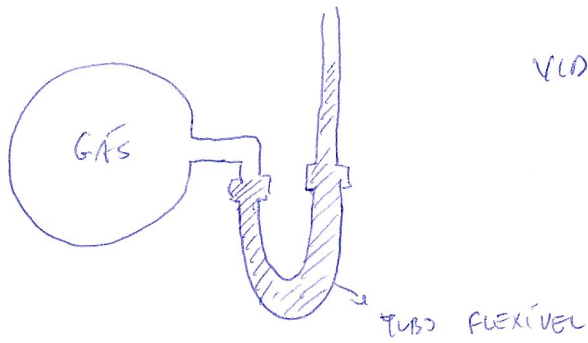
OUTRO DETALHE É QUE O GÁS IDEAL ~~EM~~ INTERAGIR COM OUTRAS SUBSTÂNCIAS E PODE ESTABELEÇER EQUILÍBRIO TÉRMICO COM ELAS.

~~DE~~ ~~DE~~ AS PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DO GÁS IDEAL DE INTERESSE ^{MAIS COMUM} ~~SA~~ A PRESSÃO P O VOLUME, E A TEMPERATURA.

NA VIDA REAL, OS GASES NÃO SÃO IDEAIS. EM TEMPERATURAS ~~SUFICIENTEMENTE~~ SUFICIENTEMENTE BAIXAS, ELES SE LIQUEFAZEM, UMA SITUAÇÃO BEM DISTINTA DE MOLÉCULAS NÃO INTERAGENTES. OS GASES REAIS NO LIMITE DE BAIXA PRESSÃO (RAREFEITO) E ALTA TEMPERATURA SE COMPORTAM COMO GASES IDEAIS.

ISSO ACONTECE NO LIMITE RAREFEITO E DE ALTA ENERGIA CINÉTICA (ALTA TEMPERATURA) PARA QUE A ENERGIA DE INTERAÇÃO ENTRE AS MOLÉCULAS SEJA DESPREZÍVEL QUANDO COMPARADA COM A ENERGIA CINÉTICA DAS MESMAS.

AS LEIS MENCIONADAS A SEGUIR SÃO LEIS OBTIDAS EXPERIMENTALMENTE USANDO GASES REAIS NESTAS CONDIÇÕES EM QUE ELES SE APROXIMAM DE GASES IDEAIS.

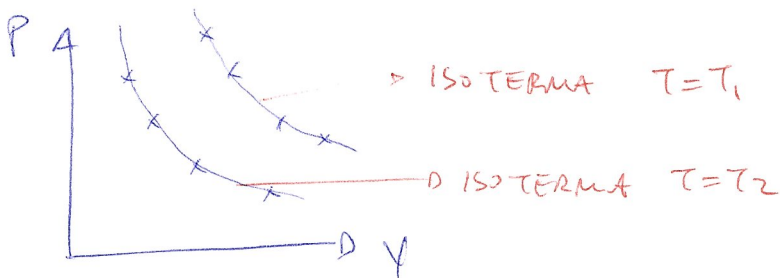


VIDE ESQUEMA EXPERIMENTAL DA PÁGINA (4)

USANDO ESSE APARATO, PODEMOS MEDIR P, V E T DO GÁS

a) LEI DE BOYLE (PROCESSO ISOTÉRMICO)

RELAÇÃO ENTRE P E V COM T FIXO



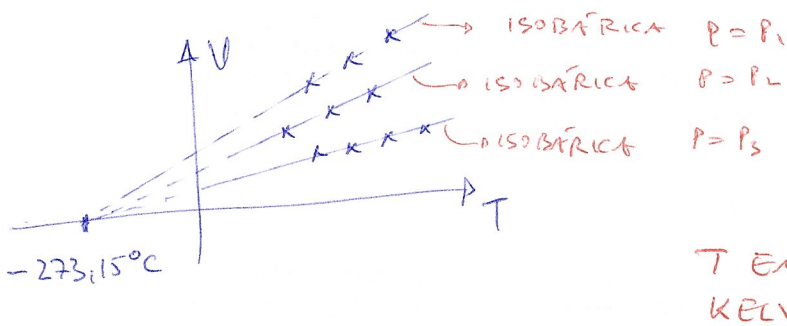
Nestas isotermas verifica-se que

$PV = \text{constante}$

Essa constante depende da temperatura

b) LEI DE CHARLES (PROCESSO ISOBÁRICO)

RELAÇÃO ENTRE V E T COM P FIXO

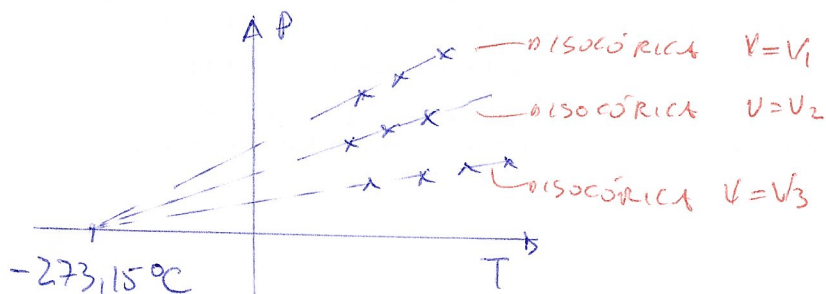


Verifica-se que

$\frac{V}{T} = \text{cte}$, com a constante dependendo da pressão.

c) LEI DE GAY-LUSSAC (PROCESSO ISOCÓRICO / ISOVOLUMÉTRICO)

RELAÇÃO ENTRE P E T COM V FIXO

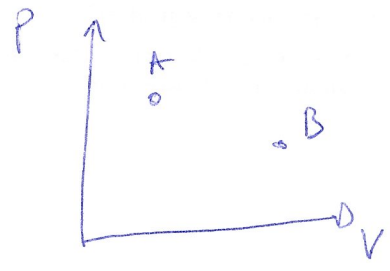


Verifica-se que

$\frac{P}{T} = \text{cte}$ onde T está em Kelvins e a cte depende de V.

COMBINANDO AS 3 LEIS, RECALCULAMOS

P, V, T EM QUALQUER PROCESSO (MANTENDO O NÚMERO DE MOLÉCULAS FIXO, NESSES PROCESSOS, NÃO HÁ VAZAMENTO OU INSERÇÃO DE GÁS).



PARA QUALQUER 2 PONTOS A E B, COM (P_A, V_A, T_A) E (P_B, V_B, T_B) RESPECTIVAMENTE

TEMOS QUE

$$\frac{P_A V_A}{T_A} = \frac{P_B V_B}{T_B}$$

→ CONSEGUE PROVAR?

DESDE QUE ~~O GÁS~~ O NÚMERO DE MOLÉCULAS NO GÁS SEJA MANTIDO FIXO.

OU SEJA $\frac{PV}{T} = \text{CONSTANTE}$. QUE CONSTANTE É ESSA?

NOTE QUE P E T SÃO QUANTIDADES INTENSIVAS E V É EXTENSIVA. LOGO, $\frac{PV}{T}$ É UMA

QUANTIDADE EXTENSIVA. QUE QUANTIDADE EXTENSIVA SERIA? A MASSA DO GÁS, POR EXEMPLO? NÃO.

DA EXPERIÊNCIA, NOTOU-SE QUE DIFERENTES GASES (DE MASSAS DIFERENTES) EM CONDIÇÕES DE CNTP EM VOLUME CONSTANTE, TÊM A MESMA RAZÃO $\frac{PV}{T}$

• QUAIS SÃO AS CONDIÇÕES CNTP? (16)
 CONDIÇÕES NORMAIS DE TEMPERATURA E PRESSÃO
CONVENZIONADAS EM $P_0 = 1 \text{ ATM}$
 $T_0 = 0^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K}$

CONVENCIONOU-SE QUE ESSA QUANTIDADE EXTENSIVA
 É O NÚMERO DE MOLES DA SUBSTÂNCIA QUE É
 DIRETAMENTE PROPORCIONAL AO NÚMERO DE MOLÉCULAS
DO GÁS (NÃO É A MASSA DESSAS MOLÉCULAS, NEM
 A MASSA DO GÁS).

CONVENCIONOU-SE QUE EM $V_0 = 22,4 \text{ l}$ DE GÁS
EM CNTP HÁ EXATAMENTE 1 MOL DE GÁS

LOGO,

$$\frac{PV}{T} = n \times R$$

↓
NÚMERO DE MOLES

QUANTIDADE
INTENSIVA

1 MOL DE	MASSA
H_2	2g
O_2	32g
H_2O	18g

PARA TODOS OS CASOS (IDEAIS) NOTOU-SE EXPERIMENTALMENTE

QUE $\frac{PV}{nT} = R$ É A MESMA CONSTANTE. ☉

ESSA É A CHAMADA CONSTANTE DOS GASES IDEAIS E VALE

$$R = \frac{P_0 V_0}{T_0 \times 1 \text{ mol}} = \frac{1 \text{ ATM} \times 22,4 \text{ l}}{273,15 \text{ K} \times \text{mol}} \equiv 0,08206 \frac{\text{ATM} \cdot \text{l}}{\text{MOL} \cdot \text{K}} = 1,986 \frac{\text{CAL}}{\text{MOL} \cdot \text{K}}$$

$$= 8,314 \frac{\text{J}}{\text{MOL} \cdot \text{K}}$$

ALTERNATIVAMENTE,

(17)

PODERÍAMOS CONDICIONAR QUE $\frac{PV}{T}$ É PROPORCIONAL AO NÚMERO DE MOLÉCULAS N (QUE É PROPORCIONAL AO NÚMERO DE MOLES). SENDO ASSIM,

$$\frac{PV}{T} = N \times K_B$$

↓
NR. DE MOLÉCULAS

↙ OUTRA QUANTIDADE INTENSIVA

A DIFICULDADE É CONTA O NR. DE MOLÉCULAS. HOJE, OS CIENTISTAS DESCOBRIRAM COMO FAZER ISSO, E NOTARAM QUE $\frac{PV}{NT} \equiv K_B$ É UMA CONSTANTE PARA TODOS OS GASES. ESTA É A FAMOSA CONSTANTE DE BOLZEMANN E VALE

$$K_B = 1,38 \times 10^{-23} \frac{J}{K}$$

NOTE QUE $PV = N K_B T$. COMO $[PV] = \text{ENERGIA}$, N É O NR. DE MOLÉCULAS DO GÁS E K_B É UMA CONSTANTE DA FÍSICA, ENTÃO TEMPERATURA É UMA MEDIDA DE ENERGIA DO GÁS. QUE ENERGIA É ESSA. COMO A ENERGIA DE INTERAÇÃO NO GÁS IDEAL É DESPREZÍVEL, SÓ SOBRA A ENERGIA CINÉTICA DAS MOLÉCULAS.

SENDO ASSIM, A CONSTANTE DE BOLTZMANN PODE SER INTERPRETADA COMO AQUELA QUE DÁ A EQUIVALENCIA ENTRE ENERGIA E TEMPERATURA. (18)

VEREMOS MAIS SOBRE ISSO NA TEORIA CINÉTICA DOS GASES.

o QUAL A RELAÇÃO ENTRE N E n ?

$N = n N_A$, ONDE N_A É UMA CONSTANTE QUE RELACIONA O MICRO COM O MACRO.
↓
NÚMERO DE AVOGADRO

OU CONSTANTE DE AVOGADRO

COMO $PV = nRT = Nk_B T$

$$\Rightarrow N = \frac{R}{k_B} n$$

$$\Rightarrow N_A = \frac{R}{k_B} = 6,022 \times 10^{23} \text{ (MOL)}^{-1}$$

* ~~REVISÃO: ~~REVISÃO DE REVISÃO DE REVISÃO DE REVISÃO~~~~

ATUALIDADE: ~~DE ALGUM LADO ESTÁ SENDO~~

~~EM~~ A PARTIR DE 20 DE MAIO DE 2019, O ESCRITÓRIO INTERNACIONAL DE PESOS E MEDIDAS DEFINIU EXATAMENTE

$N_A = 6,022\ 140\ 76 \times 10^{23} \text{ (MOL)}^{-1}$, OU SEJA, EM 1 MOL DE UMA SUBSTÂNCIA HÁ EXATAMENTE $6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ PARTÍCULAS (MOLECULAS) DAQUELA SUBSTÂNCIA.