

FRENTE: FÍSICA IV

PROFESSOR(A): KEN AIKAWA

ASSUNTO: TERMOMETRIA

EAD – ITA/IME

AULA 01 E 02



Resumo Teórico

Introdução

A todo instante percebemos física. Já reparou como fazemos para ajudar nosso corpo a manter a temperatura aproximadamente constante? Ele possui mecanismos de controle de “temperaturas” eficientes, mas algumas vezes precisa de ajuda. Repare que inconscientemente procuramos tomar líquidos gelados quando estamos num dia quente e ingerimos alimentos quentes em dias frios. Além disso, nossas vestimentas devem ser adequadas para facilitar a troca de “calor” ou para minimizar perdas de calor.

Acredito que será interessante entendermos melhor esses termos utilizados: temperatura e calor.

Passearemos pelo mundo da termodinâmica para compreendermos melhor como ele funciona, conheceremos suas Leis e como elas regem nesse universo.

Começaremos, neste capítulo, estudando a termometria.

Ideia fundamental de temperatura

Se alguém lhe perguntar o que é temperatura, saberia responder rápido? Bom, a primeira coisa que você deve associar a essa pergunta é a relação entre energia térmica. A descrição termodinâmica é sempre uma descrição macroscópica. Imagine se você utilizasse a Segunda Lei de Newton para descrever um sistema de milhares e milhares de partículas. Agora, imagine resolver tal sistema. Muita conta, concorda? Muito bem, podemos imaginar que cada partícula contém uma velocidade e assim atrelamos uma energia cinética a esta. Se olharmos de fora, quanto mais rápido estiverem vibrando essas partículas, mais energia esse sistema terá, de acordo? Dizemos então que, quanto mais energia esse corpo tiver, mais quente esse corpo será e maior será sua temperatura.

Devemos ter cuidado ao medir essa energia. Ao entrarmos em contato com um corpo, através do nosso tato, temos uma sensação subjetiva de seu **estado térmico** (ou seja, percebemos se ele está quente ou frio). Acontece que nosso tato pode nos enganar. Devemos conhecer métodos mais eficazes de medir tal grandeza. Medir o que mesmo? Queremos medir temperatura.

Lei Zero da Termodinâmica

Vamos primeiro conhecer o princípio fundamental de equilíbrio térmico para entender como funcionam os nossos medidores de temperatura.

Um sistema termodinâmico consiste, geralmente, em uma certa quantidade de matéria contida dentro de um recipiente. As paredes podem ser fixas ou móveis (um pistão, por exemplo).

É claro que a qualidade, ou a natureza, das paredes vão influenciar diretamente no nosso sistema. Existem paredes que permitem a condução de energia térmica (**diatérmicas**) e outras que não permitem essa troca com o meio externo (**adiabáticas**).

Quando uma parede diatérmica separa dois meios, dizemos que estes dois meios estão em contato térmico. Se um sistema é cercado por paredes adiabáticas, este será chamado de sistema isolado.

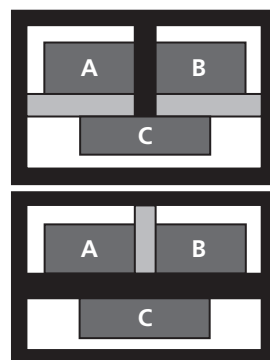
Quando um ou mais sistemas estão isolados, suas variáveis macroscópicas vão mudando com o tempo até um estado em que não há mais variações destas. Quando este estado é alcançado, dizemos que estão em **equilíbrio térmico**.

O tempo que levará para esse equilíbrio ocorrer pode ser gigantesco ou muito rápido. Entenda que essa visão é macroscópica. Por exemplo: é óbvio que se um gás está em equilíbrio térmico não implica dizer que todas as partículas estão no mesmo estado individualmente. Existem flutuações e a termodinâmica estatística resolve esses problemas. Entretanto, estamos trabalhando com física clássica e não nos preocuparemos com isso.

Agora, tomemos três sistemas isolados A, B e C (veja a figura a seguir). Se olharmos para a primeira configuração, podemos concluir que depois de algum tempo A estará em equilíbrio térmico com C, B estará em equilíbrio térmico com C. E se mudarmos para a segunda configuração?

Experimentalmente, percebemos que A e B estarão em equilíbrio térmico entre si. Conhecemos isso como a Lei Zero da Termodinâmica:

Dois sistemas em equilíbrio térmico com um terceiro estão em equilíbrio térmico entre si.



■ Isolante térmico
■ Condutor térmico

Podemos dizer então, intuitivamente, que dois sistemas em equilíbrio térmico entre si possuem a mesma temperatura. Desta forma, a Lei Zero permite afirmar que não precisamos colocar dois sistemas em contato térmico entre si para saber se estão à mesma temperatura, basta usar um terceiro e verificar se ambos estão em equilíbrio térmico entre si. Utilizamos o termômetro de cabaia para ser este terceiro corpo, na realidade **um termômetro mede sua própria temperatura**, visto que quando um termômetro está em equilíbrio térmico com outro corpo, as temperaturas devem ser iguais. Quando a temperatura de dois sistemas é diferente, eles não podem estar em equilíbrio térmico.

Termômetros

Para usar uma temperatura como uma medida, para saber se um corpo está quente ou frio, precisamos construir uma escala de temperatura. Para isso, podemos usar qualquer propriedade do sistema que possa depender do fato de o corpo estar "quente" ou "frio". A figura (a) mostra um sistema familiar usado para medir temperatura. Quando o sistema torna-se mais quente, um líquido (usualmente o etanol ou o mercúrio) se expande e sobe no tubo, e o valor de L cresce. Dizemos, então, que o líquido contido no termômetro é a **substância termométrica** e sua altura é a **propriedade termométrica**. Outro sistema simples é um gás no interior de um recipiente mantido com um volume constante (figura b). A pressão P , medida com o manômetro, aumenta ou diminui à medida que o gás se aquece ou se esfria.

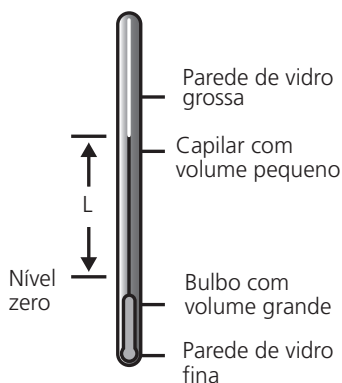


Figura (a)



Figura (b)

Um terceiro exemplo é fornecido pela resistência elétrica R de um fio condutor, a qual varia quando o fio se aquece ou se esfria. Cada uma dessas propriedades fornece um número (L , P ou R) que varia quando o corpo se aquece ou se esfria, de modo que a respectiva propriedade pode ser usada para fazer um termômetro.

A partir de agora, por caráter didático, vamos estudar os termômetros que utilizam a altura como propriedade termométrica (figura a).

Escala Celsius

Uma das escalas termométricas mais utilizadas foi criada por Anders Celsius (1701-1744) a qual utiliza como pontos de referência o valor 0 para a fusão do gelo e 100 para a ebulição.

Admitindo que a relação seja estritamente linear, podemos estabelecer a seguinte conexão da temperatura com as alturas das colunas líquidas atingidas no termômetro.

$$\frac{\theta_V - \theta_G}{h_V - h_G} = \frac{\theta_C - \theta_G}{h - h_G}$$

Sendo:

- θ_V = temperatura do ponto de vapor;
- θ_G = temperatura do ponto de gelo;
- h_V = altura da coluna no ponto de vapor;
- h_G = altura da coluna no ponto de gelo;

Assim, a **temperatura empírica** na escala Celsius é:

$$\theta_C = 100 \frac{(h - h_G)}{(h_V - h_G)}$$

A unidade utilizada aqui, que não pertence ao SI, é chamada de grau Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

Escala Fahrenheit

Daniel Fahrenheit (1686-1736), estabeleceu os seguintes pontos para a sua escala **0** para indicar a temperatura de uma mistura de gelo e cloreto de amônia e **100** para a temperatura do corpo humano.

Posteriormente, com o uso da água como referência, observou-se os valores de **32** para o ponto de gelo e **212** para o ponto de vapor.

Analogamente à escala Celsius, podemos descobrir a temperatura empírica, baseada nas alturas atingidas pelas colunas líquidas no termômetro.

Logo:

$$\theta_F = 180 \frac{h - h_G}{h_V - h_G} + 32$$

A unidade é o grau Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$). Tal escala também não pertence ao SI.

Escala Kelvin

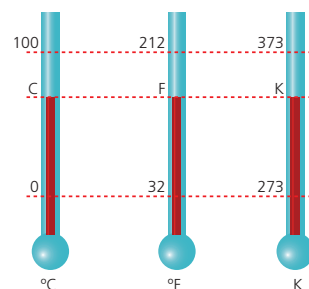
William Thomson (1824-1907), também conhecido como Lord Kelvin propôs uma escala que estabelecesse o valor **0** como a menor temperatura possível de um sistema físico. Nesse estado, não existiria nenhum tipo de movimento molecular (atualmente, sabe-se que se trata de uma situação hipotética).

As principais características dessa escala são:

- É definida como a qual possui temperatura do ponto triplo da água como 273,16K como fixo (Estabelecido em 1954 pelo comitê internacional de pesos e medidas). O ponto do gelo fica a 273K;
- O ponto de vapor fica a 373K;
- Essa escala surgiu da observação teórica de que existe uma temperatura mínima, correspondente à cessação do movimento de agitação térmica dos átomos e das moléculas de um sistema. A essa temperatura dá-se o nome de zero absoluto;
- Sua unidade é o Kelvin (K) e é adotada no SI.

Relação entre escalas

Estabelecendo uma relação de proporção entre as temperaturas



$$\frac{C-0}{100-0} = \frac{F-32}{212-32} = \frac{K-273}{373-273}$$

$$\frac{C}{5} = \frac{F-32}{9} = \frac{K-273}{5}$$

Para as variações de temperatura:

$$\frac{\Delta C}{5} = \frac{\Delta F}{9} = \frac{\Delta K}{5}$$

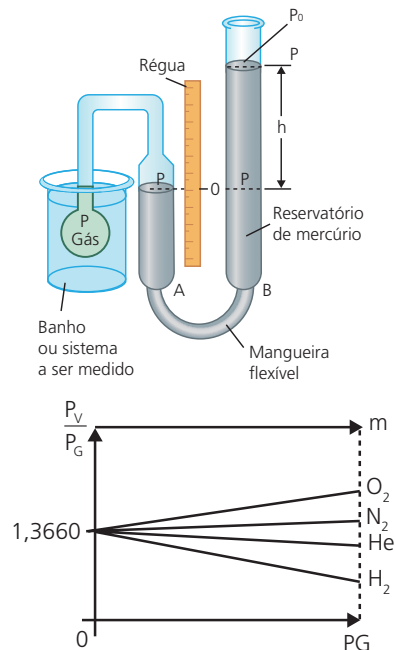


Exercícios

01. Dois termômetros, um Fahrenheit correto e um Celsius inexato, são colocados dentro de um líquido. Acusaram 95 °F e 30 °C, respectivamente. O erro percentual cometido na medida do termômetro Celsius foi de
- A) 5,3%
B) 8,6%
C) 9,5%
D) 14,3%
E) 5%
02. É dado um termômetro **x** tal que 60 °X correspondem a 100 °C; 20 °X correspondem a 20 °C; 0 °X corresponde a 0 °C. As leituras Celsius variam conforme trinômio de segundo grau nas leituras X. Deduzir a equação que dá leituras Celsius em função de leituras X.
03. No dia 1º, à 0 h de determinado mês, uma criança deu entrada em um hospital com suspeita de meningite. Sua temperatura estava normal (36,5 °C). A partir do dia 1º, a temperatura dessa criança foi plotada em um gráfico por meio de um aparelho registrador contínuo. Esses dados caíram nas mãos de um estudante de Física, que verificou a relação existente entre a variação de temperatura ($\Delta\theta$), em graus Celsius, e o dia (t) do mês. O estudante encontrou a seguinte equação:
- $$\Delta\theta = -0,20t^2 + 2,4t - 2,2$$
- A partir dessa equação, analise as afirmações dadas a seguir e indique a correta.
- A) A maior temperatura que essa criança atingiu foi 40,5 °C.
B) A maior temperatura dessa criança foi atingida no dia 6.
C) Sua temperatura voltou ao valor 36,5 °C no dia 12.
D) Entre os dias 3 e 8, sua temperatura sempre aumentou.
E) Se temperaturas acima de 43 °C causam transformações bioquímicas irreversíveis, então essa criança ficou com problemas cerebrais.
04. Em 1851, o matemático e físico escocês William Thomson, que viveu entre 1824 e 1907, mais tarde possuidor do título de Lorde Kelvin, propôs a escala absoluta de temperatura, atualmente conhecida como escala Kelvin de temperatura (K). Utilizando-se das informações contidas no texto, indique a alternativa correta.
- A) Com o avanço da tecnologia, atualmente, é possível obter a temperatura de zero absoluto.
B) Os valores dessa escala estão relacionados com os da escala Fahrenheit (°F), por meio da expressão $K = °F + 273$.

- C) A partir de 1954, adotou-se como padrão o ponto tríplice da água, temperatura em que a água coexiste nos três estados – sólido, líquido e vapor. Isso ocorre à temperatura de 0,01 °F ou 273,16 K, por definição, e à pressão de 610 Pa (4,58 mm Hg).
D) Kelvin é a unidade de temperatura comumente utilizada nos termômetros brasileiros.
E) Kelvin considerou que a energia de movimento das moléculas dos gases atingiria um valor mínimo de temperatura, ao qual ele chamou zero absoluto.

05. Pode-se aplicar a “Lei Zero da Termodinâmica” a dois pedaços de ferro atraídos por um ímã?
06. Em um termômetro de pressão a gás, a volume constante, são ensaiados vários gases em equilíbrio térmico com pontos de calibração bem definidos: gelo de água fundente e vapor de água e água evaporante em equilíbrio termodinâmico. As experiências foram sendo repetidas com os gases cada vez mais rarefeitos, como mostra o gráfico a seguir.



P_V é a pressão de equilíbrio com o vapor, P_g é a pressão de equilíbrio com o gelo, **m** é a massa de gás utilizada dentro do termômetro e O_2 , N_2 , H e H_2 foram os gases ensaiados.

Com base no que foi colocado, faça o que se pede.

- A) Calcule: $\lim_{P_g \rightarrow 0} \frac{P_V}{P_g}$ para qualquer um dos gases.
B) Explique a razão de os gases tornarem-se semelhantes, à medida que $P_g \rightarrow 0$.
C) Com base no gráfico, construa uma escala termodinâmica que possua 100 divisões e calcule a temperatura de fusão e vaporização da água nessa escala.
D) A escala construída em **C** é absoluta? Justifique.
E) Admitindo como ponto de referência o ponto triplo da água ($P_t = 4 \text{ mmHg}$; $T_t = 273,15 \text{ K}$), escreva a temperatura como função da pressão para a condição de que o gás é rarefeito.
F) Qual é a equação que relaciona a escala no item **C** com a escala Celsius?

07. Tentando fazer uma escala politicamente correta, um físico propõe a escala P (Pourlaco-chambré), cuja temperatura indicada em qualquer estado térmico é a média aritmética entre os valores lidos na escala Celsius e a Fahrenheit. Sobre a escala P proposta, é correto afirmar:

- A) Não é de fato uma escala, pois não foram definidos os pontos fixos.
- B) Para uma variação de 20 °C, teremos uma variação de 28 °P.
- C) Sempre apresentará valores maiores do que os lidos na escala Celsius.
- D) O ponto do gelo da escala P é - 10 °P.
- E) O ponto de vapor na escala P é 166 °P.

08. (ITA) Um pesquisador achou conveniente construir uma escala termométrica (escala P) baseada nas temperaturas de fusão e ebulição do álcool etílico, tomadas respectivamente como zero e cem da sua escala. Acontece que, na escala Celsius, aqueles dois pontos extremos da escala do pesquisador têm valores -118 °C e 78 °C. Ao usar o seu termômetro para medir a temperatura de uma pessoa com febre, o pesquisador encontrou 80 °P. Calcule a temperatura da pessoa doente em graus Celsius (°C).

09. (ITA) A Escala Absoluta de Temperaturas é

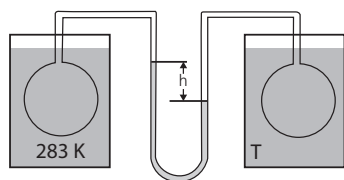
- A) construída atribuindo-se o valor de 273,16 K à temperatura de fusão do gelo e 373,16 K à temperatura de ebulição da água.
- B) construída escolhendo-se o valor -273,15 °C para o zero absoluto.
- C) construída tendo como ponto fixo o "ponto triplo" da água.
- D) construída tendo como ponto fixo o zero absoluto.
- E) de importância apenas histórica, pois só mede a temperatura de gases.

10. (Cesgranrio) Duas escalas termométricas E_1 e E_2 foram criadas. Na escala E_1 , o ponto de fusão do gelo sob pressão de 1 atm (ponto de gelo) corresponde a + 12 e o ponto de ebulição da água sob pressão de 1 atm (ponto de vapor) corresponde a + 87. Na escala E_2 , o ponto de gelo é + 24. Os números x e y são, respectivamente, as medidas nas escalas E_1 e E_2 correspondentes a 16 °C. Se os números 16, x e y formam, nessa ordem, uma Progressão Geométrica, o ponto de vapor na escala E_2 é

- A) 120
- B) 99
- C) 78
- D) 64
- E) 57

11. Na figura, é representado um sistema constituído de dois recipientes esféricos de volumes iguais, que têm capacidade térmica e coeficiente de dilatação desprezíveis. Os recipientes contêm as mesmas quantidades de um gás perfeito. O tubo ligando os dois recipientes contém mercúrio e tem o seu volume desprezível em relação aos recipientes esféricos. O sistema da esquerda está imerso em um recipiente contendo água a 283 k, enquanto o da direita está imerso em um recipiente contendo água em ebulição, o desnível do mercúrio é $h_0 = 100$ mm; caso seja colocado em um recipiente com água a uma temperatura T , o desnível passa a ser $h = 40$ mm. Calcule a temperatura T .

- A) 319 k
- B) 300 k
- C) 293 k
- D) 250 k
- E) 273 k



12. (UEM) Para se quantificarem fenômenos físicos que acontecem ao nosso redor, muitas vezes precisamos realizar medidas das grandezas envolvidas nesses fenômenos. A medida do valor da temperatura, por exemplo, é feita por meio de um aparelho chamado termômetro. Na maioria dos termômetros, as diferentes temperaturas são medidas por meio da variação do comprimento de uma coluna de mercúrio. Analise as proposições a seguir sobre os termômetros e as escalas de temperatura e assinale a(s) correta(s). Considere condições normais de temperatura e pressão.

- 01) Um termômetro de mercúrio pode ser calibrado na escala Celsius de temperatura colocando-o em contato com gelo fundente e marcando-se a altura da coluna como sendo o zero da escala. Em seguida, coloca-se este termômetro em contato com água em ebulição e marca-se a nova altura da coluna de mercúrio como sendo uma centena de graus. Por fim, divide-se a distância entre o ponto 0° C e o ponto 100 °C em cem partes iguais.
- 02) A escala Reamur adota 0 °R para a temperatura de gelo fundente e 80 °R para a temperatura da água em ebulição. Portanto, a equação de conversão da escala Reamur para a escala Celsius é $\frac{t_R}{4} = \frac{t_C}{5}$ onde t_R e t_C são as temperaturas medidas em graus Reamur e em graus Celsius, respectivamente.
- 04) A maioria dos países de língua inglesa adota como escala de temperatura a escala Fahrenheit. Nesta escala, a temperatura de 20 °C corresponde a 36 °F.
- 08) Em um termômetro de mercúrio, graduado na escala Celsius, a coluna apresenta a altura de 0,4 cm quando este está em contato com gelo fundente, e 20,4 cm, na presença de vapores de água em ebulição. A temperatura indicada por este termômetro quando sua coluna líquida apresenta 8,4 cm de altura é de 40 °C.
- 16) Em um determinado dia de verão a meteorologia anunciou que a temperatura da cidade de Maringá ficou entre 25 e 35 °C. Se este anúncio fosse feito na escala Kelvin a amplitude térmica durante este mesmo dia seria de 18K.

13. (G1 - Ifsul) Dois termômetros de mercúrio têm reservatórios idênticos e tubos cilíndricos feitos do mesmo vidro, mas apresentam diâmetros diferentes.

- Entre os dois termômetros, o que pode ser graduado para uma resolução melhor é
- A) o termômetro com o tubo de menor diâmetro terá resolução melhor.
 - B) o termômetro com o tubo de maior diâmetro terá melhor resolução.
 - C) o diâmetro do tubo é irrelevante; é apenas o coeficiente de expansão de volume do mercúrio que importa.
 - D) como o vidro é o mesmo o que importa é o coeficiente de expansão linear para o de maior diâmetro.

14. Em um termômetro termoeletrônico são obtidos os seguintes valores: -0,104 mV para o ponto do gelo e +0,496 mV para o ponto de vapor. Para uma dada temperatura t , observa-se o valor de 0,340 mV. Sabendo que a temperatura varia linearmente no intervalo considerado, podemos dizer que o valor da temperatura t é

- A) 62 °C
- B) 66 °C
- C) 70 °C
- D) 74 °C
- E) n.d.a.

15. Bolômetro é um instrumento sensível no qual se medem temperaturas mediante às correspondentes resistências elétricas de um fio, geralmente de platina. Em um bolômetro, a resistência é $R_g = 100 \Omega$ no ponto do gelo; $R_v = 102 \Omega$ no ponto de vapor; e R varia com a temperatura θ . Adotar como grandeza termométrica a quantidade $\Delta R = R - R_g$ e admitir correspondência linear. Estabelecer as equações termométricas do bolômetro para as escalas Celsius e Fahrenheit, respectivamente.

Gabarito

01	02	03	04	05
D	–	B	E	–
06	07	08	09	10
–	B	–	C	–
11	12	13	14	15
A	–	A	D	–

– Demonstração