



Física: Termodinâmica e Ondas

Aula 4

**Professor Cristiano Cancela da
Cruz**

**Olá, seja bem-vindo à quarta aula da disciplina
“Física: Termodinâmica e Ondas”!**

Nesta aula iremos estudar, em relação aos objetos macroscópicos, o conceito de **temperatura** (uma variável de estado dos objetos) e **calor** (uma forma de energia que pode ser transferida de um corpo para outro, ocasionando mudança na temperatura dos corpos), analisando também a relação existente entre os dois.

Essa transferência de energia pode realizar trabalho mecânico ou ser transformada em outros tipos de energia. A relação existente entre o calor transferido e o trabalho mecânico realizado são descritos pelos princípios básicos da **Termodinâmica**.

O calor tem papel fundamental para o ser humano:

- Nosso corpo necessita ser mantido numa temperatura próxima a $36\text{ }^{\circ}\text{C}$. Além disso, em dias quentes, para nosso maior conforto, necessitamos de ambientes refrigerados por meio de ar-condicionado e, em dias frios, de ambientes aquecidos por meio de aquecedores ambientais.
- Nossa alimentação depende também do calor, visto que alguns alimentos devem ser refrigerados para se manterem frescos e outros devem ser cozidos para que possam ser ingeridos.
- O calor é também importante para o funcionamento de diversas máquinas utilizadas pelo homem, como refrigerador, freezer, ar-condicionado, aquecedores, caldeiras, aquecedor solar, garrafa térmica, motores a combustão entre outros.

Portanto, no estudo da Física Térmica, é importante que se conheça os processos de transformação de calor, bem como a relação existente entre o calor e o trabalho realizado, estudado através da Termodinâmica que está fundamentada na Lei Zero, Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica.

Antes de começar, confira no material *on-line* a videoaula com os comentários iniciais do professor Cristiano!

Contextualizando

No nosso cotidiano, os termos “temperatura” e “calor” costumam ser usados como sinônimos, isso se deve a sensação térmica de quente e frio, como você pode ver a seguir:



Quando
sentimos
calor

Temperatura do ambiente
Temperatura do corpo



Quando
sentimos
frio

Temperatura do ambiente
Temperatura do corpo



Ou seja, quando sentimos frio, relacionamos que a temperatura do ambiente é menor que a temperatura do corpo. Por outro lado, quando sentimos calor, dizemos que a temperatura do ambiente está mais alta que a do corpo. Mas essa sensação pode ser enganosa, vejamos o exemplo de uma experiência prática:

Você está realizando um experimento e deve mergulhar suas mãos dentro de um balde que contém água em temperatura ambiente. O objetivo é definir qual a temperatura da água que está dentro do balde de forma qualitativa, ou seja, indicar se ela está quente ou fria.

Porém, antes de colocar a mão dentro desse balde, você deve primeiro deixar sua mão direita mergulhada em outro balde contendo gelo e água e, ao mesmo tempo, a mão esquerda deve permanecer mergulhada em um terceiro balde com água quente.

Quando for dado o sinal você deverá retirar as duas mãos ao mesmo tempo — a direita da água fria e a esquerda da água quente — e mergulhá-las no balde localizado a sua frente com água em temperatura ambiente.

Provavelmente você irá dizer que para a mão direita a água parece estar quente e para mão esquerda a água deve estar fria. Mas como isso é possível? Sabemos que a temperatura da água deve ser uma só, independentemente da mão que foi mergulhada nela, porém não foi o que aconteceu.

Esse experimento simples é qualitativo e mostra que a sensação do tato não é um bom termômetro, ou seja, não funciona como uma boa referência para definirmos a temperatura de um corpo, isso porque essa informação depende de vários fatores.

É isso que vamos ver a partir daqui. Vamos lá!

No vídeo disponível no material *on-line*, o professor Cristiano traz mais informações sobre a contextualização dos temas que serão trabalhados hoje.

Tema 1: Temperatura e equilíbrio térmico

Como destacamos na Conversa Inicial, a noção de temperatura normalmente está associada à sensação térmica de quente e frio. É comum utilizarmos o tato para avaliar a temperatura de um corpo, mas este procedimento não é preciso, tornando-se muito subjetivo.

Para entendermos a definição de temperatura iremos primeiro observar a estrutura da matéria no estado sólido, líquido e gasoso.

- Em um sólido cristalino, os átomos que compõe o sólido encontram-se fortemente ligados entre si em uma estrutura bem definida chamada **rede cristalina**;
- Em materiais no estado líquido, as ligações moleculares entre as moléculas do líquido são ligações intermediárias;
- Para os gases, essas ligações entre os átomos ou moléculas do gás ou não existem ou são muito fracas.

Devido a essas diferenças no tipo de ligação química, o grau de liberdade para o movimento das partículas que compreendem o objeto, os átomos ou as moléculas, nos diferentes estados da matéria, são menores nos sólidos, intermediário nos líquidos e com maior mobilidade nos gases. Independentemente dessas características, o que importa neste instante é que existe movimento dessas partículas nos três estados.

Figura 1 – Estados da matéria e a configuração das partículas que o compõe



Na Figura 1, ilustra-se os três estados da matéria, as bolinhas azuis representam as partículas da estrutura de cada estado, que podem ser átomos ou moléculas. Nos sólidos a partícula está fixa em um mesmo ponto por ligações químicas, não podendo deslocar-se de uma posição para outra, no entanto ela pode vibrar e girar no mesmo lugar. Já nos líquidos, além de girar e vibrar, as partículas podem se deslocar no interior do líquido de um lado para o outro assim como nos gases, mas neste último, como a distância entre essas partículas é maior se comparado com os líquidos, as partículas têm maior liberdade de movimento.

O movimento dessas partículas tem relação direta com a **temperatura** de um objeto, estando diretamente ligada e determinada pelo **grau de agitação das partículas que compõe esse objeto ou sistema**. Se a temperatura do objeto é mais alta, isso indica maior agitação das partículas desse objeto e conseqüentemente maior energia cinética média dessas partículas. Quando o objeto se encontra a uma temperatura mais baixa, fica caracterizada uma menor agitação dessas partículas.

Acessando o *link* a seguir é possível baixar um interessante simulador que trata dos estados da matéria. Não deixe de conferir!

https://phet.colorado.edu/sims/states-of-matter/states-of-matter_pt_BR.jnlp

Equilíbrio térmico

A tendência de qualquer sistema termodinâmico em repouso é atingir uma condição chamada **equilíbrio térmico**. Para você entender essa regra, imagine a situação retratada:

Você foi fazer um passeio de carro com o objetivo de chegar a uma bela cachoeira que deságua em um tanque natural onde se pode mergulhar e nadar. Depois de três horas viajando em um calor danado, chega no destino, mas para sua surpresa a água encontra-se extremamente gelada, tão gelada que chega a ser insuportável ficar por muito tempo lá.

Sabendo que ficaria com fome, levou uma caixa térmica de isopor, comida e frutas, mas esqueceu o gelo. Depois de um rápido mergulho, resolve comer a melancia que trouxe, mas ao tocá-la, antes de cortar, percebe que ela ficou exposta ao sol e está quente.

Você resolve, então, retirar água gelada da cachoeira, colocar na caixa térmica e mergulhar a melancia ali dentro para resfriá-la. Feito isso, fecha a caixa e aguarda certo tempo até que a melancia esfrie. Mas o que você está esperando? O que está acontecendo dentro da caixa e por que, ao abri-la, a melancia estará com temperatura menor?

Analisando a situação na questão termodinâmica, o sistema termodinâmico que estamos estudando é composto pela água gelada e pela melancia. Os limites geométricos desse sistema são as paredes da caixa térmica de isopor. A

melancia (com temperatura maior) aquece a água, e a água (com temperatura menor) resfria a melancia.

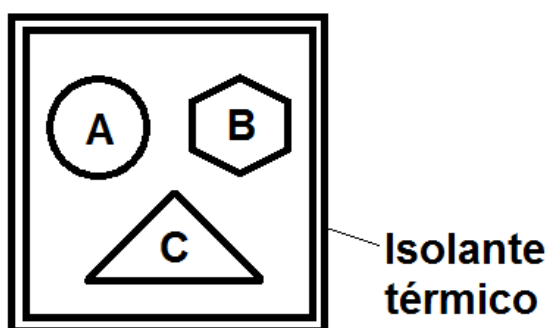
Esse processo de transferência irá ocorrer até que o estado estacionário do sistema seja atingido. Dizemos, então, que o sistema atingiu o equilíbrio, ou seja, não existe mais variação de temperatura da melancia nem da água. Chamamos este estado de **equilíbrio térmico**. Logo, quando dois ou mais objetos apresentam a mesma temperatura, eles estão em equilíbrio térmico.

A função das paredes da caixa de isopor é isolar o sistema termodinâmico, evitando perdas para o meio ambiente, impedindo qualquer tipo de interação entre a parte interna e externa da caixa térmica e evitando, assim, que elas atinjam o equilíbrio térmico.

Lei zero da termodinâmica

Uma propriedade importante do equilíbrio térmico ocorre quando diversos objetos interagem entre eles em um sistema termodinâmico isolado. Por exemplo, colocaremos três objetos distintos, os quais chamaremos de A, B e C, dentro de uma caixa isolante ideal. Esses objetos inicialmente possuem temperaturas diferentes, iremos fechar a caixa e aguardar o equilíbrio térmico. Veja a Figura 2.

Figura 2 – Lei zero da termodinâmica



Depois de certo tempo verificamos que o objeto **A** está em equilíbrio térmico com o objeto **C** e o objeto **B** também se encontra em equilíbrio térmico com o objeto **C**. Logo, os objetos **A** e **B** estão em equilíbrio térmico entre si.

Isso comprova que, em um sistema isolado, a temperatura de todos os objetos que fazem parte do sistema é a mesma. Em outras palavras, todos os objetos estarão em equilíbrio térmico. Apesar de simples e óbvia, essa relação é conhecida como **Lei Zero da Termodinâmica**.

Para mais informações sobre temperatura e equilíbrio térmico, confira no material *on-line* o vídeo do professor Cristiano!

Tema 2: Termômetros e escalas termométricas

Na construção de um termômetro, é necessário escolher uma substância e uma grandeza termométrica que varie linearmente com a temperatura.

Por exemplo, o metal mercúrio colocado em um reservatório (bulbo) ligado em um tubo capilar de vidro, com a variação da temperatura, expande-se, variando a altura da coluna desta substância no tubo capilar. Logo, o mercúrio é uma substância termométrica e a altura da coluna é a grandeza termométrica a ser medida.

Outros exemplos de grandezas termométricas são: o tamanho de uma barra de ferro, a pressão exercida por um gás em um recipiente de volume constante, a resistência elétrica de um fio, a cor emitida pelo cristal líquido entre outras.

A relação entre a grandeza termométrica e a temperatura deve ser linear, de forma que para cada valor da grandeza termométrica, corresponda um único valor de temperatura. É interessante notar que a medida da temperatura é realizada por um processo indireto, deixando o termômetro equilibrar termicamente com o corpo que desejamos medir a temperatura.

Para o processo ser eficaz, é necessário marcar uma escala numérica que meça a grandeza termométrica, mas forneça como resultado a leitura da temperatura.

Apesar dessa escolha dos valores da escala serem arbitrários, costuma-se determinar pontos de referência na escala que permitem, em função deles, determinar outros pontos na escala. Para isso, a escala termométrica é colocada com a escolha dos pontos fixos para esta escala e, normalmente são utilizados os pontos de fusão e ebulição da água sob pressão de 1 atm.

A seguir, você confere as escalas mais utilizadas:

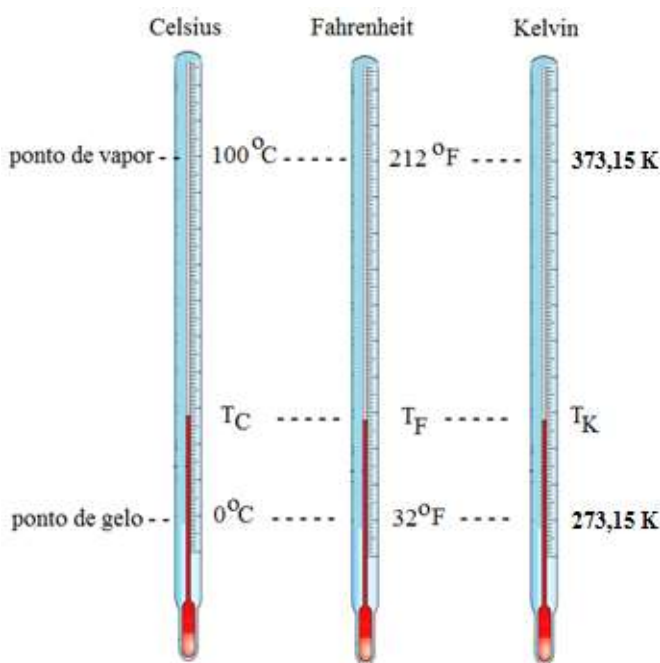
Escala	Ponto fixo inicial (de gelo da água)	Ponto fixo final (de vapor da água)
Celsius	0 °C	100 °C
Fahrenheit	32 °F	212 °F
Kelvin (denominada escala absoluta)	273,15 K	373,15 K

Equação de conversão entre as escalas termométricas

Muitas vezes, é necessário converter os valores de temperatura entre as escalas. Isso pode ser feito por intermédio de uma **equação de conversão**. Iremos mostrar o processo para obtenção dessas equações para as escalas mais usadas: Fahrenheit, Celsius e Kelvin.

A Figura 3 mostra essas três escalas e seus respectivos valores para o ponto de gelo e ponto de vapor da água, clique na imagem e confira:

Figura 3 – Escalas Termométricas



Para construir a equação de conversão entre as escalas, será necessário realizar as médias ponderadas entre as escalas.

$$\frac{T_C - 0}{100 - 0} = \frac{T_F - 32}{212 - 32} = \frac{T_k - 273,15}{373,15 - 273,15}$$

Realizando as simplificações possíveis, obtemos:

$$\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9} = \frac{T_k - 273,15}{5}$$

Para transformar os valores de temperatura de uma escala para outra devemos utilizar as equações aos pares, substituindo o valor da escala conhecida e calculando a outra.

Por exemplo, se o valor conhecido estiver na escala Celsius e precisamos mudar para escala Fahrenheit, devemos utilizar a igualdade:

$$\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9}$$

O valor conhecido é T_C (temperatura Celsius), devemos substituir essa incógnita na equação pelo valor conhecido e calcular T_F (Temperatura Fahrenheit), ou ao contrário, se conhecêssemos T_F (Temperatura Fahrenheit), iríamos substituir a incógnita T_F pelo valor conhecido e em seguida calcular T_C .

Por outro lado, se a mudança ocorrer entre a escala T_C (temperatura Celsius) e a escala T_K (temperatura Kelvin), devemos utilizar a outra parte da equação:

$$\frac{T_C}{5} = \frac{T_k - 273,15}{5}$$

Simplificando:
$$T_C = T_k - 273,15$$

Da mesma forma vista na anterior, substituiremos a incógnita conhecida e calcularemos a outra desconhecida.

Quando o problema tratar de uma variação de temperatura e não de um valor específico, utilizamos a seguinte expressão matemática para realizar as conversões:

$$\frac{\Delta T_C}{5} = \frac{\Delta T_F}{9} = \frac{\Delta T_K}{5}$$

Vimos no início da aula que a agitação das partículas internas do objeto determina sua temperatura. Se aumentarmos a temperatura, aumenta também a agitação das partículas internas que o formam; se diminuirmos a temperatura, diminui também a agitação dessas partículas.

Mas, então, o que deve ocorrer se diminuirmos a temperatura de um objeto gradativamente para valores extremamente baixos?

Em determinado ponto, a agitação das partículas iria cessar e elas ficariam paradas. Neste caso, cabe aqui especial atenção à escala termométrica medida em Kelvin, conhecida como escala absoluta. Ela recebe este nome pois é a única escala que prevê o **zero absoluto**, ou seja, $T_K = 0$.

Se utilizarmos a equação de conversão entre as escalas Celsius e Kelvin, obtemos como resultado:

$$T_C = 0 - 273,15 \qquad T_C = - 273,15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Trata-se de uma temperatura hipotética muito baixa, difícil de ser atingida.

Acesse a Biblioteca Virtual, por meio do Único, e procure pelo livro “Física II”, de Yung e Freedman (São Paulo: Adson Wesley, 2008). Leia os seguintes conteúdos: página 182 — Termômetro de gás e escala Kelvin; página 183 — Exemplo 17.1.

Para mais informações sobre termômetros e escalas termométricas, confira no material *on-line* a videoaula do professor Cristiano.

Tema 3: Expansão térmica

Você já deve ter tido a desagradável experiência de querer abrir um vidro de pepinos em conserva com tampa metálica e não conseguir porque a tampa estava emperrada. Diz a voz da experiência que se você jogar água quente sobre a tampa ela irá afrouxar e poderá ser retirada com facilidade. Tente isso na próxima vez que estiver nesta situação. Mas por que isso é possível?

A explicação se deve ao fato de que a maioria dos materiais quando aquecida sofre um processo de **dilatação térmica**, também chamado de **expansão térmica**.

Os efeitos da dilatação térmica podem ser observados quando o líquido no interior do capilar de vidro de um termômetro se expande com o aumento da temperatura. Em estruturas usadas na construção civil e até mesmo em revestimentos deve-se prever a dilatação dos materiais utilizados na fabricação, por meio de juntas de dilatação.

A teoria aqui desenvolvida irá nos ajudar a prever o quanto um material irá se expandir caso a temperatura aumente ou quando ele irá se contrair caso a temperatura diminua.

Essa variação nas medidas do objeto ocorre sempre nas três dimensões, porém muitas vezes a dilatação de algumas dimensões do objeto são irrelevantes para a aplicação que será utilizado. Nesse caso, calculamos a dilatação apenas nas dimensões pretendidas. Existem três tipos de dilatação:

- **Linear:** ocorre nas situações em que o material tem a forma de um fio, um arame ou uma barra, nas quais existe apenas uma dimensão relevante, que é o comprimento.
- **Superficial:** ocorre nas situações em que o material está na forma de chapa, nas quais existem duas dimensões importantes para dilatação: o comprimento e a largura.
- **Volumétrica:** ocorre nas situações em que as três dimensões são importantes, quando há variação no volume do objeto.

A seguir, você confere uma explicação mais aprofundada em relação a esses três conceitos. Acompanhe!

Dilatação linear

Quando o comprimento do objeto é muito maior que sua largura e altura (um fio metálico ou uma barra, por exemplo), a dilatação pode ser determinada apenas para uma única dimensão, neste caso o comprimento. Com a variação da temperatura, irão ocorrer mudanças nas dimensões do objeto e teremos dois momentos:

- Um inicial, que será caracterizado pelo comprimento inicial L_0 da barra e sua temperatura inicial T_0 ;
- O segundo momento, que ocorrerá quando a barra estiver na temperatura final T . Como a temperatura variou, o comprimento da barra também irá variar chegando a um comprimento final L . Ambas as grandezas sofreram variações, a variação da temperatura $\Delta T = T - T_0$ e a variação do comprimento $\Delta L = L - L_0$.

A dilatação térmica linear será dada pela relação matemática:

$$\Delta L = \alpha L_o \Delta T$$

Se substituirmos $\Delta L = L - L_o$ teremos:

$$L - L_o = \alpha L_o \Delta T$$

$$L = L_o + \alpha L_o \Delta T = L_o (1 + \alpha \Delta T)$$

A constante Δ é chamada de **coeficiente de dilatação linear** e descreve as propriedades de expansão térmica de um dado material. Seu valor depende exclusivamente do tipo de matéria-prima que é feito o objeto. Na próxima página, você vê a Tabela 1 com os valores de Δ para alguns materiais.

Tabela 1 – Coeficientes de dilatação linear

Material	Δ (K ⁻¹ ou °C ⁻¹)
Alumínio	2,4 x 10 ⁻⁵
Aço	1,2 x 10 ⁻⁵
Cobre	1,7 x 10 ⁻⁵
Latão	2,0 x 10 ⁻⁵
Quartzo	0,04 x 10 ⁻⁵
Vidro	0,65 x 10 ⁻⁵

Dilatação superficial

Quando estamos interessados em determinar a dilatação do objeto em duas dimensões, utilizamos a dilatação superficial. Ou seja, a dilatação em relação à área superficial desse objeto.

Utilizaremos a relação:

$$\Delta S = \gamma S_o \Delta T$$

Observação: $\Delta S = S - S_o$

S a área superficial final quando a temperatura é T

S_o a área superficial do objeto quando a temperatura inicial é T_o

Substituindo na equação anterior podemos escrever:

$$S - S_o = \gamma S_o \Delta T$$

$$S = S_o + \gamma S_o \Delta T = S_o (1 + \gamma \Delta T)$$

Neste caso a constante γ é chamada de **coeficiente de dilatação superficial** e seu valor é dado por duas vezes o valor de α .

$$\gamma = 2.\alpha$$

Dilatação volumétrica

O aumento da temperatura na maioria dos materiais produz aumento do volume, seja em sólidos ou em líquidos. Assim como a dilatação linear e a superficial, o aumento do volume também é proporcional à variação de temperatura e ao volume inicial, dado pela relação:

$$\Delta V = \beta V_o \Delta T$$

Como $\Delta V = V - V_o$, substituindo na equação anterior podemos escrever:

$$V - V_o = \beta V_o \Delta T$$

$$V = V_o + \beta V_o \Delta T = V_o (1 + \beta \Delta T)$$

A constante β caracteriza as propriedades de dilatação volumétrica de determinado material e é chamada de **coeficiente de dilatação volumétrica**. Seu valor é baseado nos valores do coeficiente de dilatação linear α . Sendo:

$$\beta = 3 \cdot \alpha$$

Acesse a Biblioteca Virtual, por meio do Único, e procure pelo livro “Física II”, de Yung e Freedman (São Paulo: Adsson Wesley, 2008). Leia os seguintes conteúdos: página 186 (exemplo 17.1) e página 187 (exemplo 17.2).

Para mais informações sobre a expansão térmica, confira no material *on-line* a videoaula do professor Cristiano!

Tema 4: Calorimetria

Diariamente, experimentamos as sensações de quente e frio, que estão relacionadas às trocas de energia térmica entre nosso corpo e o meio ambiente. A calorimetria trata exatamente dessas situações em que há troca de calor entre corpos.

Quantidade de calor (Q)

Quando dois corpos com diferentes temperaturas são colocados em contato atingem, após certo intervalo de tempo, uma temperatura intermediária (equilíbrio térmico) entre as

temperaturas iniciais. Durante este processo, ocorreu uma transferência de energia térmica entre os corpos, devido à diferença de temperatura existente entre eles, esta energia transferida é denominada **quantidade de calor**.

A unidade e quantidade de calor é definida com base na variação de temperatura de materiais específicos. Por exemplo, a **caloria** (cal) é definida como a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1 g de água de 14,5 °C para 15,5 °C.

Como o calor é energia transferida, deve existir uma relação entre a unidade caloria e a unidade utilizada para medir energia mecânica, o Joule. Experiências mostram que, no sistema internacional de unidades, a unidade de caloria pode ser expressa em Joule (J) pela seguinte relação:

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$$

Capacidade térmica (C)

Observa-se experimentalmente que a quantidade de calor cedida a um corpo é diretamente proporcional a correspondente variação de temperatura sofrida pelo corpo. Define-se como capacidade térmica a razão entre esta quantidade de calor trocada pelo corpo e a variação de temperatura sofrida por ele. Clique na fórmula e veja o que representa cada um dos itens:

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

C = capacidade térmica.

Q = quantidade de calor.

ΔT = variação de temperatura.

Calor específico (c)

Calor específico de uma substância é uma grandeza física que define a variação térmica, ou seja, a variação da temperatura desta substância ao receber determinada quantidade de calor. Pode ser chamado de **capacidade térmica mássica**, pois não depende da massa de substância e sim do material que é feito.

O calor específico é um valor constante para cada substância em cada estado físico (sólido, líquido ou gasoso). Pode-se dizer que o calor específico caracteriza uma substância em determinado estado físico.

A unidade no Sistema Internacional de Unidades é $\frac{J}{kg.K}$ (joule por quilograma Kelvin). Outra unidade mais usual para o calor específico é $\frac{cal}{g^{\circ}C}$ (caloria por grama grau Celsius).

É possível calcular o calor específico (**c**) de uma substância a partir da capacidade térmica (**C**) de um objeto composto por ela e da massa (m) desse corpo:

$$c = \frac{C}{m}$$

Também é possível determinar o calor específico de uma substância a partir da quantidade de calor cedida (**Q**) a um corpo dessa substância, da variação da temperatura (ΔT) que ele sofre e da massa desse corpo:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

É possível, ainda, estabelecer a relação da troca de calor entre substâncias, na qual a soma das trocas de calor deve ser igual a zero:

$$\Sigma Q=0$$

Tabela 2 - Calor específico de algumas substâncias

Substância	Calor específico (cal / g °C)
Água	1,0
Alumínio	0,22
Chumbo	0,031
Gelo	0,5
Ouro	0,032

Equação fundamental da calorimetria

Quando um corpo recebe ou perde uma quantidade de calor, produzindo uma variação da temperatura, esta quantidade de calor é denominada **calor sensível** e pode ser calculado através da seguinte equação:

$$Q = m . c . \Delta T$$

Se o corpo perdeu calor, a quantidade **Q** será negativa, se ele recebe calor a quantidade de calor **Q** será positiva.

Princípio das trocas de calor

Quando dois corpos **A** e **B**, com temperaturas diferentes, são colocados próximos um do outro ou em contato, eles trocam calor entre si até atingirem o equilíbrio térmico. Se o sistema formado pelos dois corpos não trocar

energia com o ambiente, isto é, se for um sistema termicamente isolado, a quantidade total de calor trocada entre os corpos será nula.

$$Q_A + Q_B = 0$$

Note que a quantidade de calor cedida por **A** (Q_A) é igual, em valor absoluto, à quantidade de calor recebida por **B** (Q_B).

Considerando um sistema com **n** corpos, a quantidade de calor recebida por alguns corpos será igual à quantidade de calor cedida pelos outros corpos.

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = 0$$

Os recipientes utilizados para estudar a troca de calor entre os corpos são denominados **calorímetros** e não permitem perdas de calor para o meio externo formando no seu interior um sistema termicamente isolado.

Calorimetria e mudança de fase

A palavra “fase” é utilizada para designar o estado da matéria em que se encontra determinado objeto, que pode ser sólido, líquido ou gasoso.

Se tomarmos a água como exemplo, sabemos que ela pode se encontrar na fase sólida, quando está na forma de gelo; na fase líquida, como água; e na fase gasosa formando o vapor d’água. No entanto, essas fases podem se modificar fazendo com que ocorra uma transição ou mudança de fase.

Figura 4 – Processos de transição de fases



Se a pressão do sistema for mantida constante, ao fornecermos calor para o objeto ou retiramos calor dele no momento da mudança de fase, a temperatura de mudança de fase desse objeto também é constante e bem definida.

Por exemplo, quando a água no estado sólido se transforma em líquido, o processo de mudança de fase chama-se fusão ou liquefação. Se a pressão atmosférica for constante e igual a 1 atm, e fornecermos calor para o gelo, a temperatura de mudança de fase será 0 °C e ela não irá aumentar até que todo gelo seja fundido.

O calor adicionado ao gelo não faz a temperatura do gelo aumentar, mas sim produz uma mudança de fase do estado sólido para o líquido. O calor necessário para que a mudança de fase ocorra é chamado de calor de fusão ou calor latente de fusão, simbolizado por L_f .

O calor de fusão para a água, desde que a pressão seja mantida igual a 1 atm, é dado por:

$$L_f = 3,34 \times 10^5 \frac{J}{kg} = 79,6 \frac{cal}{g} = 143 \frac{Btu}{lb}$$

Cada material possui seu valor de calor latente de fusão. De maneira geral, para ocorrer fusão de determinado objeto de massa m , o calor necessário para que o processo ocorra será determinado por:

$$Q = m.L_f$$

Para que ocorra o processo reverso (ou seja, para que ocorra a solidificação, que é mudança do estado líquido para o sólido) a mesma quantidade de calor estará envolvida, porém neste caso, deveremos retirar calor do sistema. O módulo do calor envolvido será o mesmo utilizado para a fusão, mas neste caso ele será negativo. Portanto:

$$Q = \pm m.L$$

Esta equação é válida para qualquer que seja a transição de fase, por exemplo para ebulição da água ou vaporização (mudança da fase líquida para a fase gasosa) que ocorre na temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. O calor correspondente é o calor latente de vaporização L_v , que a pressão constante de 1 atm assume o valor:

$$L_v = 2,256 \times 10^6 \frac{J}{kg} = 539 \frac{cal}{g} = 970 \frac{Btu}{lb}$$

Assim como a fusão, a ebulição também é uma transição de fase reversível. Quando retiramos calor de uma substância que se encontra na fase gasosa e na temperatura de ebulição, o gás sofre mudança de fase passando para fase líquida. Ele sofre condensação, liberando para o ambiente a mesma quantidade de calor que foi necessária para vaporizá-lo.

Na Tabela 3, estão listados os valores do calor de ebulição e de vaporização para diversas substâncias e também os valores da temperatura de fusão e ebulição de cada uma.

Tabela 3 – Calor de fusão e calor de vaporização

Substância	Ponto de fusão normal		Calor de fusão, L_f (J/kg)	Ponto de ebulição normal		Calor de vaporização, L_v (J/kg)
	K	°C		K	°C	
Hélio	*	*	*	4,216	-268,93	$20,9 \times 10^3$
Hidrogênio	13,84	-259,31	$58,6 \times 10^3$	20,26	-252,89	452×10^3
Nitrogênio	63,18	-209,97	$25,5 \times 10^3$	77,34	-195,8	201×10^3
Oxigênio	54,36	-218,79	$13,8 \times 10^3$	90,18	-183,0	213×10^3
Álcool etílico	159	-114	$104,2 \times 10^3$	351	78	854×10^3
Mercúrio	234	-39	$11,8 \times 10^3$	630	357	272×10^3
Água	273,15	0,0	334×10^3	373,15	100,0	2256×10^3
Enxofre	392	119	$38,1 \times 10^3$	717,75	444,60	326×10^3
Chumbo	600,5	327,3	$24,5 \times 10^3$	2023	1750	871×10^3
Antimônio	903,65	630,50	165×10^3	1713	1440	561×10^3
Prata	1233,95	960,80	$88,3 \times 10^3$	2466	2193	2336×10^3
Ouro	1336,15	1063,0	$64,5 \times 10^3$	2933	2660	1578×10^3
Cobre	1356	1083	134×10^3	1460	1187	5069×10^3

* É necessário aplicar uma pressão maior do que 25 atm para fazer o hélio solidificar. A 1 atm de pressão, o hélio permanece líquido até o zero absoluto.

Acesse a Biblioteca Virtual, por meio do Único, e procure pelo livro “Física II”, de Yung e Freedman (São Paulo: Adsson Wesley, 2008). Leia os seguintes conteúdos: página 196 (exemplo 17.2) e página 197 (exemplo 17.9).

Para mais informações sobre calorimetria, confira no material *on-line* a videoaula do professor Cristiano!

Tema 5: Mecanismos de transferência de calor

Ao cozinhar, usamos normalmente uma panela de ferro ou de alumínio para que o calor fornecido pela chama do fogão seja transferido aos alimentos. Por outro lado, quando colocamos um alimento na geladeira, buscamos que a temperatura permaneça baixa, cabendo às paredes da geladeira impedir que o calor passe e aqueça os alimentos.

Portanto, temos dois tipos de materiais: os condutores de calor (no caso, o material com que é feita a panela) e os

isolantes de calor, que impedem que o calor seja transferido (no caso, as paredes da geladeira).

Para entendermos o funcionamento desses materiais, devemos analisar como o calor é transferido de um corpo ao outro ou de um sistema para outro. Existem três maneiras de o calor ser transferido: pelo processo de condução, de convecção e de radiação. Clique em cada um para mais informações!

Condução

Ocorre no interior dos objetos ou entre dois objetos quando estes estão em contato um com o outro. A condução de calor é feita de átomo a átomo do material, simplesmente pela agitação térmica.

Por exemplo, se pegarmos uma colher metálica e segurarmos uma das extremidades, colocando a outra na chama do fogão, os átomos que se encontram na extremidade da colher que está em contato direto com a chama recebem calor, aumentando a sua temperatura. Como vimos, esse aumento de temperatura é caracterizado pela agitação térmica desse átomo, ou seja, esse átomo específico irá se agitar mais.

Tal agitação faz com que o átomo colida com os átomos vizinhos, transferindo sua energia devido às colisões. Os átomos que receberam essa energia passam agora a se agitar mais devido ao aumento de temperatura, ocasionando mais colisões e conduzindo ao aumento de temperatura ao longo de toda a colher. A transferência de calor por condução ocorre sempre entre regiões de temperatura diferentes, com sentido da região de maior temperatura para região de menor temperatura.

Convecção

Transferência de calor que ocorre nos líquidos e gases e depende do movimento das partículas dessas substâncias.

O movimento dessas partículas do fluido ocorre por diferença de densidade de um local do fluido para outro. Quando parte do fluido está em menor temperatura, a densidade dessa região é maior, fazendo com que essa parcela do fluido desça. Já as outras regiões com temperatura maior sofrem expansão térmica, ocasionando a subida dessas partículas no fluido. Ou seja, na convecção, as regiões do fluido de maior temperatura sobem e as regiões de menor temperatura descem.

Radiação

É a transferência de calor que ocorre pela radiação eletromagnética. Um exemplo é a radiação solar, que parte do sol e atravessa uma região enorme do espaço vazio chegando até a Terra e aquecendo-a.

Você já deve ter sentido o calor da radiação solar ou o intenso calor emitido pelas brasas do carvão de uma churrasqueira. O calor proveniente nesses casos atinge você por radiação e não por condução ou convecção do ar.

Para mais informações sobre os mecanismos de transferência de calor, confira no material *on-line* o vídeo do professor Cristiano!

Trocando Ideias

Ficou com alguma dúvida ou tem um material interessante para compartilhar? Então entre no fórum! Veja também o que seus colegas têm a dizer, esse é o momento de compartilhar informação e conhecimento, não deixe de participar!

Na Prática

Acesse o material *on-line* e confira o vídeo do professor Cristiano, no qual são resolvidos alguns exercícios.

Síntese

Chegamos ao final de nossa quarta aula! Que tal rever os tópicos que foram trabalhados?

- Temperatura e equilíbrio térmico;
- Termômetros e escalas termométricas;
- Expansão térmica;
- Calorimetria;
- Mecanismos de transferência de calor.

Na videoaula disponível no material *on-line*, o professor Cristiano faz os comentários finais a respeito desses conteúdos. Confira!

Referência

YOUNG; FREEDMAN. **Física II** – Termodinâmica e Ondas. 12. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.