

Volume 2 • Módulo 2 • Física • Unidade 10

Entropia e a segunda lei da termodinâmica

Andreia Mendonça Saguia, Angelo Longo Filho, Bruno Lazarotto Lago, César Bastos, Fábio Ferreira Luiz, Felipe Mondaini (coordenador), Gabriela Aline Casas

Introdução

Caro professor,

O material a seguir refere-se a um conjunto de atividades que poderão ser utilizados e/ou adaptados, de acordo com sua conveniência, sendo assim sugestões para o ato de educar no Ensino de Jovens e Adultos (EJA). Sendo assim, o mesmo poderá ser utilizado como um material de consulta com o intuito de complementar as aulas por você preparadas.

Para cada seção existem atividades que se diferenciam pela maneira como são apresentados os conteúdos, seja por meio de atividades em grupos, experimentos de baixo custo, vídeos ou applets, cabendo ao professor utilizar ou não os recursos ali dispostos.

Nesta Unidade 10 – Entropia e a 2ª Lei da Termodinâmica – procuramos resgatar a curiosidade dos alunos no estudo da Física, para isto alguns experimentos e atividades em grupo foram escolhidos de modo a explorar os preceitos básicos do conceito de Entropia. Nesta Unidade o professor terá uma maior dificuldade em trabalhar com seus alunos os conceitos básicos da 2ª Lei, por não ser um assunto do cotidiano dos alunos. Com este intuito sugerimos experimentos e atividades que podem ser desenvolvidas em sala de aula para reforçar a ideia de rendimento em máquinas térmicas e apresentar os fundamentos da 2ª Lei da Termodinâmica sem nos aprofundarmos demasiadamente na teoria. Vale notar que pela similaridade de conteúdos, algumas seções foram agrupadas como as Seções 2 e 4.

Esperamos por meio deste material atuar ao lado do professor com um conjunto de opções que venham a atender a necessidade cada vez mais urgente de um material de qualidade à disposição do professor.

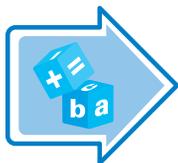
Apresentação da unidade do material do aluno

Disciplina	Volume	Módulo	Unidade	Estimativa de aulas para essa unidade
Física	2	2	10	4

Titulo da unidade	Tema
Entropia e a segunda lei da termodinâmica	
Objetivos da unidade	
Enunciar a segunda lei da termodinâmica;	
Conceituar entropia;	
Aplicar a segunda lei da termodinâmica a experimentos simples;	
Compreender o funcionamento de máquinas térmicas, como geladeira e ar condicionado.	
Seções	Páginas no material do aluno
1. A conservação de energia não explica tudo	257
2. Máquinas térmicas e eficiência	260
3. Entropia e a segunda lei	263
4. Um exemplo de máquina térmica: o aparelho de ar condicionado	265

Recursos e ideias para o Professor

Tipos de Atividades



Atividades em grupo ou individuais

São atividades que são feitas com recursos simples disponíveis.



Material copiado para distribuição em sala

São atividades que irão utilizar material reproduzido na própria escola e entregue aos alunos;



Datashow com computador, DVD e som

São atividades passadas por meio do recurso do projetor para toda a turma;



Atividades lúdicas

Experiências práticas que podem ser realizadas em sala com uso de recursos simples;



Avaliação

Questões ou propostas de avaliação conforme orientação.

Atividade Inicial

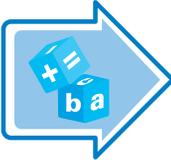
Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Feijões e a Segunda Lei da Termodinâmica	Tesoura, Fita adesiva, feijões pretos (20), feijões vermelhos (20), caixas de fósforo vazias (2)	Nesta atividade, é feita uma transposição didática de modo que possamos apresentar de forma lúdica e visual o aspecto da irreversibilidade na natureza, suportado e explicado pela entropia, como consequência da Segunda Lei da Termodinâmica.	O professor interage com toda a turma.	20 minutos

Seções 1 – A conservação de energia não explica tudo.

Página no material do aluno

257 a 259

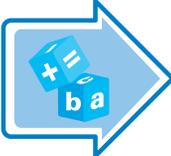
Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Equilíbrio Térmico	Applet (Física_Mod2_Un10_Sec1.phz), presente no material anexo do professor.	Ilustra o conceito de entropia como grau de desordem de um sistema, utilizando recursos multimídia.	Professor interage com toda a turma.	30 minutos

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Pintando o fluxo de espontâneo de energia térmica	<p>1 – Reservatório transparente (Béquer de 1000ml).</p> <p>1 – Reservatório transparente com tampa (bem lacrado – pode de condimento).</p> <p>1 – Corante alimentício.</p> <p>1 – Fogareiro (Bico de Bunsen, aquecedor térmico etc).</p> <p>1 – Água</p>	Nesta prática experimental, exibiremos de maneira qualitativa a 2ª Lei da termodinâmica, enunciada por Rudolf Clausius (1822-1888) da seguinte forma: Calor pode fluir espontaneamente de um corpo quente para um corpo frio, mas o calor não flui espontaneamente de um corpo frio a um corpo quente. Vídeo ilustrativo presente no material anexo do professor (Mod2-Unid10-Sec1.avi).	Grupos de 4 Alunos	15 minutos

Seção 2 – Máquinas térmicas e eficiência
Seção 4 – Um exemplo de máquina térmica: o aparelho de ar condicionado

Página no material do aluno
260 a 265

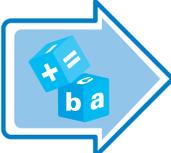
Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Máquina Térmica	Applet (Fisica_Mod2_Un10_Sec4.phz), disponível no material anexo do professor.	Este applet ilustra o funcionamento de uma máquina térmica utilizando recursos multimídia.	Professor interage com toda a turma.	20 minutos

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Motor a vapor de latinha de refrigerante	Uma latinha de refrigerante fechada, um catavento, um pedaço de fio grosso que possa ser dobrado com as mãos, 200 ml de água da bica, dois pregos: um grosso e outro bem fino, cola epóxi, velas e fósforos	Neste experimento, mostraremos o princípio básico de funcionamento do motor a vapor. Esse foi o primeiro motor inventado e foi muito empregado em indústrias, locomotivas e barcos. Hoje em dia, esses princípios são utilizados nas usinas termelétricas. Vídeo ilustrativo presente no material anexo do professor (Mod2-Unid10-Sec2e4-exp.wmv).	Professor interage com toda a turma	40 minutos
	Combustão interna: princípio básico do motor do carro	um tubo de papelão grosso (aquele tubo do rolo de papel alumínio é uma boa opção), uma bolinha de pingue-pongue, um desodorante spray, fita adesiva larga e um acendedor de fogão	Construiremos um canhão de bolinha de pingue-pongue, o qual ilustra o processo de combustão interna. Esse é o princípio básico por trás do funcionamento do motor de carro. Vídeo ilustrativo presente no material anexo do professor (Mod2-Unid10-Sec2e4-ativ.wmv).	Professor interage com toda a turma.	30 minutos

Seções 3 – Entropia e a segunda lei

Página no material do aluno

263 a 264

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Pintando a Entropia	2 – Porções de água (Em torno de 150ml cada); 2 – Recipientes transparentes; 1 – Aquecedor térmico; 2 – Cubos de gelo tingidos previamente.	Esta prática pretende, de maneira qualitativa, exibir o grau de desordem do sistema e evidenciar que a entropia sempre cresce, quando a quantidade de calor trocada é a mesma. Um vídeo ilustrando este experimento encontra-se disponível no material anexo do professor (Mod2-Unid10-Sec3.avi).	Grupos de 4 alunos	15 minutos

Avaliação

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Lista de Exercícios: Entropia e a Segunda Lei da Termodinâmica	Lápis e Papel	A Lista de Exercícios a seguir aborda os tópicos desenvolvidos durante esta unidade, tais como Segunda Lei da Termodinâmica, Entropia e Máquinas Térmicas. Um arquivo, contendo a lista de exercícios a seguir, está disponível no material anexo do professor.	Atividade Individual	1 aula

Atividade Inicial

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Feijões e a Segunda Lei da Termodinâmica	Tesoura, Fita adesiva, feijões pretos (20), feijões vermelhos (20), caixas de fósforo vazias (2)	Nesta atividade, é feita uma transposição didática de modo que possamos apresentar de forma lúdica e visual o aspecto da irreversibilidade na natureza, suportado e explicado pela entropia, como consequência da Segunda Lei da Termodinâmica.	O professor interage com toda a turma.	20 minutos

Aspectos operacionais

- Junte as gavetas de duas caixas de fósforos e as pendure com fita adesiva. Faça um corte entre as faces unidas de modo que haja uma abertura entre as gavetas. Veja Figura 1.
- Coloque 20 feijões pretos em uma das gavetas e 20 feijões vermelhos na outra gaveta (pode usar feijões de outras cores ou outros materiais como miçangas), conforme está ilustrado na Figura 2.
- Feche as gavetas com as tampas das caixas de fósforos, conforme está mostrado na Figura 3.
- Sobre uma mesa horizontal, faça movimentos com o conjunto em várias direções, sempre escorregando sobre a superfície da mesa como ilustrado pela Figura 4.
- Após realizar esta “agitação térmica” abra o conjunto de caixas e observe com a turma a configuração dos feijões. A Figura 5 mostra como poderão ficar.

Aspectos pedagógicos

- É importante que, com o pouco tempo de aula disponível, que este conjunto seja levado para a sala já montado. Você poderá usá-lo em várias turmas.
- Discuta o que foi observado com seus alunos. Levante questões tais como:
 1. O que aconteceu com a entropia do sistema?
 2. Se a caixinha for agitada mais vigorosamente o que acontecerá? Teste! Incentive-os a testar!

3. Em nossa transposição didática, o que significa “agitar mais vigorosamente”?
4. O que é esperado que aconteça de a abertura entre as gavetas aumentar? E se diminuir?
5. O que podemos esperar que aconteça se os feijões forem trocados por lentilhas (menores) ou por favas (maiores) que os feijões originais?
6. Para finalizar, discuta ainda na transposição se houve “equilíbrio térmico” e se houve variação da entropia.
7. Finalize concluindo a respeito do enunciado da Segunda Lei da Termodinâmica.



Material Necessário



Figura 1



Figura 2



Figura 3

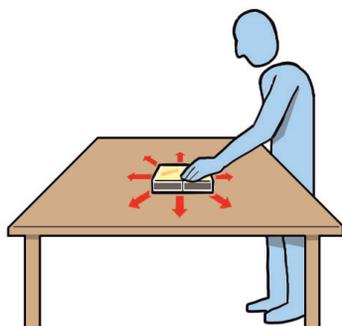


Figura 5

Fonte: Angelo Longo Filho



Figura 6

Seções 1 – A conservação de energia não explica tudo.

Página no material do aluno

257 a 259

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Equilíbrio Térmico	Applet (Fisica_Mod2_Un10_Sec1.phz), presente no material anexo do professor.	Ilustra o conceito de entropia como grau de desordem de um sistema, utilizando recursos multimídia.	Professor interage com toda a turma.	30 minutos

Aspectos operacionais

Conforme discutido na Seção 1 desta Unidade, nem sempre a conservação de energia explica tudo. Este conceito já aparece na mecânica, quando alguns sistemas não conservam energia, mas conservam momento linear, por exemplo. Em termodinâmica, uma quantidade tão fundamental quando a energia é a entropia. Para ilustrar o conceito de entropia esta simulação apresenta duas amostras, uma vermelha e outra azul, de um mesmo gás monoatômico. A amostra representada em vermelho está a uma temperatura maior do que a amostra azul, já que a velocidade das partículas do gás na primeira amostra é, em média, maior do que a da segunda. É possível misturar as duas amostras eliminando-se a parede que as separa. Atingido o equilíbrio térmico, é possível perceber que a velocidade das partículas azuis e vermelhas passam a ser equivalentes, no sentido que representam partículas de um gás à mesma temperatura. São exibidos os rastros de duas partículas de referência: uma partícula da amostra vermelha e uma partícula da amostra azul, facilitando a visualização das velocidades de cada uma delas.

Segue uma sugestão de utilização deste recurso:

- Inicie o applet (Fisica_Mod2_Un10_Sec1.phz), disponível no material fornecido.
- Explique aos alunos o que está sendo representado: partículas de um mesmo gás com cores diferentes para facilitar a identificação de quais partículas estavam inicialmente mais quentes/frias.
- Inicie a simulação.
- Enfatize a diferença de temperatura entre as amostras. As partículas azuis possuem, em média, uma velocidade menor do que as vermelhas. Isso pode ser visualizado através dos rastros deixados pelas partículas de referência.
- Pressione a tecla “backspace” para eliminar a parede que separa as duas amostras e espere até que o equilíbrio seja atingido.
- Reforce a ideia de que ao atingir o equilíbrio térmico, o rastro deixado pelas duas partículas representa partículas de um gás à mesma temperatura.

Aspectos pedagógicos

- Para alunos que necessitam de uma comprovação matemática das ideias, utilize uma interpretação probabilística para justificar o estado final de equilíbrio da mistura das amostras. Pergunte qual seria a probabilidade p de encontrar novamente uma das partículas azuis na região onde ela se encontrava inicialmente. A probabilidade de encontrar n partículas azuis nesta região seria p^n ! Alguns valores podem enriquecer a discussão. Se o volume inicial era metade do volume total, por exemplo, então $p=0.5$.
- Ainda na interpretação probabilística, discuta sobre a probabilidade de, após atingido o equilíbrio, termos todas as partículas azuis com a mesma velocidade inicial.
- Mesmo antes de misturar as amostras, pode ser que a velocidade instantânea da partícula de referência vermelha seja menor do que a da azul. Apesar de não ser possível discutir os detalhes da distribuição de velocidades em um gás, justifique esse fato informando que apesar de em um dado instante a velocidade da partícula vermelha ser menor do que a da partícula azul, a média das velocidades da partícula vermelha é maior do que a da partícula azul.

Seções 1 – A conservação de energia não explica tudo.

Página no material do aluno

257 a 259

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Pintando o fluxo de espontâneo de energia térmica	1 – Reservatório transparente (Béquer de 1000ml).	Nesta prática experimental, exibiremos de maneira qualitativa a 2ª Lei da termodinâmica, enunciada por Rudolf Clausius (1822-1888) da seguinte forma: Calor pode fluir espontaneamente de um corpo quente para um corpo frio, mas o calor não flui espontaneamente de um corpo frio a um corpo quente. Vídeo ilustrativo presente no material anexo do professor (Mod2-Unid10-Sec1.avi).	Grupos de 4 Alunos	15 minutos
		1 – Reservatório transparente com tampa (bem lacrado – pode de condimento).			
		1 – Corante alimentício.			
		1 – Fogareiro (Bico de Bunsen, aquecedor térmico etc).			
		1 – Água			

Aspectos operacionais

Fazem-se necessários cuidados extras no manuseio de fogareiros ou Bicos de Bunsen caso os use:

1. Adicione água, a temperatura ambiente, ao recipiente transparente maior.



Fonte: Fábio Ferreira Luiz

2. Adicione, ao reservatório menor, água e corante, agite até a solução se tornar homogênea.



Fonte: Fábio Ferreira Luiz

3. Aqueça o reservatório menor, em banho-maria ou aqueça-o diretamente, levando-o a chama (cuidado caso use vidros não temperados – prefira aquecer o líquido em panelas ou em béqueres).
4. Com cuidado repouse o recipiente contendo água com corante e já aquecida no fundo do recipiente maior (tente evitar o extravasamento) – Atente na imagem abaixo um pequeno “peso” no fundo do recipiente menor, pois o mesmo não se nutria ao fundo.



Fonte: Fábio Ferreira Luiz

Observe a corrente de convecção formada através das trocas de calor entre as substâncias.



Fonte: Fábio Ferreira Luiz

Aspectos pedagógicos

É interessante, evidenciar o sentido do fluxo de calor entre as substâncias e que em alguns casos os processos são irreversíveis como, por exemplo, o derretimento do gelo, envelhecimento dos seres e o passar do tempo.

Vale ressaltar que o uso de fontes térmicas é um fator muito preocupante. É sempre importante realçar que os cuidados devem ser redobrados, mantenha sempre um pano úmido próximo, para apagar o fogareiro, caso o use, e nunca o assopre, para apagá-lo basta somente retirar o oxigênio ao seu redor.

Seção 2 – Máquinas térmicas e eficiência
Seção 4 – Um exemplo de máquina térmica: o aparelho de ar condicionado

Página no material do aluno

260 a 265

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Máquina Térmica	Applet (Fisica_Mod2_Un10_Sec4.phz), disponível no material anexo do professor.	Este applet ilustra o funcionamento de uma máquina térmica utilizando recursos multimídia.	Professor interage com toda a turma.	20 minutos

Aspectos operacionais

O conceito de máquina térmica é muito importante na termodinâmica. Nem sempre é fácil entender o funcionamento dessas máquinas, sendo assim, este applet torna-se muito útil. Ele apresenta uma representação do funcionamento de uma máquina térmica. Pequenas partículas fazem o papel das moléculas de um gás dentro da máquina térmica. As fontes quente e fria, dois importantes elementos das máquinas térmicas, também estão presentes. A fonte quente, caldeira, fornece energia para as partículas do gás e estas conseguem fornecer energia para uma engrenagem, que poderia ser utilizada para girar um motor, um moinho etc. A fonte fria, retira energia das partículas e contribui para a formação de uma corrente de convecção dentro da máquina que facilita o retorno das partículas à caldeira. Considere a seguinte sugestão de utilização deste recurso:

- Inicie o applet (Fisica_Mod2_Un10_Sec4.phz), presente no material anexo do professor.
- A máquina térmica será mostrada.
- Pergunte aos alunos sobre a necessidade de termos as duas fontes (quente e fria).
- Inicie a simulação. Faça a conexão entre a máquina ilustrada e uma máquina a vapor. Inicialmente a máquina possui água em sua caldeira. Com o aumento da temperatura, surge vapor dentro da caldeira e o vapor consegue acionar a engrenagem. Por fim, o vapor de água é condensado na fonte fria e retorna à caldeira no estado líquido.

Aspectos pedagógicos

Os alunos facilmente se convencem da necessidade da fonte quente. Porém, nem sempre percebem a necessidade de se ter a fonte fria. Utilize exemplos mais simples para ilustrar situações onde, devido a diferenças de temperatura, surgem correntes de convecção. As brisas marítimas são ótimos exemplos!

Reforce a ideia de que o calor cedido na fonte quente não é convertido totalmente em trabalho na engrenagem. Parte desse calor é retirada na fonte fria. Esse fato é fundamental no estudo da termodinâmica.

Seção 2 – Máquinas térmicas e eficiência
Seção 4 – Um exemplo de máquina térmica: o aparelho de ar condicionado

Página no material do aluno

260 a 265

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Motor a vapor de latinha de refrigerante	Uma latinha de refrigerante fechada, um catavento, um pedaço de fio grosso que possa ser dobrado com as mãos, 200 ml de água da bica, dois pregos: um grosso e outro bem fino, cola epóxi, velas e fósforos	Neste experimento, mostraremos o princípio básico de funcionamento do motor a vapor. Esse foi o primeiro motor inventado e foi muito empregado em indústrias, locomotivas e barcos. Hoje em dia, esses princípios são utilizados nas usinas termelétricas. Vídeo ilustrativo presente no material anexo do professor (Mod2-Unid10-Sec2e4-exp.wmv).	Professor interage com toda a turma	40 minutos

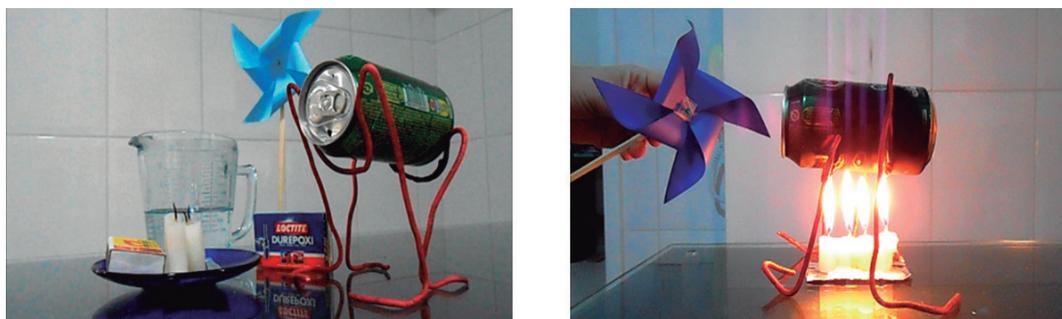
Aspectos operacionais

Para motivar a turma, inicie o experimento com uma conversa sobre motores a vapor. Pergunte se eles já viram fotos daquelas locomotivas antigas (Maria fumaça) ou barcos movidos a vapor. Como será que funcionam esses motores? Por que eles não são mais tão empregados hoje em dia? Por exemplo, por que não vemos carros movidos a vapor nas ruas? Para melhor compreensão das respostas a essas questões, proponha o experimento descrito a seguir.

1. Para economizar tempo, faça a montagem do kit experimental em casa e leve-o para a sala de aula.
2. Use o prego grande para fazer um furo na tampa da lata de refrigerante e esvazie a lata por este furo.
3. Coloque 200 ml de água na lata por este furo e tampe-o, utilizando a cola epóxi. Espere a cola secar.

4. Faça um furinho minúsculo na tampa da latinha, utilizando o prego fino.
5. Utilizando o fio grosso, mas flexível, faça um suporte para a latinha. A latinha deve ficar deitada horizontalmente sobre o suporte e o suporte deve ficar a uma altura suficiente para que se possa colocar as velas acesas abaixo da latinha (veja figuras ilustrativas abaixo).
6. Acenda umas 4 velas abaixo da latinha e deixe a água ferver (isso pode levar de 5 a 10 minutos).
7. Quando a água entrar em ebulição, o vapor sairá pelo furinho da latinha. Aproxime o catavento do vapor e observe-o girar.

Figuras ilustrativas da montagem experimental



Fonte: Andreia Saguia

Aspectos pedagógicos

É importante chamar a atenção dos alunos para as diversas etapas percorridas pelos motores a vapor que são observadas nesse experimento. Primeiro é necessário um combustível para queimar e produzir calor (nesse exemplo usamos as velas, mas também são utilizados: carvão mineral, óleo, gás natural, fissão nuclear etc.). Cada um desses elementos apresenta suas vantagens e desvantagens, esse pode ser um bom tema para trabalho de casa em grupo. O calor aquece a água do caldeirão (nossa latinha). A água evapora e o vapor confinado na latinha tem sua pressão cada vez mais aumentada. Ao passar pelo furinho da lata, o vapor sai com grande velocidade. Parte da energia desse vapor é transferida para o catavento, fazendo-o girar. Temos assim, a transformação do calor em trabalho mecânico que é o princípio fundamental das máquinas térmicas. Um fato importante de ser notado é que, por definição, máquina é um dispositivo que funciona em ciclos. Para obter esse efeito nas máquinas a vapor, temos de realimentar a caldeira com água. Isso pode ser feito manualmente, como no caso das primeiras locomotivas, ou usando-se uma fonte fria para condensar o vapor depois da realização do trabalho, como no caso das usinas termelétricas.

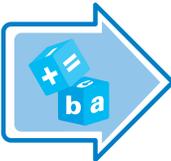
Outro tema que pode ser explorado com os alunos é a discussão das vantagens e desvantagens desse tipo de máquina. Por exemplo, em países como a China, rica em carvão, a locomotiva a vapor é ainda utilizada. No caso das usinas termelétricas, podemos citar como vantagens o fato dela poder ser montada perto das cidades, diminuindo as linhas de transmissões e desperdiçando menos energia e também poderem estar ativas durante

todo o ano, independentemente da quantidade de chuvas (que tanto afeta a usina hidrelétrica). Por outro lado, as desvantagens são muitas: os motores não são eficientes, só aproveitam aproximadamente 10% da energia gerada e também são grandes, ruidosos, instáveis e grandemente dissipadores de energia (por isso não vemos carros nas ruas movidos a vapor). Além do mais, a queima do combustível provoca impactos ambientais, como poluição do ar e formação de lixo nuclear.

Seção 2 – Máquinas térmicas e eficiência
Seção 4 – Um exemplo de máquina térmica: o aparelho de ar condicionado

Página no material do aluno

260 a 265

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Combustão interna: princípio básico do motor do carro	um tubo de papelão grosso (aquele tubo do rolo de papel alumínio é uma boa opção), uma bolinha de pingue-pongue, um desodorante spray, fita adesiva larga e um acendedor de fogão	Construiremos um canhão de bolinha de pingue-pongue, o qual ilustra o processo de combustão interna. Esse é o princípio básico por trás do funcionamento do motor de carro. Vídeo ilustrativo presente no material anexo do professor (Mod2-Unid10-Sec2e4-ativ.wmv).	Professor interage com toda a turma.	30 minutos

Aspectos operacionais

Inicie a atividade, provocando os alunos com perguntas do tipo: Como funciona o motor do carro? Como se dá o consumo de gasolina neste tipo de motor? Como a gasolina faz o carro andar? Após esse conversa, proponha a atividade a seguir, para ajudar os alunos a compreenderem os princípios básicos do funcionamento de um motor de explosão interna, como o carro.

1. Corte o tubo de papelão ao meio (o tubo deve ter mais ou menos o tamanho de um rolo de papel higiênico). Use a fita adesiva, para tampar completamente uma das aberturas do tubo. Cole três ou quatro camadas de fita adesiva para que a abertura fique bem tampada.

2. Utilizando uma faquinha, faça um pequeno buraco na fita adesiva, de fora para dentro, de modo a obter uma pequena abertura.
3. Pressione levemente o tubo de desodorante umas duas vezes na abertura livre do tubo. Não é necessário inserir o desodorante no tubo. O spray deve ser lançado a uns 5 cm de distância da abertura do tubo. Use pouco desodorante, se não o sistema não funcionará.
4. Tampe rapidamente essa abertura do tubo com a bolinha de pingue-pongue.
5. Introduza o acendedor no buraco da fita adesiva e aperte o gatilho para obter uma faísca.
6. Os alunos devem observar a bolinha sendo lançada longe.

Figuras ilustrativas da montagem experimental



Fonte: Andreia Saguia

Aspectos pedagógicos

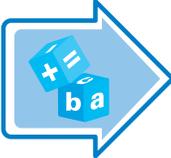
Com esta atividade, os alunos terão a oportunidade de compreender o processo de combustão interna que ocorre no motor do carro. É importante chamar a atenção dos alunos para esta semelhança. Nesta atividade, a explosão é causada pelo álcool do desodorante, no motor do carro quem faz esse papel é a gasolina. O rolo de papel simula a câmara de combustão e a bolinha o pistão do motor do carro. O acendedor funciona como a vela do carro que lança uma faísca para provocar a explosão da mistura de gasolina e ar na câmara de combustão. A explosão aquece o ar e a expansão rápida deste ar provoca o movimento do pistão (no nosso experimento, da bolinha). O pistão funciona em movimento de vai e vem sendo empurrado a cada explosão. O pistão é conectado a um dispositivo que faz as rodas do carro girar.

Aproveite este momento lúdico para falar em rendimento. O motor de 4 tempos, como os mais frequentemente utilizados nos carros, possui um rendimento de 25 a 35%. Por princípio, nenhuma máquina térmica pode ter rendimento de 100%, mas porque o motor do carro tem um rendimento tão baixo? De que forma toda esse energia perde-se? Como tem se buscado melhorar esse rendimento? Esse pode ser um bom tema para um trabalho de casa em grupo.

Seções 3 – Entropia e a segunda lei

Página no material do aluno

263 a 264

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Pintando a Entropia	2 – Porções de água (Em torno de 150ml cada); 2 – Recipientes transparentes; 1 – Aquecedor térmico; 2 – Cubos de gelo tingidos previamente.	Esta prática pretende, de maneira qualitativa, exibir o grau de desordem do sistema e evidenciar que a entropia sempre cresce, quando a quantidade de calor trocada é a mesma. Um vídeo ilustrando este experimento encontra-se disponível no material anexo do professor (Mod2-Unid10-Sec3.avi).	Grupos de 4 alunos	15 minutos

Aspectos operacionais

Podemos observar com esta prática que algumas trocas de calor só ocorrem em um sentido e que a entropia é muito mais alta em um gás (ou líquido) do que em um arranjo cristalino. O experimento exibe que a entropia está intimamente ligada a quantidade de energia disponível.

Passos:

1. Repouse um copo, com 150ml água a 27°C e em outro copo, com também mesmos 150ml a temperatura próxima de 80°C.



Temperatura

Fonte: Fábio Ferreira Luiz



Ambiente Quente

2. Adicione, ao mesmo instante, o gelo tingido, um cubo em cada copo.
3. Observe que o gelo adicionado ao copo com água a 80°C tinge muito mais a água do que o copo, contendo água a 27°C.



Temperatura Ambiente Quente

Fonte: Fábio Ferreira Luiz

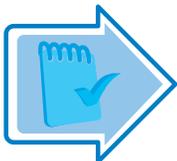


Aspectos pedagógicos

Previamente, devemos preparar o gelo tingido com corante alimentício (ou tinta a base d'água), outro fator importante é a forma para aquecer a água, é muito importante o nobre professor estabelecer os cuidados necessários, caso use fogareiros ou bicos de bunsen. É possível desenvolver um aquecedor térmico, utilizando uma resistência de chuveiro e um chicote com tomada, tome cuidado ao acionar o aquecedor, caso o use, mergulhe a resistência por completo em água, sobre o risco de rompimento da mesma.

Observaremos durante o experimento que a entropia no copo inicialmente a 80°C é muito maior do que no copo a 27°C. A entropia estabelece a quantidade de calor fornecida de maneira irreversível em função da temperatura.

Avaliação

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Lista de Exercícios: Entropia e a Segunda Lei da Termodinâmica	Lápis e Papel	A Lista de Exercícios a seguir aborda os tópicos desenvolvidos durante esta unidade, tais como Segunda Lei da Termodinâmica, Entropia e Máquinas Térmicas. Um arquivo, contendo a lista de exercícios a seguir, está disponível no material anexo do professor.	Atividade Individual	1 aula

Aspectos operacionais

Para o momento de avaliação, sugerimos a utilização do último tempo de aula, destinado à Unidade 10. A seguir, apresentamos sugestões para a avaliação das habilidades pretendidas nesta unidade.

- Faça um resumo sobre os conteúdos trabalhados durante a unidade. Se desejar, utilize o resumo elaborado neste material;
- Estime os alunos a fazerem os exercícios listados a seguir.

Aspectos pedagógicos

- É interessante selecionar alguns exercícios para resolver com os alunos, para que estes tenham uma primeira orientação a respeito de como solucioná-los. Os demais devem ser feitos pelos próprios alunos.
- Após a resolução das questões, proponha uma discussão sobre as soluções encontradas.
- Possivelmente, aparecerão soluções divergentes. Pondere as equivocadas, ressaltando onde reside o erro.

Lista de Exercícios

Entropia e a Segunda Lei da Termodinâmica

1. (UECE 2009) Imagine um sistema termicamente isolado, composto por cilindros conectados por uma válvula, inicialmente fechada. Um dos cilindros contém um gás perfeito, mantido à pressão de 1 atm, e no outro, tem-se vácuo. Abrindo-se a válvula,
 - a. o gás se expande e, assim, sua temperatura diminui.
 - b. a entropia do sistema mantém-se constante, pois não há troca de calor.
 - c. a entropia do sistema aumenta, porque o processo é irreversível.
 - d. a energia interna do gás diminui, porque sua pressão diminui.
2. (Enen 2011) Um motor só poderá realizar trabalho, se receber uma quantidade de energia de outro sistema. No caso, a energia armazenada no combustível é, em parte, liberada durante a combustão para que o aparelho possa funcionar. Quando o motor funciona, parte da energia convertida ou transformada na combustão não pode ser utilizada para a realização de trabalho. Isso significa dizer que há vazamento da energia em outra forma. CARVALHO, A. X. Z. *Física Térmica*. Belo Horizonte: Pax, 2009 (adaptado).

De acordo com o texto, as transformações de energia que ocorrem durante o funcionamento do motor são decorrentes de:

- a. liberação de calor dentro do motor ser impossível.
 - b. realização de trabalho pelo motor ser incontrolável.
 - c. conversão integral de calor em trabalho ser impossível.
 - d. transformação de energia térmica em cinética ser impossível.
 - e. utilização de energia potencial do combustível ser incontrolável.
3. (EPCAR (AFA) 2012) Com relação às máquinas térmicas e a Segunda Lei da Termodinâmica, analise as proposições a seguir.
 - i. Máquinas térmicas são dispositivos usados para converter energia mecânica em energia térmica com consequente realização de trabalho.
 - ii. O enunciado da Segunda Lei da Termodinâmica, proposto por Clausius, afirma que o calor não passa espontaneamente de um corpo frio para um corpo mais quente, a não ser forçado por um agente externo como é o caso do refrigerador.
 - iii. É possível construir uma máquina térmica que, operando em transformações cíclicas, tenha como único efeito transformar completamente em trabalho a energia térmica de uma fonte quente.
 - iv. Nenhuma máquina térmica, operando entre duas temperaturas fixadas, pode ter rendimento maior que a máquina ideal de Carnot, operando entre essas mesmas temperaturas.

São corretas apenas

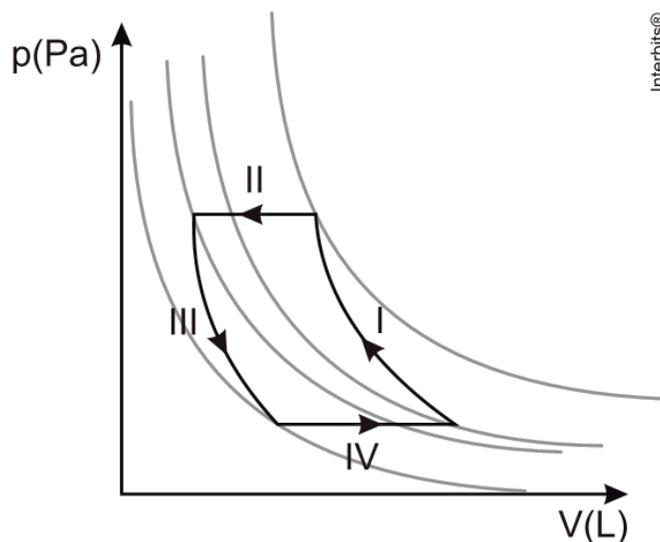
- a. I e II
 - b. II e III
 - c. I, III e IV
 - d. II e IV
4. (Enem 2012) Aumentar a eficiência na queima de combustível dos motores à combustão e reduzir suas emissões de poluentes são a meta de qualquer fabricante de motores. É também o foco de uma pesquisa brasileira que envolve experimentos com plasma, o quarto estado da matéria e que está presente no processo de ignição. A interação da faísca emitida pela vela de ignição com as moléculas de combustível gera o plasma que provoca a explosão liberadora de energia que, por sua vez, faz o motor funcionar. Disponível em: www.inovacaotecnologica.com.br. Acesso em: 22 jul. 2010 (adaptado).

No entanto, a busca da eficiência, referenciada no texto, apresenta como fator limitante

- a. o tipo de combustível, fóssil, que utilizam. Sendo um insumo não renovável, em algum momento estará esgotado.
 - b. um dos princípios da termodinâmica, segundo o qual o rendimento de uma máquina térmica nunca atinge o ideal.
 - c. o funcionamento cíclico de todos os motores. A repetição contínua dos movimentos exige que parte da energia seja transferida ao próximo ciclo.
 - d. as forças de atrito inevitável entre as peças. Tais forças provocam desgastes contínuos que com o tempo levam qualquer material à fadiga e ruptura.
 - e. a temperatura em que eles trabalham. Para atingir o plasma, é necessária uma temperatura maior que a de fusão do aço com que se fazem os motores.
5. (ITA 2013) Diferente da dinâmica newtoniana, que não distingue passado e futuro, a direção temporal tem papel marcante no nosso dia. Assim, por exemplo, ao aquecer uma parte de um corpo macroscópico e o isolarmos termicamente, a temperatura deste torna-se gradualmente uniforme, jamais se observando o contrário, o que indica a direcionalidade do tempo. Diz-se então que os processos macroscópicos são irreversíveis, evoluem do passado para o futuro e exibem o que o famoso cosmólogo Sir Arthur Eddington denominou de seta do tempo. A lei física que melhor traduz o tema do texto é
- a. a segunda lei de Newton.
 - b. a lei de conservação da energia.
 - c. a segunda lei da termodinâmica.
 - d. a lei zero da termodinâmica.
 - e. a lei de conservação da quantidade de movimento.

6. (PUCMG 2004) A respeito do que faz um refrigerador, pode-se dizer que:
- produz frio.
 - anula o calor.
 - converte calor em frio.
 - remove calor de uma região e o transfere a outra.
7. (UEM 2012) Sobre as transformações termodinâmicas que podem ocorrer com um gás ideal confinado em um cilindro com pistão, assinale o que for correto.
- (01) Um gás ideal realiza trabalho ao se expandir, empurrando o pistão contra uma pressão externa.
- (02) Em uma transformação adiabática ocorre troca de calor com a vizinhança.
- (04) A energia interna de uma amostra de gás ideal não varia, quando este sofre uma transformação isovolumétrica.
- (08) Quando o gás ideal sofre uma compressão, o trabalho é realizado por um agente externo sobre o gás ideal.
- (16) O gás ideal não realiza trabalho em uma transformação isovolumétrica.
8. (Ufpr 2008) Os estudos científicos desenvolvidos pelo engenheiro francês Nicolas Sadi Carnot (1796-1832) na tentativa de melhorar o rendimento de máquinas térmicas serviram de base para a formulação da segunda lei da termodinâmica. Acerca do tema, considere as seguintes afirmativas:
- O rendimento de uma máquina térmica é a razão entre o trabalho realizado pela máquina num ciclo e o calor retirado do reservatório quente nesse ciclo.
 - Os refrigeradores são máquinas térmicas que transferem calor de um sistema de menor temperatura para outro a uma temperatura mais elevada.
 - É possível construir uma máquina, que opera em ciclos, cujo único efeito seja retirar calor de uma fonte e transformá-lo integralmente em trabalho.
- Assinale a alternativa correta.
- Somente as afirmativas 1 e 3 são verdadeiras.
 - Somente a afirmativa 1 é verdadeira.
 - Somente a afirmativa 2 é verdadeira.
 - Somente as afirmativas 1 e 2 são verdadeiras.
 - Somente as afirmativas 2 e 3 são verdadeiras.
9. (G1 – IFSC 2012) Você já se perguntou como funciona a geladeira? De que maneira ela consegue diminuir a temperatura dos alimentos? Pelo menos sabe, do ponto de vista físico, explicar o que acontece? A geladeira

é uma máquina térmica fria, que transforma trabalho em calor. Como máquina térmica, ela respeita um ciclo de transformações (duas isobáricas e duas adiabáticas), como mostra a figura abaixo.



Identifique em qual transformação a temperatura do gás atinge o seu menor valor. Assinale a alternativa **CORRETA**.

- a. Transformação IV – expansão isobárica
 - b. Transformação I – compressão adiabática
 - c. Transformação II – compressão isobárica
 - d. Transformação III – expansão adiabática
 - e. Transformação III – compressão adiabática
10. (UFPB 2011) Todos os anos, diversos pedidos de patentes de novas máquinas são rejeitados por violarem as Leis da Termodinâmica. Em particular, o conceito de entropia é frequentemente o ponto central da falha dos projetos dessas máquinas, o que demonstra a importância da entropia. Considerando o conceito de entropia, identifique as afirmativas corretas:
- () A reversibilidade de um processo termodinâmico é uma consequência do aumento da entropia.
 - () Alguns processos termodinâmicos, mesmo quando há conservação da energia, não são possíveis, pois fazem a entropia do universo diminuir.
 - () A entropia é uma medida da desordem do sistema.
 - () Quanto maior o número de estados acessíveis a um sistema, maior será a entropia desse sistema.
 - () De acordo com a segunda Lei da Termodinâmica, a entropia de um sistema fechado nunca decresce.

Gabarito Comentado

Resposta da questão 1: [C]

O sistema é termicamente isolado e expande livremente contra o vácuo. Portanto, o gás não realiza trabalho e nem recebe calor, sendo assim, sua energia interna não varia, não ocorrendo variação de sua temperatura. Porém, o sistema é irreversível: o gás perde a capacidade de realizar trabalho, aumentando a entropia do sistema.

Resposta da questão 2: [C]

De acordo com a segunda lei da termodinâmica. **É impossível uma máquina térmica, operando em ciclos, converter integralmente calor em trabalho.**

Resposta da questão 3: [D]

I. **Falsa.** Máquinas térmicas são dispositivos usados para converter energia térmica em energia mecânica com consequente realização de trabalho.

II. **Verdadeira.** Idem enunciado.

III. **Falsa.** De acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, nenhuma máquina térmica, operando em ciclos, pode retirar calor de uma fonte e transformá-lo integralmente em trabalho.

IV. **Verdadeira.** Idem enunciado.

Resposta da questão 4: [B]

A segunda lei da Termodinâmica afirma: *É impossível uma máquina Térmica, operando em ciclos, transformar integralmente calor em trabalho* .

Em termos de cálculo, ela pode ser traduzida pela expressão do ciclo de Carnot, que dá o máximo rendimento possível para uma máquina térmica operando em ciclos entre uma fonte quente e uma fonte fria, respectivamente, a temperaturas absolutas T_1 e T_2 :

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

Para transformar integralmente calor em trabalho, o rendimento teria que ser igual $\eta = 1$.

Nesse caso:

$$1 = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = 0 \Rightarrow T_2 = 0 \text{ K.}$$

Ou seja, temperatura da fonte fria deveria ser zero absoluto, o que é um absurdo.

Resposta da questão 5: [C]

Do texto da questão: ao aquecer uma parte de um corpo macroscópico e o isolarmos termicamente, a temperatura deste se torna gradualmente uniforme, jamais se observando o contrário, o que indica a direcionalidade do tempo .

O texto refere-se à entropia de um sistema, ou melhor, ao aumento da entropia dos sistemas termodinâmicos, o que é demonstrado pela segunda lei da termodinâmica que nos diz: nunca será observado, com o passar do tempo, um acúmulo de energia térmica em apenas um ponto do corpo. Dessa forma, distribuir uniformemente a temperatura de um sistema isolado é um processo irreversível, pois ocorre espontaneamente, ao contrário do acúmulo de energia, que precisa ser um processo forçado , ou seja, requer a atuação de uma fonte de energia externa ao sistema para ocorrer.

Resposta da questão 6: [D]

O refrigerador é antinatural. Ele força o fluxo de calor do ponto de menor para o de maior temperatura.

Resposta da questão 7:

$$01 + 08 + 16 = 25.$$

(01) **Correta.** Devido à pressão, o gás exerce força sobre o êmbolo, empurrando o pistão, realizando trabalho positivo.

(02) **Incorreta.** Transformação adiabática é aquela em que o gás **não** troca calor com a vizinhança.

(04) **Incorreta.** A energia interna de um gás ideal depende exclusivamente da sua temperatura absoluta. Portanto, somente não ocorre variação da energia interna, quando a transformação é isotérmica.

(08) **Correta.** Na compressão o gás recebe trabalho de um agente externo.

(16) **Correta.** Se a transformação é isovolumétrica, não ocorre deslocamento do pistão, não havendo realização de trabalho.

Resposta da questão 8: [D]

Resposta da questão 9: [D]

Da equação de Clapeyron:

$$p V = n R T \Rightarrow T = \frac{p V}{n R}.$$

Essa expressão nos mostra que a temperatura é diretamente proporcional ao produto **Pressão x Volume**. O gráfico nos mostra que o mínimo valor desse produto é no final da transformação III, portanto, esse é ponto em que a temperatura atinge o menor valor.

Resposta da questão 10:

FVVVV

Justificando a(s) falsa(s)

(F) A reversibilidade de um processo termodinâmico é uma consequência do aumento da entropia.

Num processo reversível a variação da entropia é nula, ou seja, a entropia é constante, pois o processo ocorre em equilíbrio termodinâmico.