

F 809 – INSTRUMENTAÇÃO PARA ENSINO

2º Semestre de 2005

Coordenador: José Joaquim Lunazzi

Relatório Final

Experimentos de Física Térmica com materiais de baixo custo

Data de finalização

25/11/2005

Aluna: Juliana Miyoshi

R.A.: 009006

julianamiyoshi@gmail.com

Orientador: Dirceu da Silva

dirceuds@uol.com.br



Resumo

Esse projeto tem como finalidade a construção de experimentos de Física Térmica usando materiais de fácil obtenção, facilitando o manuseio pelos professores em sala de aula, possibilitando a discussão de conceitos teóricos do tema através de experimentos.

Introdução

Na primeira parte desta pesquisa, procuramos entender melhor os fenômenos envolvidos em cada um dos experimentos abordados nesse projeto, e analisamos as melhores maneiras de se construir os aparatos experimentais.

Além disso, a fim de compreender melhor como os alunos adquirem conhecimento sobre os conceitos de física térmica, analisamos, de forma bem superficial, mas que, para o presente estudo, se mostrou satisfatória, os livros didáticos que os alunos possuem e suas concepções prévias sobre o assunto.

O breve estudo nos mostrou que, muitos alunos, ainda estão extremamente ligados à idéias puramente teóricas e burocráticas sobre o assunto, se limitando a apenas descrever o que estava escrito nos livros didáticos. Dessa forma, a construção de aparatos experimentais para a demonstração de conceitos físicos, no caso, os de física térmica, se mostrou de um valor muito grande, pois possibilitou que os alunos entrassem mais em contato com o “mundo” empírico e pudessem vivenciar melhor como alguns conceitos aprendidos em sala de aula se aplicam no cotidiano, como foi o caso da máquina térmica.

Os aparatos foram construídos de forma tal, para que pudessem ser transportados e manuseados facilmente tanto por professores quanto por alunos, sem a necessidade de laboratórios didáticos para a realização dos mesmos. Além disso, o custo dos materiais adquiridos para a construção do mesmo foi muito baixo, quando se compara com o custo de outros experimentos, o que possibilita que uma grande parte de aparatos, que demonstrem os mais variados experimentos possam ser construídos.

Os fenômenos envolvidos

- PROPAGAÇÃO DE CALOR POR CONDUÇÃO

Nesse experimento vamos analisar a condução de calor num pedaço de madeira e num pedaço de cobre, que são expostos a uma chama.

Teoria

Podemos entender o fenômeno da seguinte maneira: suponha que uma pessoa esteja segurando uma das extremidades de uma barra metálica e a outra extremidade em contato

com uma chama. Os átomos ou moléculas desta extremidade, aquecida pela chama, adquirem uma maior energia de agitação. Parte dessa energia é transferida para as partículas da região vizinha a esta extremidade e, então, a temperatura desta região também aumenta. Este processo continua ao longo da barra e, após um certo tempo, a pessoa que segura a outra extremidade perceberá uma elevação de temperatura neste local.

Houve, portanto, uma transmissão de calor ao longo da barra, que continuará enquanto existir uma diferença de temperatura entre as duas extremidades. Observe que esta transmissão foi feita pela agitação dos átomos da barra, transferida sucessivamente de um para o outro, sem que estes átomos sofressem translação ao longo do corpo. Este processo de transmissão de calor é denominado *condução*. A maior parte do calor que é transferido através dos corpos sólidos é transmitida, de um ponto a outro, por condução.

Dependendo da constituição atômica de uma substância, a agitação térmica poderá ser transmitida de um átomo para outro com maior ou menor facilidade, fazendo com que esta substância seja boa ou má condutora de calor. Assim, os metais, por exemplo, são bons condutores de calor, enquanto outras substâncias, como o isopor, a cortiça, a porcelana, a madeira, o ar, o gelo, a lã, o papel etc., são isolantes térmicos, isto é, conduzem mal o calor.

- MUDANÇA DE ESTADO (I e II)

Nestes dois experimentos, utilizamos parafina e água para mostrar a mudança de estado das duas substâncias e conceitos de fusão, solidificação, evaporação e condensação.

Teoria

Fusão: consideremos um sólido cristalino, recebendo calor, como mostra a figura 3. Esta energia recebida pelo sólido provoca um aumento na agitação dos átomos na rede cristalina, ou seja, provoca uma elevação na temperatura do corpo. Quando a temperatura alcança um determinado valor, a agitação térmica atinge um grau de intensidade que é suficiente para desfazer a rede cristalina. Então, a organização interna desaparece, a força entre os átomos ou moléculas torna-se menor e, conseqüentemente, essas partículas terão maior liberdade de movimentação. Em outras palavras, ao atingir aquela temperatura, o corpo passa para o estado líquido, isto é, ocorre a *fusão* do sólido.

Solidificação: na solidificação, os processos ocorrem em sentido inverso ao da fusão. Desta maneira, se retirarmos calor de um líquido, sua temperatura diminui e, quando ela

atinge um certo valor, inicia-se a solidificação. A experiência mostra que esta temperatura é a mesma na qual ocorreu a fusão. Durante a solidificação, a temperatura permanece constante e devemos retirar do líquido a mesma quantidade de calor, por unidade de massa, que fornecemos para que ocorresse a fusão. Em outras palavras, o calor latente de solidificação é igual ao calor latente de fusão.

Ebulição: quando a temperatura de um líquido atinge um determinado valor, observa-se uma formação rápida e tumultuosa de vapores, isto é, o líquido entra em ebulição. Durante a ebulição, apesar de se fornecer calor ao líquido, sua temperatura permanece constante e o vapor que vai sendo formado encontra-se à mesma temperatura do líquido.

Condensação: retirando-se calor do vapor de uma substância que esteja a uma temperatura superior ao seu ponto de ebulição, a temperatura do vapor diminuirá e, quando ela atingir o valor no qual ocorreu a ebulição, o vapor começará a se condensar (liquefazer), isto é, o ponto de condensação é igual ao ponto de ebulição. Sendo a condensação um processo inverso ao da vaporização, o vapor deverá liberar calor para se liquefazer, sendo o calor latente de condensação igual ao calor latente de vaporização.

- **DISSIPACÃO DE ENERGIA TÉRMICA**

Neste experimento, a intenção é mostrar ao aluno como ocorre o processo de dissipação de energia térmica.

Teoria

O que observamos é como ocorre a dissipação de calor quando colocamos um copo de plástico vazio ou um copo cheio de água sobre uma chama. No copo vazio, ocorre menor dissipação de energia, pois o ar que o envolve dissipa muito pouco, o que faz com que o copo queime facilmente. Mas com o copo cheio de água, a dissipação é maior, devido à presença da água e, desta forma, o copo não derrete, mantendo suas características normais.

- **MÁQUINA TÉRMICA**

O objetivo deste experimento é mostrar como funciona uma máquina térmica, com o uso de um modelo muito simples dela.

Teoria

Sabemos que somente no século passado os cientistas conseguiram estabelecer definitivamente que o calor é uma forma de energia. Entretanto, sabia-se, desde a Antiguidade, que o calor podia ser usado para produzir vapor e este era capaz de realizar um trabalho mecânico. Esta idéia foi usada pelo inventor grego Heron, que no século I d.C. construiu um dispositivo do seguinte tipo: o vapor formado pelo aquecimento da água, ao escapar pelos orifícios mostrados na figura, colocava em rotação uma esfera de metal.

Em linguagem moderna, dizemos que este aparelho de Heron é uma máquina térmica, isto é, um dispositivo que transforma calor em trabalho mecânico. Entretanto, a máquina de Heron não foi usada com objetivo prático, para produzir grandes quantidades de energia mecânica. Somente no século XVIII vieram a ser construídas as primeiras máquinas térmicas capazes de realizar trabalho em escala industrial.

O aparato construído se assemelha à máquina térmica de Heron.

Aparato experimental

Para cada aparato, estão listados os materiais obtidos, custo final de cada um deles e as fotos dos experimentos.

MUDANÇA DE ESTADO E TRANSFERÊNCIA DE CALOR

- Pedaco de madeira de 46 x 50 cm
- Pedaco de madeira de 46 x 20 cm
- 4 pedacos de madeira de 16 x 2 cm
- 4 pedacos de madeira de 6 x 2 cm
- Palito de madeira
- Pedaco de arame grosso
- 2 tampas de metal
- 1 tampa de plástico ou de vidro
- Vela

Custo total: R\$ 16,50

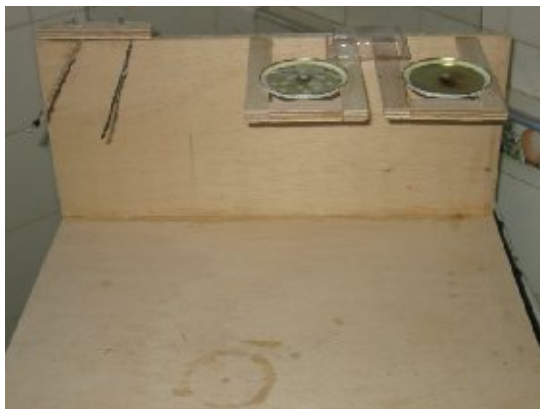


Figura 1 – Aparato dos experimentos de TRANSFERÊNCIA DE CALOR e MUDANÇA DE ESTADO



Figura 2 – Palito de madeira exposto à chama. A parafina não derrete devido à baixa condutividade térmica da madeira.



Figura 3 – Peça de metal com parafina sólida.



Figura 4 – O metal é exposto à chama. À medida que o calor é transmitido pelo metal, a parafina vai derretendo. Depois de um pequeno intervalo de tempo, a parafina já está totalmente derretida.



Figura 5 – Tampa metálica com parafina exposta à chama. A parafina passará do estado sólido para o estado líquido.



Figura 6 – Após um pequeno intervalo de tempo, grande parte da parafina já está em estado líquido.



Figura 7 – Tampa metálica com gotas de água.

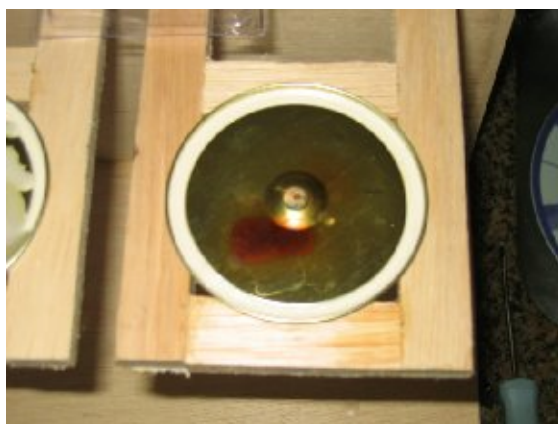


Figura 8 – Exposta à chama, a água evapora em poucos segundos.



Figura 9 - Mas, se colocarmos uma tampa de plástico durante a evaporação, o vapor de água se condensará na tampa de plástico, formando pequenas gotículas de água, dando um ar esbranquiçado.

Observações

- O ponto de fusão da parafina é a cerca de 60°C.

- É recomendável que se use uma tampa ou recipiente de vidro no experimento de mudança de estado para a água, pois o plástico derreterá se entrar em contato com a chama da vela.

DISSIPACÃO DE ENERGIA TÉRMICA

- Pedaco de madeira de 46 x 50 cm
- Pedaco de madeira de 46 x 20 cm
- 4 pedacos de madeira de 16 x 2 cm
- 4 pedacos de madeira de 6 x 2 cm
- Copos de plástico
- Vela

Custo total: R\$ 13,00



Figura 10 – Aparato para o experimento de DISSIPACÃO DE ENERGIA TÉRMICA. Do lado esquerdo da figura, um copo de plástico vazio, e do lado direito, um copo com um pouco de água.



Figura 11 – Quando o copo vazio é exposto à chama de uma vela, ele derrete rapidamente.

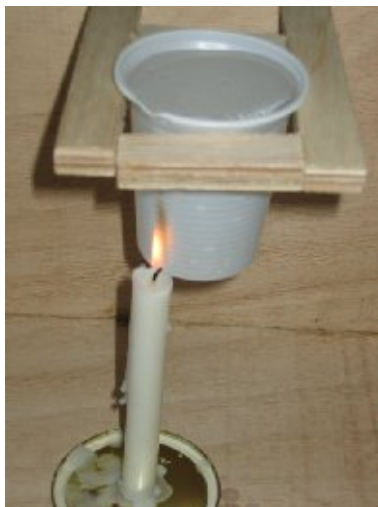


Figura 12 – Para o copo com água, o mesmo não acontece, pois a água dissipa o calor da chama.

Observações

- Deve-se tomar muito cuidado ao expor o copo de plástico vazio à chama, pois ele derrete rapidamente. Dessa forma, assim que visualizar o derretimento do plástico, sopre para cessar o fogo.

MÁQUINA TÉRMICA

- Peça de madeira de 46 x 50 cm
- Peça de madeira de 46 x 20 cm
- Peça de madeira de 25 x 2 cm
- Barbante
- Latas de refrigerante
- Parafusos

Custo total: R\$ 12,00



Figura 13 – Aparato para a MÁQUINA TÉRMICA. Com o vapor de água saindo pelos furos oblíquos na lata, a mesma começa a girar.

Observações

- Para que a máquina térmica funcione, é necessário expô-la sobre uma chama forte e constante. Por isso, recomendado o uso de um Bico de Bunsen, o instrumento mais fácil de ser encontrado nos laboratórios escolares.

Conclusão

O projeto nos mostrou que podemos trabalhar com experimentos muito didáticos através do uso de poucos recursos, possibilitando que tanto o aluno quanto o professor tenham maior contato com alguns conceitos aprendidos em sala de aula através de observações.

Além disso, conseguimos construir três aparatos que mostram quatro experimentos, sendo os mesmos fáceis de manusear e transportar.



Figura 14 – Conjunto dos três aparatos.

É importante lembrar que um dos intuitos do projeto era aprimorar os experimentos descritos no site de pesquisadores da Unesp (<http://www.fc.unesp.br/experimentosdefisica/>), fazendo com que os aparatos se tornassem fáceis de manusear e que fossem os mais compactos possíveis, para evitar que um espaço desnecessário fosse ocupado.

Além disso, salientamos que esse projeto pode ser o primeiro de muitos no mesmo estilo, a fim de formar todo um conjunto de experimentos com materiais de baixo custo, abordando os mais variados temas tanto da Física quanto de outras áreas científicas.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer imensamente ao apoio do coordenador José Joaquim Lunazzi e do meu orientador Dirceu da Silva.

Comentários do coordenador

- Projeto aprovado com a condição de também desenvolver um experimento mais complexo.
- Projeto aprovado. Terá de apresentar o trabalho no FISICSAE.
- Nota 3: o relatório não da evidência alguma de ter começado o trabalho experimental. Sendo um experimento tão simples, alguns experimentos já deviam ter sido feitos.
- RP nota 7.

Referências

- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física*, vol. 2. 6a edição, Livros Técnicos e Científicos Editora. Rio de Janeiro – RJ, 2002.
- MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. *Curso de Física*, vol. 2, Editora Scipione. São Paulo – SP, 2000, pp. 119-120, 138-142.

- CALÇADA, C.S.; SAMPAIO, J.L. *Física Clássica – Termologia, fluidomecânica, análise dimensional*. Atual Editora. São Paulo – SP, 1998.
- Experimentos de Física com materiais do Dia-Dia - <http://www.fc.unesp.br/experimentosdefisica/>

Propagação de calor por condução

Objetivo

O objetivo do experimento é mostrar a propagação de calor por condução utilizando um bom e um mau condutor de calor.

Contexto

A propagação de calor pode ocorrer de três modos: por condução, convecção e irradiação. Enquanto a propagação por irradiação se dá mesmo na ausência de matéria (vácuo), a propagação por condução exige o contato entre os objetos que trocarão calor e a propagação por convecção envolve a movimentação da matéria. Quando colocamos uma panela com água no fogo para esquentar, podemos observar a propagação de calor dos três modos. Por condução: o calor do fogo se propaga para a panela que está em contato com ele; este calor se propaga também por condução para a água, que está em contato com a panela. Por convecção: a água que está em contato com o fundo da panela se aquece, sua densidade diminui (fica mais leve) e ela sobe, enquanto a água fria da superfície (mais pesada) desce para o fundo. Por irradiação: se tiramos a panela do fogo e aproximamos a mão de seu fundo, sentiremos um aumento de temperatura. O calor sentido não chegou por condução (pois não havia contato) nem por convecção (pois o ar quente sobe), pois a radiação independe da existência ou movimentação de matéria para se propagar. Outro exemplo de propagação por irradiação é a energia térmica do sol, que chega até nós pela propagação através do espaço, que é quase um vácuo perfeito. Neste experimento veremos a propagação de calor por condução e também a resistência oferecida à esta propagação por dois materiais diferentes: um fio elétrico e um palito de madeira.

Idéia do experimento

A idéia é mostrar a propagação de calor por condução através de dois materiais diferentes: um fio elétrico, que conduz bem o calor, e um palito de madeira, que conduz mal o calor. Para isso pingamos gotas de vela com espaçamento constante no fio e no palito. Em seguida aquecemos uma das extremidades do fio. As gotas de vela vão se derretendo conforme o fio vai se aquecendo. Ou seja:

conforme o calor vai se propagando no fio, as gotas de vela vão se derretendo. O mesmo não acontece quando aquecemos uma das extremidades do palito, pois a madeira não conduz calor tão bem quanto o metal. Portanto, quando se aquece uma das extremidades do palito, as gotas de vela não derreterão do mesmo modo como derreteram quando o fio foi aquecido.

Tabela do material

<i>Item</i>	<i>Observações</i>
Fio de cobre	fio elétrico de aproximadamente 15 centímetros de comprimento e de 2 ou 3 milímetros de diâmetro
Palito de madeira	de dimensões similares ao fio elétrico; em algumas regiões do país encontra-se na forma de espetinhos para churrasco.
Vela	vela comum
Fósforo ou isqueiro	para acender a vela
Lata	lata de refrigerante
Prego e martelo	para furar a lata
Papel alumínio	para enrolar o local onde o fogo entrará em contato com o palito de madeira

Montagem

- Faça um furo próximo à borda superior da lata de tal forma que o palito e/ou fio passe pelo furo.
- Pingue algumas gotas de vela sobre o fio, com espaçamentos aproximadamente iguais.
- Espere alguns segundos para que a parafina (vela) endureça sobre a superfície do fio.
- Acenda a vela na extremidade do fio.
- Após alguns segundos percebe-se o resultado: a parafina começará a derreter, começando do ponto mais próximo de onde está sendo aquecido até a outra extremidade.
- A seguir repita o procedimento acima para o palito.

Comentários

- Se a lata não parar em pé devido ao peso do fio, coloque água ou areia dentro da lata para equilibrar o peso.
- Tenha cuidado ao manusear a vela quando acesa.

- Se vela for maior do que a lata, então corte um pedaço dela para que fique do mesmo tamanho da lata.
- Utilize uma folha de papel sulfite ou similar por baixo do esquema do experimento para que a parafina não suje a mesa que está sendo utilizada.
- Ao realizar a experimento com o palito, cubra com papel alumínio a parte que estará em contato com a chama para evitar que esta pegue fogo.
- Durante a execução, ou no término do experimento, nunca toque na superfície do fio, pois esta estará aquecida podendo causar queimaduras.
- Os pingos de vela são usados para que não seja necessário a utilização do tato para sentir a propagação de calor.
- Pode-se fazer este experimento com duas latas, aquecendo o fio e o palito ao mesmo tempo.

MUDANÇA DE ESTADO - 1

Objetivo

Mostrar que, a uma certa temperatura, os materiais mudam de estado.

Contexto

A troca de calor entre materiais, ou seja, propagação de energia térmica, pode causar mudanças nos materiais que trocam energia. As principais mudanças que podem ocorrer num material devido à variações de sua energia térmica são: variação da temperatura, variação de volume e mudança de estado físico.

Todos os materiais são formados por moléculas (menor parte da matéria que conserva as características de uma substância), sendo que a maioria dos materiais que encontramos na natureza são formados pela mistura de diferentes substâncias. O efeito do aumento de energia térmica num material é o aumento da velocidade com que as moléculas se movem (vibram) no material. O aumento de temperatura se dá por que a temperatura que sentimos é um indicativo da energia cinética com que as moléculas estão vibrando, ou seja, o quão rápido as moléculas estão se movimentando. O estado físico de um material, sólido, líquido ou gasoso, é devido à interação elétrica existente entre as moléculas das substâncias de que é formado o material. Com o aumento da energia térmica das moléculas, ou seja, com o aumento da intensidade com que vibram as moléculas, chega-se a uma certa temperatura onde a intensidade da vibração é suficiente para superar a interação molecular existente. Então ocorre a mudança de estado. As moléculas de um sólido vibram em torno

de uma posição fixa; na mudança para o estado líquido as moléculas deixam de ter esta posição fixa de vibração, e com isso podem se deslocar de um lugar para outro. Na mudança do estado líquido para o gasoso, as moléculas deixam de ter interações entre si e passam a se movimentar para qualquer direção, se movendo pelo ambiente todo em que estiver o gás. A diminuição da quantidade de energia térmica simplesmente faz com que os mesmos fenômenos aconteçam, só que em ordem contrária.

Idéia do experimento

A idéia é usar parafina e provocar mudanças de estado: de sólido para líquido, de líquido para sólido e de líquido para gasoso. Primeiramente aquece-se um pedaço de parafina, que é sólido, até que ocorra a mudança para o seu estado líquido.

Depois deixa-se o líquido esfriar até que ele volte a ser sólido. Posteriormente aquece-se a parafina sólida até que haja a sua mudança para o estado líquido e, em seguida, gasoso.

Tabela do material

<i>Item</i>	<i>Observações</i>
Uma vela	para aquecer e retirar parafina
Caixa de palitos de fósforo	para acender a vela
Uma colher sopa	para colocar a parafina
Um estilete	para retirar da vela a parafina a ser derretida

Montagem

- Retire com o estilete cerca de três milímetros cúbicos de parafina do lado da vela.
- Coloque na colher a parafina que foi retirada.
- Acenda a vela e a fixe em algum lugar.
- Segure a colher logo acima da chama da vela.
- Espere a parafina derreter.
- Retire a colher de cima da chama e espere a parafina esfriar até voltar para o seu estado sólido.
- Volte a segurar a colher logo acima da chama da vela.
- Espere até que a parafina se decomponha, passando para o estado gasoso.

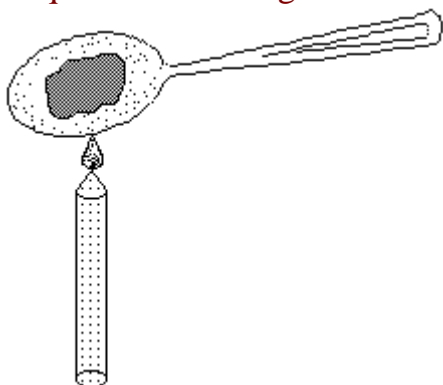
Comentários

- Não toque na parafina ou na parte da colher que é aquecida pela vela, pois eles estarão muito quentes.
- No experimento não foi feita a passagem do estado gasoso para o líquido, pois a parafina é um derivado do petróleo formado de várias substâncias diferentes e na mudança para o estado gasoso as diferentes substâncias se separam. Portanto, o que realmente ocorre é uma decomposição da

parafina em seus diferentes componentes. Logo, concluí-se que na mudança de estado da parafina para a forma gasosa é impossível reverter o processo, assim como foi feito quando a parafina mudou do estado sólido para o líquido.

- Na passagem do estado líquido para o sólido, para tornar o processo mais rápido pode-se encostar a colher num material bom condutor de calor, como o piso da sala, uma pia de pedra ou aço, etc.
- Ficarão resíduos na colher após a decomposição da parafina. Para limpar a colher, use esponja de aço (bombril).

Esquema de montagem



Projeto Experimentos de Física com Materiais do Dia-a-Dia - UNESP/Bauru

TMO/FCL

DISSIPACÃO DE ENERGIA TÉRMICA

Objetivo

Mostrar que durante o aquecimento de um material, ocorre dissipação de energia térmica.

Contexto

O que determina a temperatura de um material é a quantidade de energia térmica que o material possui. Fornecendo mais energia térmica para o material, sua temperatura aumenta. A chama de uma vela é uma fonte contínua de energia

térmica enquanto a vela estiver acesa. Então, se colocamos um objeto próximo à chama ou na chama da vela, este objeto está recebendo energia térmica continuamente. Portanto sua temperatura deveria aumentar continuamente enquanto houver fornecimento de energia térmica para o objeto. No entanto, se colocamos um pedaço de ferro na chama de uma vela, a temperatura do pedaço de ferro não aumentará continuamente, pois se isso ocorresse aconteceria a fusão do ferro, assim como ocorre a fusão do gelo quando sua temperatura aumenta além de zero graus Célcus. O que acontece é que sempre que houver desequilíbrio de temperatura, a energia térmica se propagará de um lugar de maior temperatura para um lugar de menor temperatura. É por isso que a barra de ferro colocada na chama da vela não se aquece continuamente, pois a energia térmica se dissipa pelo ambiente que possui uma temperatura menor que o ferro aquecido. No cotidiano há situações em que precisamos conter a dissipação de energia térmica pelo ambiente. É o caso das garrafas térmicas e das roupas de lã que usamos no inverno. Há outras situações em que precisamos que a energia térmica seja dissipada pelo ambiente, como no caso dos motores dos carros, em que há a necessidade de sistemas de refrigeração para que a temperatura do motor não aumente a ponto de ocorrer a fusão das peças do motor.

Idéia do experimento

A idéia é mostrar que um objeto não mudará de estado físico se houver dissipação de energia térmica. Para isso usa-se dois copos descartáveis de plástico. Chega-se os copos próximo à chama de uma vela. Primeiro um vazio e depois o outro com água. Observa-se que o copo vazio derrete rapidamente, enquanto que o com água não derrete. No segundo caso, a energia térmica que passa da chama para o plástico do fundo do copo com água é dissipada para a água. Quando começa a formar bolhas no fundo do copo, nos lugares onde estão as bolhas não há dissipação de energia térmica e o plástico derrete, formando furinhos no lugar onde estão as bolhas. A água dissipa o calor que o copo recebe e por isso o copo com água não derrete, com exceção dos pontos onde as bolhas se formaram.

Tabela do material

<i>Item</i>	<i>Observações</i>
Dois copos descartáveis de plástico	de tamanho grande
Um pouco de água	para ser aquecida
Uma vela	para aquecer o copo
Uma caixa com palitos de fósforo	para acender a vela

Montagem

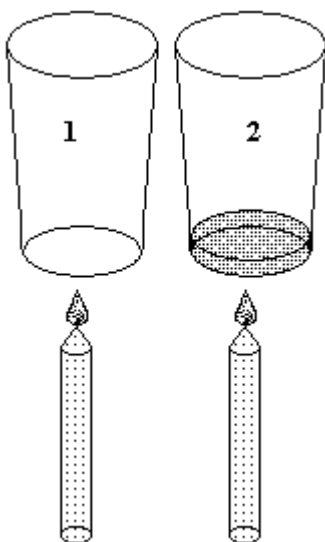
- Acenda a vela e a fixe em algum local.

- Segure um dos copos de plástico vazio acima da chama da vela, de modo que o fundo do copo não encoste na chama. Ver passo 1 na figura abaixo.
- Observe a velocidade com que o plástico derrete.
- Coloque água no outro copo até cerca de cinco milímetros de altura.
- Segure o copo com água acima da chama da vela, de modo que o fundo do copo fique fora da chama (na mesma posição do copo vazio). Ver passo 2 na figura abaixo.
- Espere até a água começar a ferver.
- Observe que o plástico no lugar onde se forma uma bolhinha começará a derreter, formando furinhos.

Comentários

- O copo deve ser de tamanho grande devido ao tamanho da área do fundo do copo. Pois se a área for pequena haverá aquecimento em excesso do resto do copo, fazendo com que ele se deforme.
- Para melhor visualizar a distância entre o fundo do copo e a vela durante o aquecimento, fixe a vela numa mesa e fique agachado, mantendo o fundo do copo na altura dos olhos.
- Os gases não são bons condutores de energia térmica, por isso praticamente não há dissipação de energia térmica no lugar onde se formam as bolhinhas.
- Durante a ebulição da água as bolhas que se formam são de vapor.

Esquema de montagem



TMO/FCL

- Sala de física – <http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica>
- Física.Net – www.fisica.net

Sobre os conceitos teóricos envolvidos nos experimentos.

- www.ufsm.br/gef/MaqTer.htm

Máquinas Térmicas

Para que um dado sistema realize trabalho às custas da energia retirada na forma de [calor](#) de certa fonte térmica por um processo cíclico são necessárias duas fontes térmicas com temperaturas diferentes. Os dispositivos que realizam tal atividade por processos cíclicos são chamados de máquinas térmicas (M, na figura). Uma máquina térmica retira certa quantidade de energia na forma de calor (Q_2) da fonte quente e transfere uma parcela desta energia (Q_1) para a fonte fria. Em um ciclo completo, o sistema retorna ao estado inicial, de modo que $\Delta U = 0$, já que a energia interna é função de estado. Então, o trabalho realizado em cada ciclo fica: $W = Q_2 - Q_1$.

O rendimento mede a eficiência com que uma máquina térmica converte o fluxo de energia na forma de calor em fluxo de energia na forma de trabalho. O rendimento é definido como a razão entre o trabalho realizado no ciclo e a quantidade de energia retirada da fonte quente na forma de calor:

$$\eta = W/Q_2$$

ou

$$\eta = 1 - Q_1/Q_2$$

Pelo [enunciado de Kelvin](#) para a segunda lei da Termodinâmica, Q_1 é sempre diferente de zero e daí, $\eta < 1$. Portanto, é impossível construir uma máquina térmica que transforme integralmente a energia retirada de uma fonte térmica na forma de calor em trabalho por um processo cíclico.

Refrigeradores são dispositivos que retiram energia na forma de calor de uma fonte fria e a transferem para uma fonte quente (R, na figura). Nesta transferência, é indispensável fornecer trabalho para realizar o ciclo. Sendo Q_1 a energia retirada como calor da fonte fria e W , o trabalho realizado sobre o sistema, a energia transferida como calor para a fonte quente é $Q_2 = W + Q_1$. Para um refrigerador, define-se a eficiência ε pela relação:

$$\varepsilon = Q_1/W$$

ou

$$\varepsilon = Q_1/(Q_2 - Q_1)$$

Pelo [enunciado de Clausius](#) para a segunda lei da Termodinâmica, W é sempre diferente de zero. Assim, é impossível a um refrigerador, operando em ciclos, transferir energia na forma de calor de uma fonte fria para uma fonte quente sem receber trabalho.

O problema, agora, é descobrir qual o máximo rendimento que se pode obter com uma máquina térmica que funcione entre duas fontes dadas. A resposta está no teorema de Carnot:

Todas as máquinas térmicas que funcionam [reversivelmente](#) entre as mesmas temperaturas das fontes fria e quente possuem o mesmo rendimento.

Para demonstrar o teorema, consideremos duas máquinas reversíveis A e B, com rendimentos η e η' , respectivamente.

Suponhamos que $\eta < \eta'$.

Então $W' > W$ e $Q_1' < Q_1$. Como as máquinas são reversíveis, podemos acoplar uma a outra mas com a máquina A operando como refrigerador. O resultado efetivo, então, é o seguinte:

- a fonte quente fica inalterada
- a fonte fria perde a quantidade $(Q_1 - Q_1')$ de energia na forma de calor
- é produzido um trabalho $(W' - W)$.

Portanto, existe como único efeito a produção de trabalho às custas da energia retirada na forma de calor de uma única fonte térmica. Como isto viola a segunda lei da Termodinâmica (enunciado de Kelvin), a condição $\eta < \eta'$ é falsa.

Suponhamos, agora, que $\eta > \eta'$.

O mesmo argumento pode ser repetido, apenas trocando entre si os papéis desempenhados pelas duas máquinas. Assim, a máquina B opera agora como refrigerador. E chegamos a conclusão de que a condição que $\eta > \eta'$ é falsa.

Como η não pode ser maior nem menor do que η' , então $\eta = \eta'$. Isto demonstra o teorema de Carnot.

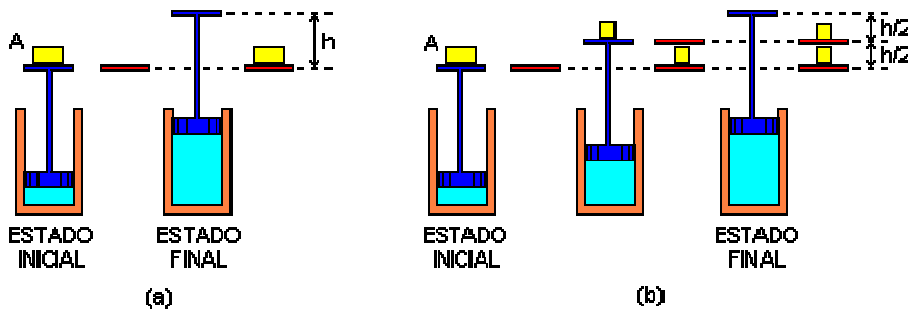
Uma conseqüência imediata deste teorema é o seguinte: uma máquina térmica irreversível sempre tem um rendimento menor do que uma máquina reversível que opere entre as mesmas temperaturas. Para demonstrar este fato, suponhamos que a máquina B seja irreversível. Na primeira parte da demonstração do teorema de Carnot mostramos que a condição $\eta < \eta'$ é falsa. Mas, agora, a condição $\eta > \eta'$ não é falsa. Como temos $W' < W$ e $Q_1' > Q_1$, ao acoplar as duas máquinas como antes, o resultado efetivo é o seguinte:

- a fonte quente permanece inalterada
- a fonte fria recebe a quantidade $(Q_1' - Q_1)$ de energia na forma de calor
- existe o consumo de uma quantidade $(W - W')$ de energia na forma de trabalho.

Ou seja, existe a transformação, perfeitamente possível, de um fluxo de energia na forma de trabalho em um fluxo de energia na forma de calor.

Assim, para que se obtenha o máximo rendimento, os processos envolvidos devem ser reversíveis.

Um argumento interessante para mostrar que o trabalho é máximo (e daí, também o rendimento) quando o processo em questão é reversível é o seguinte. Consideremos um gás dentro de um cilindro fechado por um pistão móvel e sem atrito, sobre o qual repousa um corpo A, de massa m . O gás está isolado termicamente e em equilíbrio. Para descobrir que processo (adiabático) permite ao gás realizar o máximo de trabalho contra a vizinhança, como primeira tentativa, deslocamos o corpo A horizontalmente [figura (a)]. Com isso, o pistão dispara para cima e (depois de algumas oscilações) atinge um estado de equilíbrio a uma certa altura h . Como o corpo A não foi deslocado verticalmente, o trabalho realizado pelo gás sobre o corpo é nulo.



Como segunda tentativa (e partindo do mesmo estado inicial) deslocamos metade do corpo A horizontalmente [figura (b)]. Com isso, o pistão dispara para cima e alcança o equilíbrio a uma altura $h/2$. Então, deslocamos horizontalmente a outra metade do corpo A e, com isso, o pistão alcança a posição de equilíbrio final elevando-se mais $h/2$. Nesta segunda tentativa, o gás realizou trabalho sobre a metade do corpo A, elevando-a a uma altura $h/2$. Então:

$$W = (m/2)g(h/2) = (1/4)mgh$$

Como terceira tentativa, dividimos o corpo A em três partes iguais, repetindo o procedimento feito na segunda tentativa, deslocando-se horizontalmente uma parte de cada vez. Assim, o trabalho realizado pelo gás fica:

$$W = (2m/3)g(h/3) + (m/3)g(h/3) = (1/3)mgh$$

A partir dos resultados destas tentativas podemos perceber que o trabalho realizado pelo gás é máximo quando o corpo A for dividido no maior número possível de partes e estas forem, uma a uma, deslocadas horizontalmente. Cada vez que movemos horizontalmente uma dessas partes, o gás sofre uma pequena mudança com o pistão subindo uma pequena fração da altura h . A última parte do corpo original será deslocada horizontalmente com o pistão quase na altura h . No final das contas, o trabalho realizado pelo gás é equivalente ao trabalho de elevar o corpo A até uma altura $h/2$. E então:

$$W = W_{\text{MAX}} = (1/2)mgh$$

O processo levado em passos infinitesimais (e sem atrito) é o que permite ao gás realizar o trabalho máximo. O processo levado em passos infinitesimais é quase-estático e porque não existe atrito, é reversível.

Se tivéssemos considerado um processo adiabático de compressão, o processo levado a cabo reversivelmente é o que custaria da vizinhança o trabalho mínimo sobre o sistema.

Como a condução de energia na forma de calor é irreversível, as trocas de energia na forma de calor com as fontes quente e fria devem ser isotérmicas (cada troca à temperatura da respectiva fonte). Pela mesma razão, os processos onde há variações de temperatura devem ser adiabáticos, sem troca de energia na forma de calor. Em outras palavras, uma máquina reversível que funcione entre duas temperaturas deve operar necessariamente segundo um [ciclo de Carnot](#). Para o ciclo de Carnot, $Q_1/Q_2 = T_1/T_2$. Então, o rendimento de uma máquina de Carnot pode ser expresso em função das temperaturas

absolutas das duas fontes:


$$\eta = 1 - T_1/T_2$$

independentemente da substância de operação na máquina. Assim, fica evidente que todas as máquinas térmicas de Carnot que trabalham entre as mesmas temperaturas T_1 e T_2 têm o mesmo rendimento. Uma máquina real sempre terá um rendimento menor do que o rendimento das máquinas de Carnot que trabalham entre as mesmas duas temperaturas.

Do mesmo modo, a eficiência de um refrigerador de Carnot pode ser expressa em função das temperaturas absolutas das duas fontes:

$$\varepsilon = T_1/(T_1 - T_2)$$

- <http://www.cdcc.sc.usp.br/roteiros/transfer.htm>

 <p>CDCC - USP EXPERIMENTOTECA</p>	<h2>5- TRANSFERÊNCIA DE CALOR</h2>
---	------------------------------------

INTRODUÇÃO

Nesta prática estudaremos as 3 formas mais importantes de transferência de calor: condução, convecção e radiação.

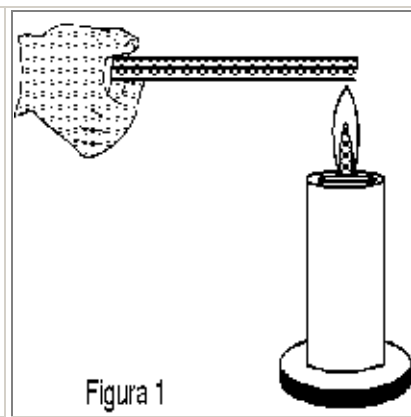
1. CONDUÇÃO: o calor se transmite através da matéria sem que esta se desloque. Se imaginamos o calor sendo a agitação das moléculas, podemos afirmar que esta agitação se transmite de uma molécula à seguinte; isto equivale dizer que o calor "flui" através da matéria. O processo de condução é mais intenso ou menos intenso conforme o

MATERIAL

1 lamparina
1 vareta de alumínio
1 vareta de ferro
1 vareta de latão
1 becker
Tubo de vidro com divisória
1 bulbo de garrafa térmica
1 suporte
1 tela de amianto

material. Isto será verificado na experiência.

2. **CONVECÇÃO**: processo de transferência de calor que se dá por transporte de matéria. Quando um gás ou líquido é aquecido as partes mais próximas à fonte de calor se expandem, tornam-se menos densas e sobem; as partes frias descem. Isto resulta na transferência de calor do lugar mais quente ao mais frio.



3. **RADIAÇÃO**: este processo não necessita de um meio material para propagar o calor. A radiação térmica é da mesma natureza que a radiação da luz. É assim que o Sol transmite calor à Terra.

PROCEDIMENTO

Acenda a lamparina.

Segure a vareta de alumínio e a de ferro numa ponta entre os dedos e coloque as outras pontas no fogo (figura 1). Sinta em sua mão qual das varetas esquenta mais rápido. Aquela que esquenta mais rápido deve ser marcada na 2ª coluna da tabela com um traço vertical |, e a que demora mais com uma bolinha o

Deixe esfriar e repita o procedimento, segurando as barras de alumínio e latão e, em seguida, ferro e latão, marcando sempre as necessárias bolinhas ou traços.

Analise a tabela e descubra o melhor e o pior condutor de calor, escrevendo estas palavras na 3ª coluna da tabela

Ferro		
Alumínio		
Latão		

Monte o becker no suporte

Prepare no becker uma mistura de água e pó de serra (500ml de água para 3 colheres de pó de serra).

Coloque a lamparina embaixo deste, acendendo-a. Observe o movimento do pó de serra formando corrente de convecção.

Agora monte o sistema da figura 2. Estando a divisória colocada, levante o tubo, acenda a vela e torne a colocar o tubo. A divisória ajudará que se forme uma corrente de convecção,

entrando ar frio de uma lado e subindo ar quente pelo outro. Esta corrente fornece oxigênio à chama, alimentando-a. (Você pode sentir com o dedo o ar quente saindo).

Retire a divisória, observe e descreva o que acontece.

Na falta da divisória, o ar quente que sai "enrosca" no ar frio que entra formando-se um turbilhão que impede a troca de ar.

Para sentir a radiação, pegue a lamparina acesa e sinta, a alguns cm do lado dela, o calor da chama com as costas da mão. Agora coloque a folha de alumínio entre a chama e a mão e sinta o efeito desta. Descreva e explique o que observou:

Cite outros exemplos de calor transmitido por:

Condução

Convecção

Radiação

Examine a garrafa térmica. No espaço entre as paredes de vidro tinha sido retirado todo o ar (foi feito vácuo). Para permitir uma melhor observação, removemos uma parte do espelhamento que cobria as paredes. Na construção desta garrafa térmica foram tomadas providências para evitar os 3 mecanismos de transferência de calor. Quais são estas providências?