

CALOR E TRABALHO

META

Fazer com que o estudante comece a pensar no ensino de ciências como algo “orgânico” que está em profunda transformação. Fazer com que os alunos percebam, através de um texto básico complementado com atividades lúdicas, *applets* de ensino, vídeos, que o conceito de calor e trabalho podem ser apreendido de forma simples e divertida. Que os estudantes aprendam a ligar a física aprendida na escola à física das coisas.

OBJETIVOS

Ao final desta aula, o aluno deverá:

Estar cientes das novas possibilidades e dos desafios que envolvem o ensino de ciências em geral. Estes, também, devem ter compreendido que as ciências naturais estão baseadas na experimentação e que esta é feita de ensaios, experiências e medidas e que estas levam a compreensão e matematização dos conceitos físicos (naturais em geral). Que o conceito de energia calorífica e trabalho é de fundamental importância na compreensão dos fenômenos naturais e em aplicações tecnológicas como máquinas térmicas.

PRÉ-REQUISITOS

Os alunos deverão ter cursado psicologia da educação física A e B.

INTRODUÇÃO

Neste capítulo vamos desenvolver o conceito de trabalho e energia calorífica, usando como ferramenta didática vários *applets* de ensino e vídeos aulas. Como material de apoio vamos propor o experimento de baixo custo da máquina a vapor do *site* do ciência à mão.

Dando seqüência ao nosso projeto de ligar a física dos livros à física das coisas, vamos mostrar algumas aplicações da transformação da energia calorífica em trabalho mecânico e mostrar o funcionamento dos ciclos motores básicos do motor a Diesel, do motor de quatro tempos e do motor *Stirling*. Muito se tem falado sobre ciência, tecnologia e sociedade (CTS) e queremos com esta aula saber sua opinião sobre a viabilidade deste projeto.

CALOR, TRABALHO E RENDIMENTO

Como vimos no curso da Mecânica, a troca e a transformação de energia são fenômenos que ocorrem constantemente na natureza. Todos estamos familiarizados com o automóvel. Para ele funcionar ele precisa de gasolina e que demos partida no motor (ligar o motor). No momento que ligamos o motor ele começa a queimar o combustível e podemos sair andando com ele. Esse é só um dos muitos exemplos que ocorrem freqüentemente ao nosso redor.

A termodinâmica trata do estudo da relação entre o calor e o trabalho, ou, de uma maneira mais prática, o estudo de métodos para a transformação da energia térmica em energia de movimento ou mecânica.

Essa ciência teve impulso especialmente durante a revolução industrial, quando o trabalho que era realizado por homens ou animais começou a ser substituído por máquinas. A grande descoberta da época era de que quando uma certa quantidade de um líquido evaporava este passava a ocupar um volume muito maior do espaço. Percebeu-se que esta propriedade de expansão poderia ser usada para movimentar um embolo.

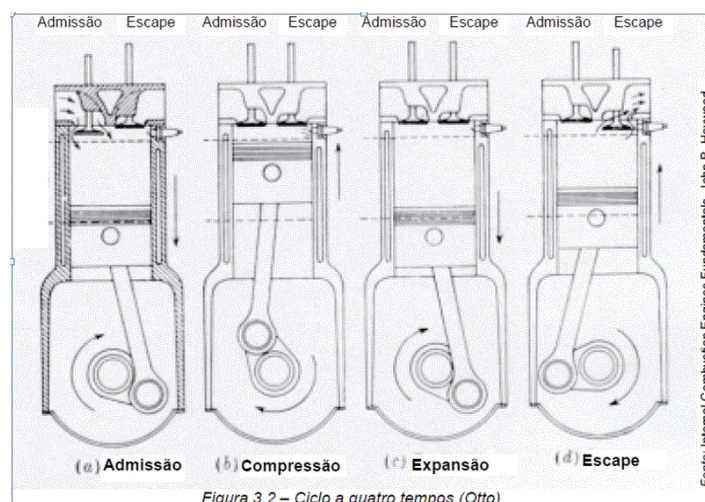


Figura 3.2 – Ciclo a quatro tempos (Otto)

Como sempre, os cientistas da época passaram a procurar formas mais eficientes de transformar energia térmica em trabalho motor. Muitos até acreditavam que poderia se criar a máquina perfeita, isto é, aquela que transformaria toda a energia calorífica em trabalho. Esta máquina até recebeu o nome de moto-contínuo. Mas, como veremos na aula 8 e 10 se demonstrou que este sonho é impossível. Os trabalhos dos cientistas da época levaram-nos a duas leis de caráter muito amplo e aplicável a qualquer sistema na natureza.

- A primeira lei da termodinâmica, que é o princípio da conservação da energia aplicada a sistemas termodinâmicos.
- A segunda lei da termodinâmica, que nos mostra as limitações impostas pela natureza quando se transforma calor em trabalho.

Para entendê-las, é preciso inicialmente compreender duas grandezas físicas importantes: o trabalho e a energia interna.

ATIVIDADES

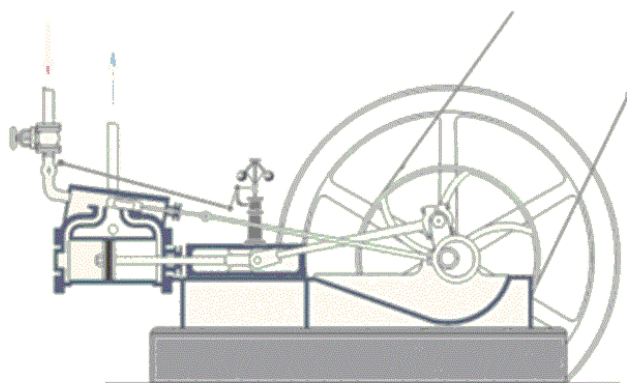
- Faça uma pesquisa sobre o moto - contínuo.
- Faça uma pesquisa sobre as máquinas a vapor.

O TRABALHO

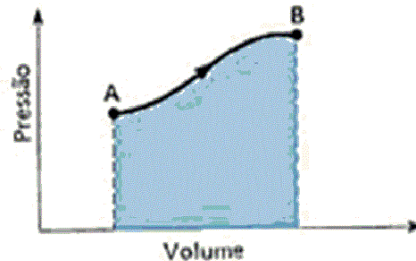
Imagine que você tenha que ir até o 10º andar de um edifício. Você tem duas opções; a primeira subir a pé, a segunda é chamar o elevador. Na física, quando temos força e um conseqüente deslocamento, dizemos que houve a realização de trabalho.

$$|\tau| = \int \vec{F} \cdot d\vec{x}$$

Na termodinâmica, o trabalho tem um papel fundamental, pois ele pode ser considerado como o objetivo final da construção de uma máquina térmica. Nas antigas maquinas a vapor, por exemplo, gerava-se calor com a queima de combustível, como o carvão. O resultado final era o movimento, ou seja, a realização de trabalho.



De modo geral, na termodinâmica, o trabalho que estamos interessados é o trabalho realizado por um gás em um processo de expansão e compressão. Este pode ser determinado através de um método gráfico. Considere um gráfico de pressão por volume, como mostrado na figura abaixo [1].



O trabalho é numericamente igual à área entre a curva do gráfico e o eixo do volume.

$$\tau \text{ área} = P \times \Delta V$$

Para que o trabalho de um sistema seja diferente de zero, é obrigatória uma variação de volume do sistema. Em transformações isométricas, ou seja, com volume constante, o trabalho é nulo. Da relação de trabalho e variação de volume temos:

$$\Delta V = 0 \rightarrow \tau = 0 \text{ Trabalho nulo}$$

$$\Delta V > 0 \rightarrow \tau > 0 \text{ Trabalho motor ou realizado}$$

$$\Delta V < 0 \rightarrow \tau < 0 \text{ Trabalho resistente}$$

Unidade de trabalho: no sistema internacional, o trabalho é medido em *joules*. Ver aula 7.

ENERGIA INTERNA

Na física é muito comum usarmos o termo sistema, por isso é importante entendermos o que isso significa. Na termodinâmica podemos considerar um sistema como um conjunto de muitas partículas, como por exemplo, um gás.

Em um gás, há um número muito grande de moléculas não interagentes que estão em constante estado de movimentação. Definimos a energia interna como a energia de movimentação dessas moléculas, ou seja, a soma das energias cinéticas das moléculas que constituem esse gás.

Determinar a energia interna de um gás não é uma tarefa simples. Como vimos na aula 5 se considerarmos este gás como um gás perfeito a energia interna pode ser determinada pela lei de *Joule*.

$$U = \frac{3}{2} nRT$$

Onde:

- U é a energia interna.
- R é a constante dos gases perfeitos (um valor dado).
- T é a temperatura.
- n é o número de mols.

Essa relação matemática mostra que a energia interna e a temperatura estão relacionadas de maneira direta: para que ocorra uma variação de energia interna é necessário que ocorra uma variação de temperatura do sistema. Resumindo:

$$\begin{aligned}\Delta T = 0 &\rightarrow \Delta U = 0 \\ \Delta T > 0 &\rightarrow \Delta U > 0 \\ \Delta T < 0 &\rightarrow \Delta U < 0\end{aligned}$$

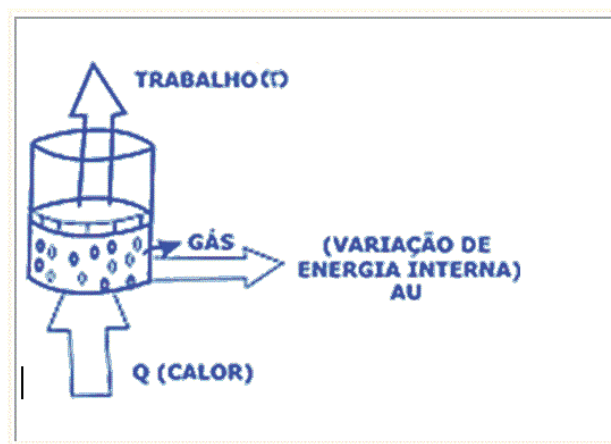
No Sistema Internacional, a energia interna é medida em *joules* e a temperatura, em *Kelvin*.

Q1. Isto quer dizer que a manifestação macroscópica da variação da energia interna é a temperatura?

A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA.

Como foi mencionado anteriormente, a primeira lei da termodinâmica é o princípio da conservação de energia aplicado a sistemas termodinâmicos. O princípio da conservação da energia baseia-se no fato de que a energia não é criada e nem destruída, mas sim transformada.

Ao se fornecer calor ao sistema, podemos observar a ocorrência de duas situações possíveis. Um aumento da temperatura e uma expansão do gás. O aumento de temperatura representa o aumento da energia interna do sistema e a expansão do gás representa a realização de trabalho.

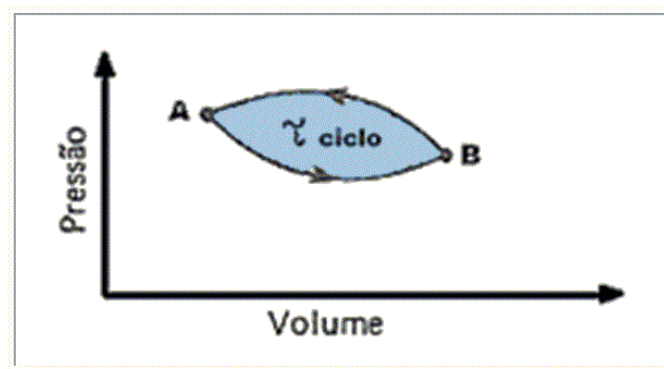


Pode-se concluir que o calor fornecido ao sistema foi transformado na variação de energia interna e na realização de trabalho. Desta conclusão, chega-se à primeira lei da termodinâmica, que é definida da seguinte forma.

$$Q = \tau + \Delta U$$

TRANSFORMAÇÕES CÍCLICAS

Uma transformação cíclica ocorre quando o estado inicial do sistema coincide com o estado final. Em um diagrama de pressão por volume a curva que representa essa transformação é fechada, como representado na figura abaixo.



O cálculo da área dentro da curva dará o valor numérico do trabalho realizado no ciclo. Esses ciclos podem ser apresentados nos sentidos horário ou anti-horário.

- Sentido horário: $\tau > 0 \rightarrow$ Ciclo motor
- Sentido anti-horário: $\tau < 0 \rightarrow$ Ciclo refrigerador
- As transformações cíclicas são extremamente importantes para o nosso cotidiano, pois as máquinas térmicas que utilizamos diariamente, como o motor do automóvel e a geladeira, funcionam desta maneira.

SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

Na natureza, encontramos a energia em diversas formas: energia nuclear, elétrica, mecânica, solar dentre outras, e é possível transformá-las integralmente em calor. Quando lixa uma mesa, através do atrito, você transforma integralmente o trabalho em calor com muita facilidade.

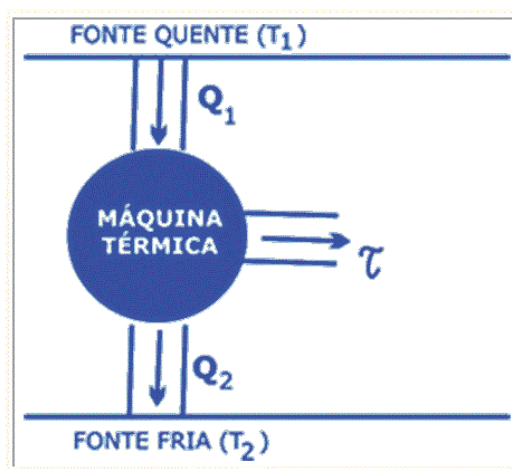
O processo inverso, ou seja, transformar o calor em trabalho não é tão simples e está sujeito a certas restrições. Dessas restrições veio a segunda lei da termodinâmica que pode ser enunciada da seguinte forma:

Não é possível construir uma máquina térmica que transforme integralmente o calor em trabalho.

Em outras palavras, é impossível construir uma máquina térmica com 100% de eficiência.

MÁQUINAS TÉRMICAS

Uma máquina térmica é um equipamento que pode transformar calor em trabalho. Esses aparelhos funcionam entre uma fonte quente e uma fria, e do fluxo de calor da fonte quente para a fonte fria parte é transformada em trabalho, como esquematizado na figura abaixo.



Uma máquina térmica tem maior eficiência se transforma uma maior quantidade de calor em trabalho, transferindo, portanto, menos calor para a fonte fria. Assim, é importante saber calcular o rendimento destas máquinas. Para uma máquina térmica, o rendimento é determinado pela seguinte relação:

$$\eta = \frac{\tau}{q_1}$$

Uma imposição da segunda lei da termodinâmica é que nenhuma máquina térmica tem rendimento de 100%, por isso vale a seguinte condição:

$$0 \leq \eta < 1$$

Como a transformação de calor em energia mecânica não é um processo espontâneo, o rendimento de uma máquina térmica é baixo.

Será possível estimar o rendimento máximo de uma máquina térmica se soubermos os valores das temperaturas da fonte quente e fria. Esse rendimento foi demonstrado pelo engenheiro Nicolas Sadi Carnot, que propôs a seguinte relação:

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

Observe que para termos um bom rendimento, é necessário que a máquina opere entre uma temperatura muito alta e uma muito baixa.

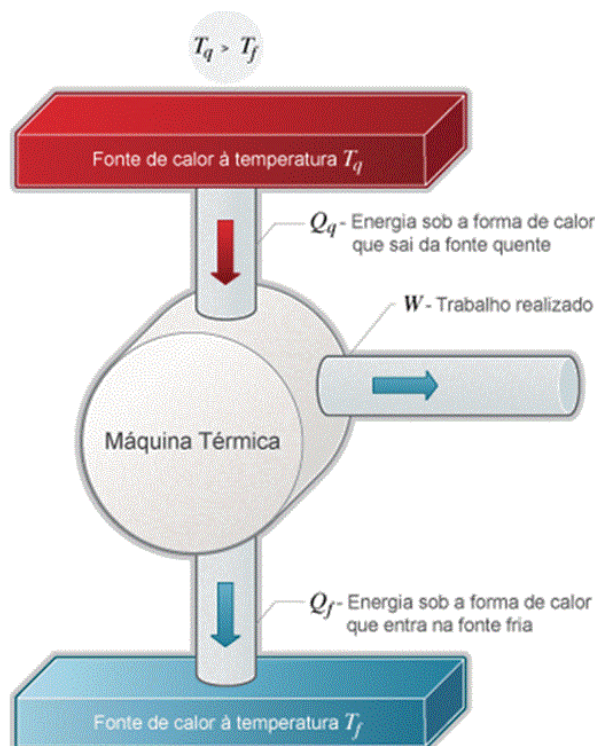
O rendimento é a eficiência com que uma máquina térmica funciona. Em geral o rendimento das máquinas é baixo:

- motores de automóveis da ordem de 30%;
- motores a diesel da ordem de 50%;
- grandes turbinas a gás da ordem de 80%.

Assim o restante de energia que não é aproveitado pela máquina é expulso para o meio ambiente na forma de energia inútil, "perdida".

Supondo que uma máquina térmica receba 100 cal de calor da fonte e, simultaneamente, realize um trabalho útil de 20 cal[2]. Essa máquina teria então uma eficiência, $e = W/Q_1 = 20/100$, $e = 0,2$ ou 20%. Isso significa que apenas 20% da energia térmica fornecida à máquina é convertida em trabalho útil sendo o restante rejeitado pela máquina. Como a quantidade total de energia não pode aumentar ou diminuir, temos: $Q_1 = W + Q_2$.

Portanto: $100 = 20 + Q_2$; $Q_2 = 100 - 20$; $Q_2 = 80$



As máquinas térmicas utilizam energia na forma de calor (gás ou vapor em expansão térmica) para provocar a realização de um trabalho mecânico. Por isso o cilindro com pistão móvel é um dos principais componentes dessas máquinas: o gás preso dentro do cilindro sob pressão, quando aquecido, expande-se, deslocando o pistão e realizando trabalho.

Apesar dos diferentes tipos de máquinas térmicas, todas recebem calor de uma fonte quente (reator nuclear, coletor de energia solar, fornalha a combustível, etc), rejeitam o calor que não foi usado para um reservatório chamado fonte fria e funcionam por ciclos.

As máquinas térmicas e outros dispositivos que funcionam por ciclos utilizam normalmente um fluido para receber e ceder calor ao qual se dá o nome de fluido de trabalho. O trabalho líquido do sistema é simplesmente a diferença de trabalho da fonte quente e da fonte fria:

$$W_t = W_2 - W_1$$

onde W_t é trabalho líquido ou total da máquina térmica; W_2 é o trabalho da fonte quente; W_1 é o trabalho da fonte fria.

O trabalho pode ser definido a partir das trocas de calor:

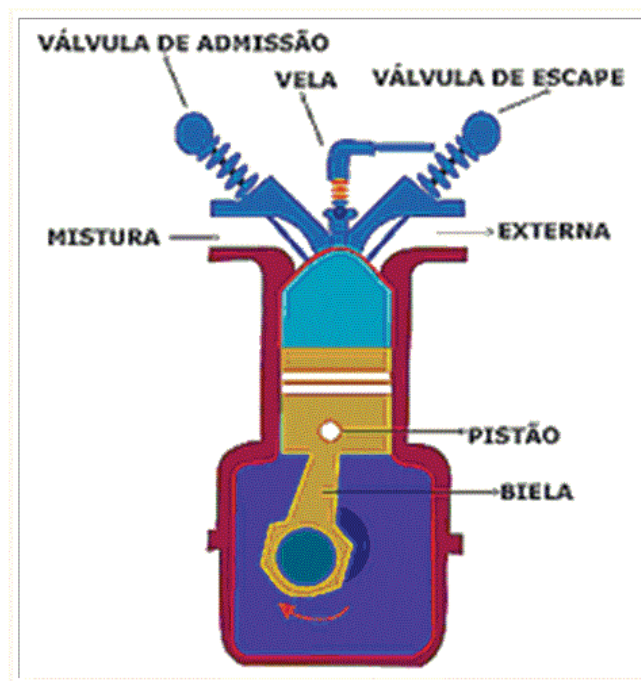
$$W_t = Q_2 - Q_1$$

onde Q_2 e Q_1 são respectivamente o calor cedido da fonte quente e o calor recebido pela fonte fria.

MOTORES A COMBUSTÃO [1]

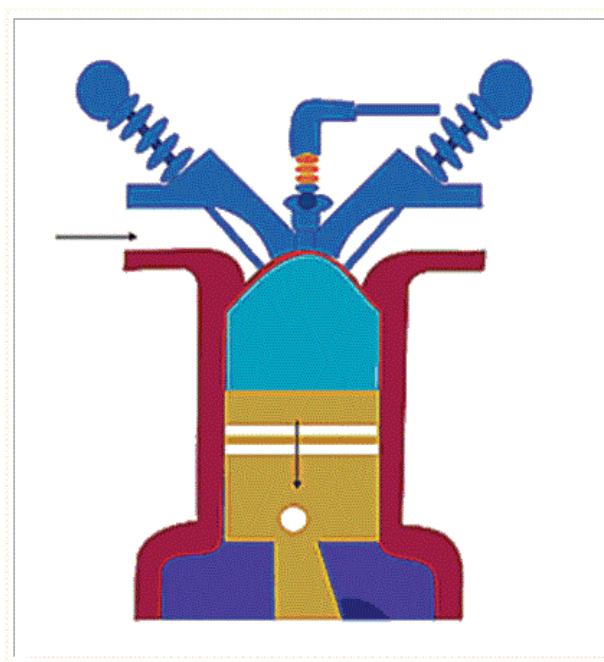
Historicamente, o primeiro motor desse tipo foi construído em 1867, pelo engenheiro alemão Nikolaus Otto e foi baseado nas antigas máquinas a vapor. Esse tipo de motor é constituído de duas partes principais, o carburador e o cilindro.

Nos automóveis atuais, o carburador foi substituído pela injeção eletrônica, que é responsável por uma mistura mais eficiente de oxigênio e gasolina. O funcionamento desses equipamentos pode ser resumido em quatro etapas e por isso eles são chamados de motores de quatro tempos. Observe a figura abaixo.



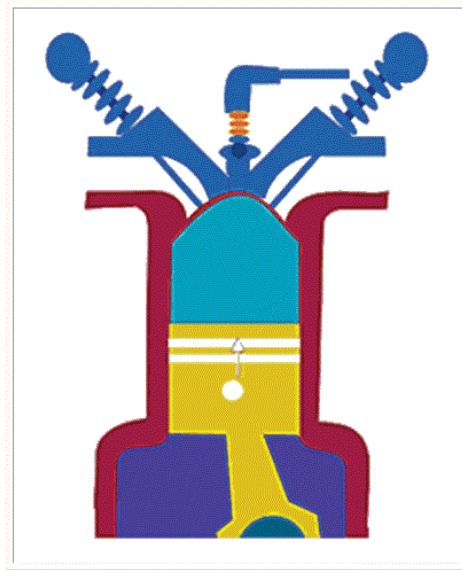
Primeiro tempo, a admissão

A válvula de admissão é aberta e o pistão aspira a mistura de ar e gasolina.



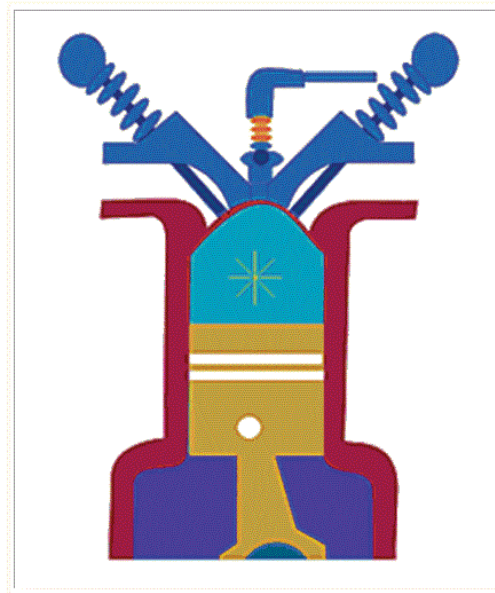
Segundo tempo, a compressão

A válvula de admissão é fechada, e a mistura é comprimida pelo pistão.



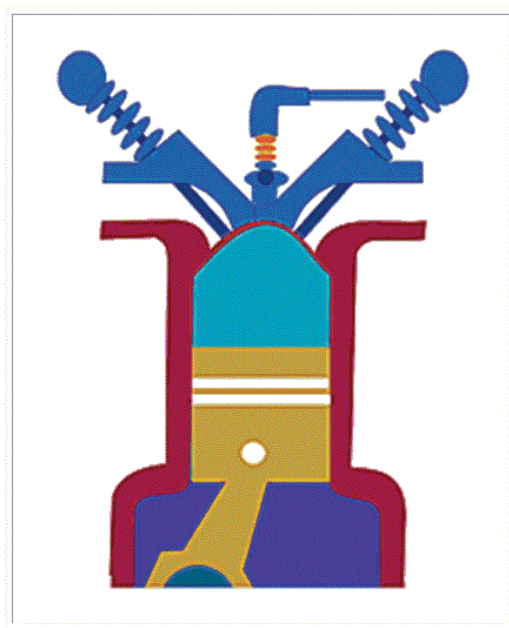
Terceiro tempo, a explosão

Na parte superior do cilindro está a vela que provoca uma faísca e uma explosão da mistura. Esta explosão aumenta a pressão do gás que empurra o pistão para baixo enquanto que a sua temperatura cai de maneira significativa. Durante esse processo, as válvulas de admissão e escape permanecem fechadas.



Quarto tempo, o escape

A válvula de admissão permanece fechada, enquanto que a de escape se abre. Os gases residuais da explosão saem por essa válvula e pelo tubo de escapamento.



VIDEO AULAS

1. Como fazer um motor stirling - http://www.youtube.com/watch?v=K_bpGKNQDFw&feature=related
2. Como fazer um motor stirling – http://www.youtube.com/watch?v=_EUTHQzX2qo&feature=related
3. Como fazer um motor stirling - <http://www.youtube.com/watch?v=sOrfrh8m4aA&feature=related>
4. Novo Telecurso - Ensino Médio - Física - Aula 28 - <http://www.youtube.com/watch?v=GMOis43On6c>

LUDOTECAS

A MÁQUINA A VAPOR

Objetivo

Verificar os princípios físicos envolvidos na máquina a vapor, tais como, absorção de calor, ebulição da água, pressão de vapor, energia cinética e energia térmica, movimento de rotação, produção de eletricidade, etc.

Material

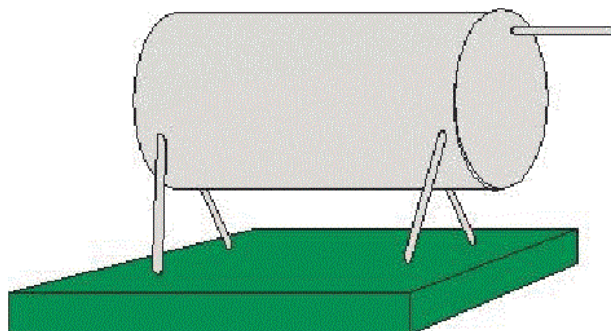
- 1 lata de óleo vazia e com as tampas.
- 1 lata de sardinha vazia.
- Arame grosso.
- Pino metálico de um plugue.

- Tampa de plástico de vidro de conserva.
- Colchetes para papel tipo bailarina, nº 10.
- Ferragens para pasta suspensa.
- Parafuso fino de 5cm de comprimento, com porcas e arruelas.
- Parafusos pequenos.
- Cola Epóxi.
- Cola tipo Araldite, Base de madeira.

Procedimento

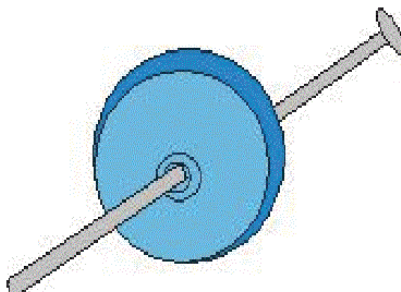
a) Construção da caldeira.

Serre o pino metálico do plugue em suas extremidades. Utilizando cola Epóxi, tampe um dos furos da lata de óleo. No outro furo introduza o pino metálico, soldando-o com cola Epóxi. Trabalhe com a lata deitada para evitar que o pino caia dentro da lata. Em seguida, fixe com cola Epóxi 4 pedaços de arame grosso, que sustentarão a caldeira. Ver figura abaixo.



Cole com cola tipo Araldite, na borda da tampa de plástico, quatro pedaços de colchete para papel. A extremidade circular (cabeça) do colchete servirá de aleta.

Fure com a ponta afilada de uma tesoura, um orifício no centro da tampa de plástico. Introduza nele o parafuso, fixando-o na pampa com arruelas e porcas. Este será o eixo da turbina. Ver figura abaixo.

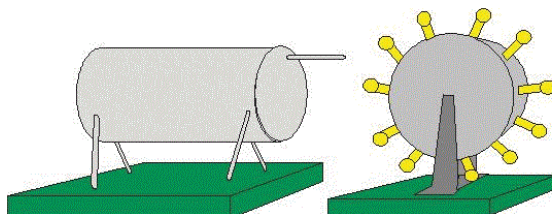


Em seguida fixe com os parafusos pequenos duas ferragens para pasta suspensa na base de madeira. Introduza o eixo da turbina nas aberturas das ferragens. Ver figura abaixo.

A turbina e o eixo deverão girar livremente nesses encaixes. As aletas da turbina deverão ficar na mesma altura do pino metálico da caldeira.

UTILIZANDO

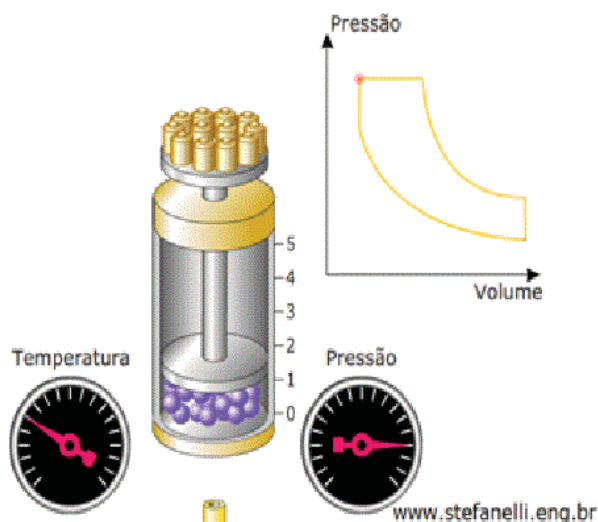
Introduza água na caldeira utilizando uma seringa com agulha. Não é necessário enchê-la totalmente. Basta colocar o equivalente a um ou dois copos com água. A seguir, coloque álcool na lata de sardinha (que será a fornalha) e deixe-a sob a caldeira. Acenda o fogo. Quando a água começar a ferver, o vapor sai com grande pressão através do tubo metálico. O vapor ao atingir as aletas da turbina, faz com que ela gire com grande velocidade. Ver figura abaixo.



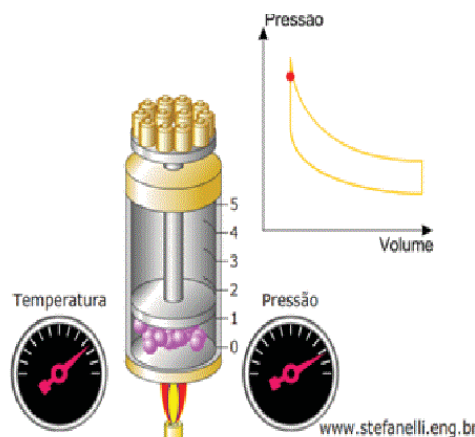
Applets de Ensino

1. *Site* de ensino de Stefanelli - http://www.stefanelli.eng.br/webpage/p_gay_lc.html

CICLO DIESEL



CICLO OTTO



2. Wolfram Demonstrations Project - <http://demonstrations.wolfram.com/RefrigerationCycleCoefficientOfPerformance/>

ATIVIDADES

- Faça uma análise do site do Prof. **Luiz Ferraz Netto** que conta um pouco da história da máquina térmica.
http://www.feiradeciencias.com.br/sala08/HC_01.asp
- Faça uma análise do site Wikipédia sobre o tema motor a combustão interna. Veja as suas animações.
http://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_de_combust%C3%A3o_interna
- Faça uma análise do site [howstuffworks](http://www.howstuffworks.com) e comente se ele é auto-explicativo. <http://carros.hsw.uol.com.br/motores-de-carros.html>
- Construa o motor a vapor proposto acima.
- Verifique se é possível construir um motor **Stirling** como ensinado nas vídeos aulas 1 e 2.
- Existe certa resistência quanto a **telecursos**. De sua opinião sobre a vídeo aula do telecurso 2000 do link acima.



COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Os alunos e futuros professores devem ter sentido dificuldade em fazer o experimento. Isso é normal já que nem todos nós temos facilidade em manusear ou adquirir alguns dos materiais. Mas devem ter observado pelo experimento aqui proposto que podemos fazer muita coisa de forma simples e engenhosa. Que não precisamos ficar presos à literatura. Eles devem ter percebido que existe muito material de apoio na *internet*, principalmente *applets* de ensino. Que o tema calor e trabalho

podem ser muito bem explorados em sala de aula. Estes devem ter percebido que o tema conservação da energia está no cerne (centro) do desenvolvimento industrial, principalmente da indústria automotiva. Estes devem, através de vídeo aulas, perceberem que mesmo alguns projetos sérios não conseguem se afastar do conceito das aulas teóricas baseadas na exposição de conceitos e na resolução de exercícios.

Respostas as questões

- a) Eles têm que ver o site e comentar.
- b) Eles têm que ver o site e comentar.
- c) Eles têm que ver o site e comentar.
- d) Esperamos que eles consigam fazer.
- e) Eles tem que tentar e comentar.
- f) Eles têm que assistir a vídeo aula e comentar.

CONCLUSÃO

Mostramos através de um texto simples complementado com alguns experimentos de baixo custo e vários *applets* de ensino, que o conceito de calor e trabalho pode ser ensinado de forma lúdica e menos teórica. Também ficou claro que a calor e trabalho é um tema que envolve muitos fatos (experiências) corriqueiros e cotidianos e que podemos torná-lo um tema mais atraente e menos decorativo para os alunos.

Deve ter ficado claro para o futuro professor que os conceitos envolvidos no ciclo motor e no conceito de transformação de energia térmica em trabalho está envolvida nas explicações do funcionamento de todas as máquinas.

Estes devem ter ficado cientes que existem diversos materiais de apoio ao ensino de física, como ludotecas e vídeos aulas, que podem ser usados como reforço no aprendizado.

RESUMO

Apresentamos aqui um texto simples sobre calor e trabalho recheado de *applets* de ensino. Complementamos este com alguns experimentos de baixo custo elaborados por nós mesmos e por outros retirados de diversos *sites* de ensino. Mostramos que existem vários vídeos aulas, alguns feitos de forma profissional, que devem ser sugeridas aos seus futuros alunos.

Mostramos que devido a grande importância das máquinas térmicas em nossa vida diária, existe vários *sites* de ensino com *applets* sobre esse tema. Que este tema não deve ser negligenciado em um curso de física.



REFERÊNCIAS

- Bisquolo, P. A., UOL educação. Calor, trabalho e Rendimento.
Wikipédia - http://pt.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quina_t%C3%A9rmica.
Cienciamão; A Máquina a Vapor http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=rip&cod=_amaquinaavapor-termologia-txttem0018
Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.; **Física**, Vol. 2, Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 1996
Tipler, P.A.; **Física (Para Cientistas e Engenheiros), Vol.2 , Gravitação Ondas e Termodinâmica**, 3a Ed., Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1995.
RAMALHO, F.J; NICOLAU, J.F; TOLEDO, P.A.. Os Fundamentos da Física.