

EXPOFÍSICA 1 - SALA DE TERMODINÂMICA E FLUIDOS

Nome completo dos alunos: Júlio César Araújo Rosa e Ana Carolina Oliveira Gonçalves

1) Título: Motor de Heron

2) Tema da Física Principal a ser Abordado: Termodinâmica, Fluidos e Terceira Lei de Newton

3) Objetivos: O objetivo deste experimento é demonstrar de forma prática o Princípio de Ação e Reação, conforme descrito pela Terceira Lei de Newton, utilizando o motor de Heron. O experimento também visa mostrar como a conversão de energia térmica em energia cinética ocorre.

Para entender o funcionamento deste experimento, é necessário revisar alguns conceitos, como será explicado a seguir.

4) Revisão dos Conceitos e Princípios Físicos Necessários para a Compreensão do Fenômeno:

O Motor de Heron ou eolípila é considerado um dos primeiros exemplos de um dispositivo a vapor da história. Criado por Heron de Alexandria, no século I, o motor utiliza a conversão de energia térmica em energia cinética. A compreensão do funcionamento desse experimento exige uma análise detalhada dos princípios físicos envolvidos, que vão desde a Terceira Lei de Newton até a dinâmica dos fluidos e o comportamento dos gases.

A Terceira Lei de Newton:

A Terceira Lei de Newton, também conhecida como Lei da Ação e Reação, é a base para o funcionamento do motor de Heron. Essa lei estabelece que, para toda força exercida sobre um corpo, há uma força de igual magnitude, porém em sentido oposto, exercida sobre o corpo que aplicou a força. No caso do motor de Heron, o vapor de água é expelido através dos tubos inclinados, exercendo uma força de reação sobre o conjunto recipiente-tubos. Essa força provoca um torque, gerando a rotação do sistema.

Esse fenômeno pode ser comparado ao funcionamento de foguetes ou motores a jato, onde gases são expelidos em alta velocidade, e a força de reação gera o empuxo necessário para o movimento. Em ambos os casos, o princípio de ação e reação desempenha um papel crucial na geração do movimento.

Torque:

Outro conceito importante para a compreensão do motor de Heron é o torque. O torque é uma grandeza vetorial que depende da magnitude da força aplicada e da distância perpendicular entre a linha de ação da força e o ponto de rotação. No

experimento, o vapor de água que sai dos tubos aplica uma força em cada tubo e a força de reação gera um torque que faz o sistema girar.

O torque é calculado através da seguinte equação:

$$\tau = F \cdot d \cdot \text{sen}(\theta)$$

onde F é a força, d é a distância do ponto de saída ao eixo de rotação e θ é o ângulo de inclinação dos tubos.

O comprimento dos tubos e o ângulo de inclinação determinam a magnitude do torque. Quanto maior a distância entre o ponto de saída do vapor e o eixo de rotação, maior será o torque gerado, e, conseqüentemente, maior será a rotação. O torque é diretamente proporcional ao comprimento do braço de alavanca (os tubos), de modo que qualquer alteração no comprimento ou ângulo dos tubos afetaria a velocidade de rotação.

Dinâmica dos Fluidos e Comportamento dos Gases:

A compreensão do fluxo de vapor e sua interação com o meio externo exige uma introdução à dinâmica dos fluidos e à termodinâmica. Pode-se compreender, com algumas aproximações, o comportamento do vapor no motor obedece à Lei dos Gases Ideais, descrita pela equação:

$$PV = nRT$$

onde

P é a pressão do gás,

V é o volume,

n é o número de mols de gás,

R é a constante universal dos gases e

T é a temperatura absoluta.

À medida que o fluido ou gás é aquecido, a temperatura T aumenta, o que, de acordo com a equação, também aumenta a pressão P do vapor no interior do recipiente, já que consideramos o volume constante.

Transferência de Energia - Energia Térmica para Energia Cinética:

O motor de Heron demonstra a conversão de energia térmica em energia cinética de rotação. Inicialmente, a fonte de calor transfere energia para a água no interior do recipiente, aumentando sua temperatura até que ela comece a evaporar.

Uma vez que a água se torna vapor, ela adquire uma quantidade significativa de energia interna, que se manifesta como energia cinética das moléculas do vapor em movimento. O vapor é então expelido pelos tubos, transformando essa energia cinética interna em movimento de rotação do motor, à medida que o vapor exerce uma força sobre o ambiente ao sair dos tubos.

Efeitos Dissipativos e Perda de Energia:

Embora o motor de Heron funcione bem em teoria, na prática, há diversos fatores que limitam sua eficiência. O principal deles é o atrito no eixo de rotação e a resistência do ar, que dissipam parte da energia gerada. Além disso, a perda de vapor através de vazamentos ou a dissipação de calor no ambiente podem reduzir a eficiência do motor. Esses efeitos dissipativos fazem com que o motor eventualmente pare de girar, mesmo que ainda haja água no recipiente.

Outro fator a ser considerado é a condutividade térmica do material do recipiente. Se o recipiente for muito condutivo, como o alumínio, parte do calor será dissipado no ambiente, em vez de ser utilizada para evaporar a água, o que diminui a eficiência do motor.

Aplicações Históricas e Modernas:

O motor de Heron é um exemplo simples, mas eficaz, de conversão de energia térmica em energia cinética (movimento). Embora seu uso tenha sido mais demonstrativo do que prático, ele serviu como base para o desenvolvimento de máquinas térmicas mais sofisticadas ao longo dos séculos. Em motores a jato e foguetes modernos, os princípios físicos observados no motor de Heron continuam a ser aplicados, com combustíveis modernos e tecnologias avançadas para controlar o fluxo de gases e otimizar a eficiência da conversão de energia.

5) Descrição Detalhada dos Materiais e Equipamentos Utilizados e da Montagem e Construção do Experimento

A seguir, serão apresentados os materiais utilizados na confecção do experimento, bem como as etapas de sua montagem.

Materiais:

- Uma lata de alumínio ou recipiente metálico pequeno com tampa removível.
- Dois tubos metálicos finos (pode-se usar canudos de alumínio ou cobre dobrados)
- Água.
- Fonte de calor (ex.: fogareiro ou bico de gás).
- Suporte para segurar o recipiente.
- Fios de arame ou eixo para permitir a rotação livre do recipiente.
- Suporte de montagem e base estável.

Montagem:

- Faça dois furos opostos na lateral da lata, próxima à parte superior.
- Insira os tubos metálicos nos furos de modo que formem um "L", ou seja, os tubos devem ser dobrados em 90°.
- Vede bem as aberturas ao redor dos tubos para evitar vazamento de vapor.
- No topo da lata, faça uma abertura pela qual será possível encher o recipiente com água (aproximadamente 1/3 de sua capacidade).
- Monte a lata em um eixo horizontal, de forma que possa girar livremente

- quando impulsionada pelo vapor que sairá dos tubos.
- Posicione a fonte de calor diretamente abaixo do recipiente.

A montagem deve garantir que o vapor saia pelos tubos com o recipiente em rotação livre. A fonte de calor deve ser regulada para garantir que a água evapore, mas sem sobreaquecer a estrutura metálica.

6) Roteiro detalhado de realização do experimento, incluindo o que o mediador irá falar e perguntar aos alunos.

Introdução:

"Vocês já ouviram falar da Terceira Lei de Newton? Hoje vamos demonstrá-la com um motor simples chamado Motor de Heron. Esse dispositivo foi inventado há mais de dois mil anos por Heron de Alexandria, e ele transforma calor em movimento rotacional. Vamos ver como isso acontece na prática."

Pergunta inicial:

"O que vocês acham que vai acontecer quando o vapor sair pelos tubos metálicos? Alguma ideia de como o motor vai se comportar?"

Execução do experimento:

1. Ligar a fonte de calor
2. Explique: "Agora estamos fornecendo calor ao sistema. A água no interior do recipiente vai aquecer e começar a evaporar. Quando o vapor escapar pelos tubos, ele vai exercer uma força no sentido contrário à sua saída. Esse processo é um exemplo do Princípio de Ação e Reação."

Outra pergunta: "Sabem nos dizer qual é a força oposta que aparece nesse sistema?"

Observação do fenômeno:

Assim que o motor começar a girar, explicamos: "O vapor que sai exerce uma força de reação que gera um torque no motor, fazendo com que ele gire. O movimento de rotação é um exemplo direto da Terceira Lei de Newton."

Encerramento:

"Esse experimento é uma maneira simples de mostrar como a energia térmica pode ser convertida em movimento e como a Terceira Lei de Newton é aplicada no mundo real. Agora, vocês podem imaginar como princípios como esse são usados em motores mais modernos, como os motores a jato!"

7) A explicação científica correta dos fenômenos visualizados na realização do experimento ou da exposição ao público.

O Motor de Heron, ao ser aquecido, demonstra uma série de fenômenos físicos

que podem ser explicados pela Terceira Lei de Newton, dinâmica dos fluidos e termodinâmica. Este experimento exemplifica como o vapor de água, ao ser aquecido, produz o movimento rotacional do motor.

O fenômeno central que observamos no experimento é o princípio de ação e reação, como descrito pela Terceira Lei de Newton. Quando o vapor de água, gerado pelo aquecimento, escapa pelos tubos do motor, ele exerce uma força para fora. Em resposta, uma força de reação é aplicada ao motor no sentido oposto, gerando o movimento rotacional.

Esse comportamento é similar ao que acontece em foguetes e motores a jato, onde gases de combustão são ejetados em alta velocidade para trás, criando um impulso para frente. No motor de Heron, o vapor que sai pelos bicos exerce um torque sobre o sistema, fazendo-o girar em torno de seu eixo.

Outro fenômeno importante observado é a conversão de energia térmica em energia cinética. A fonte de calor aquece a água dentro do recipiente. Esse calor é transferido para a água, que eventualmente atinge a temperatura de ebulição. Quando a água ferve, ela passa do estado líquido para o estado gasoso, formando vapor.

O vapor de alta pressão escapa pelos tubos, convertendo a energia térmica em movimento. A força do vapor expelido gera um torque que impulsiona o motor. Esse processo obedece à lei de conservação de energia, na qual parte do calor é transformada em trabalho mecânico e parte dissipada no ambiente.

O comportamento do vapor no motor de Heron segue a Lei dos Gases Ideais. À medida que a água dentro do recipiente aquece, o aumento da temperatura faz com que as moléculas de água ganhem mais energia e passem para o estado gasoso. O vapor ocupa mais volume e exerce maior pressão sobre as paredes do recipiente. Como o recipiente está vedado, o vapor só pode escapar pelos tubos. Ao sair, o vapor causa a rotação, pois a pressão interna elevada busca liberar energia para atingir um equilíbrio com o meio externo.

O fluxo do vapor pelos tubos também pode ser explicado pela equação de Bernoulli, que relaciona a pressão com a velocidade do fluido. Quando o vapor escapa pelos bicos, sua velocidade aumenta à medida que a pressão diminui, resultando em uma força de empuxo que impulsiona o motor.

O fenômeno da rotação do motor de Heron é explicado pela geração de torque. Quando o vapor escapa pelos tubos inclinados, ele exerce uma força tangencial ao eixo de rotação do motor. O comprimento dos tubos e o ângulo de inclinação determinam a quantidade de torque gerado. Quanto mais afastado do eixo de rotação o ponto de saída do vapor, maior será o torque, e mais rápido o motor irá girar.

O torque gerado pela saída do vapor causa uma rotação contínua do motor, enquanto houver vapor escapando. No entanto, o motor eventualmente para de girar quando o calor deixa de ser fornecido ou quando a água dentro do recipiente se esgota. Durante a rotação, forças dissipativas como o atrito no eixo e a

resistência do ar atuam para reduzir a velocidade do motor, dissipando parte da energia gerada.

Embora o motor de Heron seja uma demonstração eficiente do princípio de ação e reação, ele não gira indefinidamente. Existem forças dissipativas atuando no sistema, como o atrito no eixo de rotação e a resistência do ar. Esses fatores dissipam parte da energia gerada pelo vapor, fazendo com que o motor eventualmente perca velocidade e pare de girar.

Além disso, parte da energia térmica fornecida ao sistema é perdida para o ambiente na forma de calor, o que também reduz a eficiência do motor. A condutividade térmica do recipiente de metal também influencia o desempenho, pois materiais muito condutivos dissipam calor rapidamente, reduzindo a quantidade de vapor gerado. Outro ponto a ser considerado é que a água no reservatório pode se esgotar ao longo do funcionamento do motor devido ao processo de evaporação.

Conclusão

O motor de Heron demonstra uma série de princípios físicos de maneira clara e visual. O movimento rotacional é o resultado direto da aplicação da Terceira Lei de Newton, enquanto a dinâmica do vapor e a conversão de energia mostram como a energia térmica pode ser transformada em movimento. O experimento ilustra como forças de reação, torque, pressão e energia interagem em um sistema simples, proporcionando uma compreensão prática de conceitos que têm aplicações em motores modernos, como motores a jato e foguetes.

Referências:

- TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros**.v. 1, 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006. 944 p.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. v. 2, 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. 548 p.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. v. 1, 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.