

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - CAMPO MOURÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Produto Educacional

SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DA TERMODINÂMICA

JOSLAINE DE LIMA

Campo Mourão
2016

MNPEF

Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



JOSLAINE DE LIMA

Produto Educacional

SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DA TERMODINÂMICA

Produto Educacional apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Prof^a Dra. Roseli Constantino Schwerz
Co-orientador: Prof. Dr. Michel Corci Batista

Campo Mourão
2016

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	4
1.1 OBJETIVOS DA SEQUENCIA DIDÁTICA	4
1.2 O PAPEL DO PROFESSOR NESSA PROPOSTA	5
1.3 ORGANIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	5
2 MÓDULO 1 – CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE, DISCUTINDO O CONCEITO DE TRABALHO	6
3 MÓDULO 2 – ENERGIA E TRABALHO	16
4 MÓDULO 3 – PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA E AS TRASNFORMAÇÕES DOS GASES	20
5 MÓDULO 4 – PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA E A TRANSFORMAÇÃO DOS GASES	34

1 APRESENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática apresentada segue os pressupostos teóricos do modelo de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas propostos por Moreira. Esta, foi desenvolvida tendo como base a utilização de diferentes recursos didáticos, tais como: vídeos, simuladores e animações, classificados como TIC. Buscou-se como referencial teórico um ensino no qual o aluno deixa de ser mero espectador, tendo importante papel na construção do conhecimento. Para isso elaboramos questões introdutórias e situações-problemas mediadas pelo professor de tal modo que o aluno tem a oportunidade de se expressar e discutir conceitos com seus pares e com o professor. Esse conjunto de ações principais, tem por objetivo, propiciar um processo de ensino com aprendizagem significativa.

Essa sequência didática visa tornar a aula mais dinâmica, buscando despertar no aluno uma predisposição para aprender de forma significativa, sempre utilizando de meios para relacionar o seu conhecimento prévio, da sala de aula ou cotidiano, com os novos conceitos apresentados pelo professor. Esse produto educacional buscou utilizar estratégias facilitadoras para aprendizagem significativa, como organização sequencial do conteúdo e a consolidação dos conhecimentos prévios dos alunos. Isso foi realizado por meio de questionamentos, de exercícios e situações-problemas, com progressivos graus de dificuldade, almejando o processo contínuo de diferenciação e integração dos conceitos pelos alunos.

1.1 Objetivos da sequência didática

Constituem-se como objetivos dessa proposta de ensino :

- promover a interação entre professor e alunos, bem como a interação entre os próprios alunos;
- motivar os alunos para o estudo da termodinâmica;
- promover condições de aprendizagem dos conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais de termodinâmica;
- contribuir para a formação de cidadãos;

1.2 O papel do professor nessa proposta

Esse produto educacional se pauta numa proposta de ensino, na qual o professor tem o papel de estimular o debate entre os alunos, de forma que cada aluno tenha liberdade para participar e interagir.

Tem ainda a função de distribuir as atividades e criar um ambiente propício para que ocorra o ensino e a aprendizagem, sempre buscando alcançar os objetivos da proposta.

1.3 Organização da sequência didática

A sequência didática apresentada aqui como produto educacional, foi estruturada em cinco módulos, totalizando 12 aulas, como apresentado no quadro 1:

MÓDULOS	TEMAS	Nº DE AULAS
Módulo 1	Ciência Tecnologia e Sociedade: Discutindo o conceito de trabalho	2
Módulo 2	Energia e Trabalho.	2
Módulo 3	1ª Lei da Termodinâmica e as Transformações dos gases.	4
Módulo 4	Segunda Lei da Termodinâmica e as Máquinas Térmicas.	2

Quadro 1: Esquema de organização dos módulos da sequência didática

O número de aulas previsto é de doze aulas, mas esse número pode ser alterado caso haja necessidade.

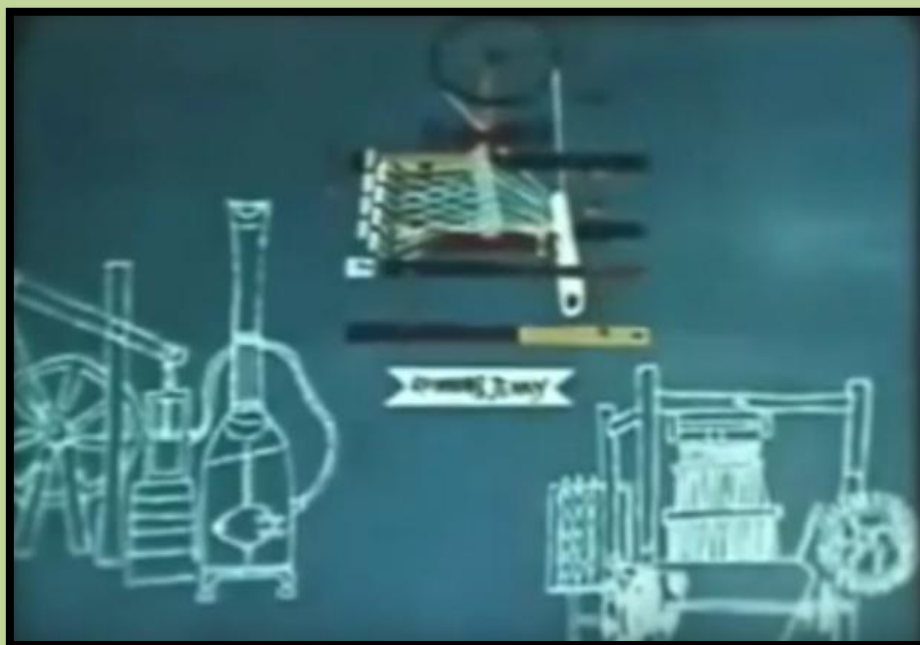
2 MÓDULOS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

MÓDULO 1: CIÊNCIA TECNOLOGIA E SOCIEDADE: DISCUTINDO O CONCEITO DE TRABALHO

Atividade 1: Discussão sobre a revolução industrial

O objetivo dessa atividade é identificar se os alunos conseguem relacionar esse momento histórico com a física, conseqüentemente, com a termodinâmica.

Inicialmente os alunos devem assistir ao vídeo 1 intitulado Revolução Industrial, breve resumo.



Vídeo 1

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=TtDgBoky3fo>

Após os alunos assistirem ao vídeo introdutório, o professor pode separar a turma em pequenos grupos e em seguida, deve propor para as duplas a discussão e resolução das seguintes questões:

1) Qual a relação da revolução industrial e a física?

2) Você já escutou sobre o termo termodinâmica? Saberá definir?

3) Como a termodinâmica aparece na nossa vida cotidiana? Onde ela pode ser observada? No que ela é importante?

Após respondida as questões acima o professor solicita que um integrante de cada grupo leia sua resposta para o grande grupo (a sala) gerando assim um debate sobre a temática. O professor pode registrar no quadro as ideias chave para o desenvolvimento da aula.

Atividade 2: Introdução ao estudo do tema: trabalho.

Para dar início ao conteúdo sobre trabalho o professor pode apresenta aos alunos o vídeo 2, de animação, intitulado trabalho em equipe, esse vídeo apresenta um conceito cotidiano de trabalho, a partir dele o professor deve levantar o que os alunos já sabem sobre o conceito de trabalho, pode ainda relacionar alguns conceitos físicos .



Vídeo 2

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=GWET5PUn7BQ>

Ao final do vídeo antes de encaminhar a discussão sobre o conceito de trabalho o professor solicita aos alunos responderem os seguintes questionamentos:

4) Para a Física, qual a definição de trabalho? É o mesmo? Explique.

5) Qual a relação entre energia e trabalho?

É importante que essas respostas sejam discutidas com os alunos pois, pode gerar uma melhor compreensão da temática estudada.

Atividade 3: Explorando o conceito de trabalho termodinâmico.

O professor deve iniciar a atividade 3 propondo que os grupos assistam o vídeo 3, este já envolve conhecimentos físicos sobre variáveis de estado de um gás. Esse vídeo tem aproximadamente 3,5 minutos e apresenta um experimento com balão, onde é possível observar a expansão e compressão realizada pelo gás, no entanto, o professor deverá passar para os alunos apenas os 2,5 minutos iniciais do vídeo pois, é esse fragmento do vídeo que apresenta os conceitos básicos que o professor necessita para encaminhar a discussão.



Vídeo 3

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=qipY5qVCtCA>

Então nos mesmos grupos, eles deverão discutir as questões, e anotarem na folha que irão entregar posteriormente ao professor:

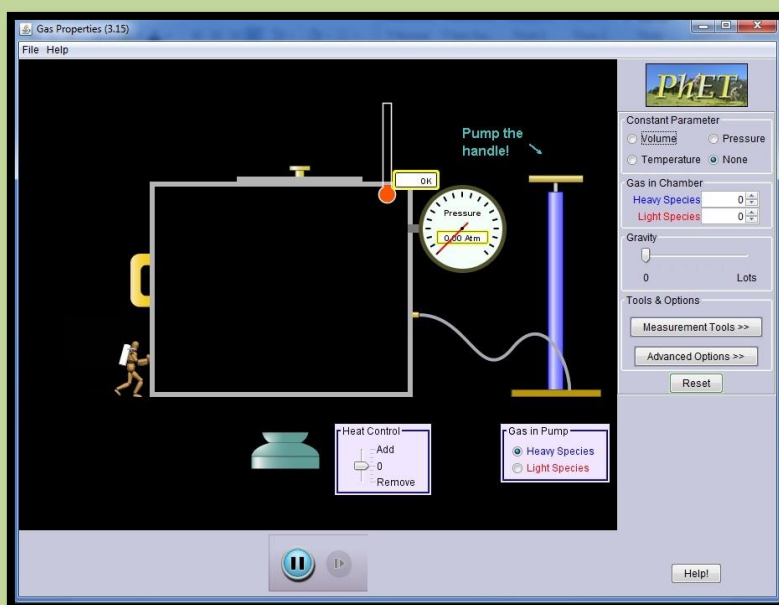
6) O que foi possível observar no experimento? Como isso acontece? Saberia explicar quais conceitos físicos envolvidos?

7) Quem realizou trabalho sobre a bexiga?

Após responderem, deverão socializar as respostas com os outros alunos. É importante que o professor não de a resposta das questões neste momento, somente instigue a discussão dos alunos, o vídeo do experimento com a bexiga será dado continuidade após a explicação sobre trabalho.

Atividade 4: Apresentação oral do conteúdo pelo professor.

Nesta etapa da aula o professor apresenta para os alunos o simulador 1 da plataforma do grupo Phet da Universidade do Colorado.



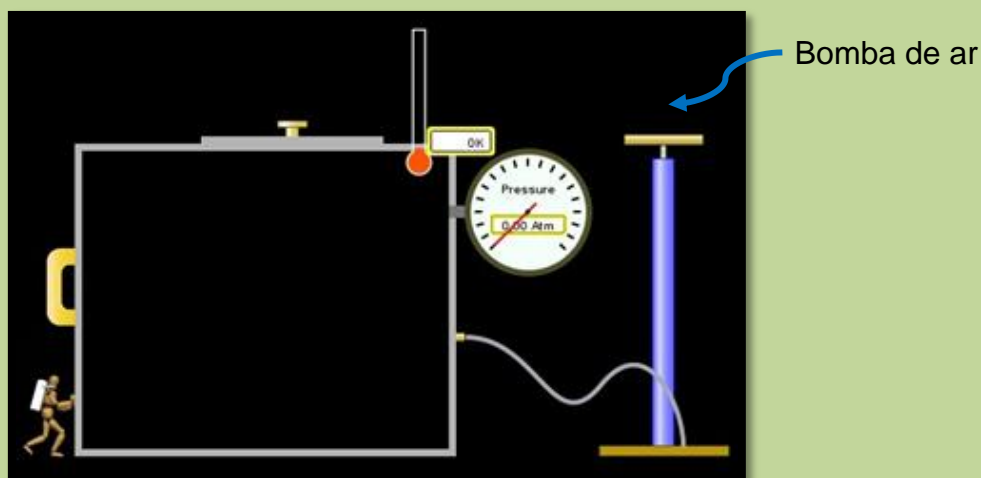
Simulador 1

Fonte: <http://phet.colorado.edu/en/simulation/gas-properties>

Após mostrar para os alunos o simulador, o professor encaminha uma atividade para despertar o interesse dos alunos. Nessa atividade os alunos poderão verificar o que ocorre com as variáveis de estado de um gás.

Roteiro para utilização simulador

Primeiramente ejetar o gás dentro do recipiente, para isso basta utilizar a bomba de ar.



Forneça calor ao sistema. “Observe que ao fornecer calor ao sistema, as partículas tornam-se mais agitadas chocando-se contra as paredes do recipiente fazendo uma pressão (p) contra as paredes e o êmbolo”.

Espera estabilizar o sistema e marque a opção Pressure (isto significa que irá trabalhar com um aquecimento isobárico).

“Considere esse gás contido nesse reservatório fechado por um êmbolo móvel que desliza sem atrito e está perfeitamente ajustado às paredes do recipiente”.

“Ao receber calor suas moléculas adquirem maior agitação de translação e conseqüentemente ocorre maior número de choques entre elas provocando expansão do gás, no entanto a pressão interna do recipiente permanece constante porque o êmbolo pode se deslocar livremente e porque não ocorre alteração da pressão externa, o deslocamento do êmbolo se dá pela ação de uma força resultante F proveniente da interação entre as moléculas do gás e as paredes do recipiente que o contem”.

Nesse momento, o professor pode fazer uma explanação sobre o que aconteceu para que o êmbolo se deslocasse, e inserir a linguagem matemática para os alunos.

Momento da Física

“Uma força aplicada em um corpo realiza um trabalho quando produz um deslocamento no corpo”. Para uma força constante aplicada no mesmo sentido do deslocamento temos:

$$w = F \cdot d \quad \text{eq. 1}$$

onde, F é a força constante medida em newtons, d é o deslocamento medido em metros e w é o trabalho medido em joules.

Essa expressão pode ser escrita nos termos da grandeza pressão e volume, que estão associadas as transformações gasosas. Como a pressão p é obtida pela razão entre o módulo da força F e a área A , ou seja

$$p = \frac{F}{A} \quad \text{eq. 2}$$

onde, F é a força constante medida em newtons, A é a área medida em metro quadrado e p é a pressão medida em newton por metro quadrado.

Assim podemos reescrever a expressão 2 isolando a força.

$$F = p \cdot A \quad \text{eq. 3}$$

Consideramos que força e deslocamento tem a mesma direção e sentido e que Área x deslocamento do êmbolo = Variação do volume $A \cdot d = \Delta V$, substituímos a equação 3 na equação 1 e assim temos:

$$w = F \cdot d$$

$$w = p \cdot A \cdot d$$

$$w = p \cdot \Delta V$$

$$w = p \cdot (V_{final} - V_{inicial}) \quad \text{eq. 4}$$

Após apresentar o modelo matemático para os alunos o professor utiliza o livro didático e discorre sobre o tema trabalho, mantendo a variável de estado

pressão, constante. Deve ser complementada a ideia do simulador, quando fornecemos calor para um sistema com pressão constante, a temperatura do gás aumenta e ocorre um aumento do volume, ou seja uma expansão gasosa. Essa também pode ser compreendida analisando -se a equação de Clapeyron, para a pressão constante:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$V = \left(\frac{n \cdot R}{p} \right) \cdot T \quad \text{eq. 5}$$

onde, o número de mols (n), a constante dos gases ideais (R) e a pressão (p) são constantes.

Dessa forma se fornecemos calor ao sistema, aumentamos sua temperatura, e de acordo com a equação 5, se a temperatura aumenta o volume aumenta, ocasionando o processo de expansão.

Após essa explicação teórica, o professor solicita que cada grupo elabore uma explicação física para o experimento assistido no vídeo 3. Depois de um tempo necessário para a resposta cada grupo socializa sua explicação, e o professor vai formalizando os conceitos físicos apresentados nas respostas.

Em seguida o professor apresenta para os alunos uma situação diferente da estudada até então.

Atividade 5: Exemplos

Pergunta: "pessoal, e se a pressão do sistema também mudar? Como poderemos descobrir o trabalho realizado pelo gás ao receber calor?"

O professor aguarda algumas tentativas de resposta dos alunos e em seguida encaminha a explicação para o questionamento levantado.

Momento da Física

Imagine que um gás hipotético recebe calor, ao receber calor sua temperatura aumenta (aumentando assim sua energia interna - que vamos estudar na próxima aula), isso faz aumentar a pressão e conseqüentemente o volume. Para melhor entender vamos representar essa situação física numa linguagem gráfica:

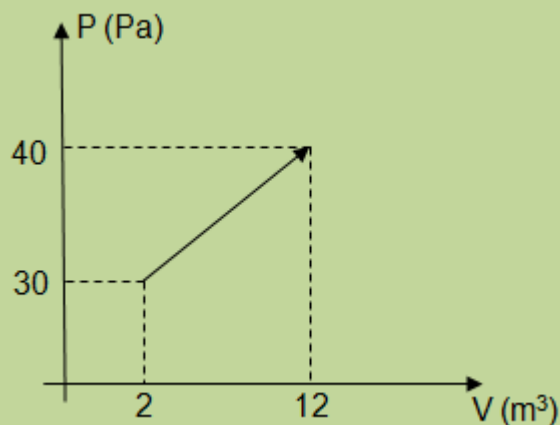


Gráfico de pressão x volume

Percebam que no gráfico que ao receber calor, a pressão do gás aumentou de 30Pa para 40Pa - pascal (unidade de medida de pressão no sistema internacional) e o volume aumentou de 2m³ para 12m³ (unidade de medida de volume no sistema internacional).

Nesse caso o trabalho não pode ser determinado pela equação 4 pois, essa só pode ser utilizada se a pressão for constante, portanto, temos uma nova maneira de se determinar o trabalho termodinâmico de um sistema gasoso. Quando a pressão varia devemos fazer uma interpretação física da área do gráfico pois, o número calculado da área será exatamente o valor do trabalho termodinâmico.

O trabalho será numericamente igual a área do gráfico de p x V

$$w = \text{Área}$$

Para exemplificar podemos calcular o valor do trabalho utilizando os dados do gráfico acima.

$$w = \text{Área}$$

$$w = \frac{(B + b) \cdot h}{2}$$

$$w = \frac{(40 + 30) \cdot 10}{2}$$

$$w = 350J$$

MÓDULO 2 – ENERGIA E TRABALHO

Atividade 1 : Relembrando o Conceito de Energia e Conservação de Energia.

Para identificar os conhecimentos prévios os alunos deverão responder as questões:

1) O que é energia (definição pessoal)?

2) Quais são os tipos de energia que você conhece?

Atividade 2 – Vídeo sobre Conservação da Energia

Após será passado o vídeo:



Vídeo 4

Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=BUK_bxyqsec

Esse vídeo deve servir como um organizador prévio do conteúdo de conservação de energia. Os alunos deverão voltar às questões anteriores e discutir as respostas que deram antes do vídeo e após.

Atividade 3: introdução à Primeira Lei da Termodinâmica.

Para continuar a discussão sobre trabalho e inserção dos conceitos de energia térmica e a primeira lei da termodinâmica será passado o vídeo



Vídeo 5

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=GkPsPiMeCp4>.

O professor deverá iniciar este vídeo em 1:15 e terminar (pausar) em 2:29, neste momento deve-se encaminhar uma discussão com os alunos se já observaram esse fenômeno em seu cotidiano, como ocorre com a bomba no vídeo, por que ela aquece ao ser “bombeada” pelos atores?

Volta-se para a continuação do vídeo para ver a explicação dada ao fenômeno. Mostra-se o vídeo entre 2:20 e 2:43.

Então, no quadro, o professor poderá entrar na questão da energia interna, seu conceito, o que acontece quando comprime a bomba, falando das velocidades das moléculas do gás.

Momento da Física

Nos gases, a energia interna é resultante de várias energias, entre elas a energia de translação, rotação e de vibração de suas moléculas, outra parcela dessa energia interna é a das partículas intra-atômicas. Há ainda energia potencial associada as forças internas e energia cinética associada a agitação térmica de suas moléculas.

Segundo a teoria cinética dos gases, a energia cinética (E_c) dos gases monoatômicos pode ser determinada pela expressão:

$$E_c = \frac{3}{2}nRT \quad \text{eq. 6}$$

Podemos definir a variação de energia interna ΔU em uma transformação gasosa pela diferença entre as energias cinéticas medias de seus estados final e inicial

$$\begin{aligned}\Delta U &= E_{cf} - E_{ci} \\ \Delta U &= \frac{3}{2}nRT_f - \frac{3}{2}nRT_i \\ \Delta U &= \frac{3}{2}nR\Delta T \quad \text{eq. 7}\end{aligned}$$

Dessa forma podemos dizer que para os gases ideais, “a variação da energia interna de determinada massa gasosa é função única e exclusiva de sua temperatura.”

Volta-se para o vídeo entre 2:35 e 6:23, mas antes lembrando a situação em discussão. Este vídeo além de fazer uma revisão sobre energia e trabalho e ainda faz uma ponte com a primeira lei da termodinâmica que será abordada na próxima aula.

Atividade 4 – Fechamento da aula

Para finalizar os conceitos discutidos, sobre energia interna, os alunos devem assistir ao vídeo sobre termodinâmica do mundo de Beakman.



Vídeo 6

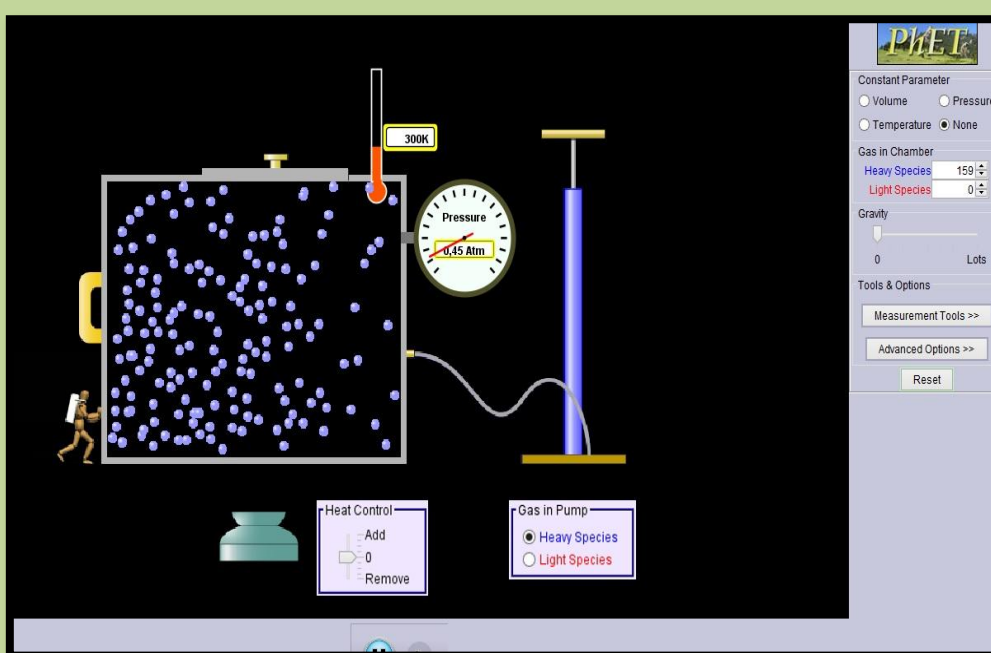
Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=xHTpjoyO2WbE>

No vídeo é explicado de uma maneira lúdica e de fácil compreensão sobre o conceito de termodinâmica, calor e energia interna. Que poderá ser utilizada como uma revisão de todos os conteúdos abordados até o momento e já servindo como uma ponte de ligação para os próximos conteúdos.

MÓDULO 3 – PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA E AS TRANSFORMAÇÕES DOS GASES

Atividade 1 : Definição da Primeira Lei da Termodinâmica.

O professor inicia este módulo projetando em uma tela, ou na parede, o simulador já utilizado anteriormente. Inicialmente o professor comprime a bomba de ar (pistão) e solicita que os alunos registrem o que ocorre com a temperatura do sistema (observação o cadeado do pistão deve estar travado).



Simulador 1

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/gas-properties>

Roteiro para utilização do simulador:

Para demonstrar a relação da Primeira Lei, primeiro deixe sem parâmetro constante (lado direito da tela, parte superior), ejete o gás e espere a pressão e a temperatura estabilizar. Com o sistema estável, fixe a pressão (teremos uma transformação isobárica).

Agora forneça calor ao sistema, pergunte aos alunos quais variáveis termodinâmicas estão sofrendo alteração (espera-se que o aluno perceba uma expansão do gás pois, o mesmo recebeu calor e realizou trabalho, espera-se ainda que ele note

uma alteração na temperatura do sistema e essa mudança na temperatura teria ocasionado uma mudança energia interna).

Nesse sentido o professor pode questionar os alunos:

1) O que ocorreu com o sistema apresentado? O que está sendo alterado?

Em seguida o professor realiza o processo inverso, retirando calor do sistema. Após a simulação lance o questionamento.

2) E agora o que está acontecendo com o sistema?

Atividade 2 – Conceituando a Primeira Lei da Termodinâmica

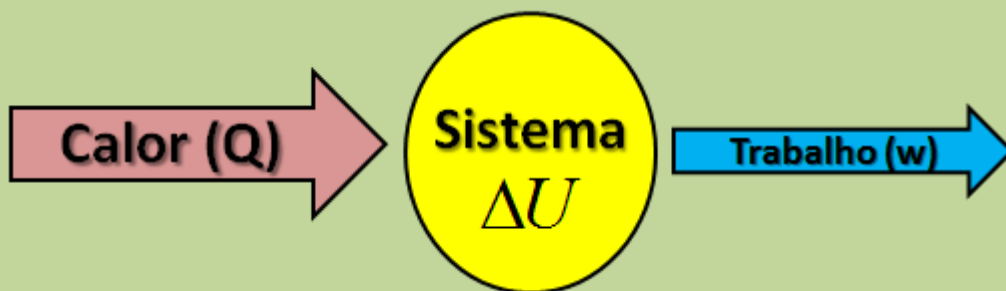
Então, após essa discussão, o professor, no quadro, poderá definir a primeira lei da termodinâmica, voltando a lei da conservação de energia discutida anteriormente:

Momento da Física

“A energia não pode ser criada nem destruída, pode apenas ser transformada de uma forma em outra, e sua quantidade total permanece constante”

A primeira lei da termodinâmica expressa o princípio de conservação de energia de um sistema considerando três formas diferentes de energia: o trabalho mecânico, a variação da energia interna e o calor.

Considere um sistema recebendo calor (Q). O calor recebido será transformado integralmente em trabalho (w) ou integralmente em energia interna (ΔU) ou ainda uma parte do calor recebido será transformado em trabalho e o restante em energia interna.



$$Q = w + \Delta U \text{ eq. 8}$$

Perceba que a quantidade de calor que entra em um sistema é a responsável pela mudança de estado de um gás, e, portanto, pela alteração da pressão, do volume e/ou da temperatura, sempre ocorrendo conservação de energia.

A seguir temos um quadro que descreve o comportamento das diferentes transformações termodinâmicas:

Transformação gasosa	Descrição	Primeira lei da Termodinâmica
Isotérmica	A transformação ocorre com a temperatura constante. $\Delta U = 0$	$Q = w$ Todo calor fornecido ao sistema é integralmente transformado em trabalho.
Isométrica	A transformação ocorre com a volume constante. $w = 0$	$Q = \Delta U$ Todo calor fornecido ao sistema é integralmente transformado em energia interna.
Isobárica	A transformação ocorre com a pressão constante.	$Q = w + \Delta U$ uma parte do calor fornecido ao sistema será transformado em trabalho e o restante em energia interna.
Adiabática	Não há trocas de calor entre o sistema termodinâmico e o meio externo. $Q = 0$	$w = -\Delta U$ Todo trabalho recebido ou realizado é convertido em energia interna do próprio gás.

APROFUNDAMENTO

Aplicações da primeira lei da Termodinâmica

Transformação Isométrica

Na transformação isométrica, não há deslocamento do êmbolo, logo não há alteração no volume, assim:

$$w = p \cdot \Delta V$$

$$\Delta V = 0$$

$$w = 0$$

Aplicando a primeira lei da Termodinâmica para a transformação isométrica temos:

$$Q = w + \Delta U$$

$$Q = \Delta U$$

Toda quantidade de calor é utilizada para a variação da energia interna do gás.

- Se o gás recebe calor $Q > 0$, ocorre um aumento de sua energia interna e, com isso, um aumento da temperatura T do gás.
- Se o gás cede calor $Q < 0$, ocorre uma redução de sua energia interna e, conseqüentemente, uma redução de sua temperatura T .
- Se desenvolvermos a igualdade $Q = \Delta U$, teremos para o gás monoatômico:

$$Q = \Delta U$$

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

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \Delta T$$

$$m \cdot c \cdot \Delta T = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \Delta T$$

$$n = \frac{m}{M}$$

$$m \cdot c = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R$$

$$M \cdot c = \frac{3}{2} \cdot R$$

$$M \cdot c = C_V$$

$$C_V = \frac{3}{2} \cdot R \quad \text{eq. 9}$$

onde,

m é a massa do gás.

c é o calor específico do material.

M é a massa molar.

R é a constante universal dos gases perfeitos.

C_V é o calor molar do gás a volume constante.

O calor molar do gás a volume constante representa a quantidade de calor que um mol desse gás precisa para variar uma unidade de temperatura na escala absoluta Kelvin.

Transformação Isobárica

A aplicação da primeira lei da Termodinâmica na transformação isobárica ocorre de forma integral:

$$Q = w + \Delta U$$

Desenvolvendo essa igualdade para um gás monoatômico temos:

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

$$w = p \cdot \Delta V$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \Delta T$$

$$m \cdot c \cdot \Delta T = p \cdot \Delta V + \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$w = p \cdot \Delta V = n \cdot R \cdot \Delta T$$

$$m \cdot c \cdot \Delta T = n \cdot R \Delta T + \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$

$$m \cdot c \cdot \Delta T = \Delta T \left(n \cdot R + \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \right)$$

$$M \cdot c = \frac{5}{2} \cdot R$$

$$M \cdot c = C_p$$

$$C_p = \frac{5}{2} \cdot R \quad \text{eq. 10}$$

onde,

C_p é o calor molar do gás à pressão constante.

O calor molar do gás à pressão constante representa a quantidade de calor que um mol desse gás absorve ou cede para variar uma unidade de temperatura na escala absoluta Kelvin.

Relação entre os calores molares

Uma massa gasosa pode sofrer um aquecimento isométrico ou um aquecimento isobárico; assim, as grandezas definidas como calor molar poderão ser úteis no cálculo da quantidade de calor envolvido. Elas podem ser relacionadas da seguinte forma:

$$C_p - C_v = \frac{5}{2} \cdot R - \frac{3}{2} \cdot R$$

$$C_p - C_v = R \quad \text{eq. 11}$$

Conhecida como relação de Mayer, a expressão acima é válida para gases ideais monoatômicos, diatômicos ou poliatômicos.

Outra relação envolvendo essas grandezas é o coeficiente de Poisson, utilizado nas transformações térmicas rápidas. É dado por:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad \text{eq. 12}$$

Para o gás monoatômico temos:

$$\gamma = \frac{\frac{5}{2} \cdot R}{\frac{3}{2} \cdot R}$$

$$\gamma = \frac{5}{3} \cdot R \cong 1,67 \quad \text{eq. 13}$$

Transformação adiabática

Essa transformação pode ser obtida utilizando um recipiente com paredes isolantes ou por meio de uma compressão ou expansão muito rápida, o que garante que não há trocas de calor durante a transformação.

Nesse tipo de transformação todas as variáveis de estado se alteram.

Para a transformação adiabática, considerando a massa do constante, vale a lei geral dos gases ideais:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \quad \text{eq. 14}$$

Verifica-se ainda que no decorrer de uma transformação adiabática, vale a seguinte relação:

$$p \cdot V^\gamma = \text{constante}$$

Assim,

$$p_1 \cdot V_1^\gamma = p_2 \cdot V_2^\gamma \quad \text{eq. 15}$$

Atividade 3 – Resolução de Exemplos e Exercícios Propostos

Tempo estimado: 30 minutos

Exemplo: Um sistema gasoso recebe do meio externo 200 cal, em forma de calor. Sabendo que 1 cal = 4,2 J, determinar a variação de energia interna numa transformação isométrica.

Vamos transformar em Joules:

$$Q = 200\text{cal} = 200 \cdot 4,2 = 840\text{J}$$

Numa transformação isométrica o volume permanece constante, ou seja $\Delta V = 0$ e o trabalho w é nulo, o calor recebido é transformado em variação da energia interna. Logo,

$$Q = w + \Delta U$$

$$840 = 0 + \Delta U$$

$$\Delta U = 840\text{J}$$

Exercícios Propostos:

1. Numa transformação isobárica, um gás realiza o trabalho de 400 J, quando recebe do meio externo 500 J. Qual a variação de energia interna do gás nessa transformação ?

Resolução:

Pela lei da conservação de energia, sabemos que: $Q = w + \Delta U$

Logo,

$$500 = 400 + \Delta U$$

$$\Delta U = 100J$$

2. Sobre um sistema realiza-se um trabalho de 3000J e, em consequência ele fornece 500 cal ao meio externo durante o mesmo intervalo de tempo. Se 1 cal = 4,2J, determine a variação de energia do sistema.

Resolução:

Transformando em Joule:

$$Q = 500cal = 500 \cdot 4,2 = 2100J$$

Pela lei da conservação de energia, sabemos que: $Q = w + \Delta U$

Logo,

$$2100 = 3000 + \Delta U$$

$$\Delta U = -900J$$

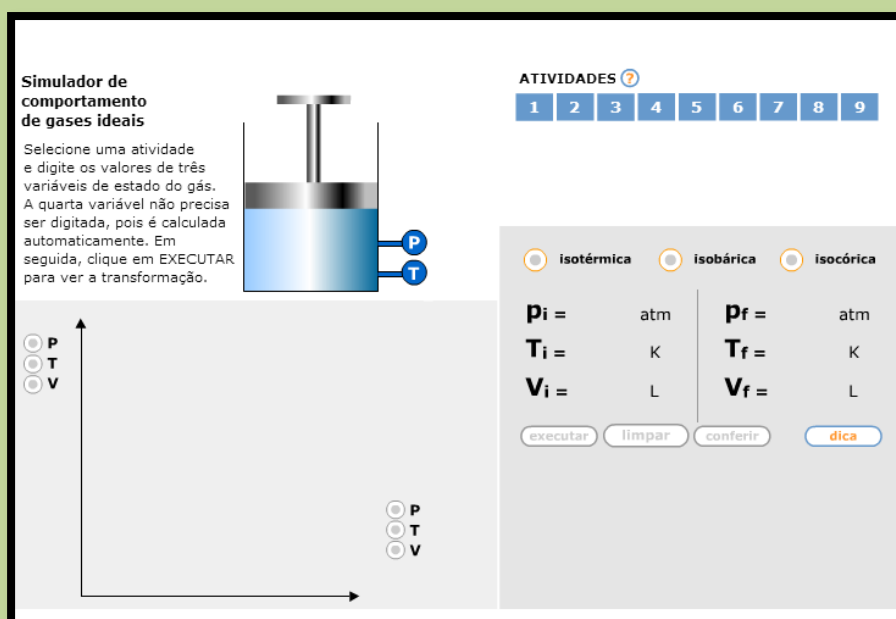
Como devemos considerar o módulo, temos que $\Delta U = 900 J$

Atividade 4: Visualização dos processos termodinâmicos e análise gráfica.

O professor utilizará um simulador e novamente falará sobre os processos termodinâmicos. Agora os alunos poderão utilizar a calculadora e deverão trabalhar em pequenos grupos.

Roteiro para utilização do simulador

Acesse o simulador de comportamento de gases ideais.



Simulador 2

Fonte: www.educacional.com.br/recursos/conteudomultimedia/21/quimica/gases/gases3.asp

Como se pode verificar na imagem do simulador 2, o simulador é composto de três partes. A primeira no canto superior direito chamada atividades, essas são tarefas que o professor deve seguir junto com os alunos.

Importante!

Atividades 1, 2 e 3 correspondem a transformação isotérmica.

Atividades 4, 5 e 6 correspondem a transformação isobárica.

Atividades 7, 8 e 9 correspondem a transformação isométrica.

A segunda parte está abaixo das atividades, aqui o professor ao ler a atividade deverá inicialmente a partir da interpretação do enunciado verificar se a transformação gasosa é isotérmica, isométrica ou isobárica, a seguir seleciona o ícone do simulador correspondente a transformação. O professor deve preencher essa parte do simulador com os dados encontrados na atividade, com os dados preenchidos solicite que os grupos encontrem o valor da variável que está faltando, para isso devem utilizar a equação geral dos gases ideais.

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Importante!

Quando a temperatura for fornecida pela atividade na unidade graus Celsius, deverá ser convertida em Kelvin.

$$T_K = T_C + 273$$

Após os grupos responderem o valor da variável, clique no botão executar, imediatamente aparecerá o valor da variável que estava faltando e ao lado esquerdo do simulador será plotado um gráfico referente a transformação termodinâmica.

Nesta parte do simulador o professor consegue alterar as variáveis do gráfico, por isso, nas atividades 1, 2 e 3 mantenha na parte vertical do gráfico a variável pressão - P e na parte horizontal do gráfico a variável volume - V.

Faça as atividades 1, 2 e 3 e dê condições para o aluno perceber que o gráfico tem sempre a mesma forma, a linha descrita pelo gráfico chama-se isoterma e em qualquer ponto dela a temperatura da massa gasosa é a mesma.

Em seguida fixe na parte vertical do gráfico a variável volume - V e na parte horizontal temperatura - T, faça as atividades 4, 5 e 6 evidenciando os gráficos encontrados.

Para finalizar fixe na parte vertical do gráfico a variável pressão - P e na parte horizontal temperatura - T, faça as atividades 4, 5 e 6 evidenciando os gráficos encontrados.

Em cada caso, quando o professor simular o processo termodinâmico deverá solicitar que os alunos observarem as variáveis temperatura, pressão e volume e então a

partir tirar conclusões sobre a primeira lei da termodinâmica: calor, trabalho e variação de energia interna.

Atividade 6: Análise de processos exemplificados em vídeo.

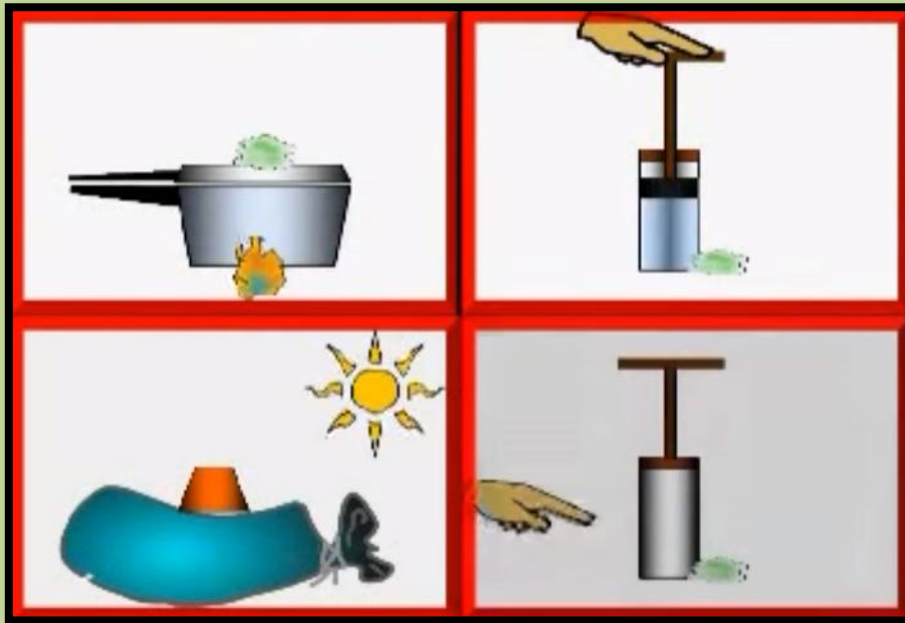
Para finalizar o trabalho com as transformações gasosas os alunos assistirão a um vídeo composto de 4 experimentos. Após assistir os alunos deverão responder as perguntas feitas no vídeo e entregar as respostas ao professor.



Vídeo 7

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=8IYLWBp2Bbo>

Após os alunos nos pequenos grupos tentarem responder o que acontece com a pressão, temperatura, volume e calor em cada situação descrita, o professor apresenta a segunda parte do vídeo, com a explicação física de cada situação o vídeo com as respostas, os alunos deverão discuti-las e compara-las com as respostas dadas por eles.



Vídeo 8

<https://www.youtube.com/watch?v=YWNPIvbKfp0#t=12.420241>

Para finalizar solicite que os alunos resolvam a questão a seguir.

3. Um recipiente indeformável, hermeticamente fechado, contém 10 litros de um gás perfeito a 30°C, suportando a pressão de 2 atmosferas. A temperatura do gás é aumentada até atingir 60° C.

a) Calcule a pressão final do gás.

b) Esboce o gráfico pressão (atm) versus temperatura (°C) da transformação descrita.

Resolução

a)

- O termo indeformável na primeira linha do enunciado significa que o volume do gás é constante, logo a transformação é isométrica.
- A temperatura inicial e final no enunciado aparece em graus Celsius, mas no estudo dos gases a unidade de temperatura é Kelvin, assim o primeiro passo é converter a temperatura para a escala adequada.

$$T_1 = 30 + 273 = 303K$$

$$T_2 = 60 + 273 = 333K$$

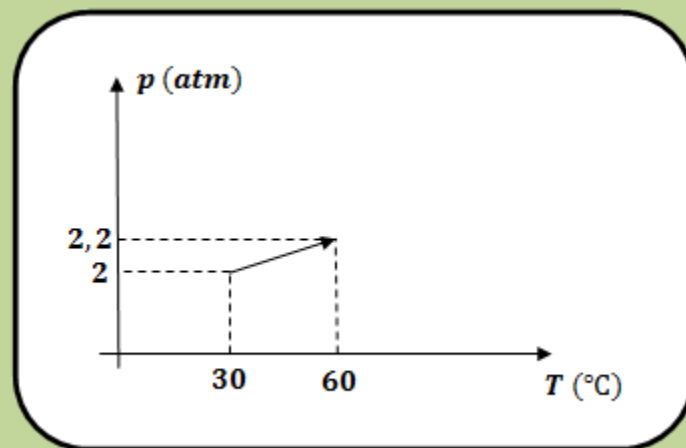
Substituindo os valores fornecidos pelo problema na equação da geral dos gases ideais, considerando o volume constante temos:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

$$\frac{2}{303} = \frac{p_2}{333}$$

$$p_2 \cong 2,2 \text{ atm}$$

b) A partir da resolução do item anterior, podemos esboçar o gráfico da pressão em função da temperatura (pressão x temperatura).



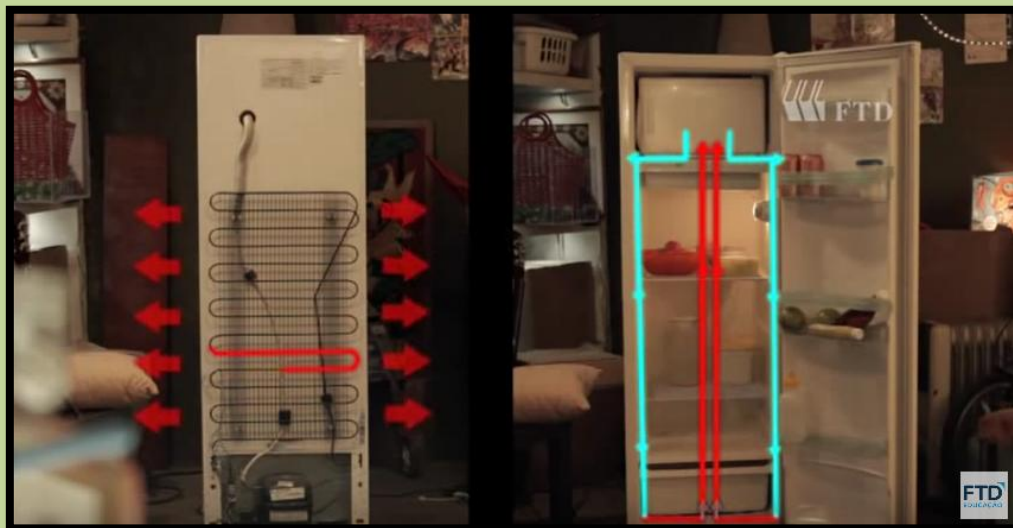
MÓDULO 4 – SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA E AS MÁQUINAS TÉRMICAS

Atividade 1: Conhecendo os Refrigeradores

Iniciamos o módulo 4 com uma questão para os alunos discutirem nos pequenos grupos.

1) Por que utilizamos uma geladeira? Como ela funciona?

Eles deverão discutir e cada pequeno grupo deverá apresentar a resposta. Após mediar as respostas dos pequenos grupos o professor apresentará um vídeo produzido pela editora FTD de aproximadamente 8 minutos sobre o princípio de funcionamento de um refrigerador.



Vídeo 9

Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=kp_vVuBtc-U

O vídeo 9 responde de maneira muito didática os questionamentos iniciais. É muito importante que o professor deixe claro para os alunos que a geladeira apenas retira calor dos alimentos. Deverá enfatizar ainda, que o gás utilizado em um refrigerador trabalha em ciclo, o que chamamos de ciclo termodinâmico.

Atividade 2 – Transformações Cíclicas

O professor deverá introduzir o conteúdo teórico referente as transformações cíclicas

Momento da Física

A transformação cíclica é um conjunto de transformações tais que o estado final do gás coincide com seu estado inicial. A última dessa série traz o gás de volta à pressão, ao volume e à temperatura iniciais.

Em qualquer transformação cíclica, temos as seguintes condições:

- A variação da energia interna é nula ($\Delta U = 0$), porque a temperatura final é igual a inicial;
- A quantidade de calor trocada com o meio externo é igual ao trabalho realizado na transformação;

$$Q_{ciclo} = w_{ciclo} \quad \text{eq. 16}$$

- O trabalho realizado na transformação cíclica pode ser obtido pelo cálculo da área do ciclo;

$$w_{ciclo} = \text{Área}_{ciclo} \quad \text{eq. 17}$$

- Se o ciclo do gás realiza trabalho, este deve receber calor de uma fonte. Neste ciclo ocorre a transformação de calor em trabalho mecânico, caso, por exemplo das máquinas térmicas.

$$w_{ciclo} = \text{Área}_{ciclo}$$

Obs: Ciclo no sentido horário

- Se durante o ciclo for realizado trabalho sobre o gás, este cede calor ao meio, nesse tipo de transformação cíclica, ocorre a transformação de trabalho mecânico em calor, como nos refrigeradores e aparelhos de ar condicionado.

$$w_{ciclo} = - \text{Área}_{ciclo}$$

Obs: Ciclo no sentido anti-horário

Atividade 3 – Trem a Vapor

Questão introdutória para discussão: Qual o princípio básico de funcionamento do trem a vapor?

O professor permite aos alunos interagirem na busca pela resposta, após a discussão inicial apresenta o vídeo sobre o funcionamento dos trens a vapor do mundo de Beakman (a partir do instante 14 minutos do vídeo) que responde a questão que os alunos tiveram que responder antecipadamente.



Vídeo 10

Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=jY4cG_-_cg4

Após assistirem ao vídeo solicite que os alunos nos pequenos grupos respondam as questões abaixo:

2) Explique qual a condição necessária para converter água em vapor.

3) Explique como funciona uma locomotiva a vapor.

4) Por que as locomotivas a vapor deixaram de ser utilizadas?

Atividade 4 – Enunciando a Segunda Lei da Termodinâmica

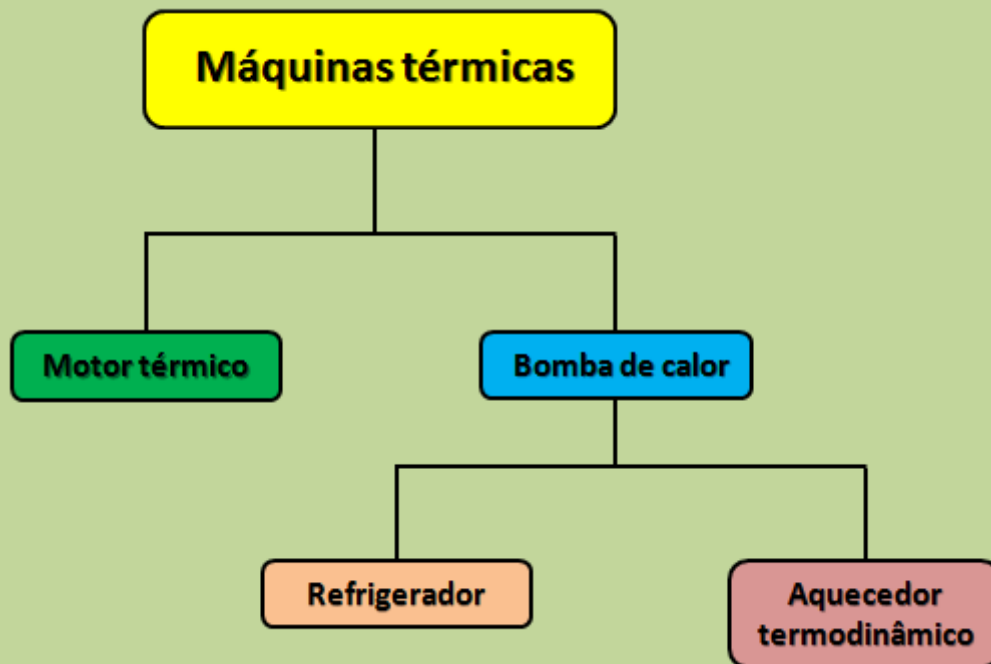
Aqui o professor deve enunciar o princípio de funcionamento de uma máquina térmica.



Momento da Física

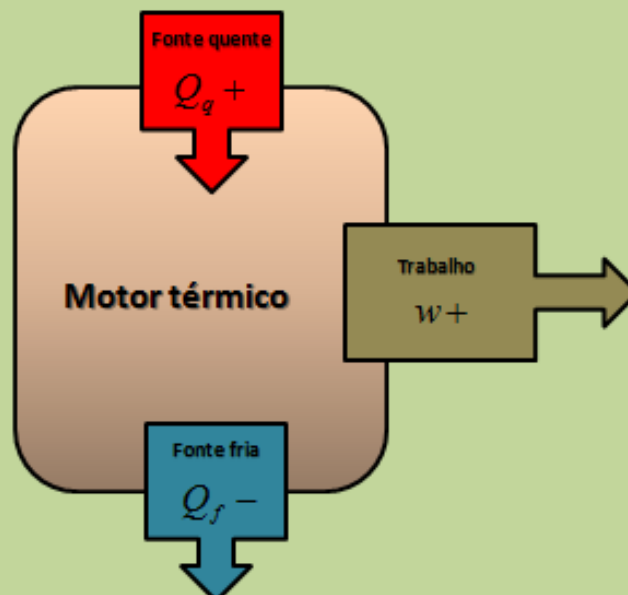
Máquinas térmicas são dispositivos em que as trocas de energia com o meio externo acontecem tanto na forma de calor como na forma de trabalho, em um processo cíclico. Os motores dos automóveis, as geladeiras e os aparelhos de ar-condicionado são exemplos de máquinas térmicas.

De acordo com sua finalidade, as máquinas térmicas pode ser classificadas em:



Motor térmico

É uma máquina que tem por finalidade transformar calor em energia mecânica. Ele recebe energia na forma de calor de uma fonte quente, disponibiliza energia mecânica (realiza trabalho) e, para que possa voltar ao estado inicial e começar um novo ciclo, cede energia na forma de calor para uma fonte fria.



De acordo com o princípio da conservação da energia, temos:

$$Q_q = w + Q_f \quad \text{eq. 18}$$

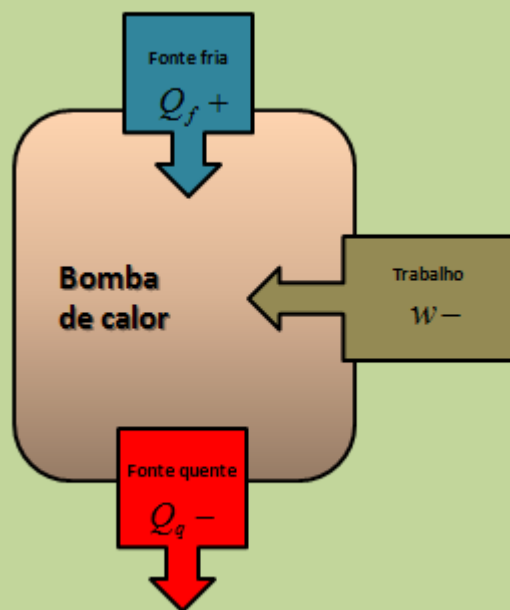
O aproveitamento de uma máquina é normalmente expresso pela relação entre a quantidade útil de energia que se obtém (trabalho) e a quantidade total de energia fornecida à máquina. Essa grandeza é denominada rendimento (η):

$$\eta = \frac{w}{Q_q} \quad \text{eq. 19}$$

Bomba de calor

O calor flui espontaneamente do corpo mais quente para o corpo mais frio. É possível, entretanto, "bombear" calor do corpo mais frio para o corpo mais quente, utilizando-se um processo forçado por trabalho mecânico.

A figura abaixo representa esquematicamente as trocas de energia em uma bomba de calor.



A bomba de calor recebe calor da fonte fria e cede calor para a fonte quente, devido ao trabalho realizado pelo compressor. De acordo com o princípio da conservação da energia temos:

$$Q_f = w + Q_q \quad \text{eq. 20}$$

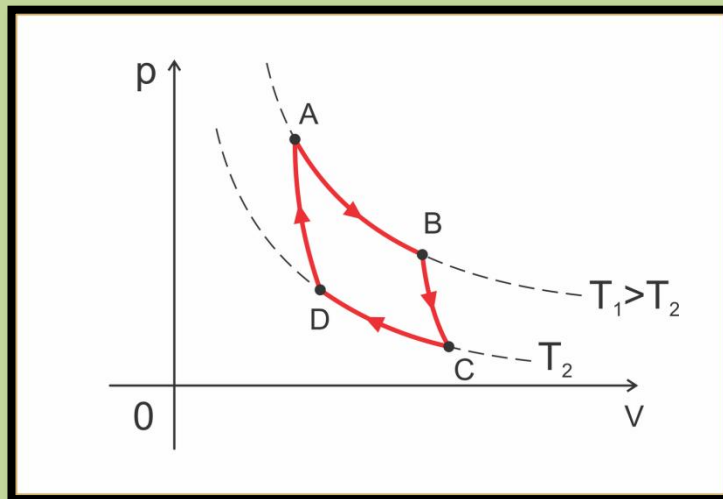
Nas bombas de calor, o termo rendimento é substituído por eficiência (e), definido pelo quociente entre a quantidade de calor recebida da fonte fria e o trabalho mecânico realizado pelo compressor:

$$e = \frac{Q_f}{w} \quad \text{eq. 20}$$

Máquina de Carnot

As máquinas a vapor foram os primeiros motores térmicos. Sua fonte quente provinha da queima do carvão e elas possuíam um rendimento muito baixo (menor que 5%).

Tentando melhorar esse rendimento, Sadi Carnot propôs um ciclo constituído de duas transformações isotérmicas e duas transformações adiabáticas, alternadas, conforme a figura abaixo.



Fonte: http://osfundamentosdafisica.blogspot.com.br/2013/06/cursos-do-blog-termologia-optica-e-ondas_18.html

Na figura temos:

- AB - expansão isotérmica;
- BC - expansão adiabática;
- CD - compressão isotérmica;
- DA - compressão adiabática.

De acordo com Carnot, em cada ciclo, ABCDA, as quantidades de calor Q_f e Q_q , trocadas com as fontes quente e fria, são proporcionais às respectivas temperaturas das fontes, ou seja,

$$\frac{Q_f}{Q_q} = \frac{T_f}{T_q} \quad \text{eq. 20}$$

Assim o ciclo de Carnot proporciona um rendimento dado por:

$$\eta_{Carnot} = \frac{w}{Q_q} = \frac{Q_q - Q_f}{Q_q} \rightarrow \eta_{Carnot} = 1 - \frac{Q_f}{Q_q}$$

Em função das temperaturas das fontes quente e fria, temos:

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_f}{T_q}$$

Essa expressão nos dá o rendimento máximo de qualquer motor térmico operando em ciclos entre duas temperaturas, em Kelvin, sendo $T_q > T_f$.

Obs: Não existe máquina térmica com 100% de rendimento.

Atividade 5 – Resolução de Exercícios

- 1) Qual o rendimento de uma máquina térmica que retira de uma fonte quente 200 cal e passa para uma fonte fria 50 cal.

Solução:

$$\eta = 1 - \frac{Q_f}{Q_q}$$

$$\eta = 1 - \frac{50}{200}$$

$$\eta = 1 - 0,25$$

$$\eta = 0,75 = 75\%$$

2) Uma máquina térmica recebe de uma fonte quente 100 cal e transfere para uma fonte fria 70 cal. Qual o rendimento desta máquina ?

Sabemos que

$$\eta = 1 - \frac{Q_f}{Q_q}$$

$$\eta = 1 - \frac{70}{100}$$

$$\eta = 1 - 0,7$$

$$\eta = 0,3 = 30\%$$

3) Uma máquina térmica de Carnot recebe de uma fonte quente 1000 cal por ciclo. Sendo as temperaturas das fontes quente e fria, respectivamente, 427°C e 127°C, determinar

- o rendimento da máquina
- o trabalho, em joules, realizado pela máquina em cada ciclo
- a quantidade de calor, em joules, rejeitada para a fonte fria

Usar como equivalência 1 cal = 4,2 J

Convertendo as medidas, temos:

$$T_q = 427^\circ\text{C} + 273 = 700\text{K}$$

$$T_f = 127^\circ\text{C} + 273 = 400\text{K}$$

$$Q_q = 1000\text{cal} \cdot 4,2 = 4200\text{J}$$

- cálculo do rendimento

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_f}{T_q}$$

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{400}{700}$$

$$\eta_{Carnot} = 1 - 0,57$$

$$\eta_{Carnot} = 0,43 = 43\%$$

b) cálculo do trabalho em cada ciclo

$$\eta = \frac{w}{Q_q}$$

$$0,43 = \frac{w}{4200}$$

$$w = 1806J$$

c) cálculo da quantidade de calor rejeitada.

$$Q_q = w + Q_f$$

$$Q_f = Q_q - w$$

$$Q_f = 4200 - 1806$$

$$Q_f = 2394J$$

2) O rendimento de uma máquina térmica de Carnot é de 25% e a fonte fria é a própria atmosfera a 27°C. Determine a temperatura da fonte quente.

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_f}{T_q}$$

$$0,25 = 1 - \frac{300}{T_q}$$

$$1 - 0,25 = \frac{300}{T_q}$$

$$T_q = \frac{300}{0,75} = 400K$$