

Módulo Inovador

Entropia: Se energia se conserva por que devemos economizá-la?

Critérios Escala 1 a 4

Organizacao geral e fluxo 4

Clareza e detalhamento das orientacoes

4

Qualidade das atividades 3

Diversidade das atividades 4

Apoio ao professor 3

Qualidade do texto 4

Estimativa temporal 4

total - 26 pt - 8,5

**Arthur Scabora, Daniel Rodrigues,
Danilo Cardoso, Francislâiny Campos**



**1º Semestre
de 2012**

Sumário

Apresentação	3
Quadro sintético	5
Atividade 1	7
Tema e Objetivo	7
Metodologia	7
Aula 1	8
Aula 2	9
Aula 3	10
Atividade 2	11
Tema e Objetivo	11
Metodologia	12
Aula 5	14
Atividade 3	16
Tema e Objetivo	16
Metodologia	17
Aula 6	17
Aula 7	18
Aula 8	19
Atividade 4	21
Última aula	21
Anexo 1: Roteiro – A entropia e a segunda lei da termodinâmica	22
Anexo 2: Apresentação de slides com exemplos de processos irreversíveis	24
Processo Irreversíveis	25
Mistura homogênea de dois líquidos	26
Anexo 3: As máquinas de movimento perpétuo	37
Anexo 4: Sadi Carnot	39

Apresentação

Entropia é um conceito muito importante dentro da Física, porém até recentemente este foi um tema excluído das discussões em salas de aula no ensino médio. Devido a isso, consideramos inovador abordar tal tema, sendo ele em nossa opinião um dos mais interessantes e, embora não esteja tão evidente, está presente no nosso cotidiano. Há várias maneiras de tratarmos o assunto, desde a abordagem segundo a termodinâmica até a abordagem da mecânica estatística, além de abordagens históricas a respeito da evolução deste conceito.

A fim de nos aproximarmos da vivência dos alunos e de forma a tornar este módulo mais interessante, escolhemos como problematização norteadora a seguinte questão: “Se a energia se conserva, por que tanto se diz que devemos economizá-la?”. Tendo em vista este questionamento, está claro que consideramos que os alunos já tenham tido contato com o princípio da conservação da energia. Assim, para um melhor aproveitamento do curso, espera-se que este módulo seja aplicado a partir do segundo ano do ensino médio, pois assim a turma já terá tido contato com o conteúdo de mecânica, que inclui a conservação da energia.

A questão inicial, como dito, norteará todo o desenvolvimento do módulo. Assim, ela não será respondida logo de início. A ideia é que a cada aula o aluno obtenha conhecimentos a respeito de temas correlacionados com o conceito de entropia. Para isto, propomos como metodologia de ensino a realização de discussões, experimentos e leituras de textos sobre o tema. Passaremos através de tópicos como energia, desordem, irreversibilidade de processos e máquinas. Ao final do curso, espera-se que os alunos sejam capazes de responder a questão inicial do módulo utilizando todo o conhecimento adquirido a respeito do nosso tema principal: a entropia.

Para o módulo são previstas nove aulas de cerca de cinquenta minutos cada. Serão ao todo quatro atividades, a saber:

- Atividade 1: Onde foi parar a energia? –Essa atividade tem por objetivo apresentar os conceitos de transformações e perdas de energia em sistemas reais;

- Atividade 2: Ordem, desordem e reversibilidade – Com essa atividade temos por objetivo demonstrar a importância dos conceitos de ordem e desordem no âmbito da Física, assim como sua implicação na questão da (i)reversibilidade de processos, definição do conceito de entropia;

- Atividade 3: Máquinas – Abordaremos nesse momento do curso o rendimento das máquinas e sua estrita relação com o conceito de Entropia;

- Atividade 4: Finalização – Finalizaremos o curso com uma avaliação sobre o grau de entendimento dos alunos acerca dos temas discutidos no decorrer das outras atividades, além de retomarmos a discussão levantada no início do nosso módulo sobre a necessidade de economizar a energia. A cada módulo, instruções específicas para o professor serão fornecidas neste texto, para que toda a atividade sugerida seja o mais claramente possível explicada. Todo o material necessário para a realização dos experimentos é facilmente encontrado e de baixo custo. Os textos necessários estão anexados nas páginas finais e os vídeos e applets estão com seus links indicados na descrição das atividades que os contemplam e também no quadro sintético

Quadro sintético

Atividade	Nome	Momentos	Duração	Duração total da atividade
Atividade 1	Onde foi parar a energia?	<p>Início do curso com a problematização a respeito da seguinte questão norteadora: “Se a energia se conserva, por que devemos economizá-la?”.</p> <p>Demonstração do experimento do pêndulo e estimativa da perda de energia através de um experimento de plano inclinado.</p> <p>Fechamento da aula com atividade a ser entregue ao professor com levantamento das hipóteses dos alunos acerca das maneiras como a energia foi “perdida”.</p>	1 Aula	3 Aulas
		<p>Início da aula com os conceitos de calor e temperatura como solução para o “problema da energia” exposto na última aula a partir do experimento.</p> <p>Demonstração do Experimento de Joule – vídeo http://www.youtube.com/watch?v=h9v270ldB9c</p> <p>Aplicativos http://www.fisica.ufs.br/egsantana/estadistica/otros/joule/joule.htm</p> <p>http://phet.colorado.edu/sims/friction/friction_pt_BR.html</p> <p>Retomada e exposição das hipóteses anteriormente apresentadas pelos alunos, junto a um levantamento sobre os conceitos mais relevantes expostos pelos alunos e realizar .</p>	1 Aula	
		<p>Discussão: a energia mecânica se transforma em energia térmica. E a energia elétrica?</p> <p>Experiência dos cliques.</p> <p>Exposição do professor: Eletricidade como forma ordenada de energia.</p>	1 Aula	

Atividade 2	Ordem, desordem e reversibilidade	Iniciar a aula com a seguinte questão: “Por que sua lanterna, ligada à pilha, não fica acesa para sempre?”: Questão para levar à ideia de desorganização das cargas da pilha. Definição do conceito de Entropia como medida da desordem de um sistema.	1 Aula	2 Aulas
		Experiência das esferas com roteiro (anexo 1) Apresentação de slides com exemplos de processos irreversíveis (anexo 2)	1 Aula	
Atividade 3	Máquinas	Problematização: seria possível uma máquina autossustentável? Discussão sobre as máquinas do cotidiano. Atividade do moto-perpétuo (anexo 3)	1 Aula	3 Aulas
		Exposição sobre o aproveitamento da energia nas máquinas e sobre rendimento. Leitura sobre Carnot (anexo 4) Discussão dos aspectos sociais e econômicos que influenciaram Carnot.	1 Aula	
		Discussão: motor elétrico x motor térmico Exposição do professor: relação entre rendimento e Entropia. Exposição do Professor: a degradação da energia.	1 Aula	
Atividade 4	Finalização	Avaliação final, com a produção individual de texto narrativo ou dissertativo visando responder a pergunta inicial do curso em vista de tudo o que foi estudado ao longo do módulo.	1 Aula	1 Aula

Atividade 1

Tema e Objetivo

Esta atividade tem como objetivo a apresentação da questão central do curso: “Se a energia se conserva, por que tanto se diz para economizá-la?”. Para tal, será realizada uma problematização através de atividades experimentais que demonstram que, aparentemente, a energia some. Como o conhecimento prévio do aluno não será suficiente para responder de forma satisfatória a questão inicial, esperamos criar neste um interesse por estudar o tema do módulo. A pergunta não será respondida nesta atividade, mas sim perdurará por todo o curso e somente será respondida ao seu final, quando espera-se que eles tenham subsídios suficientes para tal.

Metodologia

Faremos uso da problematização inicial que, como dito, tem como objetivo gerar o interesse no aluno para que estude o tema. A questão experimental e prática serão bastante abordadas, pois acreditamos num maior rendimento quando o aluno “põe a mão na massa”, participando ativamente do processo de ensino-aprendizagem. Discussões e levantamento de hipóteses por parte dos alunos auxiliarão na formação de um espírito crítico.

Esta atividade está prevista para ser realizada em três aulas. O percurso que elas trarão será o seguinte: problematização inicial, seguido pelo tratamento da energia mecânica, energia térmica (calor e temperatura), terminando com energia elétrica e uma introdução sobre ordem e desordem, ligando a primeira atividade com a seguinte.

Proposta

Aula 1

Início do curso com a problematização a respeito da seguinte questão norteadora: “Se a energia se conserva, por que devemos economizá-la?” - **15 minutos.**

O professor deverá lançar esta questão logo no início da aula e deverá então ouvir as respostas que os alunos tem para ela. Algumas mais certas, outras menos, independente disto é preciso que ainda reste dúvidas nos alunos, para que se crie uma certa expectativa sobre o que virá em seguida.

Demonstração do experimento do pêndulo e estimativa da perda de energia através de um experimento de plano inclinado. - **20 minutos.**

O professor separa a turma em grupos (o número de grupos depende de quanto material há disponível). Cada grupo recebe um pêndulo simples e um plano inclinado. Com seus conhecimentos prévios de mecânica, eles deverão calcular quanta energia “some” nestes dois experimentos. Nos dois casos, o cálculo é o do $m \cdot g \cdot h$ (energia potencial gravitacional inicial). No pêndulo, a instrução é segurá-lo em uma certa altura e deixá-lo oscilar até atingir o repouso, momento em que toda a energia potencial gravitacional se dissipou no ar. No plano inclinado, a instrução é soltar o cilindro de seu topo, até que pare de rolar (o que ocorrerá após um certo tempo em que ele atingir o solo), momento em que toda a energia potencial se dissipou em forma de atrito tanto com o ar quanto com a superfície de rolamento.

INSTRUÇÕES PARA PREPARAÇÃO DOS PÊNDULOS E DOS PLANOS INCLINADOS

O pêndulo pode ser feito com um barbante simples, encontrado em bazares, e qualquer objeto amarrado em sua ponta. Pode ser uma caixinha de fósforo, uma borracha ou uma pedra. É interessante ter pêndulos feitos de diferentes objetos para que os alunos vejam que o mesmo efeito ocorre independentemente dessa escolha.

O plano inclinado pode ser os próprios cadernos dos alunos. Se possível, placas de madeira com graus de polidês diferentes podem ser utilizadas para ilustrar que o cilindro vai tanto mais longe quanto mais polida é a superfície. É preferível usar um cilindro do que uma bolinha por este ter um maior momento de inércia, o que fará com que naturalmente role menos (tornando menos necessário um grande espaço disponível) e também pelo fato de ter muito mais estabilidade quanto a direção de rolamento. Este cilindro pode ser um batom, uma pilha, um tubo de cola bastão, garrafas PET, um lápis, etc.

Fechamento da aula com atividade a ser entregue ao professor com levantamento das hipóteses dos alunos acerca das maneiras como a energia foi “perdida”. - **15 minutos.**

Após a verificação experimental de que a energia aparentemente “some”, o professor pedirá para que cada grupo formule uma hipótese para explicar este desaparecimento, tendo em vista que um dos postulados mais importantes da Física é a conservação da energia. Esta hipótese deve ser escrita em folha de papel e entregue ao professor até o final da aula. Caso não haja tempo suficiente, esta atividade poderá ser destinada para ser feita em casa e a entrega feita no início da próxima aula.

Aula 2

Início da aula com os conceitos de calor e temperatura como solução para o “problema da energia” exposto na última aula a partir do experimento. - **15 minutos.**

Aqui o professor realiza uma aula expositiva, diferenciando os conceitos de calor e temperatura e explicando que esta é uma possível hipótese para o desaparecimento da energia do pêndulo e do cilindro.

Demonstração do Experimento de Joule – vídeo

<http://www.youtube.com/watch?v=h9v270ldB9c> – **4 minutos**

Demonstração dos aplicativos

<http://www.fisica.ufs.br/egsantana/estadistica/otros/joule/joule.htm>

http://phet.colorado.edu/sims/friction/friction_pt_BR.html – **6 minutos**

Retomada e exposição das hipóteses anteriormente apresentadas pelos alunos, junto a um levantamento sobre os conceitos mais relevantes expostos pelos alunos e realizar. - **25 minutos.**

Neste momento final, o professor retoma e expõe as hipóteses levantadas pelos alunos na aula anterior, escrevendo-as no quadro (ou, se possível, numa apresentação de Power Point). Os alunos devem então criticar cada uma das hipóteses, levando em conta toda a exposição sobre calor e temperatura e também o que aprenderam com o vídeo e com os aplicativos demonstrados. O professor deverá guiar o debate. Quando algum aluno ver um problema em uma hipótese, ele deve pedir para que outro contra-argunte, realizando perguntas do tipo “João diz que esta hipótese está errada por tal motivo, quem concorda com ele e por quê?”. No final, espera-se que os alunos estejam convencidos de que a principal forma pela qual a energia se “perde” é o calor (nesta altura, “perder energia” deve ser substituído por “transformar energia”).

Aula 3

Discussão: a energia mecânica se transforma em energia térmica. E a energia elétrica? - **15 minutos.**

Retomando o que foi visto na aula passada, o professor deve questionar os alunos quanto à energia elétrica: “Será que a energia elétrica também se dissipa em forma de calor?”. Tendo em vista que os alunos ainda não tiveram contato com os conteúdos de eletricidade, o professor deve ao menos introduzir o que significa a energia elétrica, tratando-a como a separação de cargas elétricas.

Experiência dos cliques. - 15 minutos.

O professor divide a turma em grupos, de acordo com a quantidade de pilhas disponíveis. A instrução é para “abrir” os cliques, formando um fio metálico condutor. Os alunos devem ligar cada ponta do fio à uma extremidade da pilha, para verificarem que a temperatura do mesmo aumenta. É preciso tomar um certo cuidado, pois as vezes o fio pode esquentar demais e ocasionar queimaduras leves na pele. Deve-se segurar o fio até sentir um pequeno aumento da temperatura e logo em seguida soltá-lo, para não haver este risco.

Exposição do professor: Eletricidade como forma ordenada de energia. - **20 minutos.**

O professor retoma a exposição inicial, formalizando um pouco mais a energia elétrica e dando ênfase no fato de que ela exige certa “ordem” para existir (este termo por enquanto será ainda tratado sem muito rigor), pois tem sua origem na separação de cargas elétricas. Outra questão importante é ressaltar que esta separação exige um agente externo para que se realize, pois a tendência natural é que ela não exista. Uma analogia muito útil que pode ser utilizada como forma ilustrativa é a da gravidade, onde para se separar dois corpos (levantar um objeto qualquer) é preciso esforço (trabalho), e que a tendência é que esta separação se desfça (os corpos tendem a cair) a menos que um agente externo mantenha a separação (por exemplo, uma pessoa segurando um objeto no alto).

Atividade 2

Tema e Objetivo

Após a introdução dada pela atividade 1, o foco agora dado nos temas: “Ordem, Desordem e Irreversibilidade”. O conceito de Entropia agora será

tratado com mais formalismo, sendo que será nesta atividade que passaremos a utilizar o termo como de fato é utilizado na Física.

Aqui daremos mais atenção à energia elétrica, por ser um tema muito relevante tanto para a exemplificação de sistemas ordenados e desordenados, quanto pela relação direta que tem com a pergunta inicial norteadora do curso. Por fim, este tema será essencial para a próxima atividade em que serão tratados os diferentes tipos de máquinas e seus rendimentos.

Metodologia

A combinação de experimentos, aulas expositivas e discussões (em que o aluno deve ser participante ativo) continua sendo o nosso tripé metodológico principal. Procuramos equilibrar estas três estratégias na busca por alcançarmos os melhores resultados e que o aproveitamento por parte dos alunos seja o maior possível

Esta atividade está prevista para ser realizada em duas aulas. O percurso que elas trarão será o seguinte: apresentação da seguinte questão: “Por que sua lanterna, ligada à pilha, não fica acesa para sempre?”. Esta questão tem como objetivo guiar a aula até a ideia de desorganização das cargas da pilha. Por fim, define-se o conceito de Entropia como medida da desordem de um sistema, buscando “preparar o terreno” para a terceira e última atividade: máquinas.

Proposta

Aula 4

O professor inicia a aula com a seguinte questão: “Por que sua lanterna, ligada à pilha, não fica acesa para sempre?”. O professor deve então explicar brevemente o princípio de funcionamento das pilhas, que é a separação de cargas elétricas (ORDEM) e que o gasto de sua energia interna provém da

perda desta ordem, ou seja, as cargas separadas se rearranjam de forma espontânea, de maneira a diminuir sua energia potencial.

A ênfase que o professor deve dar em sua exposição é que a energia elétrica é uma forma ordenada de energia: exige uma separação de cargas que não é espontânea, mas que necessita de uma força motriz externa para que ocorra. Deve-se exemplificar o máximo possível, mostrando que a energia potencial de todos os sistemas tende a diminuir. Um exemplo que deixa muito clara esta relação é a da energia gravitacional. Para que um corpo ganhe energia potencial gravitacional, é preciso uma força externa separe este corpo do outro (levantar um objeto do chão até certa altura, por exemplo). Porém, assim que o objeto é solto, de forma espontânea a energia potencial vai se perdendo, na medida em que o corpo retorna ao seu estado natural. Deve ficar claro para o aluno a relação de que quanto maior a energia potencial, maior a ordem do sistema, e que todos os sistemas tendem a transformar sua energia potencial em outras formas (movimento, calor). - **25 minutos**.

Neste ponto, cabe a definição do conceito de Entropia como medida da desordem de um sistema. Isto é para formalizar este conceito, que deve a partir de agora ser utilizado da forma como a Física usa. Não serão apresentados, porém, nenhuma fórmula ou cálculo de entropia. Usaremos apenas a definição qualitativa: a Entropia mede a desordem de um sistema – quanto maior a Entropia, maior a desordem – e naturalmente (espontaneamente) todos os sistemas tendem a aumentar a sua Entropia.

Deve-se introduzir a questão da reversibilidade, para que haja uma ligação com a próxima aula. Uma maneira de se fazer esta introdução é voltar na questão do corpo sobre ação da gravidade. Conforme a energia potencial se perde, o corpo ganha energia cinética. Caso o corpo *apenas* ganhasse energia cinética, o processo seria reversível, pois a mesma quantidade de energia potencial que se perde, é a cinética quem ganha. A energia cinética pode voltar a ser potencial de forma direta através da aplicação de uma Força de mesma intensidade que a inicial. Este processo é o chamado *ideal* ou *reversível*. Nestes processos, a Entropia permanece constante (não há variação na ordem

do sistema), pois a energia cinética e a potencial são equivalentes na conversão de uma para a outra.

Na prática, não existem estes processos ideais e reversíveis, pois nem toda energia potencial é convertida em cinética. O atrito com o ar faz com que o corpo perda energia em forma de calor e, quando o corpo atinge o chão, a energia remanescente é transferida ao solo também em forma de calor, som (movimento ondulatório dos átomos do ar e do solo) e deformações permanentes no objeto e/ou no solo. A parcela da energia convertida em calor não pode, através da mesma força motriz inicial, ser convertida em energia potencial gravitacional de forma direta. Este é o chamado processo *real* ou *irreversível*. A energia térmica, por ser o movimento aleatório das inúmeras partículas que formam o objeto, é por si só um estado de maior desordem do que um corpo em queda ou um corpo segurado ao alto (com energia potencial, portanto). A energia térmica poderia ser utilizada para gerar movimento, por exemplo aquecendo um caldeira d'água, cujo vapor faria girar um conjunto de pás ou hélices. Só aí o movimento destas pás ou hélices poderiam fazer com que surgisse energia potencial gravitacional, caso elas elevassem um corpo de sua altura inicial. Ainda sim, o processo não é reversível, e sempre uma parcela de energia é perdida para o ambiente em forma de calor (por exemplo, as próprias hélices em movimento tem atrito com o ar, com suas partes internas, etc). - **25 minutos**.

Aula 5

Nesta aula será aprofundado o conceito de irreversibilidade. Para tal, contamos com a atividade experimental com roteiro (anexo 1), com a utilização de esferas ou bolinhas de gude ou feijões etc; e caixas de papelão. - **35 minutos**.

Para finalizar a aula, preparamos uma apresentação de slides com exemplos de processos irreversíveis.(anexo 2) - **15 minutos**.

Proposta de utilização dos slides

Para o início dessa atividade, nós elaboramos uma apresentação de slides que possui como objetivo uma maior familiarização dos alunos com os tipos de processos irreversíveis mais comumente encontrados no nosso dia-a-dia.

Iniciaremos com uma definição do que são os processos reversíveis e os compararemos com os processos irreversíveis, utilizando para isso também a definição desses últimos. Após essa definição inicial, nós apresentaremos fotos de processos irreversíveis na seguinte seqüência:

- **Mistura homogênea de dois líquidos**

Utilizaremos a foto de uma xícara de café com leite para representarmos a irreversibilidade do processo de mistura desses dois líquidos. Após a mistura, os líquidos nunca mais se separarão novamente de forma espontânea.

- **Gota de tinta ao ser misturada à água**

Análogo à primeira situação de mistura de dois líquidos.

- **Expansão de um gás**

Nesse slide nós mostraremos a irreversibilidade do processo de expansão de um gás. Quando, por exemplo, destampamos um vidro de perfume, o seu aroma na forma de gás será espalhada por todo o ambiente e jamais retornará ao vidro de onde saiu de forma espontânea.

- **Saída da pasta de dentes de seu tubo**

Para nos aproximarmos mais ainda de situações presenciadas no cotidiano dos alunos, nós nos utilizaremos de uma foto de um creme dental sendo expelido do tubo que o contém. É preciso um agente externo para re-estabelecer a “ordem” (no caso, colocar a pasta de volta dentro do tubo).

- **Quebrar de uma taça**

Mostraremos que uma taça de vidro ao ser quebrada não se conserta automaticamente e espontaneamente, de forma que este é mais um bom exemplo de processo irreversível.

- **Derretimento de geleiras**

Mostraremos a irreversibilidade do processo de derretimento das geleiras. Mesmo que a água voltasse a se congelar, ela não assumiria sua forma anterior como parte da geleira.

- **Derretimento do gelo**

Análogo ao exemplo anterior.

- **Mistura de objetos**

Nesse slide nós mostraremos que os processos de misturas de objetos também são irreversíveis, assim como os de misturas de líquidos.

- **Temperatura de corpos em equilíbrio**

Representaremos a idéia que um corpo mais frio não cede calor espontaneamente a um corpo mais quente que ele.

- **Forma das Dunas de Areia**

Explicaremos a mudança das formas das dunas de areia como sendo também irreversível.

- **Esculturas na Areia**

Para que não restem dúvidas sobre a irreversibilidade do processo anterior mostraremos esse slide.

- **Escritas na Areia**

Análogo ao slide anterior.

Atividade 3

Tema e Objetivo

Nesta atividade, trataremos do tema “Máquinas”. Espera-se que ao final das três aulas previstas para ela, os alunos tenham já todos os subsídios necessários para responder satisfatoriamente a questão inicial do curso. Começaremos por tratar da questão “É possível um máquina autossustentável?”, para depois abordarmos o conceito de rendimento. Aqui haverá o link final entre tudo o que foi visto, pois a questão das transformações energéticas, entropia e irreversibilidade são todas essenciais para o entendimento da limitação natural do rendimento das máquinas. Chegaremos,

por fim, na conclusão final de tudo o que foi discutido ao longo do módulo: a energia se degrada de forma que não se pode reaproveitá-la.

Metodologia

Esta atividade está prevista para ser realizada em três aulas. O percurso que elas trarão será o seguinte: trataremos primeiro da impossibilidade de se ter uma máquina perfeita, então partiremos para a questão dos limites de rendimento das mesmas, com base nos estudos de Carnot. Por fim, discutiremos sobre a relação entre Entropia e rendimento, levando à conclusão de que a energia se degrada. O diferencial nesta última atividade será que trataremos um pouco da questão histórico-social, realizando discussões sobre as motivações sociais que levaram aos estudos das máquinas e também uma crítica sobre a forma como as utilizamos nos dias de hoje.

Proposta

Aula 6

Problematização: seria possível uma máquina autossustentável? - 10 minutos.

O professor inicia a aula com o levantamento da questão “seria possível uma máquina autossustentável?”. Aqui o professor introduz a ideia de moto-perpétuo: a máquina que seria capaz de sustentar seus próprios processos a partir do trabalho produzido por ela mesma (isto só seria possível caso não houvesse nenhuma “perda” de energia – ou, em outras palavras, nenhum aumento de entropia).

Discussão sobre as máquinas do cotidiano. - 15 minutos.

Nesta etapa, o professor discute um pouco sobre o funcionamento das diversas máquinas do cotidiano, tais como: automóveis, fogões, geladeiras, computadores, etc. O ideal é que ao final desta etapa todos os alunos estejam

convencidos de que nenhuma máquinas que eles conhecem apresentam o comportamento “ideal” (processo totalmente reversível, sem perdas na forma de calor) e nem são “moto-perpétuos” (máquinas que não necessitam de fontes de energia externa para se manterem em movimento).

Atividade do moto-perpétuo. - 25 minutos.

O professor pede para os alunos lerem um texto introdutório presente no anexo 3(atividade com roteiro, retirada do livro “Física em Contexto – vol. 2”), com a finalidade de contextualizar este tema. Na sequência, é apresentada algumas figuras esquematizando modelos antigos de moto-perpétuos. Por fim, os alunos devem escrever sobre por que as máquinas do cotidiano apresentadas no início da aula não podem ser consideradas como móto-perpétuos, além de apresentar argumentos de por quê, os modelos de móto-perpétuos apresentados a eles através do texto não podem existir na prática.

Aula 7

Exposição sobre o aproveitamento da energia nas máquinas e sobre rendimento. - 10 minutos.

O professor deve realizar uma aula expositiva para definir o conceito de rendimento de uma máquina como a razão do trabalho que ela é capaz de produzir pela quantidade de energia gasta para a realização deste trabalho. Dados interessantes para serem passados em sala de aula (retirado de “GREF – vol. 2”): “O rendimento real de um motor a explosão que funciona com gasolina está em torno de 21% a 25%. Neste motor, portanto, ocorrem perdas mecânicas e térmicas de 75% a 80%. As perdas térmicas se devem à troca de calor do motor com o ambiente pelo sistema de refrigeração (aproximadamente 32%) e à energia interna dos gases de escape resultantes da explosão (aproximadamente 35%), que são eliminados ainda a altas temperaturas. As perdas mecânicas (aproximadamente 8%) se devem basicamente ao atrito das superfícies metálicas e à inércia do pistão.”

Leitura sobre Carnot. - 15 minutos.

Disponibilizamos no anexo 4 um texto sobre Sadi Carnot. Este é um texto bem simplório que tenta tratar um aspecto externalista sobre a história das máquinas de rendimento 1. Entretanto sugerimos ao professor a leitura de um texto mais completo para ter embasamento para a discussão que se seguirá.

O texto do professor pode ser encontrado aqui:

http://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd/ZanoniTSS_TESE.pdf

Discussão dos aspectos sociais e econômicos que influenciaram Carnot.
- 25 minutos.

O professor deve iniciar uma discussão com a turma sobre as questões sociais e econômicas que influenciaram Carnot a estudar as máquinas térmicas. Esta discussão é necessária, pois é um grande exemplo da não neutralidade da Ciência, pois questões que não podem ser resumidas como “busca honesta pelo conhecimento da natureza” devem ser levadas em conta. Carnot viveu na França em plena revolução industrial, época em que graças a James Watt a Inglaterra detinha uma próspera economia. Carnot então buscava meios para melhorar a tecnologia conhecida na França para que sua nação tivesse meios de competir com a sua rival. Estes pontos devem ser levantados no debate e o professor deve dar voz para que os alunos expressem o que acham disto tudo.

Aula 8

Exposição: motor elétrico x motor térmico. **- 15 minutos.**

O professor deve promover a seguinte exposição (retirado de “GREF – vol. 2”): “Em geral, o rendimento dos motores elétricos é maior do que o dos motores a gasolina. É possível construir um motor térmico (a gasolina) com maiores rendimento que um elétrico? Resolução: Embora possamos melhorar

o rendimento de um motor a gasolina utilizando aditivos, regulando-o ou utilizando na sua produção materiais mais resistentes, os motores térmicos terão rendimento sempre inferior aos elétricos. Isso porque as perdas energéticas dos motores elétricos são provocadas pelo atrito interno entre suas peças e pelo aquecimento dos fios, devido à corrente elétrica. Essas perdas podem ser muito reduzidas no projeto e na construção de motores elétricos. Quanto aos motores térmicos, o aquecimento e o resfriamento são necessários para o próprio funcionamento do motor, pois não é possível que um motor térmico funcione sem troca de calor com o ambiente. Portanto, o seu rendimento será sempre menor que o dos motores elétricos.” Recomenda-se que o professor não leia este texto durante a aula, mas que exponha as informações da forma que considerar mais adequada. A ideia mais importante é que os alunos tenham como conclusão de que um motor elétrico sempre será mais eficiente que um térmico e que este é um importante fator a se considerar para que passemos a adotar cada vez mais automóveis elétricos do que a combustão.

Exposição do professor: relação entre rendimento e Entropia.

Aqui o professor faz uma revisita ao Ciclo de Carnot (o ciclo ideal que limita o rendimento possível para as máquinas térmicas) e expõe sobre a Segunda Lei da Termodinâmica. A ideia central é mostrar que nenhuma máquina pode ter rendimento de 100%, pois isto implicaria uma redução da entropia do sistema (conforme os enunciados de Clausius e Kelvin), o que nunca se observou ocorrer de forma espontânea na natureza, isto é, sem a interferência de um agente externo.

Exposição do Professor: a degradação da energia.

Por fim, a exposição final de nosso curso. Com tudo o que já foi visto, não será difícil para o professor ajudar os alunos a refinarem o próprio conhecimento adquirido até aqui e sintetizá-los na seguinte afirmação: a energia se conserva, porém vai se transformando em formas cada vez mais desordenadas (energia potencial elétrica/gravitacional se converte em energia cinética e por fim em energia térmica). Esta é a chamada degradação da

energia, em que a própria energia “se perde”, porém não no sentido de desaparecer, mas sim no sentido de que ela toma formas que são inaproveitáveis para os seus fins iniciais.

Atividade 4

Última aula

Esta é a atividade final do curso e que também servirá de avaliação final. A proposta é que os alunos elaborem uma redação, em forma de narrativa ou dissertação, buscando responder a pergunta inicial do curso: “Se a energia se conserva, por que se diz que devemos economizá-la?”. Esta redação servirá como verificação do aproveitamento dos alunos, pois estes deverão construir seu texto fazendo uso dos argumentos científicos estudados ao longo das 8 aulas anteriores.

Anexo 1: Roteiro – A entropia e a segunda lei da termodinâmica¹

Esta atividade é muito simples e muito interessante, principalmente porque mostra um aspecto moderno da física oriundo da termodinâmica – a Física Estatística.

Pegue duas caixas de mesmo tamanho (exemplos: duas caixas de fósforos; duas caixas de sapato; etc). Junte as caixas usando fita adesiva e faça uma abertura no meio, que permita a passagem de feijões, por exemplo, ou então de esferas com cores distintas. A configuração das caixas está ilustrada na figura 1.

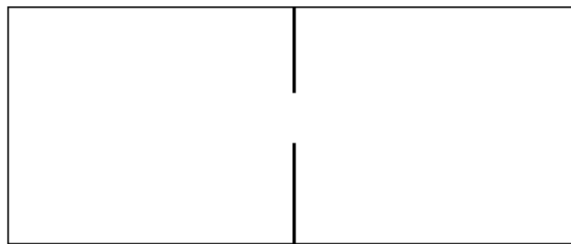


Figura 1 - Ilustração das montagem das caixas (perspectiva de cima)

Providencie um número razoável de esferas de duas cores distintas (20 de cada é um bom número), caso você não tenha esferas pode-se, tranquilamente, usar feijões preto e marrom. Inicialmente, coloque as esferas (feijões) de uma mesma cor em um lado da caixa, como ilustra a figura 2.

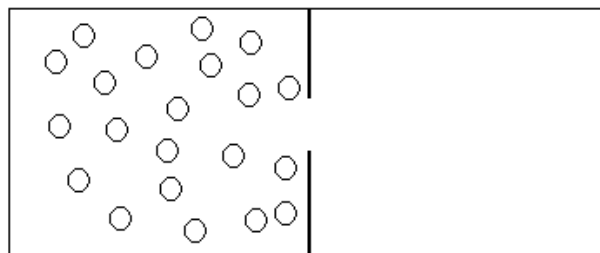


Figura 2 - Esferas colocadas em um só lado (em ordem)

Há ordem neste sistema: Todas as esferas estão numa só gaveta, portanto a entropia é pequena. Agora feche tampe as caixas e agite o conjunto.

¹ Atividade adaptada do livro Compreendendo a Física Vol.2, Alberto Gaspar

É importante que você agite o sistema sobre uma mesa horizontal para não inclinar as caixas para um lado só, alterando a simetria do sistema.

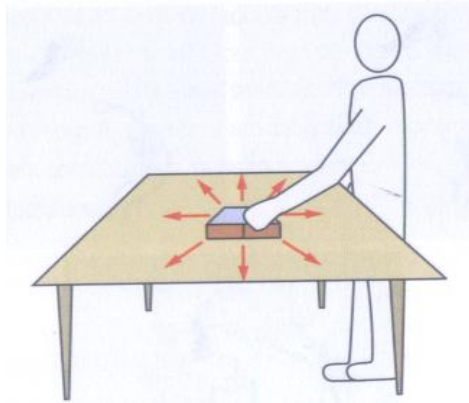


Figura 3 - Simulação da agitação térmica

Em seguida abra as caixas e veja a distribuição das esferas. É a mesma? O que mudou?

Agite um pouco e observe, repetindo o procedimento várias vezes. O que acontece com a entropia do sistema? Se você agitar mais vigorosamente, o que acontece? O que significa em física “agitar mais vigorosamente”? Se você aumentar ou diminuir a abertura entre as caixas ou substituir as esferas por esferas ainda menores, o que ocorre? Qual o significado físico dessas alterações?

Em seguida, coloque 20 esferas de uma cor de um lado e 20 esferas de outra cor do outro lado. Veja a figura abaixo:

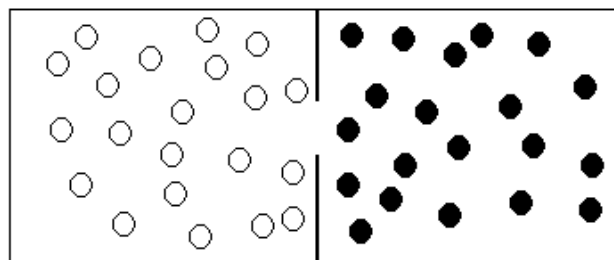


Figura 4 - Esferas com cores diferentes em lados diferentes (em ordem)

Repita o procedimento anterior e procure responder às mesmas perguntas.

Anexo 2: Apresentação de slides com exemplos de processos irreversíveis

Processos Reversíveis

Os processos reversíveis são processos que após terem ocorrido num dado sentido, também podem ocorrer naturalmente no sentido oposto (ou não), voltando ao estado inicial.

Processos Irreversíveis

Os processos irreversíveis ocorrem sempre num só sentido, sendo por isso fácil reconhecer a ordem temporal com que acontecem.

Mistura homogênea de dois líquidos



Gota de tinta ao ser misturada à água

© 2012 W&A, Inc. All rights reserved. www.wanda.com



Polished river water
falls as many people
as a nuclear explosion.



Expansão de um gás



Saída da pasta de dentes de seu tubo



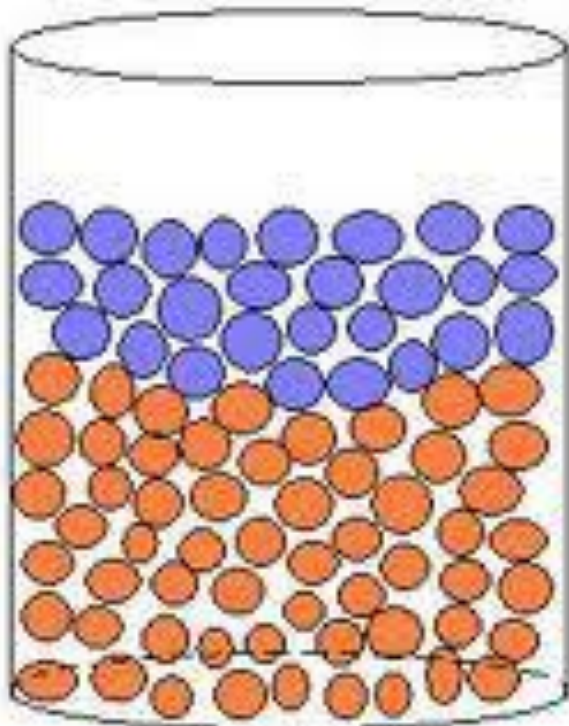
Quebrar de uma taça



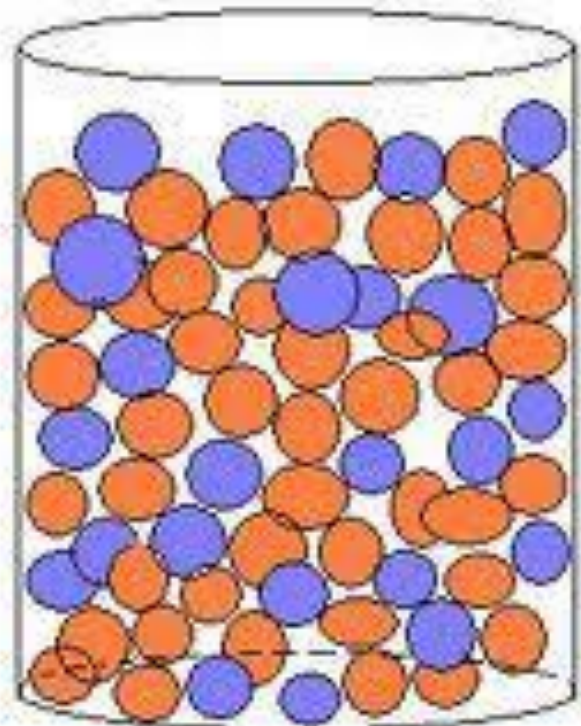
Derretimento de uma geleira



Mistura de objetos

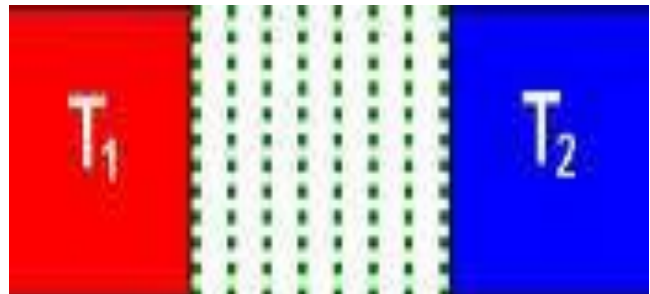
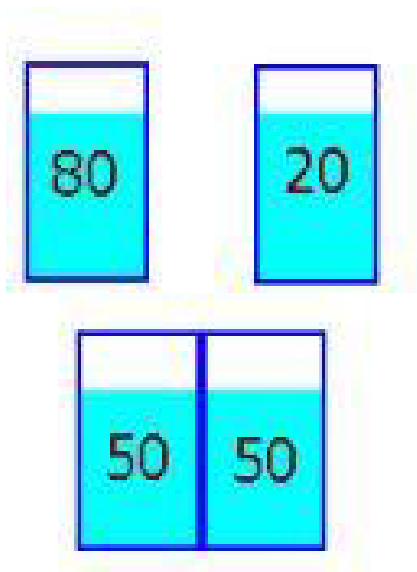


Recipiente 1



Recipiente 2

Temperaturas de corpos em equilíbrio



Formas das dunas de areia



Esculturas na areia



Escritas na areia



Anexo 3: As máquinas de movimento perpétuo²

Paralelamente aos aspectos práticos e utilitaristas, as máquinas fascinaram a espécie humana pela sua aparente capacidade de criar trabalho. As possibilidades desses equipamentos de multiplicação do trabalho, quando comparados à capacidade humana, serviu de base para muitas reflexões de natureza filosófica. As possibilidades de geração e criação estão na base de muitas das cosmologias antigas. A renovação permanente da vida, o movimento contínuo dos astros, a “inesgotabilidade” da luz solar são exemplos tirados da natureza que parecem indicar que a geração é algo próprio deste mundo. Muitos pensadores procuraram estudar as máquinas sob este ponto de vista. De onde viria a sua capacidade criativa? Seria possível aperfeiçoar esta capacidade de forma a obter trabalho de maneira inesgotável?

Entre os críticos à possibilidade de produzir trabalho do nada, encontra-se Leonardo da Vinci. Uma das máquinas propostas era feita a partir de uma roda com muitos pesos, de modo cada parte que se movesse como resultado do giro iria subitamente fazer outro peso cair, e que assim essa roda permaneceria em movimento perpétuo. Da Vinci dizia que esse projeto era impossível, pois, enquanto o peso está mais distante do centro da roda, o giro se torna mais difícil.

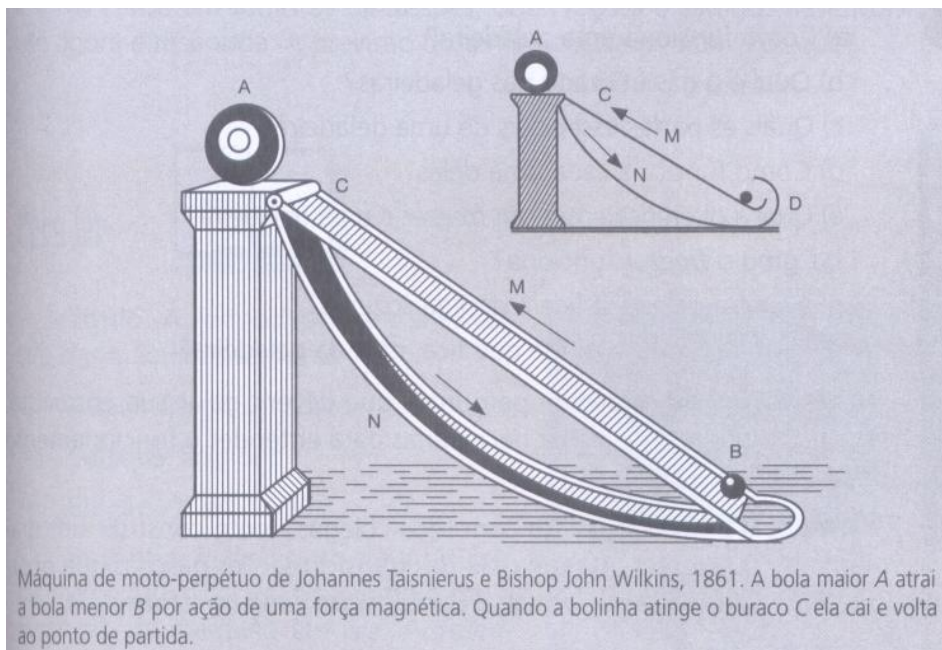
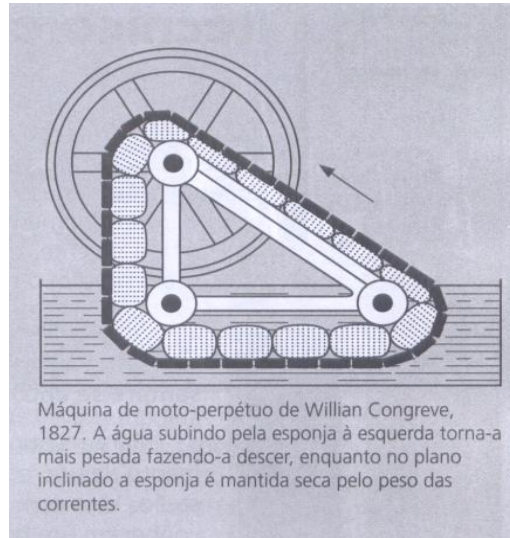
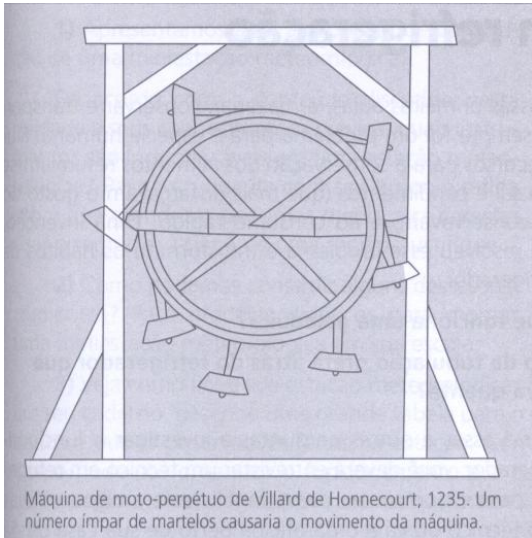
Por exemplo, um cata-vento ideal, livre de qualquer ação de resistência, perpetua um movimento inicialmente fornecido por um agente externo. Mas não é esse o tipo de funcionamento pretendido num moto-perpétuo. Do ponto de vista prático, é impossível acabar com todo tipo de resistência ao movimento e os construtores procuravam um sistema que pudesse, por sua própria conta, compensar as perdas através da geração de impulsos internos. Assim, o mecanicismo interno da máquina seria responsável por gerar trabalho.

Os motos-perpétuos ou motos-contínuos são uma velha busca que ainda hoje chega a fascinar algumas pessoas. Nos Estados Unidos há um registro de patente de uma máquina de moto-perpétuo desde 1979, mas a máquina não existe e os modelos que foram testados não funcionaram.

² Atividade adaptada do livro Física em contexto Vol.2, Pietrocola et all

As máquinas de movimento perpétuo foram, durante muitos séculos, o desejo de vários artesãos e sábios. Principalmente na Idade Média, várias máquinas foram construídas como sendo capazes de produzir movimento do nada. Atualmente a internet é um território rico em propostas e projetos de motos-perpétuos.

Conheça algumas máquinas de moto-perpétuo



Anexo 4: Sadi Carnot³



Nicolas Leonard Sadi Carnot (1796 – 1832), Físico e Engenheiro Francês, formou-se engenheiro e publicou um único e extraordinário trabalho aos 28 anos: *Reflexões sobre a potência motriz do fogo*. Interessava-se pelo estudo das máquinas térmicas por que, na sua opinião, era essa a razão do poderio da Inglaterra na época. “Retirar hoje da Inglaterra as suas máquinas a vapor seria retirar-lhe ao mesmo tempo o carvão e o ferro. Secariam todas as suas fontes de riqueza.”

Carnot lembrava ainda que, apesar da enorme importância destas máquinas, “a sua teoria é muito pouco compreendida”. Baseou seu estudo numa máquina a vapor ideal, em que as transformações deveriam ser todas reversíveis.

Carnot morreu ainda jovem, em 1832, vítima de uma epidemia de cólera em Paris. Suas ideias só foram bem compreendidas anos depois de sua morte, a partir de 1849, quando os Físicos Lorde Kelvin e Rudolf Clausius as conheceram e perceberam a sua importância.

³ Este texto foi retirado do livro *Compreendendo a Física - vol. 2*