



Física, Termodinâmica, Ondas e Óptica

Marina Valentim Barros
Sérgio Luiz Araújo Vieira

ãnima **EAD**
E D U C A Ç Ã O Educação a Distância

Marina Valentim Barros
Sérgio Luiz Araújo Vieira

FÍSICA, TERMODINÂMICA, ONDAS E ÓTICA

Belo Horizonte
Junho de 2016

COPYRIGHT © 2016
GRUPO  NIMA EDUCA O

Todos os direitos reservados ao:
Grupo  nima Educa o

Todos os direitos reservados e protegidos pela Lei 9.610/98. Nenhuma parte deste livro, sem prévia autoriza o por escrito da detentora dos direitos, poderá ser reproduzida ou transmitida, sejam quais forem os meios empregados: eletrônicos, mecânicos, fotográficos, grava es ou quaisquer outros.

Edi o

Grupo  nima Educa o

Vice Presidência

Arthur Sperandeo de Macedo

Coordena o de Produ o

Gislene Garcia Nora de Oliveira

Ilustra o e Capa

Alexandre de Souza Paz Monserrate

Leonardo Antonio Aguiar

Equipe EaD



Conheça a Autora

Marina Valentim Barros é professora de Física há 20 anos em escolas particulares de Belo Horizonte. Possui Mestrado em Ensino de Física, pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, e está cursando o Doutorado em Ensino de Física, pela Universidade de São Paulo. É professora do Colégio Santo Antônio, em Belo Horizonte, desde 2000, e do Centro Universitário Una, desde 2011, em que ministra as disciplinas de Física Eletromagnetismo, Física Mecânica, Física Termodinâmica, Ondas e Ótica, e Energias Alternativas. A ênfase dos seus estudos é em ensino de Mecânica Quântica, Inovação Curricular e a utilização de novas metodologias em sala de aula. Possui experiência na metodologia ativa de aprendizagem, o *peer instruction*, assim como na elaboração de materiais de ensino de Física Quântica.



Conheça o Autor

Sérgio Luiz Araújo Vieira é formado em Física pela Universidade Federal de Minas Gerais, possui Mestrado em Astrofísica e Doutorado em Física, com estágio no Pulkovo Observatory, São Petersburgo – Rússia. Fez Pós-Doutorado no estudo de estrelas jovens, também na Universidade Federal de Minas Gerais. Trabalhou como professor do Ensino Médio durante cinco anos e depois ingressou no Ensino Superior, em que tem ministrado aulas teóricas e práticas de Física e Cálculo, por 22 anos. É autor de livros utilizados em cursos de EAD e presenciais, além de trabalhar na divulgação de astronomia.



Apresentação da disciplina

A disciplina de Física, Termodinâmica, Ondas e Ótica inicia-se com uma unidade sobre a Hidrostática, em que o conceito de pressão, juntamente com o Princípio de Arquimedes, é apresentado. Na Unidade 1 é investigado o equilíbrio dos corpos em meios fluidos, como a água, o ar, dentre outros. É importante investigar conceitos relacionados com a estática de fluidos para entendermos situações como a navegação de um navio, o posicionamento de uma caixa de água em uma edificação, a flutuação de objetos, elevadores hidráulicos, etc.

A segunda e terceira unidades correspondem à parte da Física Térmica. A termodinâmica é uma das bases da engenharia, sendo de extrema importância o conhecimento dos efeitos da temperatura nos materiais e sistemas, e de como se dá a sua variação através da transferência de calor em vários tipos de processos. Outro estudo importante dentro do escopo da termodinâmica é a relação entre o trabalho e as trocas de energia em máquinas.

A dilatação é um fenômeno importante nos sólidos, já que ao se realizar uma grande construção, as juntas de dilatação são imprescindíveis para o sucesso das construções. Os processos de transferência de calor, como condução, convecção e radiação, são caracterizados possuindo várias aplicações práticas, desde a condução de calor em um cabo de panela, passando pela troca de calor em uma geladeira, até a irradiação de calor do Sol e de um forno aquecido.

Além de conhecer os processos de transferência de calor, a disciplina também apresenta como o calor é transferido e quais as medidas que podem ser feitas para avaliar e entender esses processos. As transformações notáveis serão apresentadas, como a isotérmica, isobárica, adiabática e isovolumétrica. E assim aprenderemos a avaliar a energia interna e o trabalho envolvido nesses tipos de transformações.

A Unidade 3 apresentará as máquinas térmicas e os refrigeradores, e como são caracterizados, permitindo ao aluno entender o desempenho desses e realizar cálculos para verificar eficiência e rendimento.

As Unidades 4, 5 e 6 são relativas aos fenômenos ondulatórios e oscilatórios, incluindo aí o estudo da onda sonora. Os princípios básicos dos sistemas oscilantes, tratados na Unidade 4, têm larga aplicação nas Engenharias Civil e Mecânica no entendimento e modelagem de máquinas e estruturas. Os princípios da ondulatória, abordados na Unidade 5, são essenciais para as Engenharias Elétrica e afins, no que diz respeito à geração e à transmissão de sinais. Os conceitos básicos de acústica, que estão na Unidade 6, principalmente a parte de intensidade sonora, são importantes em todas as áreas da Engenharia, principalmente na parte de segurança e conforto.

As Unidades 7 e 8 são dedicadas aos fenômenos óticos, como os princípios de propagação da luz. Também será apresentada a formação de imagens em lentes e espelhos. Alguns instrumentos óticos, como microscópio, olho humano, projetor, dentre outros, são estudados permitindo ao aluno uma compreensão de aparelhos óticos presentes no seu dia a dia.

Ao final dessa disciplina, o aluno será capaz de entender vários fenômenos físicos, como: o equilíbrio em fluidos (navios, *icebergs*, pessoas boiando); os princípios térmicos envolvidos nas transformações de gases; o funcionamento de refrigeradores e máquinas térmicas; as características de fenômenos ondulatórios e o funcionamento de lentes, espelhos e alguns instrumentos óticos.

Sumário

UNIDADE 1	003
Hidrostática	004
Pressão	005
Pressão atmosférica	009
Aplicações	011
Princípio de Arquimedes	013
Revisão	016
Exercícios	017
UNIDADE 2	019
Temperatura, calor e dilatação	020
Calor e temperatura	022
Termômetros e escalas de temperatura	022
Calor	025
Transições de fase	031
Dilatação	033
Revisão	039
Exercícios	041
UNIDADE 3	042
Gases, primeira e segunda lei da termodinâmica	043
Modelo de um gás ideal	045
Equação de estado	046
Energia interna e trabalho	050
Primeira lei da termodinâmica e as transformações térmicas	053
Máquinas térmicas	056
Refrigeradores	061
Segunda lei da termodinâmica e o ciclo de Carnot	062
Revisão	066
Exercícios	066
UNIDADE 4	069
Movimentos periódicos e o movimento harmônico simples	070
Movimentos periódicos	071
Movimento harmônico simples	073
Aplicações do movimento harmônico simples	077
Revisão	080
Exercícios	081

Sumário

UNIDADE 5	083
Ondas e Fenômenos Ondulatórios	084
Classificação das Ondas	085
Parâmetros que descrevem uma onda	086
Ondas em uma corda	088
Reflexão e Refração	090
Difração	092
Interferência	093
Ondas estacionárias	095
Revisão	098
Exercícios	099
UNIDADE 6	102
Ondas Sonoras	103
Características da Onda Sonora	104
Intensidade, altura e timbre	105
Efeito Doppler	108
Revisão	112
Exercícios	113
UNIDADE 7	115
Espelhos e Lentes	116
Espelhos Planos	119
Espelhos Esféricos	122
Refração da luz	127
Lentes	129
Revisão	135
Exercícios	136
UNIDADE 8	138
Instrumentos Óticos	139
O olho Humano	140
A Lupa	142
A Máquina Fotográfica	143
O Microscópio	144
Revisão	148
Exercícios	149
REFERÊNCIAS	152

UNIDADE

Hidrostatica

Introdução

Para medir a pressão sanguínea, a pressão interna dos pneus de um carro, a pressão de um balão e a pressão atmosférica, dispomos de instrumentos como o barômetro, o manômetro e aquele aparelho do posto de gasolina utilizado para calibrar os pneus do carro. Saber como funcionam esses aparelhos e qual a pressão que cada um mede é um dos objetivos desta unidade. Estudaremos as pressões que um corpo fica submetido quando mergulhado em um fluido, assim como as equações matemáticas utilizadas para esses cálculos. Serão apresentadas, nessa parte da nossa disciplina, algumas aplicações, como o elevador hidráulico e os vasos comunicantes.

Após o estudo das pressões, apresentaremos a força empuxo, que aparece pela diferença de pressão quando um corpo está imerso em um fluido. O Princípio de Arquimedes, resultado dessa diferença de pressão, permitirá entender porque os corpos flutuam em fluidos. Analisaremos exemplos como o do dirigível, pessoas boiando no mar e em piscinas, entre outros.

Tópicos abordados

- Pressão
- Pressão atmosférica
- Aplicações
- Princípio de Arquimedes
 - Revisão
 - Exercícios

Na unidade 1 estudaremos os conceitos de pressão e as suas aplicações; o conceito de empuxo e as situações relativas à flutuação dos corpos.

Pressão

Se passarmos uma régua sobre nossa mão, muito provavelmente nada acontecerá. Agora, se fosse uma gilete ou faca, o efeito seria um tanto desastroso. Você já se cortou com uma folha de papel ou furou a mão em uma agulha ou alfinete, ou teve o ouvido entupido ao subir ou descer uma serra de carro, ou dentro de um avião? Todos esses fenômenos estão relacionados com o conceito de pressão.

Antes de estudarmos a pressão propriamente dita e seus efeitos, é necessário definirmos o conceito de densidade. A densidade é a relação entre a massa de um corpo (medida em kg) e o volume que ele ocupa (medido em m³).

$$\rho = \frac{m}{v}$$

A densidade é a relação entre a massa de um corpo (medida em kg) e o volume que ele ocupa (medido em m³).

MATERIAL	ρ (kg/m ³)
Água	1000
Água do mar	1030
Gelo	920
Glicerina	1260
Alumínio	2700
Ferro	7800
Ouro	19300

Exemplo

Vamos calcular o peso da água contida em uma caixa em forma de paralelepípedo, com área da base de 4 m² e altura de 1,5 m. Considere que a caixa está completamente cheia de água.

Para realizar esse cálculo, precisamos calcular o primeiro o volume da caixa:

$$V = Ah = 4 \times 1,5 = 6 \text{ m}^3$$

Com o volume e a densidade da água, calculamos sua massa e, logo depois, o peso desse volume de água:

$$m = \rho V = 6000 \text{ kg}$$

$$P = mg$$

$$P = 6000 \cdot 9,8 = 58800 \text{ N}$$

A pressão é definida pela relação entre a força aplicada sobre uma superfície e área na qual ela é aplicada. A equação que nos permite calcular essa pressão é $P = F/A$, em que **F** é a força e **A** é área em que essa força é exercida. A unidade de medida para a pressão no sistema internacional de medidas é o N/m^2 , já que a força é medida em Newtons e a área em m^2 . Esta unidade é denominada Pascal (Pa).

A pressão é definida pela relação entre a força aplicada sobre uma superfície e área na qual ela é aplicada.

Se fizermos um levantamento das medidas de pressão que são usadas no nosso dia a dia, dificilmente encontraremos valores medidos em Pascal. Existem várias unidades de medida de pressão que são mais utilizadas, tais como psi (libras/polegadas²), quando calibramos um pneu; mmHg (ou Torr), quando medem nossa pressão em uma consulta médica; atmosferas (atm) ou Bar, em previsões do tempo (serviços meteorológicos). A seguir, é mostrada uma tabela de correspondência entre essas unidades.

TABELA 1 - Correspondência entre medidas

Pressão	Equivalência (N/m^2)
1 Pa (Pascal)	1 N/m^2
1 Bar	$1 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
1 atm	Aproximadamente $1 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
1 psi (libra/polegada ²)	$6,9 \times 10^4 \text{ N/m}^2$
1 cmHg	$1,3 \times 10^4 \text{ N/m}^2$

Fonte: Elaborada pela autora.

Exemplo

Vamos calcular a pressão no fundo da caixa d'água do exemplo anterior, devido ao peso da água que está contida nela.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{58800}{4} = 14700 \text{ Pa}$$

Para Reflexão

O que acontecerá com a pressão se a área ficar duas vezes menor, mas a altura (profundidade) da caixa continuar a mesma?

Pressão em fluido em equilíbrio

Quando se tem um fluido em equilíbrio, a pressão em um ponto dentro desse fluido dependerá somente do tipo de fluido e da profundidade desse ponto. Essa pressão é denominada pressão manométrica e é calculada com a fórmula:

$$P_m = \rho gh$$

P_m é a pressão manométrica (Pa)

ρ é a densidade do fluido (kg/m^3)

g é a aceleração da gravidade (m/s^2)

h é a profundidade (m)

Quando se mergulha em uma piscina ou no mar, ficamos submetidos a uma pressão maior que a atmosférica, pois além da coluna de ar, temos a coluna de fluido (água). Essa pressão é denominada pressão absoluta e é calculada com a equação:

$$P = P_0 + \rho gh$$

P_0 é a pressão atmosférica ($1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$).

Quando se tem um fluido em equilíbrio, a pressão em um ponto dentro desse fluido dependerá somente do tipo de fluido e da profundidade desse ponto.

Exemplo

Vamos agora calcular a pressão que sofre um mergulhador ao mergulhar 2,5 metros em uma piscina de grande profundidade.

FIGURA 1 - Mergulhador



Fonte: Núcleo de Educação a Distância (NEaD, Anima, 2016)

Para realizarmos esse cálculo, usaremos densidade da água da piscina igual $1,0 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$.

Como todas as unidades já se encontram no SI, basta substituir os valores na equação. O cálculo será:

$$P = P_0 + \rho gh$$

$$P = 1,01 \times 10^5 + 1,0 \times 10^3 \times 9,8 \times 2,5$$

$$P = 1,26 \times 10^5 \text{ Pa}$$

A pressão sobre o mergulhador a 2,5 metros de altura é, então, **26% maior** do que a pressão fora da água que ele está acostumado.

.....

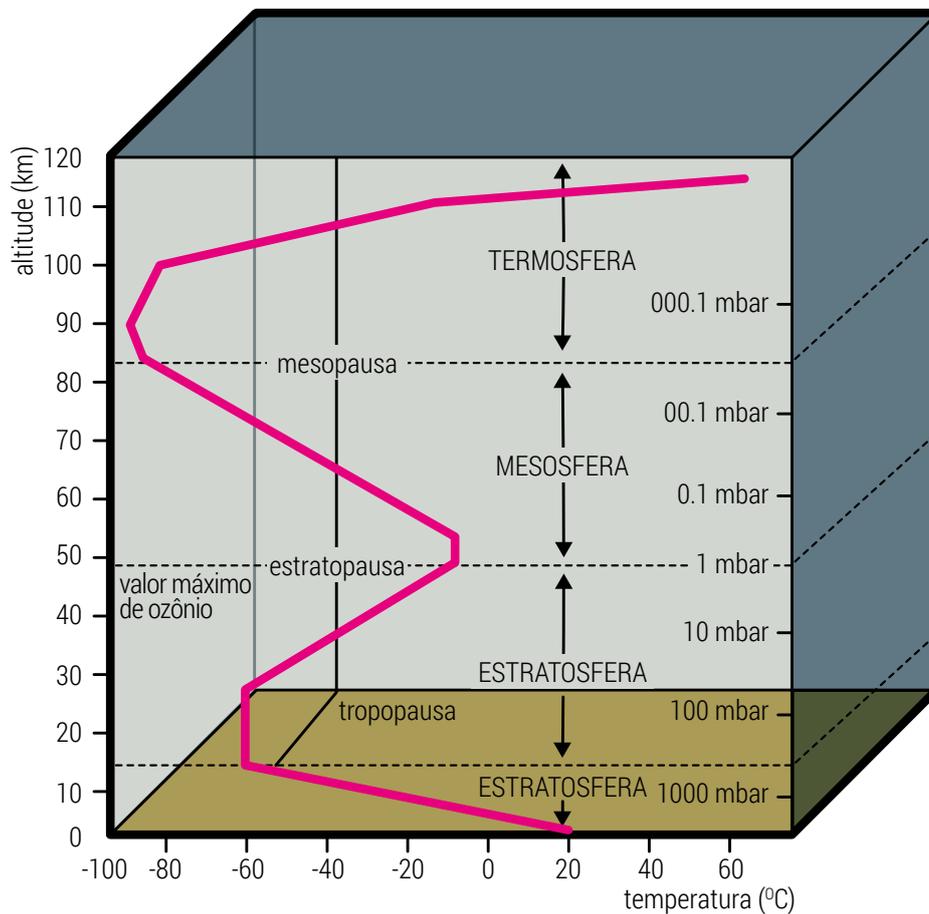
Através desse exemplo conseguimos calcular a pressão sobre um mergulhador quando imerso em uma piscina. Vamos agora analisar a pressão feita por uma coluna de ar (da atmosfera) e entender como esse cálculo é feito.

Pressão atmosférica

Conceito

A pressão atmosférica é a pressão da camada de ar que envolve a Terra. Todos os planetas que possuem atmosfera possuem pressão atmosférica. Sabemos que a atmosfera não é uma camada regular, possui quantidades de ar variáveis, sendo mais densa quando está próxima à superfície da Terra.

FIGURA 2 - As camadas da atmosfera



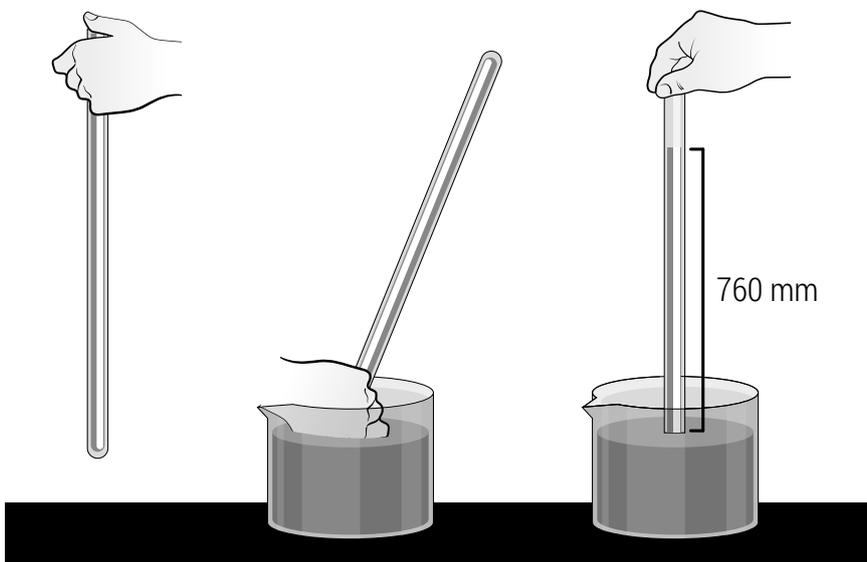
Fonte: Núcleo de Educação a Distância (NEaD, Anima, 2016)

Podemos observar, na figura apresentada, as camadas da atmosfera e a pressão exercida por cada uma das colunas. A pressão está dada em **Bar**, que corresponde à **atm**, que é uma unidade usada para medir a pressão atmosférica.

Exemplo

A pressão atmosférica a que estamos submetidos quando vamos à praia (ao nível do mar) é de um (1) atm. Outro ponto importante da figura 1 é a relevância da camada da troposfera e da estratosfera para o cálculo da pressão atmosférica, já que é aí que temos as camadas mais densas. Para determinar a pressão atmosférica, a experiência mais famosa é a do físico Evangelista Torricelli (1608-1647). Nessa experiência, completa-se um tubo de ensaio com mercúrio e o emborça, sem deixar entrar ar, em um recipiente com mercúrio também, conforme a figura a seguir demonstra.

FIGURA 3 - Experiência de Torricelli



Fonte: EXPERIMENTO DE TORRICELLI, Acosta, 2011.

APLICAÇÃO NA PRÁTICA

A pressão do ar externa corresponderá à pressão abaixo da coluna de mercúrio de 76 cm, ou seja, a pressão atmosférica no local é equivalente à pressão de 76 cmHg.

Utiliza-se o mercúrio para essa experiência, já que é um líquido muito denso e uma pequena coluna é capaz de exercer uma pressão equivalente à pressão atmosférica.

Pense na seguinte hipótese: se utilizasse água no experimento, você seria capaz de calcular o tamanho do tubo de ensaio que deveria ser utilizado?

Aplicações

Apresentaremos a seguir algumas aplicações de atos do nosso dia a dia sob a ótica da Física.

APLICAÇÃO NA PRÁTICA

Aplicação 1:

FIGURA 4 – Por que usamos canudinho para beber refrigerante?



Fonte: [Porque usamos canudinho para beber refrigerante?]. In: FERNANDES, Sheila. *Não existe quantidade segura de refrigerante para a criança tomar*. 12 ago. 2013. UOL Mulher. Disponível em: <<http://mulher.uol.com.br/gravidez-e-filhos/noticias/redacao/2013/08/12/nao-existe-quantidade-segura-de-refrigerante-para-a-crianca-tomar.htm>>. Acesso em: 29 jan. 2016.

Qual é a explicação para a utilização de um canudinho para bebermos refrigerante?

Quando colocamos a boca em canudo imerso em um copo de refrigerante, sugamos o ar dentro dele reduzindo a pressão interna a ele, o que permite que a pressão atmosférica que atua na superfície externa faça com que o líquido suba pelo canudo.

Aplicação 2:

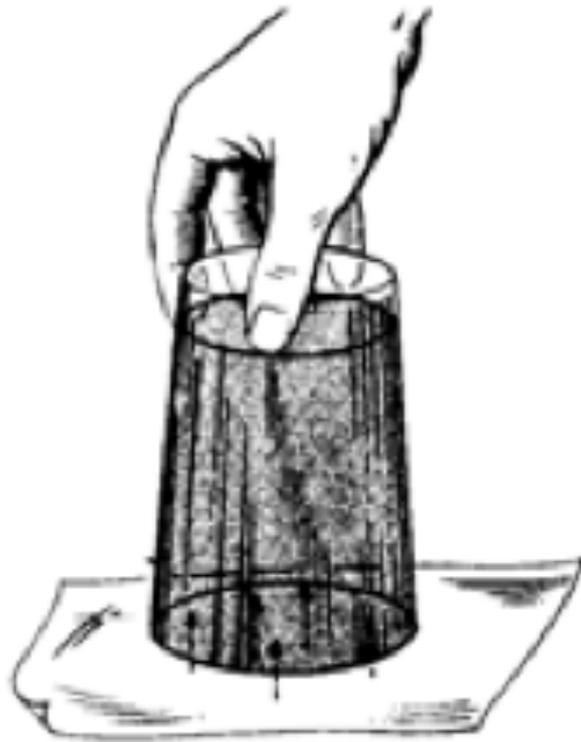
Por que não conseguimos retirar o líquido de uma lata quando fazemos apenas um furo na lata?

Com apenas um furo, a pressão atmosférica impede a saída de líquido. Ao fazer o outro orifício, o ar entra por um lado e o líquido sai pelo outro, facilitando a sua retirada.

Aplicação 3:

Como conseguimos “prender” uma folha de papel em um copo cheio de água virado de cabeça para baixo?

FIGURA 5 – Exemplo de aplicação da física



Fonte: BLACKWOOD, 1971.

Ao enchermos o copo com água, não permitimos a entrada de ar e a pressão externa da atmosfera segura o papel preso ao copo, já que ela é maior que a pressão interna do líquido.

A partir dessas aplicações práticas, conseguimos perceber como o estudo da Física pode explicar algumas aplicações do cotidiano.

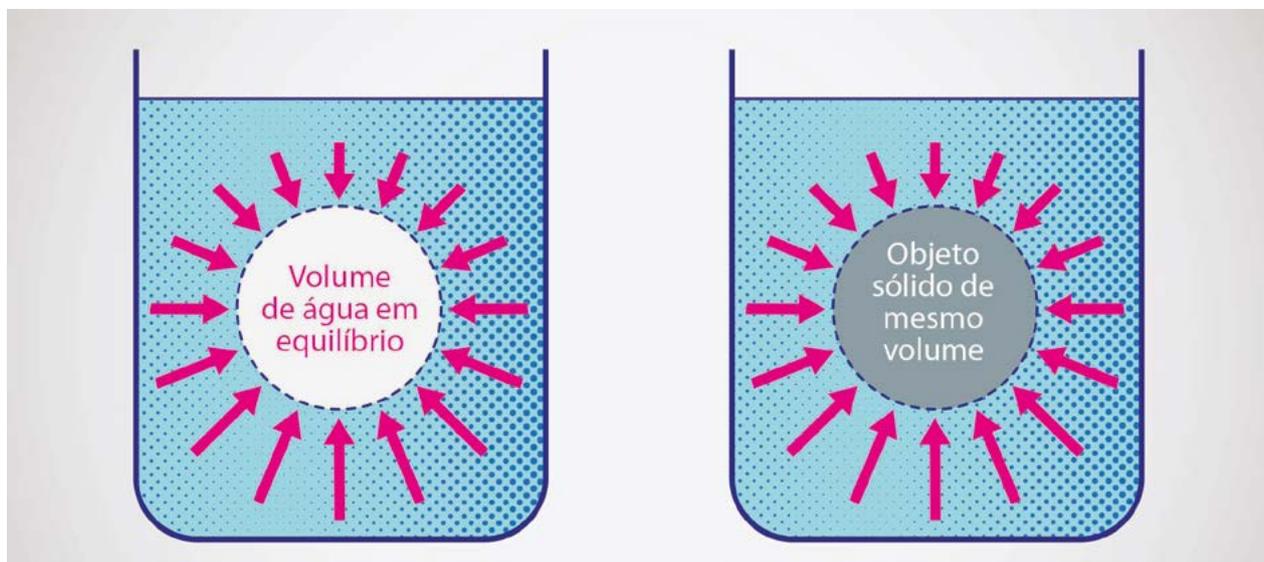
Princípio de Arquimedes

Quando um corpo está total ou parcialmente imerso na água, ele parece ser mais leve (ter um peso menor) do que quando está no ar. Um balão de hélio ou ar quente que flutua no ar é um exemplo do fenômeno físico denominado empuxo, descrito pelo Princípio de Arquimedes, que diz:

“Quando um corpo está parcial ou completamente imerso em um fluido, ele fica sujeito a uma força vertical para cima que é igual ao peso do volume de fluido deslocado pelo corpo.”

Essa resultante para cima aparece devido à diferença de pressão nas diversas partes do corpo, por causa da diferença de profundidade, como mostra a figura a seguir.

FIGURA 6 - Empuxo



Fonte: Núcleo de Educação a Distância (NEaD), Una, 2016.

Como o empuxo é igual ao peso de fluido deslocado, temos:

$$E = \rho_{\text{fluido}} V_{\text{deslocado}} g$$

Como o empuxo é uma força, ele é medido em Newtons.

Sempre que um corpo flutua, o empuxo é igual ao peso e ele estará em equilíbrio. Atenção: um corpo pode flutuar mesmo se estiver totalmente submerso!

Exemplo

Um *iceberg* é um bloco de gelo de água pura que flutua em equilíbrio na água do mar. Qual é a fração percentual do volume de um *iceberg* que fica submersa?

Como o bloco se encontra em equilíbrio, a força peso para baixo deve ser igual ao empuxo para cima.

$$E = P$$

$$\rho_{\text{fluido}} V_{\text{deslocado}} g = mg$$

Como temos a massa do bloco, usamos $m = \rho_{\text{gelo}} V_{\text{bloco}}$

$$\rho_{\text{fluido}} V_{\text{deslocado}} g = \rho_{\text{gelo}} V_{\text{bloco}} g$$

$$V_{\text{deslocado}} = \frac{\rho_{\text{gelo}}}{\rho_{\text{fluido}}} V_{\text{bloco}}$$

$$V_{\text{deslocado}} = \frac{920}{1030} V_{\text{bloco}} = 0,89 V_{\text{bloco}}. \text{ Ou seja, } 89\% \text{ do } \textit{iceberg} \text{ está submerso.}$$

FIGURA 7 - Iceberg



Fonte: [Iceberg].

Nessa parte da unidade, analisamos como varia a pressão em determinadas situações e entendemos como os corpos flutuam, em equilíbrio, em fluidos. Dessa forma, somos capazes de entender e de analisar questões práticas relativas à hidrostática.

APLICAÇÃO NA PRÁTICA

Todas as pessoas já viram um carro ser erguido em um posto com uma relativa facilidade. O bombeiro aciona um pedal, um botão e aquele carro pesado é erguido facilmente para os reparos. A figura a seguir ilustra o elevador hidráulico de um posto de gasolina.

FIGURA 8 - Elevador hidráulico



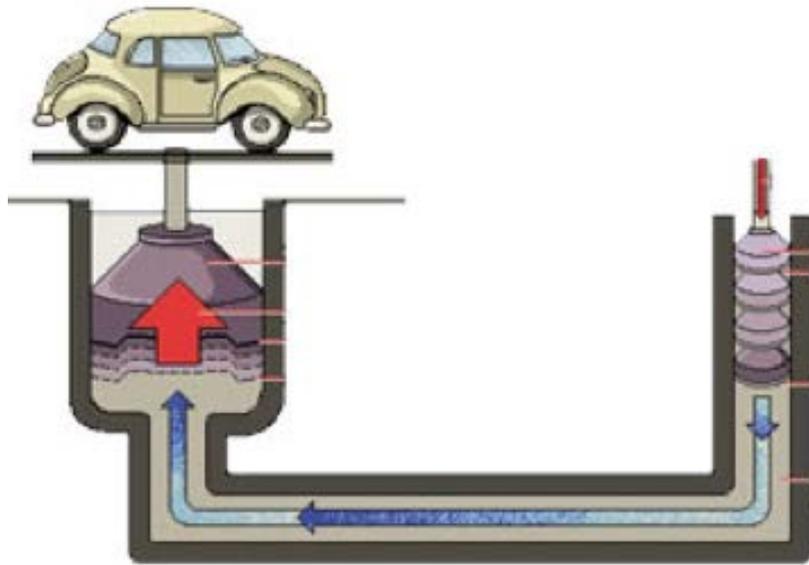
Fonte: [Elevador Hidráulico]. In: ELEVADOR de 4 colunas eletro-hidráulico 3500 KG FV4813. Site "Ferramenta Vitalícia".

Qual será o princípio físico envolvido para erguer carro com certa facilidade?

O princípio de Pascal diz que uma variação de pressão, em um ponto de um fluido em repouso, transmite-se integralmente para todos os pontos.

Se observamos a figura a seguir, o elevador encontra-se sobre a maior área, enquanto a força é feita no pistão de menor área. Por que isso acontece?

FIGURA 9 - Princípio de Pascal



Fonte: [Princípio de Pascal]. In: SILVA, Marco Aurélio da. *Máquinas Hidráulicas: a aplicação do princípio de Pascal*. Site "Brasil Escola".

A pressão no fluido é transmitida de forma igual. Então a pressão do lado de maior área, onde se encontra suspenso o carro, é a mesma do lado de menor área. Já que **pressão é dada por força sobre área**, temos $\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$. Considerando o carro, com um peso de 6000 N e a área dos pistões sendo $A_1 = 0,125 \text{ m}^2$ e $A_2 = 0,00125 \text{ m}^2$, a força necessária para sustentar o carro seria de 60 N.

Revisão

Vimos, nessa unidade, conceitos básicos da hidrostática que possuem grande aplicação em nosso cotidiano.

Foram trabalhados os conceitos de pressão como sendo a relação entre a força aplicada sobre uma superfície e sua área, pressão manométrica em um fluido ($P_m = \rho gh$) e a pressão absoluta ($P = P_0 + \rho gh$). Foram apresentadas também várias unidades de pressão e a relação entre elas.

Na parte final do capítulo foi apresentado o Princípio de Arquimedes e como ele explica a flutuação dos corpos mergulhados em fluidos através do cálculo do empuxo ($E = \rho_{\text{fluido}} V_{\text{deslocado}} g$).

Exercícios

Faça a atividade proposta abaixo, de acordo com o conhecimento construído desta unidade.

- 1. Densidade** - Um dispositivo para determinar a densidade de líquidos é um pequeno balão volumétrico de massa 12 gramas. Quando totalmente cheio de água, sua massa é de 196 g. E quando cheio de leite, ela é de 204 g. Determine a densidade do leite.
- 2. Pressão** - O maior tubo que um mergulhador pode utilizar para respirar mede 0,54 m. Qual é a diferença de pressão a que seu pulmão está submetido nessa profundidade? (densidade da água do mar vale 1024 kg/m^3 e $g = 9,8 \text{ m/s}^2$)
- 3. Princípio de Pascal** - Um elevador hidráulico tem um pistão de raio 0,15 m. Qual deve ser a pressão para sustentar um carro de 1200 kg? Dê a resposta em Pa e atm.
- 4. Empuxo** - Uma pessoa flutua no mar Morto com dois terços de seu corpo submerso. Se a densidade do corpo humano vale 970 kg/m^3 , qual é a densidade do mar Morto?

Problema desafiador

Os balões usam o Princípio de Arquimedes para flutuar em nossa atmosfera e transportar cargas. Eles já foram um meio de transporte de luxo no início do século XX, mas caíram em desuso depois do acidente com o dirigível Hindenburg, inflado com gás hidrogênio, que explodiu ao pousar, matando quase todos os passageiros.

Considere um balão esférico, cheio de Hélio, com um raio de 12 m. O balão, os cabos de suporte e a cesta têm uma massa total de 196 kg. Qual é a máxima carga M que ele pode carregar?



YOUNG; FREEDMAN. *Livro Física II – Termodinamica e Ondas*. 14 ed. São Paulo: Pearson, 2014.

FLUTUABILIDADE. In: Site "PhET – Interactive Simulations". Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/buoyancy>. Acesso em: 29 jan. 2015.

GABARITO DOS EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1. $1,04 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
2. $5,42 \times 10^3 \text{ Pa}$
3. $1,66 \times 10^5 \text{ Pa}$ 1,65 atm
4. $1,46 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

Problema Desafiador:

$$M = 7,7 \times 10^3 \text{ Kg}$$



UNIDADE

Temperatura, calor e dilatação

Introdução

Esta unidade trata dos conceitos de calor, temperatura e dilatação. Iniciaremos os nossos estudos definindo o conceito de temperatura e como medi-la. Discutiremos o conceito de equilíbrio térmico e como a variação da temperatura de um corpo afeta suas dimensões através do estudo da dilatação térmica.

Estudaremos também o conceito de calor como energia em trânsito, devido a uma diferença de temperatura e como essa energia recebida, ou perdida, por um corpo ou sistema pode alterar suas propriedades físicas, provocando uma mudança de estado.

A unidade apresentará uma introdução ao universo da termodinâmica e das trocas de calor para auxiliar na compreensão dos processos que envolvem a temperatura, o calor e a dilatação.

Tópicos abordados

- Calor e temperatura
- Equilíbrio térmico
- Termômetros e escalas de temperatura
 - Calor
- Transições de fase
 - Dilatação
 - Revisão
- Exercícios

Calor e temperatura

Com certeza você já utilizou várias vezes as expressões "hoje está muito frio" ou "hoje está fazendo muito calor". Essas afirmações estão ligadas com uma sensação térmica que indica o quão quente está um corpo e denominada temperatura. Como podemos definir quantitativamente essa grandeza, que é uma coisa imprescindível em ciência?

Nossos sentidos, apesar de muito acurados, não são ideais para desenvolver essa tarefa. Se encostarmos nossa mão em uma barra de metal e em uma placa de madeira que estejam na mesma temperatura teremos a sensação de que a barra está mais fria do que a madeira.

Um outro experimento simples pode ser feito em casa, para termos noção de como nossos sentidos podem se enganar nesse tipo de medida. Veja-o a seguir.

APLICAÇÃO NA PRÁTICA

FIGURA 10 - Calor e temperatura



Fonte: Núcleo de Educação a Distância (NEaD, Anima, 2016)

Primeiramente, colocamos três potes cheios de água: um bem quente, um morno e um frio. Inserimos uma das mãos no recipiente de água bem quente, a outra no recipiente de água fria e esperamos um pouco. Depois desse tempo, trocamos as duas mãos para o recipiente de água morna. Qual sensação teremos? Sentiremos, com uma das mãos, que a água morna está fria e com a outra que está quente.

Essas diferenças se devem ao fato de duas grandezas estarem envolvidas nesse experimento: temperatura e calor. A temperatura é, na verdade, uma medida do estado de agitação das moléculas que constituem um corpo ou um sistema. O conceito de calor como energia em trânsito e como ele se relaciona com a temperatura será discutido mais à frente.

Equilíbrio térmico

Quando dois corpos, com temperaturas diferentes, são colocados em contato e isolados de influências externas, eles tendem para um estado no qual suas temperaturas se igualam. Nesse estado, dizemos que foi atingido o estado de equilíbrio térmico.

Esse conceito nos leva à Lei Zero da Termodinâmica: se dois corpos A e B estão em equilíbrio térmico com um terceiro corpo C, então eles também estão em equilíbrio, ou seja, todos estão com a mesma temperatura.

O equilíbrio térmico entre os corpos é que nos permite determinar a temperatura, usando aparelhos denominados termômetros.

Termômetros e escalas de temperatura

Como a temperatura mede o estado de agitação das moléculas de um corpo, a variação dessa agitação modifica

propriedades físicas dos materiais. As variações podem ser a cor, condutividade elétrica, comprimento de uma coluna de um fluido, entre outras.

Determinação da temperatura é feita ao se medir a mudança dessa propriedade física, em relação ao seu valor, em um nível de referência, tomado como zero. As figuras a seguir mostram dois tipos de termômetros, baseados na emissão de radiação e na variação de comprimento.

FIGURA 11 - Termômetro de radiação



O equilíbrio térmico entre os corpos é que nos permite determinar a temperatura, usando aparelhos denominados termômetros.

Fonte: [Infravermelho] Disponível em: <<http://www.brasile scola.com/quimica/raios-infravermelhos.htm>>. Acesso em 02 jun. 2015.

FIGURA 12 - Termômetro clínico



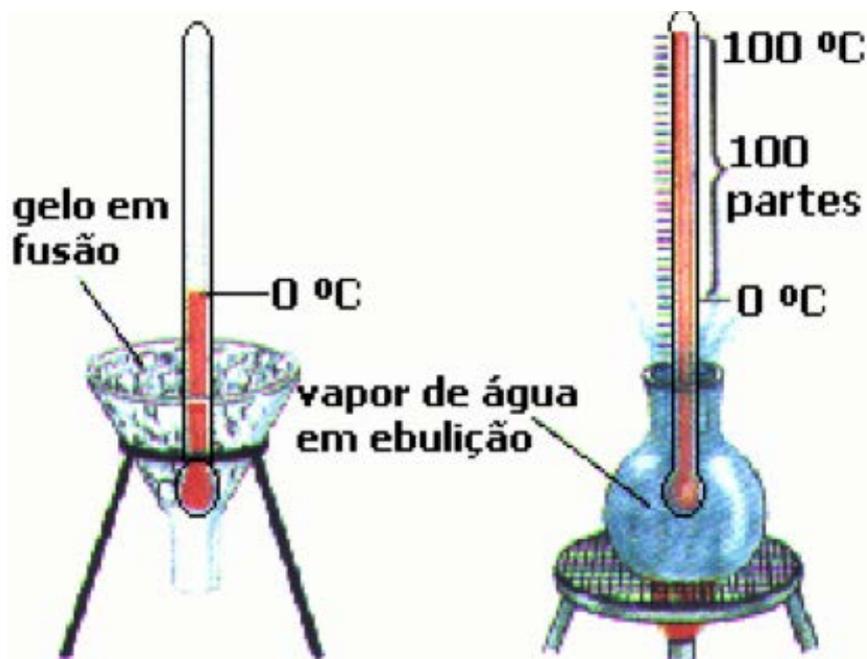
Fonte: [Termômetro] Disponível em: <<https://ipemsp.wordpress.com/2010/04/12/termometro-clinico-como-funciona-e-o-que-verificar-ao-se-comprar-um/>>. Acesso em 12 jun. 2015.

Escala Celsius

Para que o dispositivo mostrado na figura 13 funcione realmente com um termômetro, ele deve ser calibrado (possuir uma escala numérica). Um dos primeiros termômetros calibrados foi criado pelo astrônomo sueco Anders Celsius, no século 18. Ele propôs dois pontos fixos escolhidos com os valores zero e 100. Esses valores correspondem ao ponto de congelamento da água pura e seu ponto de ebulição sob a pressão normal de uma atmosfera.

Celsius fez um experimento semelhante ao mostrado na FIGURA 3. Nele, um termômetro é colocado em um recipiente contendo água nas duas situações citadas, a coluna de mercúrio em seu bulbo apresenta dois tamanhos diferentes. A diferença de tamanho nessas duas situações foi dividida em 100 intervalos iguais, definindo-se, assim, a escala Celsius.

FIGURA 13 - Pressão atmosférica



Fonte: [Celsius] Disponível em: <http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo2B/Calor/celsius.gif>. Acesso em 02 jun. 2015.

Um dos primeiros termômetros calibrados foi criado pelo astrônomo sueco Anders Celsius, no século 18.

Escala Fahrenheit

A escala Fahrenheit ainda é usada em alguns países do hemisfério norte, principalmente nos Estados Unidos da América. Ela foi criada pelo físico alemão/polonês Gabriel Fahrenheit, enquanto estudava propriedades físicas do mercúrio.

Nesta escala, o ponto de congelamento da água equivale a 32 °F e o ponto de ebulição, a 212 °F, também em condições normais de pressão. A relação entre essas escalas é dada por $T_F = 1,8T_C + 32$.

Escala Kelvin

A escala Kelvin, também denominada escala absoluta, é utilizada em cálculos científicos. Ela define o valor mais baixo possível que se pode alcançar, que equivale a $-273,15$ °C (ao longo do texto iremos considerar o valor de -273 °C). A relação entre as escalas Celsius e Kelvin é dada por $T_K = 273 + T_C$ (T_K é a temperatura Kelvin e T_C é a temperatura Celsius).

A escala Kelvin, também denominada escala absoluta, é utilizada em cálculos científicos.



Exemplo

Uma pessoa cuja temperatura é 100 °F estaria com febre?

Usando a relação entre as escalas Celsius e Fahrenheit, temos:

$$T_C = (100 - 32)/1,8 = 37,78 \text{ °C}$$

Esse valor corresponde a um estado febril. No início do século 20, as enfermeiras que trabalharam durante a Primeira Guerra Mundial ministravam remédios para febre quando a temperatura dos pacientes atingia três dígitos na escala Fahrenheit (100°F).

Calor

Na seção 1 foi apresentada a definição de temperatura como sendo a medida do estado de agitação das moléculas de um corpo. Se essas moléculas estão agitadas, elas possuem energia devido ao seu movimento e a variação nessa energia é refletida diretamente na temperatura do corpo.

Se a temperatura do corpo aumentar, suas moléculas ganharão energia e conseqüentemente uma redução da temperatura ocorre quando o corpo perde energia. Essa energia que entra ou sai do corpo apenas por uma diferença de temperatura é o calor. Uma possível definição para calor é: **calor é a energia em trânsito de um sistema (corpo) para outro, devido a uma diferença de temperatura.**

Nas seções subsequentes iremos discutir como o calor é transferido e como a quantidade de calor recebida e/ou perdida afeta a temperatura, e as propriedades físicas do sistema.

Calor é a energia em trânsito de um sistema (corpo) para outro, devido a uma diferença de temperatura.

Transferência de calor

Quando colocamos uma colher metálica dentro de uma panela que contém alimento aquecido, em pouco tempo verificamos que a colher também se aquece. Isso ocorre porque ela é metálica, tendo elétrons livres que se aquecem, ganham energia cinética e se movem rapidamente, aquecendo toda a colher.

Os metais são bons condutores de calor, transferindo esse calor rapidamente por condução. Já as penas, a lã e os líquidos são maus condutores, pois possuem espaços livres preenchidos de ar, que também é um mau condutor.

Os líquidos e os gases transferem calor principalmente por convecção, ou seja, pela movimentação de fluidos. Quando colocamos uma panela cheia de água no fogo, a água próxima ao fogo é aquecida por condução

e fica, portanto, com maior volume (e, por isso, mais leve). A água da parte de cima da panela está mais pesada e por isso desce, ocupando o lugar da mais quente. Essas trocas são conhecidas como correntes de convecção, que se formam dentro do líquido.

FIGURA 14 - Correntes de convecção

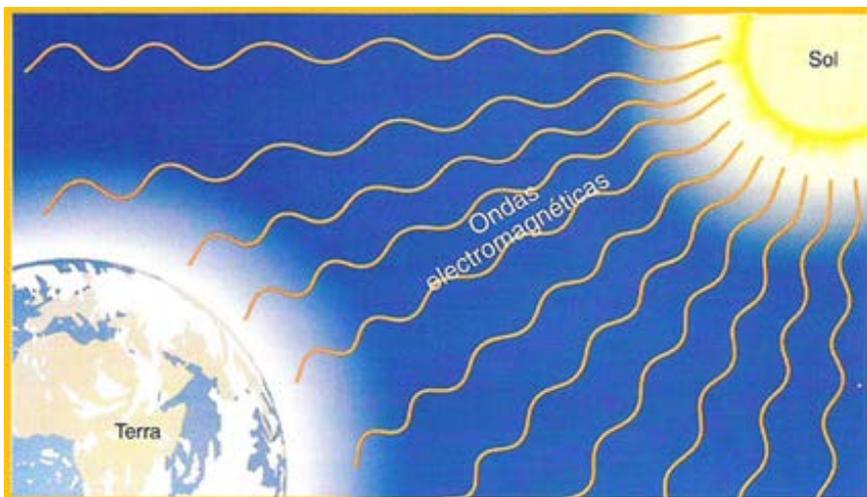


Fonte: [Convecção] Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com/fisica/radiacao-conducao-conveccao.htm>>. Acesso em 02 jun. 2015.

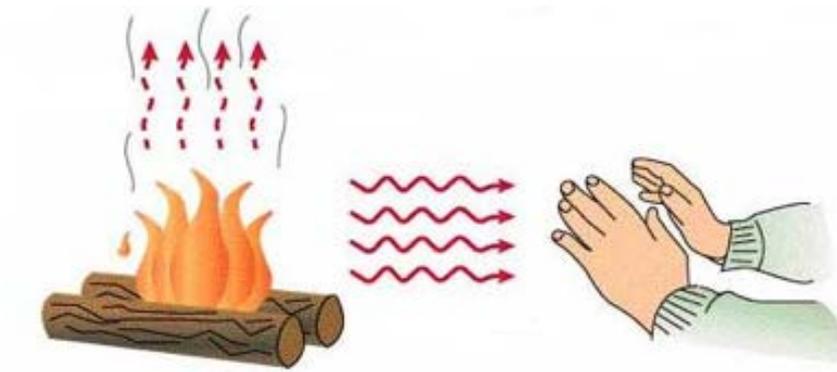
Outro processo de transferência de calor é o da radiação ou irradiação, que se caracteriza por emissão de energia em forma de onda eletromagnética. A energia provinda do Sol, por exemplo, chega à Terra atravessando o espaço e a atmosfera. Quando nos aproximamos de um forno aquecido, também sentimos a irradiação de calor, como na figura a seguir.

Outro processo de transferência de calor é o da radiação ou irradiação, que se caracteriza por emissão de energia em forma de onda eletromagnética.

FIGURA 15 - Radiação solar



Fonte: [Ondas eletromagnéticas] Disponível em: <http://www.aulas-fisica-quimica.com/7e_11.html>. Acesso em 12 jun. 2015.

FIGURA 16 - Radiação térmica

Fonte: [Irradiação térmica] Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/irradiacao-termica/irradiacao-termica.php>>. Acesso em 12 jun. 2015.

Calorimetria

É muito importante diferenciar a quantidade de calor da temperatura de um corpo. A temperatura indica se o material está quente ou frio, e depende do estado físico do corpo. O calor sempre se refere à quantidade de energia que é transferida de um sistema para outro, devido a uma diferença de temperatura entre esses sistemas.

Como calor é uma quantidade de energia, ele é medido em Joules (J). Em algumas situações e textos é usada a unidade caloria (cal), principalmente por questões históricas. A relação entre essas duas unidades é:

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$$

Saiba Mais

A unidade caloria tem origem no início do estudo da calorimetria, quando se acreditava que uma substância denominada calórico fluía dos corpos quentes. Atualmente, a caloria é usada em tabelas alimentares, mas é caloria alimentar, que equivale a 1000 cal. Desde 2001, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária normatizou os rótulos de alimentos e o valor energético dos alimentos é apresentado em Joules.

É muito importante diferenciar a quantidade de calor da temperatura de um corpo.

FIGURA 17 - Valor Nutricional em kcal e kJ

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL		
Porção de 200ml (1 copo)		
Quantidade por porção		%
Valor energético	83 kcal = 349 kJ	4%
Carboidratos	9,5 g	3%
Proteínas	6,2 g	8%
Gorduras totais	2,2 g	4%
Gorduras saturadas	1,2 g	5%
Sódio	133 mg	6%
Cálcio	237 mg	24%

*Não contém quantidade significativa de gorduras *trans* e fibra alimentar

Valores Diários de referência com base em uma dieta com 2.000 cal ou 8.400 kJ. Seus valores diários podem variar dependendo de suas necessidades.

Fonte: CONHEÇA os itens de informação obrigatória no rótulo nutricional das embalagens de alimentos. In: Site "Diário Verde".

A quantidade de calor que entra ou sai de um sistema provoca uma variação de sua temperatura.

A quantidade de calor que entra ou sai de um sistema provoca uma variação de sua temperatura, que é calculada com a equação:

$$Q = mc\Delta T$$

Q = quantidade de calor em Joules;

m = massa, em quilogramas;

$\Delta T = (T_F - T_I)$ é a variação de temperatura em Kelvin ou Celsius;

c = calor específico, em J/kgK.

O calor específico determina a quantidade de energia que é necessária para que 1 kg de um material tenha uma variação de temperatura de 1 K. O calor específico de várias substâncias está listado na tabela 2.

TABELA 2 – Calor específico de algumas substâncias

CALOR ESPECÍFICO (pressão constante)	
SUBSTÂNCIA	CALOR ESPECÍFICO (c) – [J/kg.K]
Alumínio (Al)	910
Berílio (Be)	1970
Cobre (Cu)	390
Alcool etílico	2428
Glicol de etileno	2386
Gelo (0°C)	2100
Ferro (Fe)	470
Chumbo (Pb)	130
Mármore (CaCO ₃)	879
Mercúrio (Hg)	138
Sal (NaCl)	879
Prata (Ag)	234
Água (líquida)	4190

Exemplo

Considere que uma pessoa que contraiu gripe tenha sua temperatura elevada de 37°C para 39°C. Supondo que o corpo humano seja constituído essencialmente de água, qual seria a quantidade de calor necessária para produzir essa diferença de temperatura?

SOLUÇÃO

A variação de temperatura é $\Delta T = 39,0^\circ\text{C} - 37,0^\circ\text{C} = 2,0^\circ\text{C}$ ou 2,0 K.

Podemos, então, escrever: $\Delta Q = mc\Delta T = (80 \text{ kg})(4190 \text{ J/kg. K})(2,0 \text{ K}) = 6,7 \times 10^5 \text{ J}$.

.....

Para Reflexão

Pense e responda:

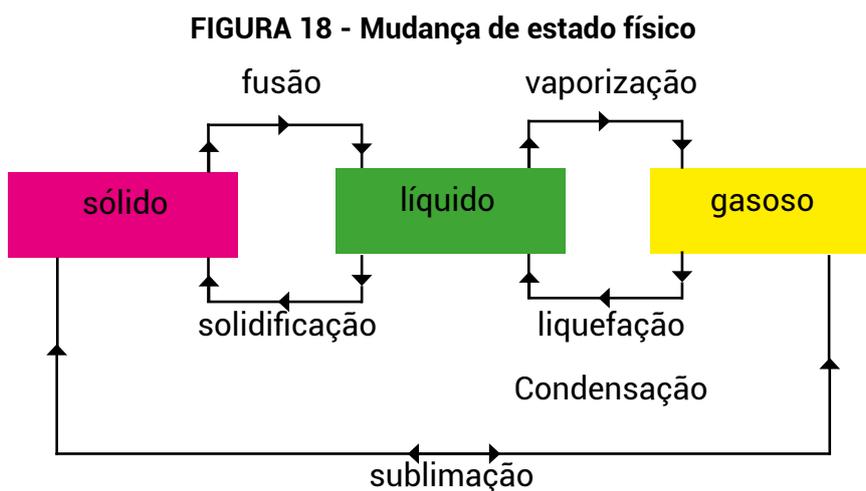
Não é correto dizer que um corpo possui uma certa quantidade de calor, embora ocorra transferência de calor de um corpo para outro. Sendo assim, como um corpo pode fornecer algo que inicialmente ele não possuía?

.....

Transições de fase

A palavra fase é usada para especificar um estado específico da matéria. Por exemplo, uma estrutura cristalina, um estado magnético ou de condução. Existem três estados mais específicos que são: sólido, líquido e gasoso. Eles são facilmente observáveis na água.

Para mudar de uma fase para outra, devemos fornecer ou retirar calor de uma substância. O diagrama da figura 18 mostra as mudanças de fase entre os três estados que a água pode ser encontrada na natureza.



Para mudar de uma fase para outra, devemos fornecer ou retirar calor de uma substância.

Fonte: [Estados físicos da matéria] Disponível em: <<https://manualdoestudante.wordpress.com/2010/02/27/quimica-mudancas-de-estado-fisico/>>. Acesso em 02 jun. 2015.

Nesse diagrama constam as principais mudanças de fase da água. Usamos os mesmos nomes para mudanças de fase de outras substâncias.

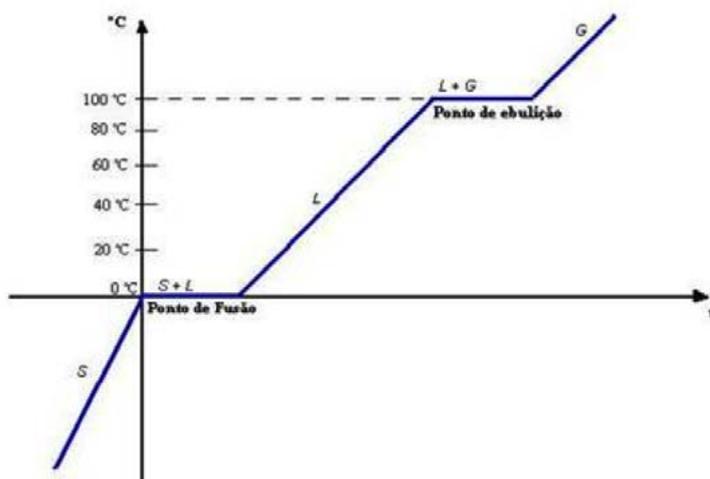
Para uma dada pressão, a transição de fase ocorre para uma temperatura definida, sendo usualmente acompanhada de uma emissão ou absorção de calor, e por uma variação de volume e de densidade.

Atenção

Quando fornecemos calor ao gelo, a 0°C na pressão atmosférica normal, a temperatura do gelo não cresce. Ao contrário, uma parte do gelo derrete e se transforma em água líquida. Adicionando-se calor lentamente, de modo que seja mantida a temperatura do sistema muito próxima do equilíbrio térmico, a temperatura do sistema permanece igual a 0°C , até que todo o gelo seja fundido. O calor fornecido a este sistema NÃO é usado para fazer sua temperatura aumentar, mas sim para produzir uma transição de fase de sólido para líquido.

Esse tipo de comportamento é observado em toda transição de fase para uma substância pura, como pode ser observado no gráfico da figura 17, que mostra a variação da temperatura de uma amostra de água enquanto é fornecido calor para ela a uma taxa constante.

FIGURA 19 - Variação da temperatura ao longo do tempo para uma amostra de água, inicialmente no estado sólido



Fonte: Gráfico das Mudanças de Estados Físicos. In: Site "SOQ Portal de Química". Mudanças de fases e gráficos.

Quantitativamente, a transição de fase é calculada usando-se o calor de transformação da substância. No caso da água, por exemplo, é necessário usar $3,34 \times 10^5$ J de calor para converter 1 kg de gelo, a 0°C , em 1 kg de água líquida, a 0°C , mantendo-se constante a pressão atmosférica. O calor necessário por unidade de massa denomina-se calor de fusão (algumas vezes chamado de calor latente, L).

Quantitativamente, a transição de fase é calculada usando-se o calor de transformação da substância.

O cálculo da quantidade de calor envolvida em uma transição de fase é feito com a equação:

$$Q = \pm mL$$

O sinal + é usado para quando o sistema recebe calor e o – para quando o sistema perde calor. Os valores do calor de transformação para a água são:

$$L_f = 3,34 \times 10^5 \text{ J/kg (fusão)}$$

$$L_v = 2,26 \times 10^6 \text{ J/kg (vaporização)}$$

Em algumas situações, como em motores, é feita a combustão completa de uma substância como álcool ou gasolina. A combustão completa de um grama de gasolina, por exemplo, produz cerca de 46.000 J, de modo que o calor de combustão L_c da gasolina é dado por $L_c = 46.000 \text{ J/g} = 4,6 \times 10^7 \text{ J/kg}$.

Os sólidos se dilatam porque, ao aumentar a temperatura, os átomos que estão ligados em sua estrutura cristalina aumentam a vibração, afastando-se da posição de equilíbrio.

Para Reflexão

Pense e responda:

Por que o alimento cozinha mais rapidamente em uma panela de pressão do que em uma panela aberta com água em ebulição?

.....

Dilatação

Os sólidos se dilatam porque, ao aumentar a temperatura, os átomos que estão ligados em sua estrutura cristalina aumentam a vibração, afastando-se da posição de equilíbrio. Dessa forma, a distância média entre os átomos aumenta.

A equação matemática que permite o cálculo da dilatação linear de um sólido é:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

Em que:

ΔL = variação de comprimento

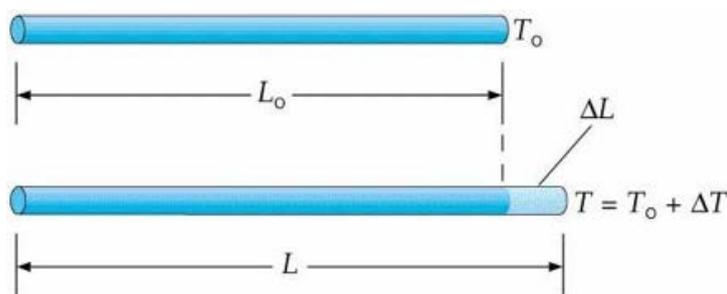
α = coeficiente de dilatação linear

ΔT = variação de temperatura

Como $\Delta L = L - L_0$, a equação pode ser reescrita na forma

$L = L_0(1 + \alpha \cdot \Delta T)$, em que L é o comprimento final.

FIGURA 20 - Dilatação linear de um sólido



Fonte: Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgEgoAJ/8-relatorio-dilatacao-termica-9-2>>. Acesso em 02 jun. 2015.

Temos alguns exemplos de coeficiente de dilatação na tabela abaixo.

TABELA 3 - Coeficientes de dilatação

MATERIAL	α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$ OU K^{-1})
Alumínio	$2,4 \times 10^{-5}$
Latão	$2,0 \times 10^{-5}$
Cobre	$1,7 \times 10^{-5}$
Vidro	$0,4 - 0,9 \times 10^{-5}$
Aço	$1,2 \times 10^{-5}$
Chumbo	$2,9 \times 10^{-5}$
Ouro	$1,4 \times 10^{-5}$

Para dilatações superficiais ou volumétricas, as equações possuem a mesma forma, trocando-se apenas L e L_0 por A e A_0 (para a área), e V e V_0 (para o volume).

Logo, para a dilatação superficial, a equação tem a forma:

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta T$$

Em que:

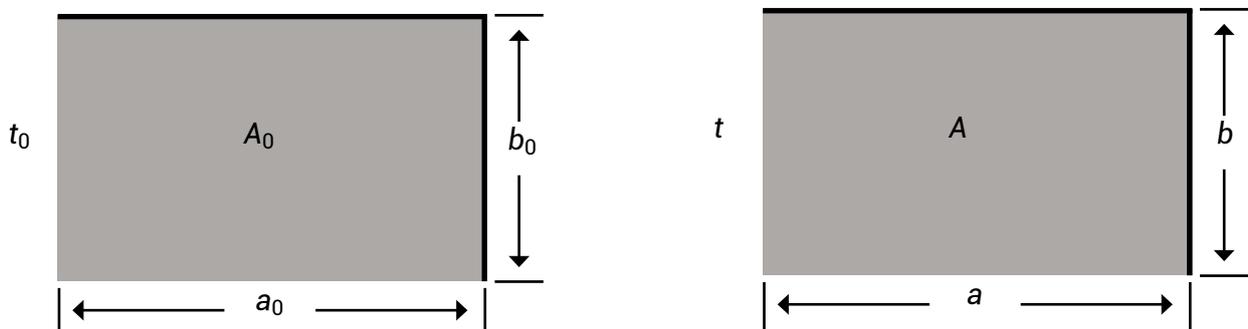
ΔA = variação de área (m^2)

A_0 = área inicial (m^2)

β = coeficiente de dilatação superficial ($^{\circ}C^{-1}$ ou K^{-1})

ΔT = variação de temperatura ($^{\circ}C$ ou K)

FIGURA 21 - Dilatação superficial de um sólido



Fonte: Núcleo de Educação a Distância (NEaD, Anima, 2015)

Para a dilatação volumétrica, a equação é:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

Em que:

ΔV = variação de volume (m^3)

V_0 = volume inicial (m^3)

γ = coeficiente de dilatação volumétrica ($^{\circ}\text{C}^{-1}$ ou K^{-1})

ΔT = variação de temperatura ($^{\circ}\text{C}$ ou K)

Existe uma relação entre os coeficientes de dilatação superficial e volumétrica com o linear, que é dada por:

$$\beta = 2 \alpha$$

$$\gamma = 3 \alpha$$

Dilatação de fluidos e a dilatação anômala da água

Os líquidos se dilatam obedecendo às mesmas leis dos sólidos. Só que a maioria dos líquidos está contida em recipientes que também se dilatam. Temos que considerar a dilatação do recipiente quando falamos em dilatação de líquidos. A dilatação aparente que visualizamos (o líquido derramado quando aquecemos o recipiente cheio) é a diferença entre a dilatação real do líquido e a dilatação do recipiente. A tabela a seguir mostra os coeficientes de dilatação volumétrica para os líquidos.

Os líquidos se dilatam obedecendo às mesmas leis dos sólidos.

TABELA 4 - Coeficiente de dilatação de alguns líquidos

LÍQUIDO	COEFICIENTE DE DILATAÇÃO
Água	$1,3 \times 10^{-4}$
Mercúrio	$1,8 \times 10^{-4}$
Glicerina	$4,9 \times 10^{-4}$
Benzeno	$10,6 \times 10^{-4}$
Álcool etílico	$11,2 \times 10^{-4}$
Acetona	$14,9 \times 10^{-4}$
Petróleo	10×10^{-4}

Fonte: Elaborado pela autora.

Exemplo

Considere um recipiente de vidro, com volume de 150 cm³, completamente cheio de etanol ($\gamma = 7,5 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$). Qual é a quantidade de etanol que entorna quando a temperatura do sistema é elevada de 30°C até 80°C? Considere $\alpha_{\text{vidro}} = 0,4 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

Primeiro calculamos a dilatação do recipiente:

$$\Delta V_{\text{vidro}} = 200 \cdot 3 \cdot 0,4 \times 10^{-5} \cdot 50 = 0,120 \text{ cm}^3$$

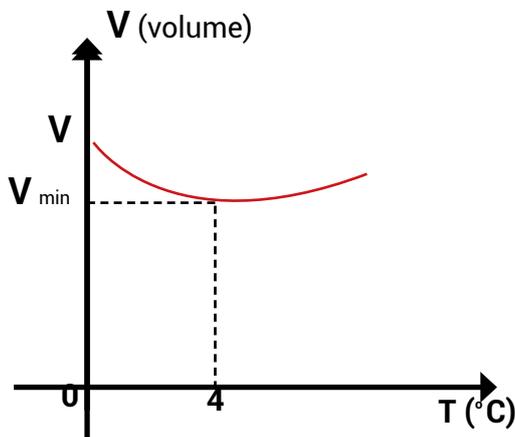
$$\Delta V_{\text{etanol}} = 200 \cdot 7,5 \times 10^{-4} \cdot 50 = 7,5 \text{ cm}^3$$

Como a etanol dilatou mais do que o vidro, a parte que entornou é dada por

$$\Delta V_{\text{etanol}} - \Delta V_{\text{vidro}} = 7,38 \text{ cm}^3.$$

A água é um líquido que se comporta de forma diferente dos demais na faixa de temperatura de 0°C a 4°C, em que o aumento de temperatura acarreta uma diminuição de volume. O gráfico a seguir representa a variação de volume da água nessa faixa de temperatura.

GRÁFICO 1 - Dilatação anômala da água



Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Dilata\u00e7\u00e3o_an\u00f4mala_da_\u00e1gua

Devido a esse comportamento, a densidade da água fria é menor que a da água quente e os lagos e rios congelam de cima para baixo, o que mantém a vida nesses ambientes.

A água é um líquido que se comporta de forma diferente dos demais na faixa de temperatura de 0°C a 4°C, em que o aumento de temperatura acarreta uma diminuição de volume.

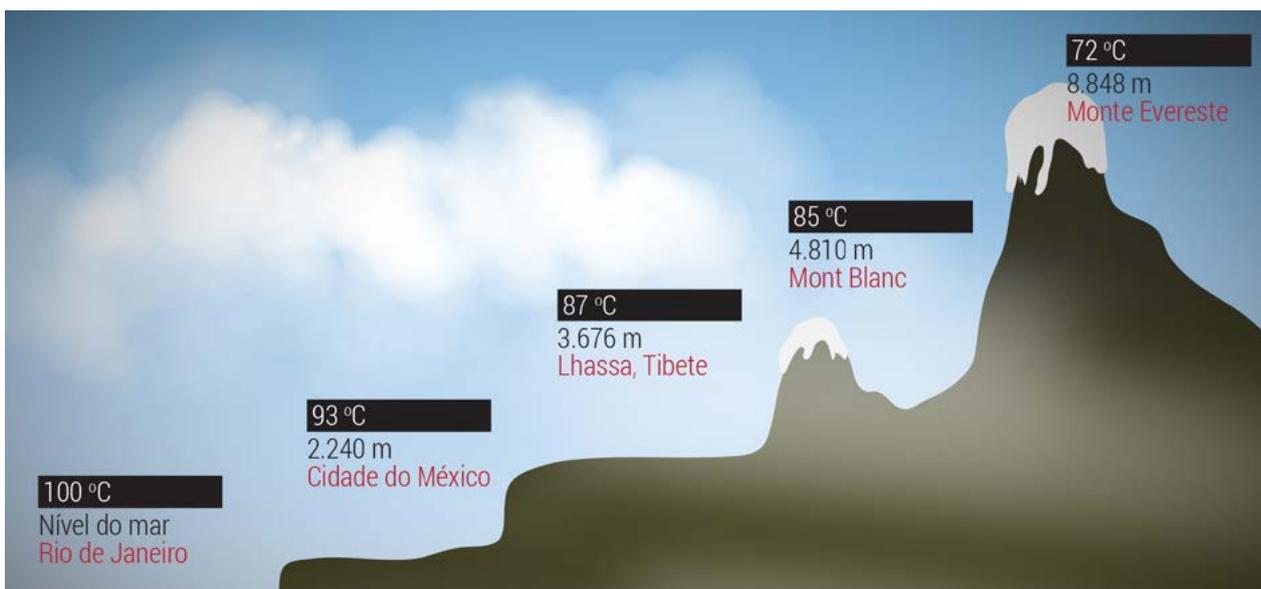
APLICAÇÃO NA PRÁTICA

Imagine que você viaje para um local bem alto, como o Monte Everest e, ao chegar lá, precise ferver água para cozinhar um alimento. Existirá diferença na temperatura de ebulição no Monte Everest àquela existente ao nível do mar (100 °C)?

O processo de ebulição consiste na formação de bolhas de vapor na superfície do líquido, o que ocorre somente se a pressão, no interior da bolha, for maior que a pressão externa ao líquido. Em altitudes elevadas, a pressão externa e pressões internas são elevadas.

A resposta para a situação proposta é que, em locais de maior altitude, a água ferve a uma menor temperatura, como mostrado no desenho a seguir.

FIGURA 22 - Temperatura de ebulição



Fonte: Núcleo de Educação a Distância (NEaD, Anima, 2015)

Revisão

Vimos, nessa unidade, que calor é diferente de temperatura. Calor é a energia transferida de um corpo para outro e temperatura é a medida da agitação térmica das moléculas.

Existem três escalas principais de temperatura: Celsius, baseada no ponto de fusão e ebulição da água; Fahrenheit, em que $T_F = 1,8T_C + 32$ e Kelvin, em que $T_K = T_C + 273$.

Aprendemos como calcular a quantidade de calor perdida ou recebida por um corpo, e determinar as mudanças de temperatura envolvidas nesses processos, além de determinar a quantidade de energia necessária para que ocorra uma mudança de estado físico. Além disso, foi apresentada uma análise qualitativa das maneiras que o calor pode ser transferido, sendo elas condução (em sólidos), convecção (em fluidos) e radiação.

No estudo da dilatação, vimos que ela é regida pelas equações:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad \text{Linear}$$

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta T \quad \text{Superficial}$$

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T \quad \text{Volumétrica}$$

Analizamos, então, nessa unidade, alguns aspectos importantes da termodinâmica que nos permitem interpretar vários tipos de fenômenos físicos relacionados com a variação de temperatura dos corpos e a energia envolvida nestes.

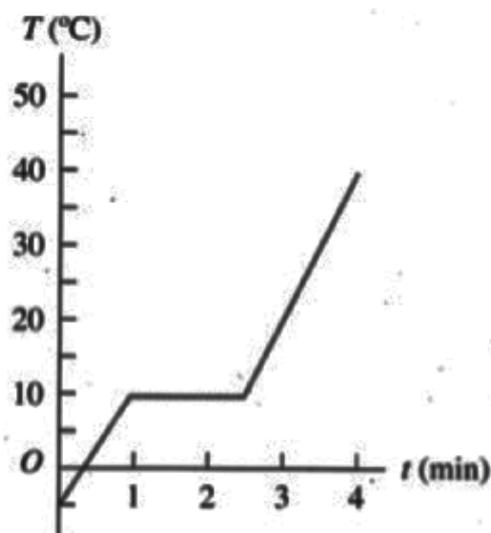
Exercícios

1. Em um dia de inverno, uma cidade apresentou uma amplitude térmica (diferença entre o maior e o menor valor de temperatura) de 15°C . Calcule essa variação nas escalas Kelvin e Fahrenheit.
2. Em alguns locais da Terra, a temperatura, em graus Celsius, é a temperatura em graus Fahrenheit. Qual é o valor dessa temperatura? Qual é a estação mais provável?

3. Uma chaleira de alumínio com massa igual a 1,50 kg, contendo 1,80 kg de água, é colocada em um fogão. Supondo não haja nenhuma perda de calor para o ambiente, qual é a quantidade de calor que deve ser adicionada para elevar a temperatura de $20,0^{\circ}\text{C}$ até $85,0^{\circ}\text{C}$?
4. Um bloco de metal desconhecido tem massa de 500 g e, após receber 3900 J de calor, apresentou uma variação de 20 K em sua temperatura. Qual é o calor específico desse metal?
5. Uma fôrma de cubos de gelo com massa desprezível contém 0,350 kg de água a $18,0^{\circ}\text{C}$. Qual é a quantidade de calor a ser retirada para esfriar a água, até 0°C , e solidificá-la?
6. Qual é o calor total necessário para converter 12,0 g de gelo, a $-10,0^{\circ}\text{C}$, até se transformar em vapor d'água, a $100,0^{\circ}\text{C}$?

Problema Desafiador

Você, um cientista, fornece calor a uma amostra sólida de 0,500 Kg, à taxa de 10^3 J/min , ao mesmo tempo em que registra a sua temperatura em função do tempo.



Com esses dados você obtém o gráfico da figura. Determine o calor de fusão desse sólido e os calores específicos dos estados líquidos, e sólidos do material.



YOUNG; FREEDMAN. *Livro Física II – Termodinâmica e Ondas*. 14 ed. São Paulo: Pearson, 2014.

Funcionamento de estufa:

Plant Tec – Estufas Agrícolas. *Empresa fabricante de estufas agrícolas*. Disponível em: <<http://www.planttec.com.br/estufa-para-verduras.asp#all->>. Acesso em: 02 jun. 2015.

Reportagem sobre o gêiser:

RATIER, Rodrigo. *O que é um gêiser?*. In: Site "Mundo estranho". Disponível em: <<http://mundoestranho.abril.com.br/materia/o-que-e-um-geiser->>. Acesso em: 02 jun. 2015.

Gabarito

Pense e responda:

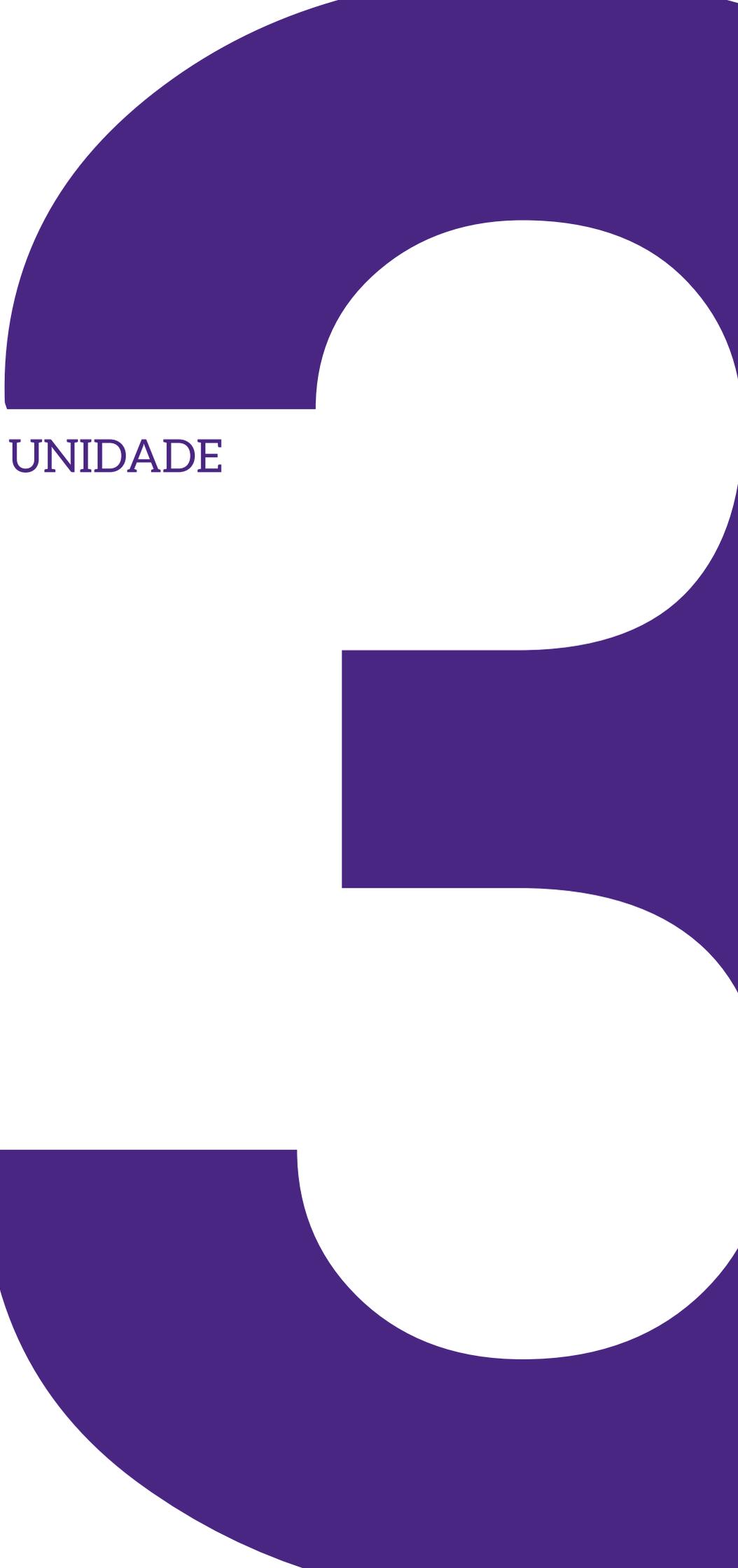
1. Na verdade, um corpo possui energia. Calor é o nome da energia em trânsito de um corpo para outro.
2. O vapor preso na panela faz parar a transição de fase, permitindo o aumento da temperatura. O que cozinha um alimento é a temperatura, por isso o processo é mais rápido na panela de pressão.

Exercícios:

- 1 - 15 K; 27 °F
- 2 - 40, inverno
- 3 - $5,790 \times 10^5$ J
- 4 - 390 J/kgK
- 5 - $1,433 \times 10^5$ J
- 6 - $3,636 \times 10^4$ J

Problema desafiador:

$$C_{\text{sólido}} = 748 \text{ J/kgK} \quad L_{\text{fusão}} = 3 \times 10^3 \text{ J/kg} \quad c_{\text{líquido}} = 100 \text{ J/kgK}$$

A large, stylized purple number '3' is positioned on the right side of the page, partially cut off by the edge. The number is solid purple and has a thick, rounded font style.

UNIDADE

Gases, primeira e segunda lei da termodinâmica

Introdução

Estudaremos nesta unidade a termodinâmica. Começaremos o nosso estudo com a caracterização de um gás ideal. O objetivo nessa parte é que o aluno saiba dizer o que é um gás ideal e, através da equação de estado, saiba relacionar as suas características, como pressão, volume e temperatura. Com essa caracterização, o aluno estará preparado para estudar as transformações gasosas e o funcionamento das máquinas térmicas.

Diante da caracterização do gás ideal, entenderemos como se relacionam calor e trabalho em uma transformação, de acordo com a primeira lei da termodinâmica. O estudo dessa lei permitirá realizar análises sobre vários tipos de transformações. O objetivo principal nessa parte é o de analisar, em detalhes, as características das transformações em um sistema gasoso, relacionando-as com os parâmetros da primeira lei da termodinâmica.

No final da unidade, passaremos ao estudo das máquinas térmicas, essencial para o estudo da termodinâmica. Daremos exemplos de máquinas térmicas presentes no nosso cotidiano e estudaremos como elas funcionam operando em ciclo. Aprenderemos os ciclos de energia dessas máquinas e como determinar o seu rendimento.

Após o estudo das máquinas térmicas, analisaremos a segunda lei da termodinâmica e a importância do ciclo de Carnot para essa lei.

Tópicos abordados

- Modelo de um gás ideal
 - Equação de estado
- Energia interna e trabalho
- Primeira lei da termodinâmica e as transformações térmicas
 - Máquinas térmicas
- Refrigeradores
- Segunda lei da termodinâmica e o ciclo de Carnot
 - Revisão
 - Exercícios

O estudante será capaz de caracterizar o ciclo de Carnot e todas as suas transformações.

O objetivo principal dessa unidade é que o aluno relacione as grandezas trabalho e energia, e suas variações com as máquinas térmicas, e saiba entender o funcionamento delas.

Estudaremos a seguir o comportamento dos gases e as transformações gasosas. Complementaremos o estudo dos gases com a primeira e a segunda leis da termodinâmica, analisando o funcionamento de máquinas e refrigeradores.

Modelo de um gás ideal

A pressão, temperatura e o volume ocupado por uma certa quantidade de matéria descrevem o seu estado físico, que em nosso estudo será denominado de sistema termodinâmico. Essas grandezas que o descrevem são as variáveis de estado.

Para um sistema gasoso, o volume que ele ocupa depende de sua pressão, temperatura e quantidade de gás. Para sistemas mais simples, essas variáveis se relacionam segundo uma equação, denominada equação de estado.

A equação de estado mais simples que existe é a que relaciona essas grandezas em um gás ideal. Para um gás ser considerado ideal, são feitas algumas simplificações em relação a um sistema real:

- as pressões são muito pequenas;
- as temperaturas são muito altas;
- as distâncias entre as moléculas que compõem o gás são muito grandes;
- essas moléculas se movem com velocidades elevadas.

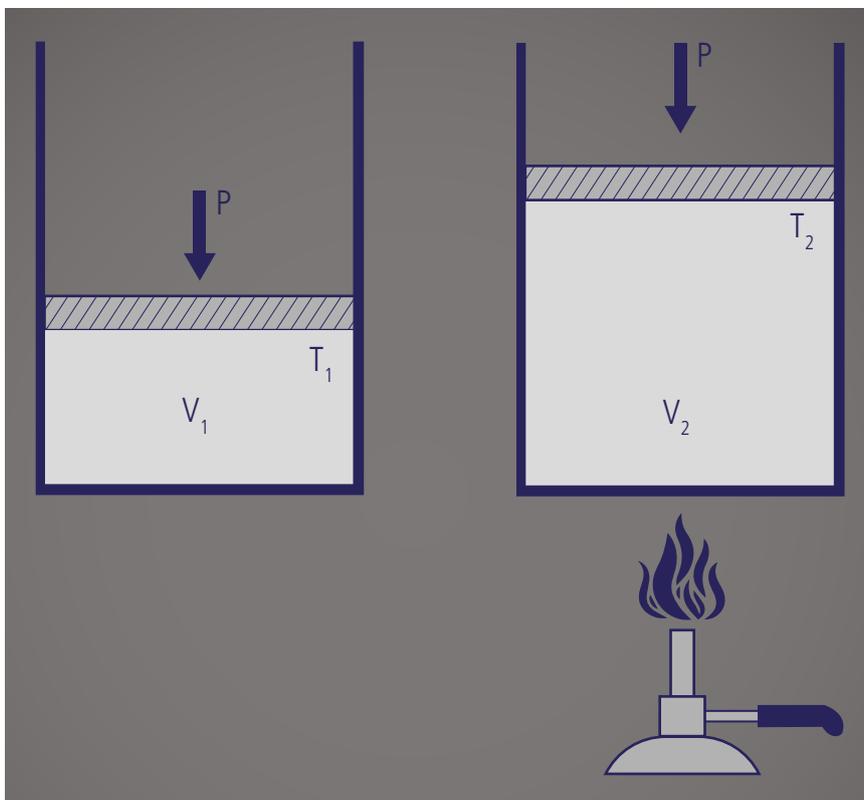
O modelo de um gás ideal funciona muito bem para pressões de algumas atmosferas, fornecendo resultados que são confirmados por experimentos.

A equação de estado mais simples que existe é a que relaciona essas grandezas em um gás ideal.

Equação de estado

A equação de estado de um gás ideal pode ser obtida pela análise do comportamento de uma amostra gasosa confinada em um recipiente que possui uma tampa móvel (FIGURA 23), de maneira que seu volume possa variar, e uma fonte de calor para variar a temperatura do sistema.

FIGURA 23 – Dispositivo para estudar um gás ideal



A equação de estado de um gás ideal pode ser obtida pela análise do comportamento de uma amostra gasosa confinada em um recipiente que possui uma tampa móvel

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse sistema, as moléculas do gás se chocam com as paredes e com a tampa do recipiente, podendo elevá-la, alterando seu volume. A quantidade de choques pode ser alterada elevando-se a temperatura do gás e pode-se, ainda, fazer uma força para baixo na tampa (aumentando a pressão), reduzindo assim o volume do gás. Além disso, considera-se somente que não há perda nem ganho de matéria (sistema fechado). Essa quantidade de matéria é determinada pelo número de mols do gás.

Conceito

O número de mols é um conceito criado pelo físico Amadeu Avogadro, que determinou uma relação entre o número de moléculas que existem em um certo de volume de gás a uma dada pressão e temperatura. Nesta relação, um mol de um gás tem $6,02 \times 10^{23}$ moléculas.

As variáveis de estado de um gás ideal se relacionam segundo a equação:

$$PV = nRT$$

Em que P é a pressão do gás e pode ser dada em **atm** ou **Pa**; V é o volume do gás, em **L** ou **m³**; n é o número de **mols**; R é a constante universal dos gases; e T é a temperatura, dada em **kelvin**.

A constante universal dos gases R é verificada experimentalmente e tem o mesmo valor para todos os gases. Dependendo das unidades de medida, a constante tem valores diferentes, como veremos a seguir:

$$R = 0,08206 \frac{\text{atm}\cdot\text{L}}{\text{molK}} \text{ ou } R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{molK}}$$

(unidades do sistema internacional, SI)

Com essa equação de estado, podemos descrever as características de um gás considerado ideal e determinar o seu volume, a sua pressão ou a sua temperatura diante de outros parâmetros.

As variáveis de estado de um gás ideal se relacionam segundo a equação:

$$PV = nRT$$

APLICAÇÃO NA PRÁTICA

No estudo de gases, costuma-se usar o termo CNTP (condições normais de temperatura e pressão). Nas CNTP, que correspondem a uma pressão de 1 atm e a uma temperatura de 0 °C, um mol de um gás ocupa um volume fixo. Determine esse volume.

$$PV=nRT$$

$$V = nRT/P$$

Substituindo os valores, temos: $V = \frac{(1 \times 0,08206 \times 273)}{1} = 22,4 \text{ L.}$

Pratique um pouco

Repita os cálculos usando valores do sistema internacional. Pressão em Pa e $R = \frac{8,314 \text{ J}}{\text{molK}}$

Considerando um sistema fechado, em que o número de mols permanece constante (sem perda ou ganho de massa), temos:

$$\frac{PV}{T} = nR, \text{ que é constante.}$$

Se o sistema passar de um estado inicial (1) para um estado final (2), temos:

$$\frac{(P_1 V_1)}{T_1} = \frac{(P_2 V_2)}{T_2}$$

Essa relação é importante quando estudamos o comportamento de um gás, mantendo pelo menos uma das variáveis (pressão, volume ou temperatura constante).



Exemplo

Um motor de carro funciona utilizando ciclos de compressão e expansão de uma mistura gasosa ar/gasolina. Considere um motor que admite a mistura com temperatura de 27 °C e pressão de 1 atm. Sabendo que a compressão no cilindro reduz o volume a 1/9 do volume inicial, qual será a temperatura final da mistura?

Usando a relação $\frac{(P_1 V_1)}{T_1} = \frac{(P_2 V_2)}{T_2}$ e isolando T_2 , temos:

$$T_2 = T_1 \frac{(P_2 V_2)}{P_1 V_1}$$

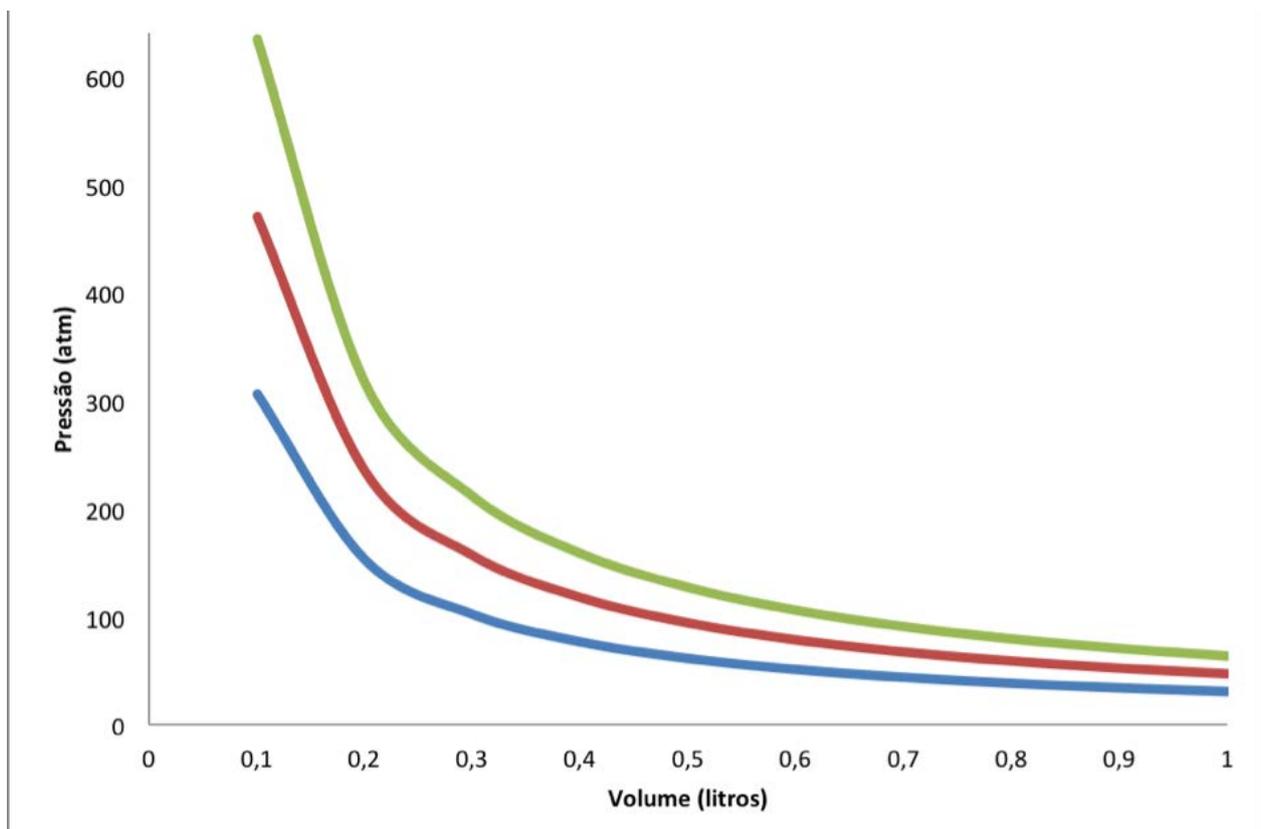
Convertendo a temperatura inicial para kelvin $T_1 = 273 + 27 = 300 \text{ K}$ e usando a relação $V_1 = 9V_2$, obtemos:

$$T_2 = 723 \text{ K ou } 450^\circ\text{C}$$

Diagrama PV

Uma maneira útil de estudar um sistema termodinâmico é representando as variáveis de estado em um gráfico (diagrama). O diagrama mais prático é o que mostra a relação entre a pressão e o volume para uma dada temperatura. Esse diagrama tem a forma mostrada na FIGURA 24 e a curva representada denomina-se isoterma.

FIGURA 24 – Diagrama PV



Fonte: Elaborado pelo autor.

O diagrama PV da figura mostra três curvas. Cada uma delas corresponde a uma temperatura diferente (isoterma). A curva azul é a de menor temperatura e a curva verde é a de maior temperatura. Esse conhecimento será de extrema utilidade quando estudarmos as relações de energia e trabalho, em um sistema termodinâmico, e as máquinas térmicas.

Energia interna e trabalho

Um sistema termodinâmico pode interagir com suas vizinhanças de várias maneiras, recebendo ou perdendo calor, recebendo ou realizando trabalho, mudando de fase ou não. Um bom exemplo de um sistema termodinâmico pode ser encontrado na nossa cozinha, na simples tarefa de fazer pipoca. O sistema é formado pela panela, sua tampa, o milho e o óleo. Ao receber calor da chama do fogão, o milho muda de fase ao estourar e, dependendo da quantidade de milho colocada, a pipoca acaba empurrando a tampa (o sistema realiza um trabalho sobre a vizinhança) e para evitar que a pipoca entorne, você força a tampa para baixo (a vizinhança realiza um trabalho sobre o sistema). Nessa seção iremos estudar essas relações de trabalho e energia, e os tipos de processos a que um sistema pode ser submetido.

Quando um sistema recebe energia na forma de calor, sua temperatura, pressão e volume podem variar.

Trabalho

Quando um sistema recebe energia na forma de calor, sua temperatura, pressão e volume podem variar. Sempre que o volume do sistema variar, teremos a realização de trabalho. O caso mais simples acontece quando o processo ocorre com a pressão constante. Nessa situação, o trabalho para levar o sistema de um estado 1 para um estado 2 é dado por:

$$W = P\Delta V \text{ ou } W = P(V_2 - V_1)$$

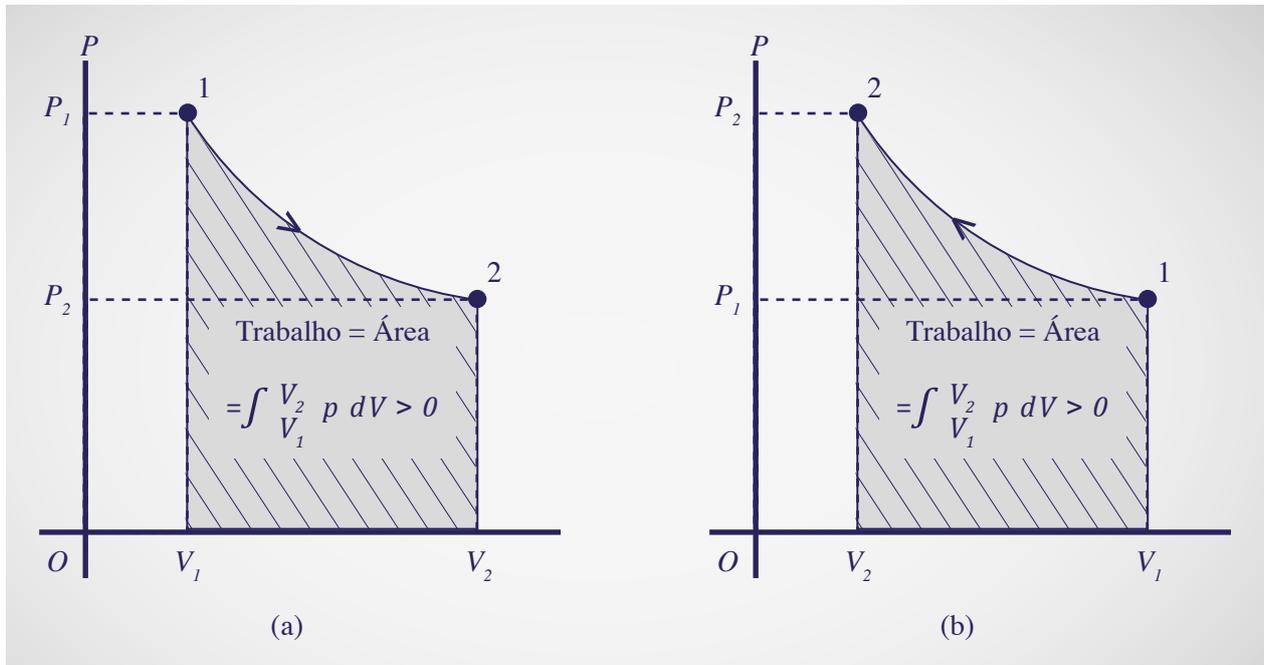
W é o trabalho, em Joules (J)

P é a pressão, em Pascal (Pa)

V_1 é o volume do estado inicial (m^3) e V_2 o volume do estado final.

Mesmo se a pressão não for constante, é possível calcular o trabalho, pois ele é, na verdade, a área da região limitada pela curva no diagrama PV (FIGURA 25), que, neste caso, é calculada através de uma integral definida.

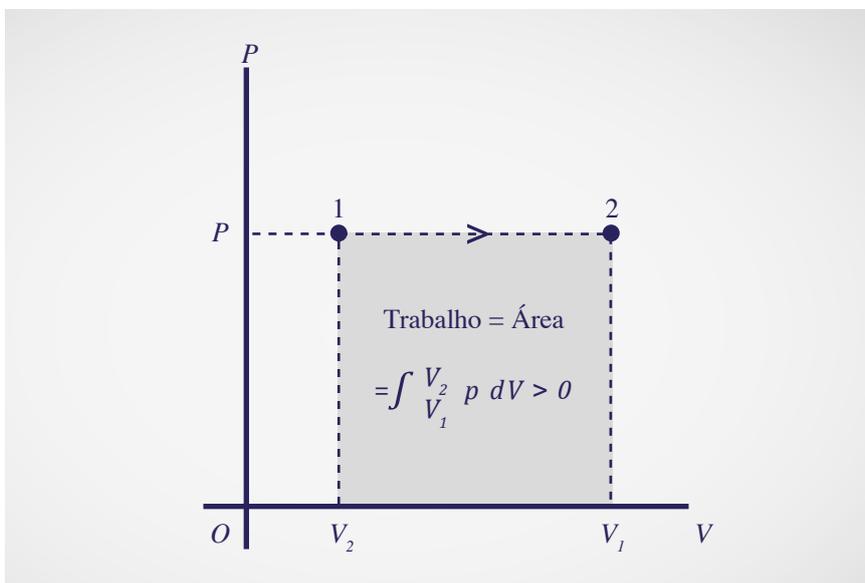
FIGURA 25 – Expansão (a) e compressão (b) de um sistema gasoso, em que a pressão não permanece constante



Fonte: Elaborado pelo autor.

No caso da pressão constante, temos a área de um retângulo (FIGURA 26).

FIGURA 26 - Expansão realizada com pressão constante



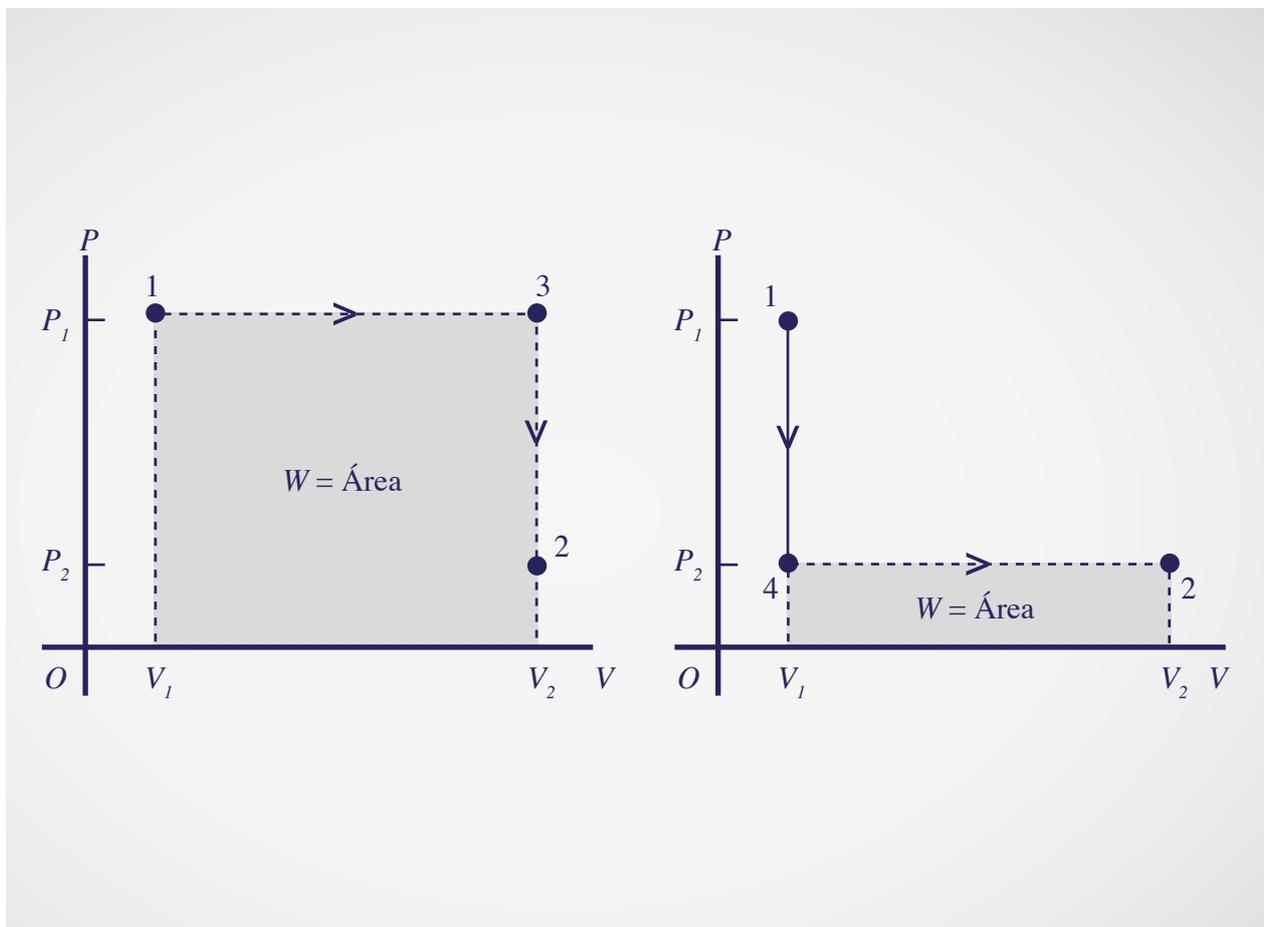
Atenção

Em uma expansão, o trabalho é realizado pelo sistema e é positivo. Já em uma compressão, o trabalho é realizado sobre o sistema e é negativo.

Conceito

Caminhos entre estados termodinâmicos: Observe nas figuras anteriores que o sistema foi do estado 1 para o estado 2, seguindo o caminho mostrado nos gráficos. Se o sistema tivesse seguido um caminho diferente, o trabalho teria um valor diferente. Logo, o trabalho não depende apenas dos estados inicial e final, mas também do caminho seguido, como se pode ver na FIGURA 27. A mesma linha de raciocínio vale também para a quantidade de calor recebida ou perdida nesses processos.

FIGURA 27 - Dois caminhos diferentes para se levar o sistema do estado 1 para o estado 2, observe que os trabalhos (áreas) são diferentes



Fonte: Elaborado pelo autor.

Primeira lei da termodinâmica e as transformações térmicas

Primeira Lei da Termodinâmica

Como dito anteriormente, o trabalho e o calor envolvidos nos processos que levam um sistema de um estado para outro dependem do caminho seguido. Dessa maneira, não se pode falar em trabalho ou calor de um sistema, pois ele não os possui.

Existe uma grandeza chamada energia interna que é a soma das energias potencial e cinética das moléculas de um corpo. Em nossa simplificação para um gás ideal, não iremos considerar as interações entre as moléculas e, neste caso, a energia interna dependerá somente da energia cinética das moléculas.

Existe uma grandeza chamada energia interna que é a soma das energias potencial e cinética das moléculas de um corpo.

Quando um sistema gasoso realiza ou recebe trabalho, a energia cinética de suas moléculas varia. Da mesma forma, o calor, que é energia, entra ou sai do sistema, afetando também a energia interna.

Essas três grandezas relacionam-se pela Primeira Lei da Termodinâmica, que possui a seguinte forma:

$$\Delta U = Q - W$$

Lembrando que a temperatura está relacionada com a agitação das moléculas de um corpo. Existe uma relação direta entre a energia interna e a temperatura de um sistema. Se a energia interna aumentar, a temperatura aumenta. Se a energia diminuir, a temperatura diminui.

A primeira lei segue a convenção de sinais mostrada no quadro a seguir.

QUADRO 1 - Convenção de sinais

	Positivo	Negativo
Q	Recebido	Perdido
W	Realizado pelo sistema	Realizado sobre o sistema
ΔU	Aumento de temperatura	Redução de temperatura

Fonte: Elaborada pela autora.

Conceito

A variação da energia interna de um sistema depende somente dos estados inicial e final. O caminho seguido irá mudar os valores de Q e W, mas a variação da energia será sempre a mesma.

Processos termodinâmicos

Um processo isotérmico é aquele que acontece sem variação na temperatura. Tanto em uma expansão quanto em uma compressão isotérmica, a temperatura inicial e final do sistema é a mesma e, portanto, a variação de energia interna ΔU será zero. Sendo assim, da primeira lei da termodinâmica, teremos:

$$\Delta U = Q - W, \text{ se } \Delta U = 0, \text{ então } Q = W$$

Ou seja, todo o calor trocado será transformado em trabalho. Na expansão isotérmica, todo o calor recebido pelo gás será utilizado para a expansão. Na compressão, todo o trabalho realizado sobre o gás será perdido em forma de calor.

Um processo isobárico é aquele que acontece à pressão constante. Logo, é realizado um trabalho ($W = P \Delta V$) e a primeira lei tem sua forma padrão.

Um processo isocórico é aquele em que não há realização de trabalho. Sendo assim, a primeira lei terá a forma: $\Delta U = Q$, pois $W = 0$.

A variação da energia interna de um sistema depende somente dos estados inicial e final.

Atenção

Podemos pensar que quando o volume permanece constante, não há realização de trabalho, mas existem alguns tipos de trabalho que não envolvem variação de volume. Por exemplo, podemos realizar trabalho sobre um fluido, agitando-o. Na literatura, o termo "isocórico" é para designar um processo no qual não existe nenhum tipo de trabalho realizado.

Um processo adiabático é caracterizado por não haver trocas de calor entre o ambiente e o sistema. Isso é observado, principalmente, em transformações rápidas. Tanto na expansão quanto na compressão, o calor trocado é zero ($Q = 0$).

Da primeira lei da termodinâmica, temos então:

$$\Delta U = -W, \text{ pois } Q = 0.$$

Ou seja, a variação da energia interna dependerá exclusivamente do trabalho. Em uma expansão adiabática, em que o trabalho é positivo:

$$\Delta U = - (+W), \text{ assim } \Delta U < 0 \text{ (a temperatura diminui)}$$

Na compressão adiabática o trabalho é negativo (sobre o gás):

$$\Delta U = - (-W), \text{ assim } \Delta U > 0 \text{ (a temperatura aumenta)}$$

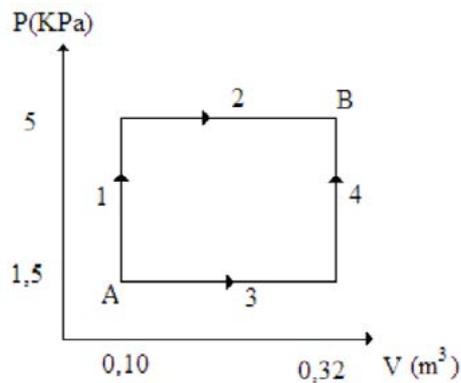
Um processo adiabático é caracterizado por não haver trocas de calor entre o ambiente e o sistema.

Exemplo

Um gás ideal passa por processos termodinâmicos mostrados no diagrama abaixo.

- Calcule o trabalho em cada processo.
- Qual é a variação da energia interna, quando o gás vai do estado A para B, seguindo o caminho 1 – 2, sabendo que o sistema recebe 1200 J de calor em 1 e cede 400 J em 2?.

- c. Qual é a quantidade de calor envolvida no processo 3, sabendo que o processo 4 é adiabático?



- a. Processo 1: $W = 0$, pois o volume é constante.

$$\text{Processo 2: } W = 5 \times 10^3 (0,32 - 0,1) = 1100 \text{ J}$$

$$\text{Processo 3: } W = 1,5 \times 10^3 (0,32 - 0,1) = 330 \text{ J}$$

$$\text{Processo 4: } W = 0, \text{ pois o volume é constante.}$$

- b. Pelo caminho 1 – 2: $W_{\text{total}} = W_1 + W_2 = 1100 \text{ J}$. Com $Q = 1200 \text{ J}$, temos

$$\Delta U = 1200 - 1100 = 100 \text{ J.}$$

- c. Para determinar a quantidade de calor do processo 3, vamos seguir o caminho 3 – 4. Pela primeira lei da termodinâmica, a variação da energia interna é a mesma. Logo, temos:

$$\Delta U = 100 \text{ J, pelo caminho 3 – 4 e } W_{\text{total}} = W_3 + W_4 = 330 \text{ J.}$$

$$\text{Como o processo 4 é adiabático, } Q_4 = 0 \text{ e } Q_{\text{total}} = Q_3.$$

$$Q_3 - 330 = 100 \quad Q_3 = 430 \text{ J}$$

Máquinas térmicas

A maior parte da energia que é usada em uma máquina térmica provém da queima de combustíveis, sendo a energia gerada transferida na forma de calor. Este é usado para aquecimento

ou para movimentar alguma máquina, e é transformado em energia mecânica. Os dispositivos que transformam calor em trabalho são denominados máquinas térmicas.

O tipo mais simples de máquina que vamos analisar é aquela cuja substância sofre um processo cíclico, uma sequência de processos que eventualmente faz a substância retornar ao seu estado inicial. Em uma turbina a vapor, a água é reciclada e usada indefinidamente. A máquina de combustão interna não usa sempre o mesmo ar, porém ainda podemos analisar esse tipo de máquina em termos de um processo cíclico, aproximadamente igual ao processo real.

Todas as máquinas térmicas absorvem calor de uma fonte com uma temperatura relativamente alta (T_Q), realizam algum trabalho mecânico (W) e rejeitam algum calor a uma temperatura mais baixa (T_F). Por melhor que seja a máquina, o calor rejeitado é desperdiçado. No motor de combustão interna, o calor é rejeitado nos gases quentes de exaustão e no sistema de resfriamento. Em uma turbina a vapor, é o calor transmitido para o exterior, pelo vapor usado quando condensa, para formar a água reciclada.

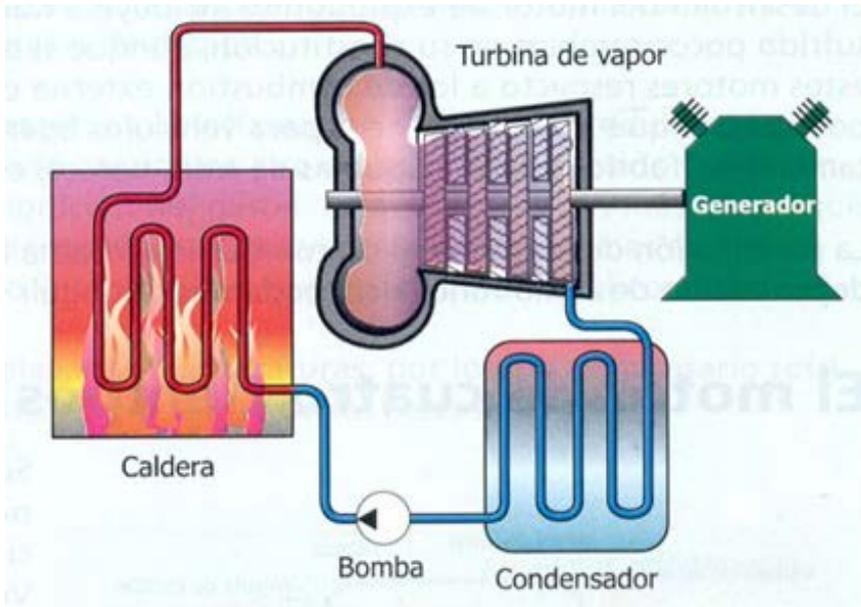
Como exemplos de máquinas térmicas, temos a locomotiva a vapor, a turbina a vapor e o motor de explosão, ilustrados a seguir.

O tipo mais simples de máquina que vamos analisar é aquela cuja substância sofre um processo cíclico, uma sequência de processos que eventualmente faz a substância retornar ao seu estado inicial.

FIGURA 28 - Locomotiva a vapor



Fonte: [Locomotiva] Disponível em: <<http://radioalo.com.br/trem-bala-a-vapor-atingira-210-kmh/>>. Acesso em 02 jun. 2015.

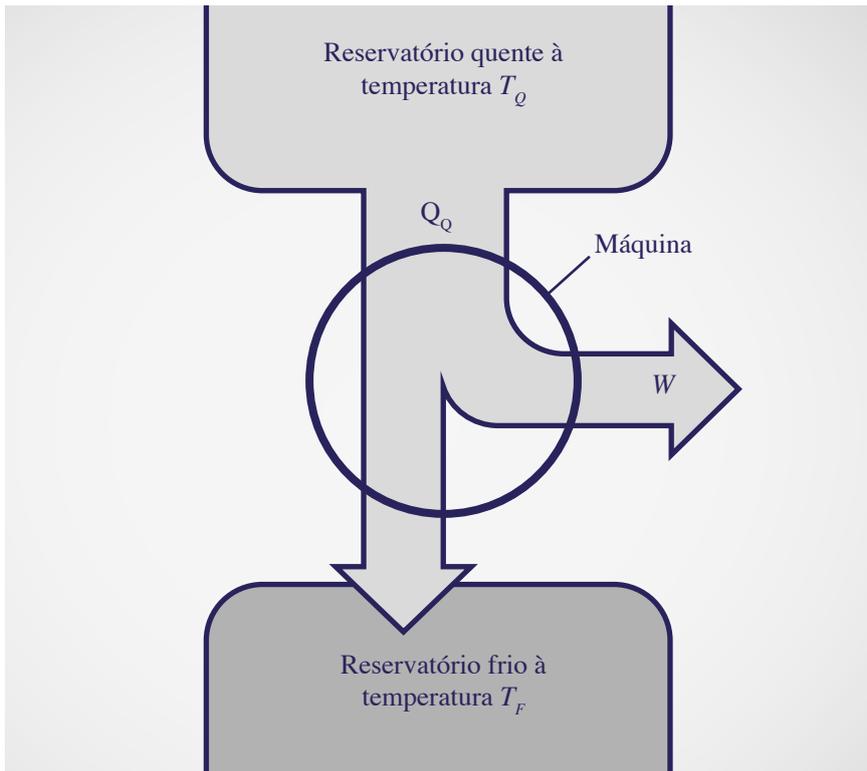
FIGURA 29 - Turbina a vapor

Fonte: [Turbina de vapor] Disponível em: <<https://sites.google.com/site/puigoriolanna3rd/4-engranatges/la-turbina-de-vapor>>. Acesso em 02 jun. 2015.

FIGURA 30 - Motor de explosão

Fonte: Disponível em: <http://revistaautoesporte.globo.com/Revista/Autoesporte/0,,EMI13421-10142,00-CHEVROLET+A PRESENTA+MOTOR+DO+VOLT.html> Acesso em 02 jun. 2015.

Podemos esquematizar como é o funcionamento básico das máquinas térmicas da seguinte maneira: elas retiram calor da fonte quente, realizam trabalho e rejeitam (cedem) calor à fonte fria. O esquema a seguir representa esse funcionamento.

FIGURA 31 - Funcionamento básico das máquinas térmicas

Fonte: Núcleo de Educação a Distância (NEaD), UNA, 2016.

No diagrama da figura, que mostra o ciclo de energia, Q_Q e Q_F representam, respectivamente, o calor absorvido e o calor rejeitado pela máquina durante um ciclo; Q_Q é positivo e Q_F é negativo. O calor total Q absorvido por ciclo é $Q = Q_Q + Q_F = |Q_Q| - |Q_F|$.

A saída útil da máquina é o trabalho líquido W realizado pela substância de trabalho. De acordo com a primeira lei,

$$W = Q \text{ (pois } \Delta U = 0\text{)}.$$

$$\text{Logo, } W = Q_Q + Q_F \quad \text{ou} \quad W = |Q_Q| - |Q_F|$$

Em um sistema ideal, todo calor recebido da fonte quente seria transformado em trabalho, não havendo calor rejeitado para a fonte fria. Como isso não acontece, as máquinas térmicas não conseguem transformar 100% do calor em trabalho. Definimos a eficiência de uma máquina térmica pela relação:

Em um sistema ideal, todo calor recebido da fonte quente seria transformado em trabalho, não havendo calor rejeitado para a fonte fria. Como isso não acontece, as máquinas térmicas não conseguem transformar 100% do calor em trabalho.

$$e = \frac{W}{Q_Q}$$

Usando a relação de trabalho para uma máquina térmica, pode-se escrever a eficiência (em alguns textos denominada rendimento R) como:

$$e = 1 - \frac{|Q_F|}{|Q_Q|}$$

Exemplo

O motor a gasolina de um carro esportivo consome 8.000 J de calor e realiza 2000 J de trabalho mecânico em cada ciclo. O calor é obtido pela queima de gasolina com calor de combustão $L_c = 5,0 \times 10^7$ J/kg.

- Qual é a eficiência térmica dessa máquina?
- Qual é a quantidade de calor rejeitada em cada ciclo?
- Qual é a quantidade de gasolina queimada em cada ciclo?

a. $e = \frac{2000}{8000} = 0,25$ ou 25%

b. $W = Q_Q + Q_F$

$$2000 = 8000 + Q_F$$

$Q_F = -6000$ J (como é um calor cedido ele deve ser negativo)

- c. A queima da gasolina, que é tratada como uma transição de fase, fornece calor para o motor, logo:

$$Q = mL$$

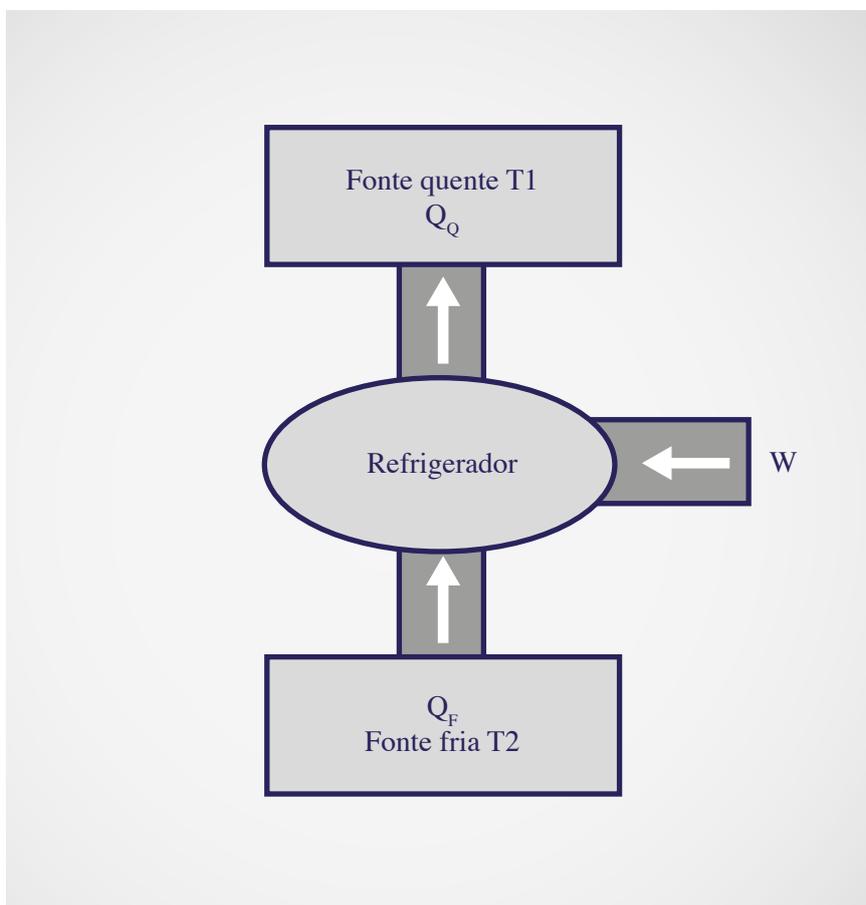
$$8000 = m \times 5,0 \times 10^7 \quad m = 1,6 \times 10^{-4} \text{ kg}$$

Refrigeradores

Os refrigeradores são máquinas térmicas operando no sentido inverso. Ao invés de receber calor de uma fonte quente, realizar trabalho e rejeitar o restante do calor para uma fonte fria, ele faz exatamente o contrário: recebe calor de uma fonte fria (a parte interna do refrigerador) e transfere o calor para uma fonte quente (geralmente o ar externo no local onde o refrigerador se encontra). A máquina térmica fornece um trabalho mecânico líquido, o refrigerador precisa receber um trabalho mecânico líquido. Usando as convenções de sinais já estabelecidas, Q_F é positivo para um refrigerador (Q_F entra no sistema), porém W e Q_Q são negativos.

O esquema de funcionamento de um refrigerador (fluxo de energia) é mostrado na FIGURA 32.

FIGURA 32 - Funcionamento dos refrigeradores



Fonte: Núcleo de Educação a Distância (NEaD), Una, 2016.

A máquina térmica fornece um trabalho mecânico líquido, o refrigerador precisa receber um trabalho mecânico líquido. Usando as convenções de sinais já estabelecidas, Q_F é positivo para um refrigerador (Q_F entra no sistema), porém W e Q_Q são negativos.

Um bom refrigerador é aquele que consegue retirar a maior quantidade de calor do seu interior para o mesmo trabalho realizado. A razão que importa, então, é $\frac{|Q_F|}{|W|}$, denominada coeficiente de performance K_p .

Segunda lei da termodinâmica e o ciclo de Carnot

Apesar das várias tentativas feitas, ficou comprovado experimentalmente que é impossível construir uma máquina térmica que converta completamente calor em trabalho. Essa impossibilidade é a base para a formulação da segunda lei da termodinâmica.

“É impossível construir uma máquina térmica que, ao operar em ciclo, transforme todo o calor recebido em trabalho.”

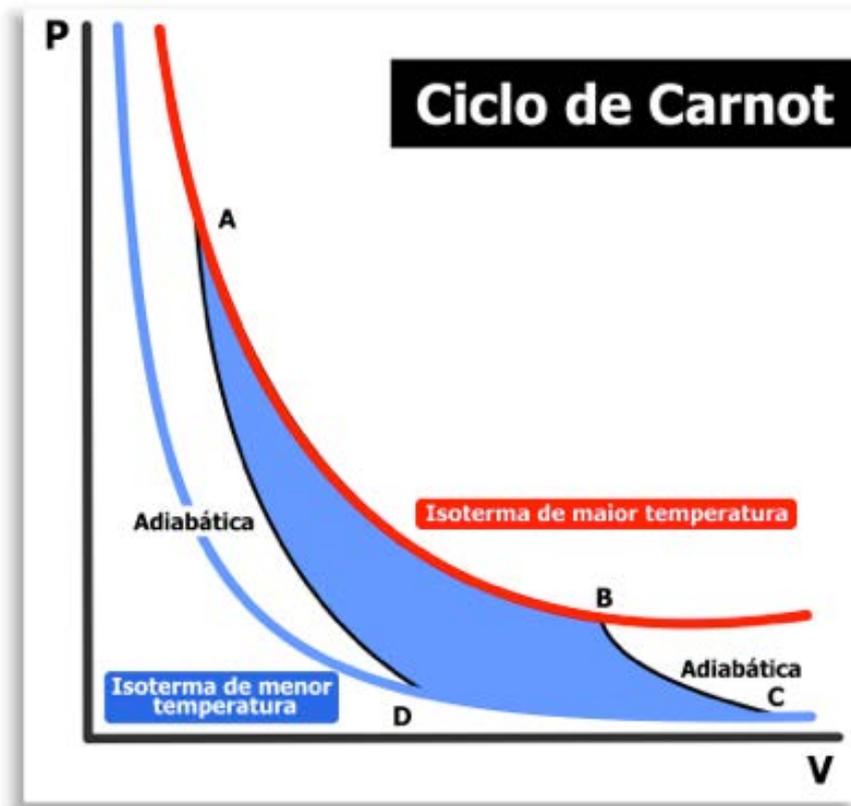
A segunda lei da termodinâmica, diz que as máquinas térmicas não podem ter rendimento de 100%.

O máximo de rendimento de uma máquina pode ter é obtido por uma máquina hipotética, proposta em 1824, pelo engenheiro francês Sadi Carnot (1796-1832). Ela foi desenvolvida e idealizada de modo que forneça a eficiência máxima permitida pela segunda lei. O ciclo dessa máquina é conhecido como ciclo de Carnot.

O ciclo de Carnot consiste em duas transformações isotérmicas e duas transformações adiabáticas, como no gráfico a seguir.

“É impossível construir uma máquina térmica que, ao operar em ciclo, transforme todo o calor recebido em trabalho.”

GRÁFICO 2 - Ciclo de Carnot



Fonte: [Ciclo Carnot gráfico] Disponível em: <<http://livresaber.sead.ufscar.br:8080/jspui/handle/123456789/1129>>. Acesso em 02 jun. 2015.

O ciclo de Carnot funciona da seguinte maneira:

De A para B, o gás sofre uma transformação isotérmica, absorvendo calor do meio externo e realizando uma expansão para manter a temperatura constante (T_Q). De B para C, realiza uma expansão adiabática, com aumento de volume e diminuição de temperatura (T_F), já que usa a sua própria energia interna para realizar o trabalho. De C para D, o gás sofre uma compressão isotérmica, na qual o gás cede calor para a fonte fria a uma temperatura mais baixa. E, finalmente, de D para A, o gás fecha o ciclo, sofrendo uma compressão adiabática.

Na compressão adiabática, o trabalho é realizado sobre o gás. Então há um aumento de temperatura, já que todo o trabalho é convertido em energia interna para o gás. A eficiência do ciclo de Carnot pode ser calculada segundo a equação:

Na compressão adiabática, o trabalho é realizado sobre o gás. Então há um aumento de temperatura, já que todo o trabalho é convertido em energia interna para o gás.

$$e = \frac{(T_Q - T_F)}{T_Q}$$

As quantidades de calor e temperaturas das fontes quentes e frias, em um ciclo de Carnot, relacionam-se da seguinte maneira:

$$\frac{|Q_Q|}{|Q_F|} = \frac{T_Q}{T_F}$$

Atenção

Esses estudos usam gases ideais e as temperaturas sempre devem estar em kelvin.

Exemplo

Uma certa máquina de Carnot absorve 2000 J de calor de um reservatório a 500 K, realiza trabalho e desperdiça calor para um reservatório a 350 K. Qual foi o trabalho realizado, qual a quantidade de calor rejeitada e qual é a eficiência dessa máquina?

Usando a relação $\frac{|Q_Q|}{|Q_F|} = \frac{T_Q}{T_F}$, temos:

$$\frac{|2000|}{|Q_F|} = \frac{500}{350} \quad |Q_F| = 0,7 \times 2000 = 1400 \text{ J}$$

$$W = |Q_Q| - |Q_F| = 2000 - 1400 = 600 \text{ J}$$

$$e = W/Q_Q = 0,3 \text{ ou } 30\%$$

Esses estudos usam gases ideais e as temperaturas sempre devem estar em kelvin.

APLICAÇÃO NA PRÁTICA

Você é capaz de perceber a diferença quando aproximamos a nossa mão da boca e sopramos fortemente com a boca aberta (como

uma "baforada") e com a boca quase fechada (sopro com a boca formando um "biquinho")?

Tente fazer a simples experiência para constatar as diferenças de temperatura no sopro.

FIGURA 33 - Diferenças de temperatura



Fonte: [Sopro e Bafo]. Disponível em: <<http://4.bp.blogspot.com/-wU8zelXfCY4/TkHgAu8WTPI/AAAAAAAAALQ/TGSV2loVfTQ/s1600/Sopro%2Be%2BBafo%2B2.png>>. Acesso em: 02 jun. 2015.

Quando sopramos com a boca aberta, estamos deixando o ar do nosso interior passar para o exterior sem nenhuma variação de volume e de temperatura. Por isso sentimos o ar 'quentinho', com a temperatura do nosso corpo aproximadamente.

Já quando sopramos com a boca quase fechada, o gás sofre uma expansão, realizando um trabalho positivo, já que uma expansão é mais fria.

De acordo com a primeira lei da termodinâmica, em uma expansão rápida (já que o sopro é bem rápido e forte) não haverá tempo do gás trocar calor com o ambiente. Essa expansão é considerada uma expansão adiabática. Assim, toda a variação de temperatura do gás é devida ao trabalho. Se o trabalho é feito pelo gás (expansão), esse gás deve retirar energia dele mesmo para realizar a expansão, ou seja, sofre um abaixamento de temperatura.

Revisão

Os gases são caracterizados pela equação de estado $PV = nRT$, em que: P é a pressão do gás; V é o volume do gás; n é o número de mols; R é a constante universal dos gases; e T é a temperatura. Gases que ocupam o mesmo volume à mesma temperatura e pressão possuem o mesmo número de moléculas, de acordo com a lei de Avogadro.

A primeira lei da termodinâmica, dada pela equação $\Delta U = Q - W$, envolve o conceito de trabalho e variação de energia interna. O trabalho é positivo em uma expansão e negativo em uma compressão. A variação de energia interna é positiva, quando há aumento de temperatura, e negativa, quando há diminuição de temperatura.

Nas transformações isotérmicas, todo o calor é transformado em trabalho, ou seja, $\Delta U = 0$. Em uma transformação adiabática, não há troca de calor com o meio, ou seja, a variação de energia interna depende exclusivamente do trabalho ($\Delta U = -W$).

As máquinas térmicas operam em um ciclo que transforma calor em trabalho mecânico ($\Delta U = 0$ e $W_{\text{total}} = Q_Q + Q_F$). Já um refrigerador funciona no sentido inverso e recebe trabalho ao invés de realizá-lo. Essas máquinas obedecem a segunda lei da termodinâmica e nenhuma máquina térmica que opere entre duas fontes de temperatura T_1 e T_2 pode ter maior rendimento que uma máquina de Carnot operando entre essas mesmas fontes.

As máquinas térmicas operam em um ciclo que transforma calor em trabalho mecânico ($\Delta U = 0$ e $W_{\text{total}} = Q_Q + Q_F$).

Exercícios

1. Um tanque cilíndrico possui um pistão bem ajustado que permite alterar o volume do cilindro. O tanque inicialmente contém $0,110 \text{ m}^3$ de ar, a uma pressão de $3,40 \text{ atm}$. O

- pistão é lentamente puxado para fora, até que o volume do gás aumenta para $0,390 \text{ m}^3$. Sabendo que a temperatura permaneceu constante, qual é a pressão final?
2. Em um certo processo químico, um técnico de laboratório fornece 254 J de calor a um sistema. Simultaneamente, 73 J de trabalho são realizados pelas vizinhanças sobre o sistema. Qual é o aumento da energia interna do sistema?
 3. Um gás (ideal) no interior de um cilindro é mantido sob pressão constante igual a $2,30 \times 10^5 \text{ Pa}$, sendo resfriado e comprimido de $1,70 \text{ m}^3$ até um volume de $1,20 \text{ m}^3$. A energia interna do gás diminui de $1,40 \times 10^5 \text{ J}$.
 - a. Calcule o trabalho realizado pelo gás.
 - b. Ache o calor Q trocado com as vizinhanças e determine o sentido do fluxo do calor.
 4. Um motor Diesel produz 2200 J de trabalho mecânico e rejeita 4300 J de calor em cada ciclo.
 - a. Qual deve ser a quantidade de calor a ser fornecida para a máquina em cada ciclo?
 - b. Qual é a eficiência térmica da máquina?
 5. Uma máquina de Carnot, cujo reservatório quente está à temperatura de 620 K , absorve 550 J de calor nessa temperatura em cada ciclo e fornece 335 J para o reservatório frio.
 - a. Qual é o trabalho produzido pela máquina durante cada ciclo?
 - b. Qual é a temperatura da fonte fria?
 - c. Qual é a eficiência térmica do ciclo?

Problema desafiador

6. Uma hora antes de os convidados começarem a chegar para a sua festa, você percebe que esqueceu de comprar

gelo para as bebidas. Assim, você põe às pressas um litro de água a 10 °C em formas de gelo e as coloca em seu refrigerador. Você terá gelo a tempo para os seus convidados? O seu refrigerador tem um coeficiente de desempenho de 5,5 e uma potência avaliada em 550 W. Estima-se que somente 10% da potência são utilizados para formar o gelo.



HEWITT, Paul. *Fundamentos de Física Conceitual*. 11 ed. São Paulo: Bookman, 2011.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. *Fundamentos de Física*. Vol. 2. 6 ed Rio de Janeiro LTC

Simulações sobre calor e termometria disponíveis em : Site "PhET Interactive Simulations". Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/category/physics>. Acesso em: 24 jun. 2016. (Vídeos da monitoria virtual sobre termodinâmica).

Gabarito

1. $9,71 \times 10^4 \text{ Pa}$

2. 327 J

3.

a. $-1,15 \times 10^5 \text{ J}$

b. $-2,55 \times 10^5 \text{ J}$

4.

a. 6500 J

b. 34%

5.

a. 215 J

b. 378 K

c. 39%

6. 20,7 minutos



UNIDADE

Movimentos periódicos e o movimento harmônico simples

Introdução

A Unidade 4 apresentará o estudo das oscilações, que são movimentos periódicos. Esse tipo de movimento é descrito por grandezas, como amplitude, frequência e período. Ele é observado em vários sistemas, tais como cristais de quartzo em um relógio digital, o martelo de um relógio de corda que faz tic-tac, gangorras em um parque de diversões, os pistões de um motor, o sistema de amortecedores de um carro e vários outros.

Estudaremos em detalhes dois tipos de movimento oscilatórios que podem ser usados para explicar vários outros sistemas físicos. Esses movimentos são causados por uma força restauradora (ela sempre tenta devolver o sistema para a situação de equilíbrio) e é denominado movimento harmônico simples (MHS). Os dois tipos de sistemas que estudaremos são o pêndulo simples e o sistema massa-mola, ambos em condições ideais (sem atrito e amortecimento).

Tópicos abordados

- Movimentos periódicos
- Movimento harmônico simples
 - Aplicações do movimento harmônico simples
 - Revisão
- Exercícios

Movimentos periódicos

Na natureza existem vários movimentos oscilatórios, como as ondas do mar, os galhos de árvores que balançam de um lado para o outro, as pessoas balançando em gangorras, dentre outros. Esses movimentos oscilatórios são considerados **periódicos quando apresentam uma regularidade na sua repetição.**

Conceito

O período é definido como o tempo que o sistema oscilante gasta para efetuar um ciclo completo. É representado pela letra **T** e sua unidade no sistema internacional (SI) é o segundo. O número de oscilações (ciclos) completas, efetuadas em uma unidade de tempo, define a frequência do movimento, representada pela letra **f**. No SI, a frequência é medida em hertz (Hz), $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$. A relação entre essas duas grandezas é dada por $T = 1/f$ (o período é o inverso da frequência).

.....

Movimentos oscilatórios são considerados periódicos quando apresentam uma regularidade na sua repetição.

Veamos o exemplo acerca da aplicação da frequência.

Exemplo

Nos antigos toca-discos era possível controlar o número de rotações que o prato executava. Na figura a seguir existem três velocidades de rotação marcadas: $33 \frac{1}{3}$, 48 e 75 rpm. O termo rpm significa rotações (ciclos) por minuto, que é uma medida de frequência.

FIGURA 34 – Sistema de controle das rotações de um toca discos de vinil (botão acima e à esquerda).



Frequência angular
 $\omega = 2\pi f$

Fonte: Site "Atacadão do Lar". Disponível em: <<http://www.atacadaodolar.com.br/eletronicos/>>. Acesso em: 15 jul. 2016.

Quais são esses valores no SI e qual o período para essas posições?

1 rpm = 1/60 rotações por segundo (1 minuto tem 60 segundos).

Posição 331/3: $f = 331/3/60 = 33,33/60 = 0,555$ Hz, com período $T = 1,80$ s.

Posição 48: $f = 48/60 = 0,8$ Hz, com período $T = 1,25$ s.

Posição 75: $f = 75/60 = 1,25$ Hz, com período $T = 0,8$ s.

Atenção

Outra grandeza importante, quando tratamos de movimentos periódicos, é a **frequência angular ω (letra ômega minúscula, não confunda com w)**. Ela se relaciona com a frequência f (que também é chamada de frequência linear) através a fórmula **$\omega = 2\pi f$** , sendo medida em rad/s (radianos por segundo).



Exemplo

Um sistema oscilante (periódico) gasta 0.75 segundos para começar a repetir seu movimento. Encontre o período, a frequência em hertz (linear) e a frequência angular (em radianos por segundos).

Esse exemplo trabalha os conceitos de frequência linear ($f = 1/T$) e frequência angular ($\omega = 2\pi f$), que têm como respostas:

$$f = 1/0,75 = 1,33 \text{ Hz} \quad \omega = 2\pi \times 1,33 = 8,37 \text{ rad/s}$$

Movimentos harmônicos simples

Quando um sistema oscila, ele faz um movimento de vai e vem, que se inicia porque uma força o retirou de uma posição inicial denominada posição de equilíbrio. Um exemplo típico dessa situação é uma criança em um balanço. Se ninguém a empurrar, ela ficará parada logo abaixo da barra que segura o balanço e esta é a posição de equilíbrio. Quando alguém puxa ou empurra o balanço, ele sai da posição de equilíbrio e começa a oscilar. A distância que ele foi afastado da posição de equilíbrio é denominada amplitude do movimento (A). A oscilação acontece porque uma componente da força peso sempre tenta trazê-lo de volta para a posição de equilíbrio (FIGURA 35).

Quando um sistema oscila, ele faz um movimento de vai e vem, que se inicia porque uma força o retirou de uma posição inicial denominada posição de equilíbrio.

FIGURA 35 - Três crianças em um balanço. A central foi deslocada da posição de equilíbrio e as outras duas estão na posição de equilíbrio



Fonte: Site "Portal The Hunted-Scary Movies". Disponível em: <<http://scary.com.br/site/wp-content/uploads/2016/06/dd-300x169.png>>. Acesso em 25 de junho de 2007.

Esse tipo de força, que tenta devolver o sistema ou corpo para a situação original, recebe o nome de força restauradora. Sempre que a oscilação acontecer, devido a uma força que é proporcional ao deslocamento do corpo (restauradora), ela será um movimento harmônico simples (MHS). A força restauradora mais comum que está sempre presente em nosso cotidiano é a força que aparece quando deformamos uma mola, denominada força elástica.

O sinal negativo indica que a força é sempre contrária ao deslocamento (deformação) da mola.

$$F = - Kx$$

F (medida em newtons) é a força, K (medido em N/m) é a constante elástica (dureza da mola) e x (medido em metros), a deformação. O sinal negativo indica que a força é sempre contrária ao deslocamento (deformação) da mola.

Como o MHS é um movimento periódico, ele deve ser descrito por uma função periódica, tal como uma função cosseno do tipo $x(t) = A\cos(\omega t + \varphi)$. Nessa função A, ω e φ são constantes, representam a amplitude, a frequência angular e a fase inicial do movimento, respectivamente.

Para verificar se essa função realmente descreve um MHS, vamos determinar a aceleração derivando duas vezes a posição em relação

ao tempo e substituir a aceleração na segunda lei de Newton, verificando assim se a força é proporcional ao deslocamento.

$$V(t) = -\omega A \sin(\omega t + \varphi)$$

$$a(t) = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi)$$

Observe que a aceleração pode ser escrita como $a(t) = -\omega^2 x(t)$ que, substituída na segunda lei de Newton ($F = ma$), nos fornece $F = -\omega^2 mx(t)$. A força é proporcional ao deslocamento x do sistema.

Se usarmos esta última equação em um sistema que consiste em um bloco de massa m preso a uma mola de constante K , que é deslocado de sua posição de equilíbrio, temos:

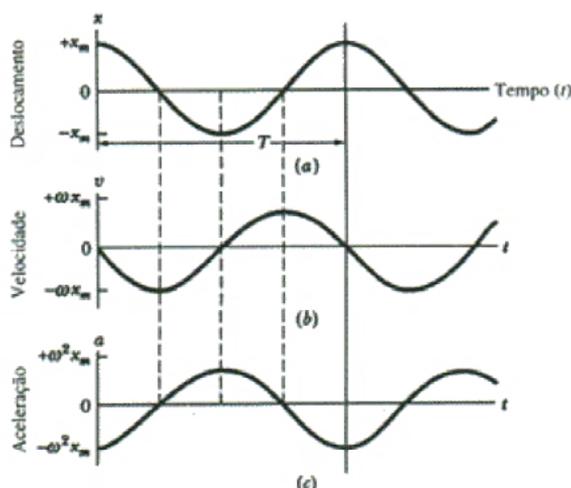
$$-Kx = -\omega^2 mx$$

e, conseqüentemente:

$\omega = \sqrt{\frac{K}{m}}$, que é a frequência angular de um sistema massa mola.

Qualquer sistema que descreve um MHS tem suas equações do movimento, representadas pelos gráficos da Figura 36.

FIGURA 36 - Gráficos da posição (a), velocidade (b) e aceleração (c) para o MHS.



Fonte: [Gráficos da posição (a), velocidade (b) e aceleração (c) para o MHS]. Disponível em: Site <http://www.fisica.ufpb.br/~mkyotoku/texto/mcu-v_a_.gif>. Acesso em 23 jun. 2016.

A força é proporcional ao deslocamento x do sistema.

Observe na figura que, quando o deslocamento é máximo (amplitude), a velocidade é zero (o corpo para, pois vai retornar) e a aceleração tem o maior valor (a força é diretamente proporcional ao deslocamento).

Atenção

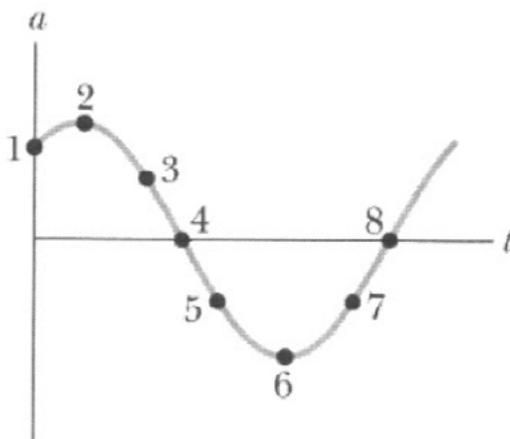
Observe, na figura, que no intervalo de tempo de um período (ciclo completo), o sistema percorre uma distância igual a 4 vezes a amplitude.

Exemplo

O gráfico da figura mostra a aceleração de uma partícula que executa um MHS em função do tempo.

- Qual dos pontos indicados corresponde à partícula na posição $x = -A$?
- Em quais pontos a velocidade da partícula é máxima?

Figura 37 – Gráfico Aceleração de uma partícula que executa um MHS em função do tempo.



Fonte: SEARS, Zemansky. *Física II Termodinâmica e ondas*. 12 ed. São Paulo: Pearson, 2008.

- Pela equação da aceleração, $a(t) = -\omega^2 x(t)$, vemos que o maior valor para a aceleração corresponde às posições de maior afastamento do corpo. Quando $x = -A$, a aceleração tem o maior valor positivo, que corresponde ao ponto 2.

- b. Observando as equações da velocidade e da aceleração, vemos que o maior valor para velocidade ocorre quando a função seno vale 1 ou -1 e, nesse caso, a aceleração será zero, pois cosseno vale zero. Então os maiores valores de V ocorrem nos pontos 4 e 8.

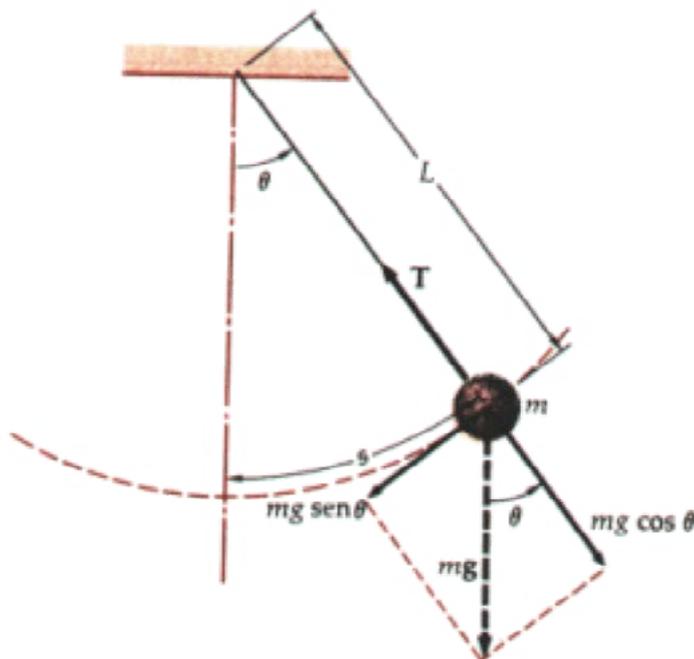
Aplicações do movimento harmônico simples

Pêndulo simples

O pêndulo simples é um sistema composto por uma massa muito pequena presa a um cabo muito longo. Nesse sistema, um componente da força peso funciona como força restauradora durante a oscilação.

O pêndulo simples é um sistema composto por uma massa muito pequena presa a um cabo muito longo.

FIGURA 38 - Diagrama de forças em um pêndulo simples, mostrando a decomposição da força peso. A componente $mg \sin \theta$ funciona como força restauradora



Fonte: [Diagrama de forças em um pêndulo simples, mostrando a decomposição da força peso. A componente $mg \sin \theta$ funciona como força restauradora]. Disponível em: Site <http://www.fisica.ufpb.br/~mkyotoku/texto/mcu-v_a_gif>. Acesso em: 23 jun. 2016.

Para pequenas oscilações, o período de oscilação de um pêndulo simples é calculado com a expressão $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$. Em que l é o comprimento do pêndulo e g é aceleração da gravidade do local.

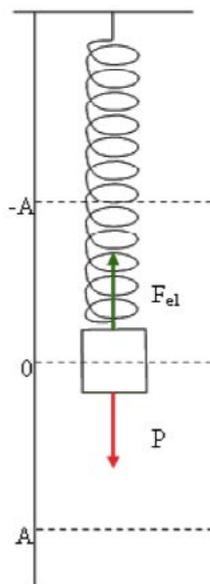
Exemplo

Um peso preso a uma mola oscila para cima e para baixo ao longo de uma distância de 20 cm, duas vezes por segundo. Qual é a sua frequência, seu período e sua amplitude? Se o peso tem uma massa de 0,500 kg, qual é a constante da mola a que ele está preso?

A frequência é o número de oscilações em uma unidade de tempo. Logo, $f = 2$ Hz.

Como $T = 1/f$, temos $T = 0,5$ s.

Figura 39 - Sistema massa-mola



A amplitude é o máximo afastamento da posição de equilíbrio

Fonte: Site "Portal Edutec- Unesp". Disponível em: <www.edutec.unesp.br>. Acesso em: 25 jun. 2016.

A amplitude é o máximo afastamento da posição de equilíbrio e, como se vê pela figura, os 20 cm correspondem ao intervalo de $-A$ até A . Logo, A vale 10 cm.

Como $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ e $\omega = 2\pi f$, temos:

$2\pi \times 2 = \sqrt{\frac{k}{0,5}}$, o que dará como resultado: $k = 78,88$ N/m.



APLICAÇÃO NA PRÁTICA

Relógio de pêndulo

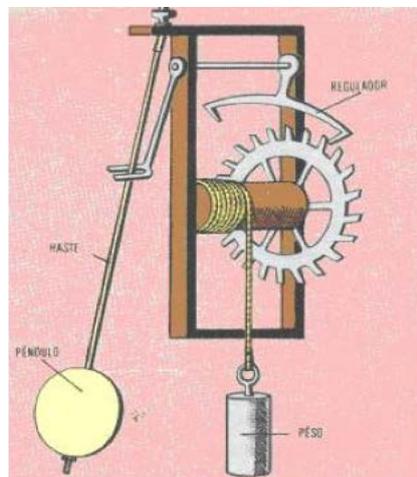
Este não é invento de Galileu Galilei, apesar de ele ter estudado pêndulos. Trata-se do primeiro relógio que teve o propósito de medir o tempo com certa precisão. Apesar de já existirem outros muito mais precisos, em muitos lugares ainda se vê esses relógios, mas por motivos estéticos na maioria das vezes.

Consiste em um instrumento para medir o tempo baseado na regularidade de oscilação de um pêndulo. A imagem a seguir representa como seria o esquema desse relógio, que pode ser modificado ou adaptado, mantendo os mesmos princípios físicos de funcionamento.

Galileu Galilei estudou sobre pêndulos, mas o criador desse relógio não é ele, como muitos pensam. Foi Christiaan Huygens, em 1656. A fabricação começou em 1657, por obra de artesãos holandeses e teve rápida difusão. Desde essa época, os relógios de pêndulo não mudaram muito.

Eles foram os primeiros fabricados para ter alguma precisão. Quando se vê um relógio de pêndulo pelo lado de fora, é possível perceber que tem várias peças importantes. Existe a face do relógio, com os ponteiros, e às vezes até um visor com fases da Lua. Há um ou mais pesos, e obviamente, um pêndulo.

Figura 40 - Sistema de um Relógio de Pendulo



Fonte: <http://sohciencias.blogspot.com.br> Acesso em 3 de Jun. de 2015

Na maioria dos relógios de parede, o pêndulo balança uma vez por segundo, mas em pequenos relógios-cuco, o pêndulo pode balançar duas vezes por segundo e, em grandes relógios, até uma vez a cada dois segundos. Então como eles conseguem manter o tic-tac e medir o tempo de forma precisa?

A ideia por trás do peso é agir como o dispositivo que armazena energia, que pode ser perdido pelo atrito mecânico e etc., para que o relógio possa funcionar por períodos relativamente longos. Quando você dá corda num relógio de peso, um peso é erguido. Isso fornece ao peso "energia potencial gravitacional", fazendo com que ele seja puxado para baixo e, conseqüentemente, com que os ponteiros girem. Marcando, assim, as horas com certa precisão.

Fonte: RELÓGIO de pêndulo. In: Site "Só Ciências". 07 jan. Disponível em: <http://sohciencias.blogspot.com.br> Acesso em 3 de Jun. de 2015 (Adaptado).

Revisão

Vimos nessa unidade alguns conceitos relacionados aos movimentos periódicos, bem como a aplicação de um deles: o harmônico simples. Compreendemos que o período no movimento periódico é o tempo gasto para realizar uma oscilação completa e, no sistema internacional, a unidade de medida do período é o segundo.

Conceituamos também que a frequência é o número de oscilações dadas em um tempo fixo, que a unidade utilizada no sistema internacional é o hertz e que amplitude, medida em metros, é a distância entre a posição de equilíbrio, e a posição extrema ocupada por um objeto que oscila.

Em um movimento harmônico simples (MHS) existe a presença de uma força restauradora que tenta trazer o corpo para posição de equilíbrio.

Entendemos também que o sistema massa-mola é um exemplo de um sistema que executa um movimento harmônico simples, em que sua frequência depende da massa que oscila e da constante elástica da mola. Já no pêndulo simples, o seu período de oscilação depende somente do seu comprimento e da aceleração da gravidade no local.

Exercícios

1. Um sistema, executando um movimento periódico, gasta 0.25 segundos para viajar de um ponto de velocidade zero para o próximo ponto de mesma característica. A distância entre esses dois pontos é de 36 cm. Calcule o período, a frequência e a amplitude desse movimento.
2. Em um laboratório de física, um corpo de massa 0,2 kg é posto para oscilar preso em uma mola. O tempo entre o instante que ele passa pela posição de equilíbrio e retorna a ela é de 1,3 segundos. Calcule o período, a frequência angular e a constante dessa mola.
3. Um relógio de pêndulo marca perfeitamente o tempo. Então ele é levado para um local onde a aceleração da gravidade é menor que 9.8 m/s^2 . Como essa mudança afetará seu funcionamento?
4. Um oscilador harmônico possui massa de 0,5 kg e uma mola de constante 140 N/m. Determine o período, a frequência e a frequência angular desse oscilador.
5. Um explorador da Lua monta um pêndulo simples de 0.86 m de comprimento e mede seu período para pequenos deslocamentos, achando 4.6 s. Determine a aceleração da gravidade nesse lugar da superfície da Lua.

O sistema massa-mola é um exemplo de um sistema que executa um movimento harmônico simples, em que sua frequência depende da massa que oscila e da constante elástica da mola.

Problema desafiador:

A escala de uma balança de mola que lê de 0 a 15 kg tem 12 cm de comprimento. Um pacote suspenso nessa balança oscila verticalmente com uma frequência de 2 Hz. Qual é a constante dessa mola e o peso do pacote?



SIMULAÇÃO de pêndulos. In: site "PHET INTERACTIVE SIMULATIONS". Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/pendulum-lab>. Acesso em 22 jun. 2015.

SIMULAÇÃO de ressonância. In: site "PHET INTERACTIVE SIMULATIONS". Disponível em: <<https://phet.colorado.edu/pt/simulation/resonance>>. Acesso em 22 jun. 2015.

Bassalo, José Maria Filardo; Carvalho Neto, Cassiano Zeferino de; Instituto Galileo Galilei para a Educação (IGGE); Projeto Condigital MEC - MCT; Melo, Maria Taís de. *Ondas mecânicas - Movimento harmônico simples*. In: site "Banco Internacional de Objetos Educacionais". Disponível em: <<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/11252>>. Acesso em: 22 jun. 2015.

Gabarito

1. $T = 0,5 \text{ s}$ $f = 2 \text{ Hz}$ $A = 18 \text{ cm}$

2. $T = 2,6 \text{ s}$ $\omega = 2,42 \text{ rad/s}$ $k = 1,17 \text{ N/m}$

3. Ele irá atrasar.

4. $\omega = 16,7 \text{ rad/s}$ $f = 2,66 \text{ Hz}$ $T = 0,38 \text{ s}$

5. $1,6 \text{ m/s}^2$

Problema desafiador

1,23 kN/m, 76 N

A large, stylized purple number '5' is positioned on the right side of the page. The number is composed of solid purple shapes, with a large white circular cutout in the lower right portion. The top bar of the '5' is a horizontal rectangle, and the stem is a vertical shape that tapers slightly towards the top.

UNIDADE

Ondas e Fenômenos Ondulatórios

Introdução

A Unidade 5 compreende as ondas e os fenômenos ondulatórios, bem como a classificação das ondas e os fenômenos com que elas estão diretamente envolvidas. Dessa forma, poderemos distinguir os tipos de onda: transversal de longitudinal, mecânica de eletromagnética. Aprenderemos também a identificar, por exemplo, o comprimento de onda e a usar a equação do movimento ondulatório em situações diversas.

Após apresentarmos os conceitos básicos sobre as ondas, analisaremos os quatro fenômenos ondulatórios: reflexão, refração, difração e interferência. Além de caracterizar esses fenômenos, apresentaremos algumas situações a que eles se aplicam, tais como: reflexão de ondas sonoras e refração de pulsos em cordas. Estudaremos a difração e as condições para que ela ocorra; entenderemos como ocorre a interferência e aplicaremos esse conhecimento às situações práticas.

Finalizaremos a unidade com a análise da formação de ondas estacionárias em cordas, o que já será uma introdução para a unidade seguinte: a de ondas sonoras.

Tópicos abordados

- Classificação das Ondas
- Parâmetros que descrevem uma onda
 - Ondas em uma corda
 - Reflexão e Refração
 - Difração
- Interferência
 - Ondas estacionárias
 - Revisão
 - Exercícios

Nas seções a seguir, estudaremos as classificações das ondas, os tipos de ondas e suas características. Aprenderemos sobre a equação do movimento ondulatório e, ao final, explicaremos os fenômenos ondulatórios com exemplos do dia a dia.

Classificação das Ondas

Uma onda é uma perturbação do meio que viaja nele com velocidade constante e transmite energia (informação) sem o transporte de matéria. Esse tipo de onda, que viaja em um meio material, é denominada onda mecânica. O som, que necessita do ar para se propagar, e as ondas do mar, que necessitam da água, são exemplos de ondas mecânicas.

Existe um outro tipo de onda que não necessita de um meio material para se propagar. Elas se propagam no vácuo e são denominadas ondas eletromagnéticas. A velocidade destas é de 3×10^8 m/s no vácuo, que é a velocidade da luz.

Se a perturbação que gerou a onda for provocada por um movimento harmônico, teremos uma onda harmônica, que pode ser transversal ou longitudinal.

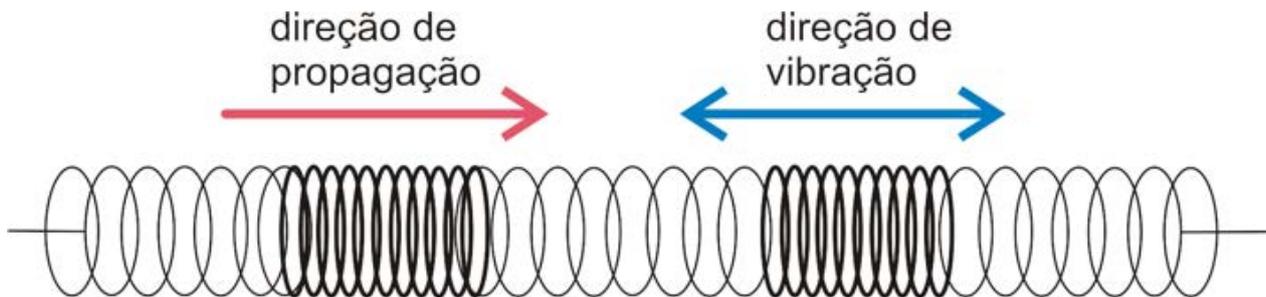
Uma onda é uma perturbação do meio que viaja nele com velocidade constante e transmite energia (informação) sem o transporte de matéria.



Conceito

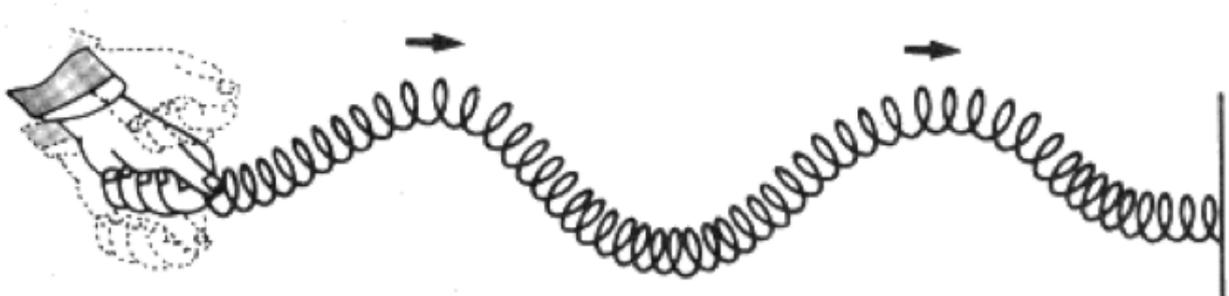
As ondas longitudinais são aquelas em que as partes que constituem o meio oscilam (vibram) na mesma direção que se propaga a onda.

A figura a seguir representa os sentidos de vibração que coincidem com os sentidos de propagação, característica das ondas longitudinais. Por exemplo, o som.

FIGURA 41 - Os Sentidos de Vibração

Fonte: http://osfundamentosdafisica.blogspot.com.br/2013/11/cursos-do-blog-termologia-optica-e-ondas_19.html. Acesso em 29 jun. 2016.

As ondas transversais são aquelas em que o movimento do meio se dá perpendicularmente à direção de propagação da onda. A figura a seguir demonstra um pulso produzido em uma mola que se propaga na horizontal, enquanto os pontos vibram perpendicularmente, o que é característica de uma onda transversal.

FIGURA 42 - Onda Transversal e o Pulso

Fonte: <http://www.colegioweb.com.br/nocoes-gerais-de-ondas/ondas-longitudinais-e-ondas-transversais.html>. Acesso em 29 jun. 2016.

Parâmetros que descrevem uma onda

Para descrevermos uma onda, precisamos conhecer primeiramente algumas características fundamentais delas, como o seu comprimento, o seu período, sua frequência e a sua amplitude.

Lembre

Como uma onda é resultado de um movimento harmônico, o período no movimento ondulatório é o tempo gasto para a execução de uma oscilação completa e a frequência, o número de oscilações realizadas em um tempo fixo. A amplitude dessa onda será o máximo afastamento da posição de equilíbrio.

Além dessas grandezas, usamos duas outras: o comprimento da onda e sua velocidade de propagação. O comprimento de onda, representado pela letra grega λ (lambda), é a distância que a onda viaja em um período. Como consideramos que a velocidade da onda é constante, sua velocidade será essa distância dividida pelo tempo gasto para percorrê-la (que é um período). Logo, temos:

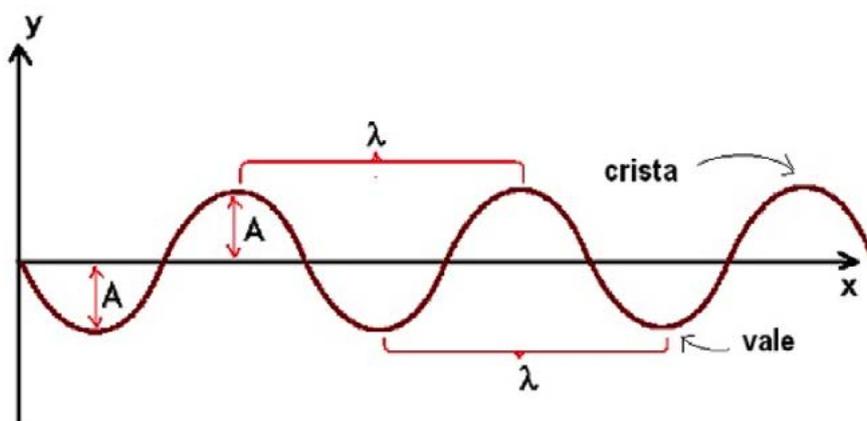
$$v = \frac{\lambda}{T}, \text{ como } f = \frac{1}{T}$$

podemos escrever a relação $v = \lambda \cdot f$.

Uma onda pode ser representada de duas maneiras:

1. como função da posição

FIGURA 43– Deslocamento em Função da Posição

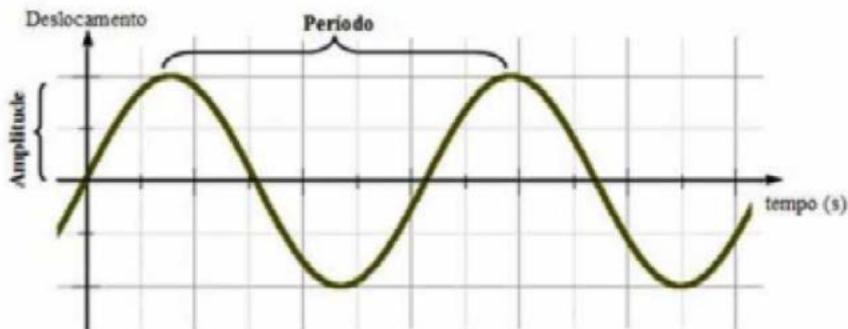


Fonte: <http://soumaisenem.com.br/sites/default/files/onda3.jpg>. Acesso em 28 jun. 2016.

A distância entre dois pontos mais altos (cristas) ou mais baixos (vales) consecutivos definem o comprimento de onda.

Como uma onda é resultado de um movimento harmônico, o período no movimento ondulatório é o tempo gasto para a execução de uma oscilação completa e a frequência, o número de oscilações realizadas em um tempo fixo.

2. Como função do tempo

FIGURA 44 – Deslocamento em Função do Tempo

Fonte: http://8ondassonoras.weebly.com/uploads/2/4/5/8/24589599/3929910_orig.jpg. Acesso em 28 jun. 2016.

A distância entre dois pontos mais altos (cristas) ou mais baixos (vales) consecutivos definem o período do movimento.



Exemplo

O som que ouvimos é uma onda mecânica longitudinal. O ouvido humano pode perceber frequências, que vão desde 20 Hz até 20000 Hz. Se a velocidade do som no ar é 340 m/s, qual é a faixa de comprimento de onda que se pode ouvir?

Como $v = \lambda \cdot f$, temos $\lambda = 340/20 = 17 \text{ m}$ e $\lambda = 340/20000 = 0,017 \text{ m}$.

O som que ouvimos é uma onda mecânica longitudinal.

Ondas em uma corda

Um bom exemplo de uma onda mecânica transversal são as ondas provocadas em uma corda esticada. Quando uma corda é perturbada harmonicamente, os vários pontos da corda sobem e descem (descrevem um MHS), enquanto a onda viaja pela corda.

A velocidade de propagação dessas ondas depende de dois fatores específicos: a tensão na corda e sua massa por unidade de comprimento.

A massa por unidade de comprimento é chamada de densidade linear e é definida como $\mu = m/L$. Sendo assim, a velocidade de propagação das ondas em cordas se relacionará com esses dois parâmetros da seguinte forma:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}; \text{ em que } T \text{ é a tensão e } \mu \text{ a densidade linear da corda.}$$

Atenção

Dessa forma, uma corda mais esticada e mais fina permite que a onda se propague mais rapidamente. Uma corda menos tensionada e mais grossa permite que a onda se propague mais lentamente

A massa por unidade de comprimento é chamada de densidade linear e é definida como $\mu = m/L$.

Exemplo

Uma corda tem densidade linear $\mu = 525 \text{ g/m}$ e está submetida a uma tensão $T = 45 \text{ N}$. Uma onda de frequência $f = 120 \text{ Hz}$ é produzida na corda. Determine a velocidade e o comprimento dessa onda.

Inicialmente, é necessário escrever a densidade linear em unidades SI.

$$\mu = 0,525 \text{ kg/m}$$

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \sqrt{\frac{45}{0,525}} = 9,26 \text{ m/s.}$$

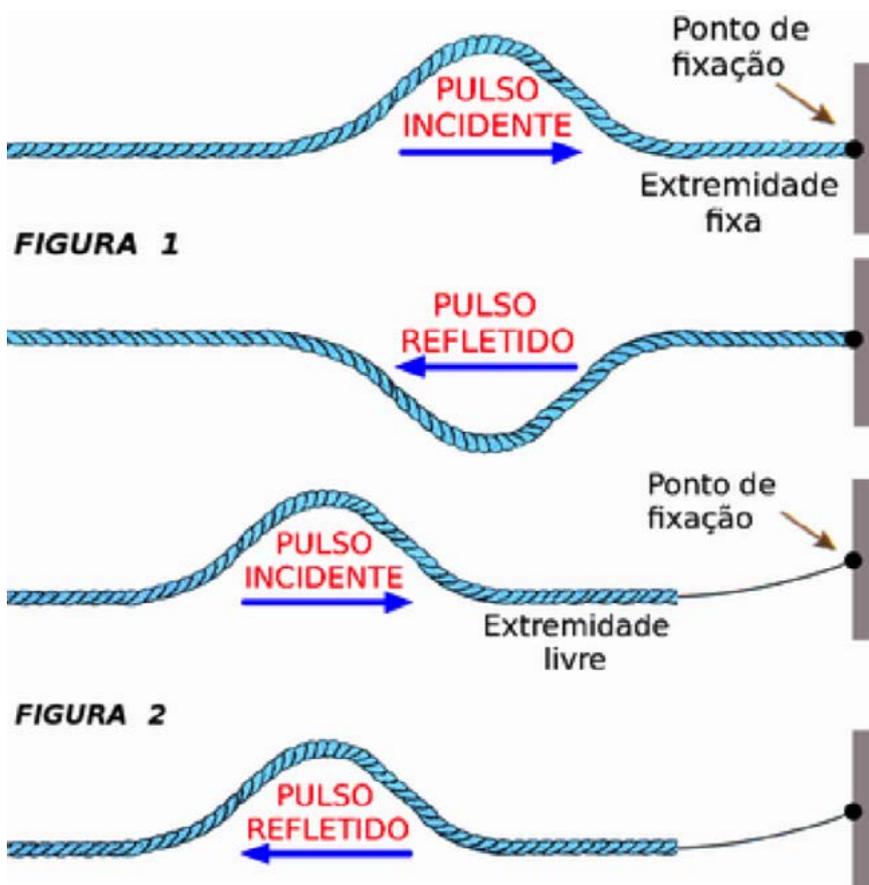
Como $v = \lambda \cdot f$, temos $\lambda = 9,26/120 = 7,72 \times 10^{-2} \text{ m}$.

Nas seções seguintes, estudaremos os fenômenos ondulatórios, começando pela reflexão e refração.

Reflexão e Refração

O fenômeno da reflexão pode acontecer de duas maneiras: em um ponto fixo ou em um ponto livre para se mover. Se o pulso produzido na corda encontra uma extremidade fixa ao sofrer reflexão, ele volta invertido. Se encontra uma extremidade livre, é refletido sem sofrer inversão. Esses dois tipos de reflexão são mostrados nas figuras a seguir.

FIGURA 45 - O Fenômeno da Reflexão de um Pulso em Extremidade fixa (1) e em Extremidade livre (2).



O fenômeno da reflexão pode acontecer de duas maneiras: em um ponto fixo ou em um ponto livre para se mover.

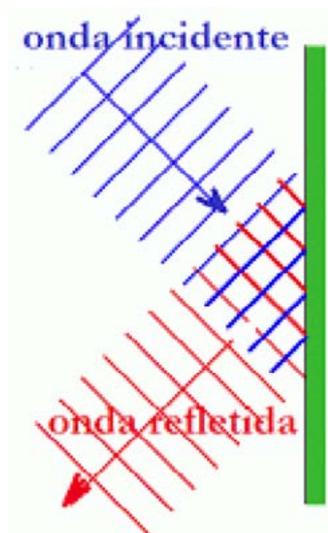
Fonte: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/discovirtual/galerias/imagem/0000000595/0000005761.png>. Acesso em 30 jun. 2016.

Exemplo

A figura a seguir exemplifica a reflexão de uma onda em uma barreira. As ondas de azul incidem no obstáculo e refletem (representadas

de vermelho) obedecendo o princípio da reflexão, em que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

FIGURA 46 - Reflexão de Ondas



Fonte: <http://2.bp.blogspot.com/-ZlYlJUHIJHc/UgRXdDqmOwI/AAAAAAAAERI/PjfpFCh85J0/s1600/Reflection-Water-Waves.gif>. Acesso em 30 jun. 2016.

Conceito

A refração é o fenômeno em que a onda muda de meio de propagação, modificando, então, a sua velocidade.

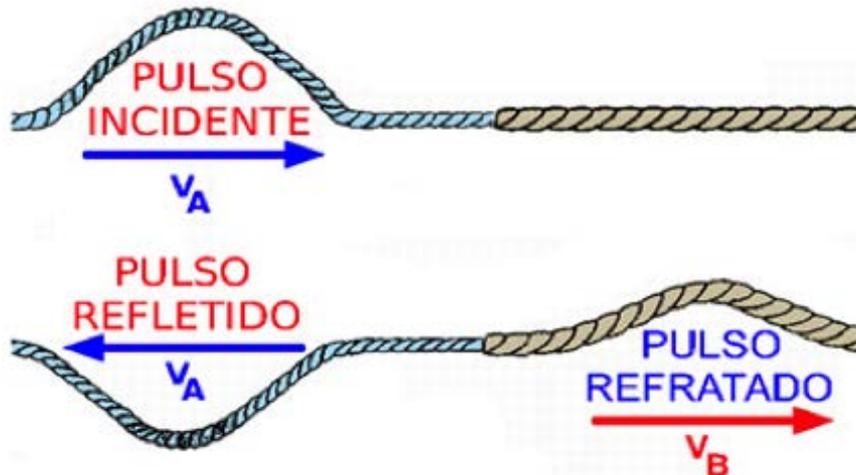
A refração é o fenômeno em que a onda muda de meio de propagação, modificando, então, a sua velocidade.

Se analisarmos um pulso produzido em uma corda fina, ligada a uma corda mais grossa, teremos um pulso refratado na corda mais grossa e um pulso refletido na corda fina, como na FIGURA 47.

O pulso refratado terá uma velocidade v_B menor, já que estará em um meio mais denso, e o pulso refletido terá a mesma velocidade v_A , já que estará no mesmo meio.

Repare que o pulso refletido sofre uma inversão de fase, já que a corda mais grossa funciona como uma extremidade fixa para ele.

FIGURA 47 - Pulso Refratado



Fonte: <http://alunosonline.uol.com.br/upload/conteudo/imagens/pulso-refratado.jpg>. Acesso em 25/07/2016

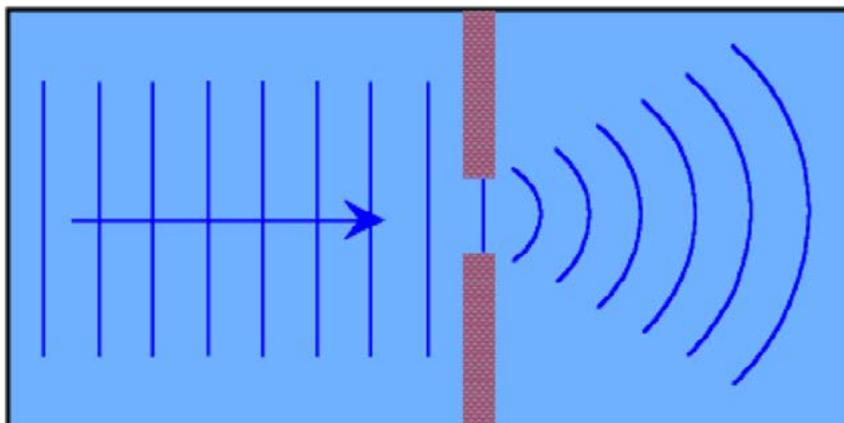
Vimos alguns exemplos de como se caracterizam os movimentos de reflexão e refração das ondas. Agora compreenderemos como se dão outros importantes movimentos ondulatórios: a difração e a interferência.

Difração

Conceito

A **difração** é uma propriedade que a onda tem de contornar um obstáculo, modificando a sua forma, ou de passar por dois orifícios (fenda), como no desenho abaixo.

FIGURA 48 - Difração da Onda



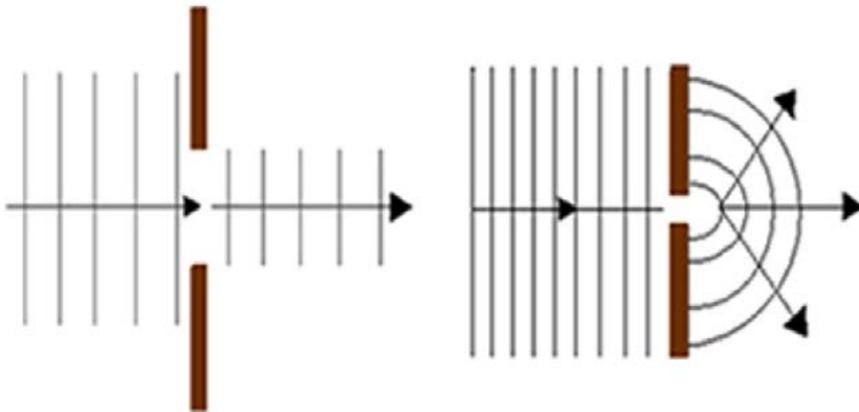
Fonte: [Difração da onda]. Disponível em: <<http://hudsonzanin.blogspot.com.br/2012/07/interferencia-e-difracao-fisica.html>>. Acesso em: 17 jun. 2015.

A **difração** é uma propriedade que a onda tem de contornar um obstáculo, modificando a sua forma, ou de passar por dois orifícios (fenda).

Atenção

A onda, ao passar pela fenda, modifica a sua forma, mantendo o seu comprimento, sua frequência e sua velocidade. Para sofrer esse fenômeno da difração, a onda deve ter o comprimento da mesma ordem de grandeza ou maior que o tamanho do orifício em que ela passará. Caso isso não ocorra, ela passará direto, sem modificar a sua forma, como se vê na parte à esquerda da FIGURA 42. Na mesma figura à direita, a onda já atende às condições da difração e modifica a sua forma, contornando o obstáculo.

FIGURA 49 - Fenômeno da Difração da Onda



A interferência é um fenômeno resultante do princípio de superposição.

Fonte: MARQUES, In: Site "Brasil Escola".

Interferência

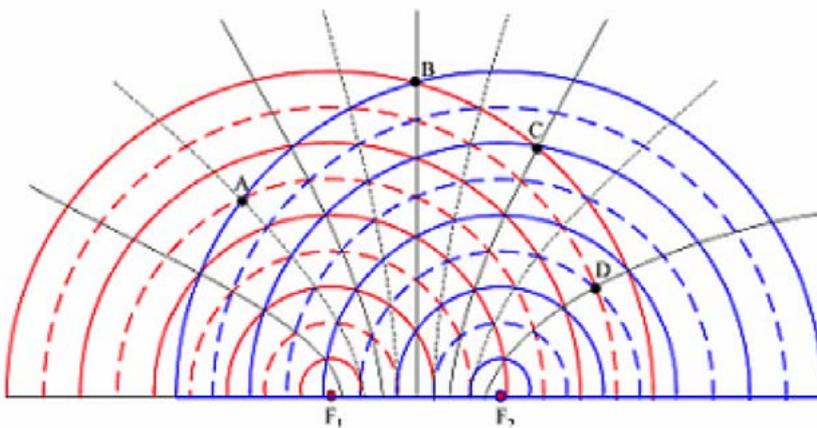
A interferência é um fenômeno resultante do princípio de superposição. Nesse princípio quando duas ou mais ondas se encontram em um ponto, elas se somam e depois continuam seu caminho. Essa soma pode aumentar ou reduzir a amplitude da onda resultante, dependendo de como acontece esse encontro (crista + crista, crista + vale ou vale + vale).

Ao observarmos a figura a seguir, podemos ver duas fontes de ondas se propagando em um líquido, se sobrepondo e formando uma imagem (figura 50).

FIGURA 50 - Ondas Propagando em um Líquido

Fonte: <http://www.brasilecola.com/upload/e/interferencia.jpg>. Acesso em 30 jun. 2016.

Essa figura pode ser traduzida em um desenho esquemático como o representado a seguir, em que podemos identificar regiões de interferência construtiva, destrutiva e as linhas nodais.

FIGURA 51 - Regiões de Interferências em Ondas

Fonte: <https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRMQPFZn-eKF65NG1mC1BqGHjRXoSdfUAa8ieMv-BJx2us1hqU7>. Acesso em 30 jun. 2016.

Nesse desenho estão representados as **cristas** (parte alta da onda), por linhas cheias, e os **vales** (parte baixa da onda), por linhas pontilhadas.

O ponto A é o encontro de uma crista com um vale, portanto é considerado uma interferência destrutiva. Os pontos B e C são encontros de duas cristas, portanto são interferências construtivas.

O ponto D é encontro de dois vales e, portanto, interferência construtiva também. As linhas tracejadas são as linhas nodais que passam por pontos de interferências destrutivas. Isso significa que, se colocássemos um objeto nesse ponto, ele ficaria em repouso.

Na seção seguinte estudaremos o padrão de formação de ondas estacionárias em cordas.

Ondas estacionárias

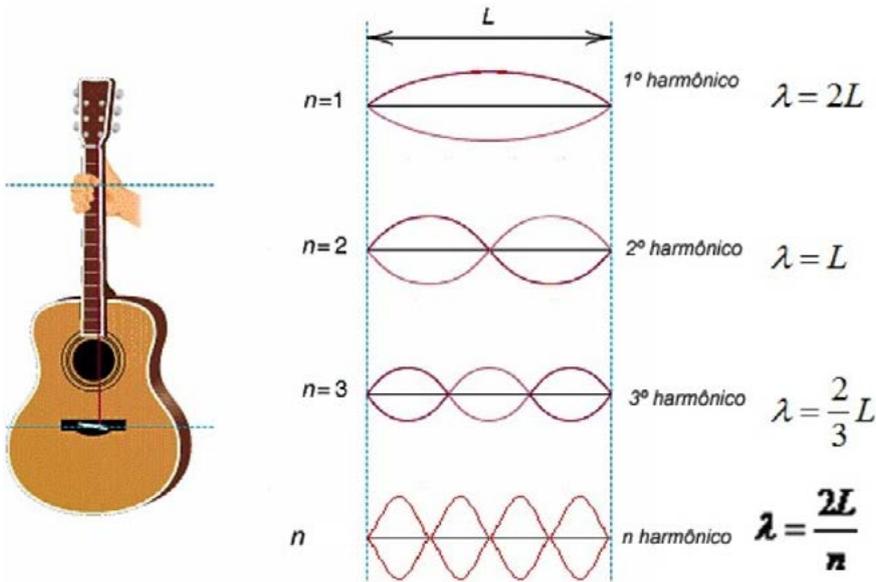
As cordas esticadas de um violão emitem som ao vibrar. Isso ocorre porque a corda, ao vibrar, provoca compressões e rarefações no ar em torno dela. O som, sendo uma onda mecânica, propaga-se na corda e no ar, atingindo nosso ouvido que percebe os sons.

A frequência de vibração do som que chega ao nosso ouvido é a mesma que vibrou a corda, já que não houve mudança de frequência e sim de velocidade, ao passar da corda do violão para o ar. Essa vibração se propaga pela corda sofrendo reflexões nas extremidades fixas e os pulsos que vêm e vão se somam (princípio da superposição), provocando padrões que formam um tipo especial de onda, chamado onda estacionária.

Para determinarmos a frequência dessa onda, vamos analisar os modos de vibração dessa corda. Ao observarmos a próxima figura, temos os modos de vibração estacionários da corda, já que a vibração fica confinada entre dois nós (extremidades).

A frequência de vibração do som que chega ao nosso ouvido é a mesma que vibrou a corda, já que não houve mudança de frequência e sim de velocidade, ao passar da corda do violão para o ar.

FIGURA 52 - Modos de Vibração da Corda



Fonte: http://3.bp.blogspot.com/-B9MG2J7559w/UKw3h_sg50I/AAAAAAAAACw/3CO7Ak9IHu0/s1600/violao.jpg. Acesso em 30 jun. 2016.

O primeiro modo de vibração estacionário (primeiro harmônico) é o que possui o maior comprimento de onda $\lambda = 2L$ e, conseqüentemente, a menor frequência, já que a velocidade de propagação na corda é a mesma nos quatro modos de vibração.

Se utilizarmos a equação do movimento ondulatório, $v = \lambda \cdot f$, teremos $v = 2L \cdot f_1$ e chegaremos à primeira frequência de vibração, $f_1 = v/2L$. Substituindo v por $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$, teremos $f_1 = 1/2L \cdot \sqrt{\frac{T}{\mu}}$.

Ao fazermos o mesmo com os outros modos de vibração, teremos as frequências f_2 , f_3 e f_4 , que serão, respectivamente:

$$f_2 = 1/L \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

$$f_3 = 3/2L \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

$$f_4 = 2/L \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

O primeiro modo de vibração estacionário (primeiro harmônico) é o que possui o maior comprimento de onda $\lambda = 2L$ e, conseqüentemente, a menor frequência, já que a velocidade de propagação na corda é a mesma nos quatro modos de vibração.

Nessa unidade, então, estudamos todos os fenômenos relativos às ondas e sobre os tipos de ondas existentes no nosso dia a dia. Na próxima unidade, estudaremos especificamente o som, que é uma onda sonora.

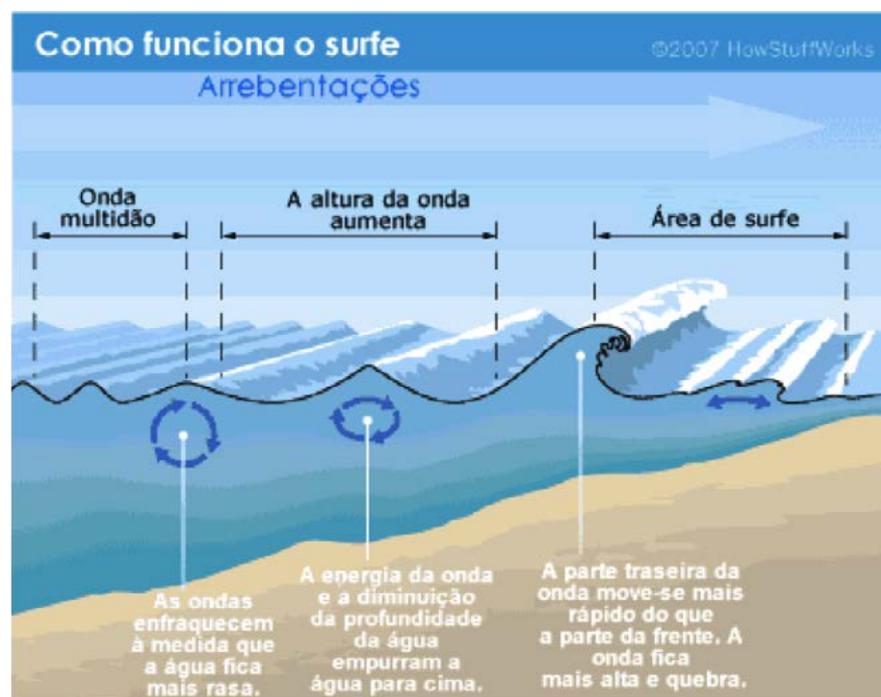
APLICAÇÃO NA PRÁTICA

Surfando em grandes ondas

O grande sonho da vida de um surfista é pegar a maior onda possível. Mas por que as ondas quebram formando aquele tubo e em quais locais é mais provável se encontrar ondas grandes?

As ondas se quebram formando um tubo (figura 53) devido à diferença de velocidade entre a parte de trás e parte da frente. A parte traseira tem uma velocidade maior, pois tem mais água (maior profundidade). Pode-se pensar que o arrasto com a superfície do solo marinho é menor. Dessa maneira, ela “atropela” a parte da frente.

Figura 53 – Onda em uma praia



Fonte: <http://static.hsw.com.br/gif/surfing-10.gif>. Acesso em 25/07/2016.

Além disso, quando vai se aproximando da praia, as ondas sofrem um empacotamento, somando-se (interferência construtiva) e aumentando a sua altura.

Quanto mais abrupta for a mudança de profundidade e mais sólida a superfície sob as ondas, maior será a onda e o tubo formado. Esse tipo de onda ocorre principalmente em locais que existem recifes de corais muito próximos das praias ou locais rochosos, como as praias do Havaí (USA), que é uma região vulcânica.

Revisão

Estudamos nessa unidade que as ondas podem ser classificadas como transversais e longitudinais. O que diferencia uma onda transversal de uma longitudinal é a direção de vibração do meio de propagação que, no caso da transversal, vibra perpendicularmente à direção de propagação da onda. Podem ser classificadas também como eletromagnéticas e mecânicas. As ondas eletromagnéticas não necessitam de um meio de propagação, podendo se propagar até mesmo no vácuo. A equação do movimento ondulatório é $v = \lambda \cdot f$, em que λ é o comprimento de onda, v a velocidade e f a frequência.

As ondas sofrem reflexão e refração. Na reflexão não modificam sua velocidade de propagação, pois não mudam de meio; já na refração há modificação na velocidade de propagação. A difração é o fenômeno em que a onda contorna o obstáculo ou passa por uma fenda. No entanto, para a onda passar por uma fenda e sofrer a difração, ela deve possuir um comprimento de onda maior ou da mesma ordem de grandeza do orifício.

A interferência construtiva é o encontro de duas cristas ou dois vales, e a interferência destrutiva, o encontro de uma crista e um vale.

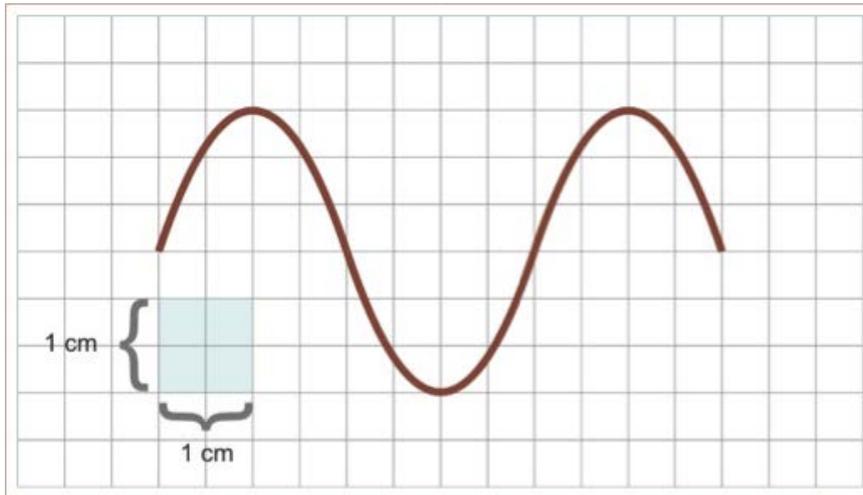
As ondas sofrem reflexão e refração. Na reflexão não modificam sua velocidade de propagação, pois não mudam de meio; já na refração há modificação na velocidade de propagação.

Fechamos a unidade com a caracterização das ondas estacionárias, que são formadas entre dois pontos fixos de uma corda e compreendemos que quanto maior o comprimento de onda, menor a sua frequência. E que a menor frequência de vibração é a do primeiro harmônico, quando $\lambda = 2L$.

Exercícios

1. Uma onda se propaga ao longo de uma corda e o tempo que um ponto dessa corda leva para se mover do deslocamento máximo até zero é 0,17 s. Quais são o período e a frequência dessa onda? Se essa corda tem 15 metros e o comprimento da onda é 1,4 m, quanto tempo a onda gasta para percorrer essa corda?
2. A velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no vácuo é igual a $3,0 \times 10^8$ m/s.
 - a. O intervalo visível do espectro eletromagnético se estende desde o vermelho ($\lambda = 7,0 \times 10^{-7}$ m) até o violeta, cujo comprimento de onda é igual a $\lambda = 4,0 \times 10^{-7}$ m. Determine o intervalo de frequências para ondas luminosas.
 - b. O intervalo de frequências das ondas curtas de rádio (por exemplo, FM de rádio e VHF de televisão) vai desde 1,5 Mhz até a faixa de micro-ondas (300 MHz). Qual o intervalo de comprimento de onda correspondente?
3. Uma extremidade de uma corda, de 6 metros de comprimento, oscila para cima e para baixo com frequência de 60 Hz. As ondas atingem a outra extremidade da corda 0,5 segundos após partirem. Ache o comprimento de onda das ondas na corda.

4. Uma onda simples se propaga ao longo de um meio. A figura mostra um gráfico do deslocamento.



Fonte: http://4.bp.blogspot.com/_JJJ4o4Jcg48/TM7VNxGqeJI/AAAAAAAYBg/I9npOQzpSkc/s1600/ondx+4.jpg. Acesso em 30/06/2016

Observando a figura, identifique:

- a amplitude.
- o comprimento de onda.
- considerando que essa figura representa uma onda sonora, cuja velocidade é 340 m/s, calcule a frequência e o período dessa onda.

Problema Desafiador

Uma corda fixa nas duas extremidades tem 8,40 m de comprimento, uma massa de 0,120 kg e uma tensão de 96,0 N.

- Qual é a velocidade das ondas na corda?
- Qual é o maior comprimento de onda possível para uma onda estacionária na corda?
- Determine a frequência dessa onda.



CINGULAR GSM Speaker Interference. Postado por srdth456245dsrg. (11 seg.): son. color. Port. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=h1mlponX_jw>. Acesso em: 16 jun. 2015.

HEWITT, Paul. *Fundamentos de Física Conceitual*, 11 ed. São Paulo: Bookman, 2011.

Gabarito

1. 0,68 s, 1,47 Hz, 7,3 s.

2.

a) $4,29 \times 10^{14}$ Hz a $7,5 \times 10^{14}$ Hz.

b) 200 m a 1 m.

3. 0,2 m.

4.

a) 4 cm. b) 1,5 cm. c) 8500 Hz, $1,18 \times 10^{-4}$ s.

Problema Desafiador

$v = 82$ m/s $\lambda = 16,8$ m $f = 4,88$ Hz

UNIDADE



Ondas Sonoras

Introdução

A unidade a seguir trata das ondas sonoras. Estudaremos suas características e como diferenciá-las dos outros tipos de onda. Entenderemos porque é necessário um meio material para que o som se propague.

Veremos também quais são as características da onda sonora, porque sons de mesma frequência e amplitude soam diferentes aos nossos ouvidos, o que é timbre, altura e intensidade.

Aprenderemos também sobre o efeito Doppler, um fenômeno ondulatório que acontece quando as fontes de origem das ondas se movimentam. Serão apresentados exemplos cotidianos relacionados com o som e suas variações de frequência devido ao efeito Doppler.

Tópicos abordados

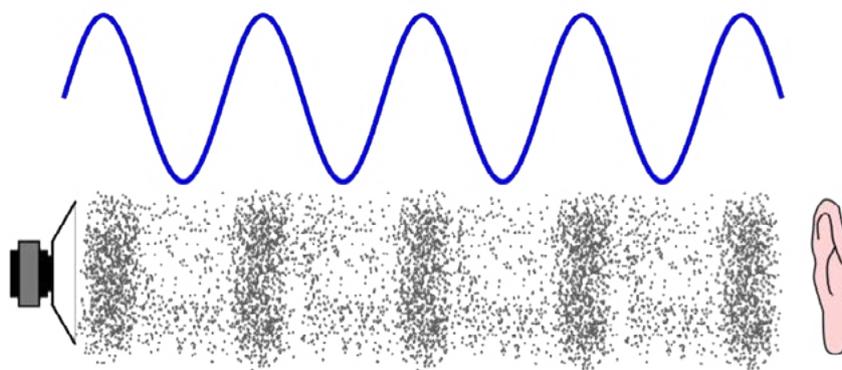
- Características da onda sonora
 - Intensidade, altura e timbre
- Efeito Doppler
 - Revisão
 - Exercícios

Características da Onda Sonora

A onda sonora é uma onda longitudinal que se forma a partir das vibrações do meio, por exemplo, das compressões e rarefações do ar. Essas vibrações podem ser provocadas por uma vara de bambu, por cordas de um instrumento musical ou, o mais comum, a vibração das pregas vocais (responsáveis pela nossa voz).

O som é uma onda de pressão (compressões e rarefações do meio) que é percebido pelos nossos ouvidos quando penetra nas nossas orelhas (**FIGURA 50**).

FIGURA 50 – Ondas Sonoras no Ar



A onda sonora é uma onda longitudinal que se forma a partir das vibrações do meio, por exemplo, das compressões e rarefações do ar.

Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/82/CPT-sound-physical-manifestation.svg/2000px-CPT-sound-physical-manifestation.svg.png>. Acesso em 04 de jun.2016

Conceito

O som é, portanto, uma onda mecânica, pois depende de um meio de propagação. Para uma onda sonora ser audível, sua frequência deve estar compreendida entre 20 Hz e 20000 Hz.

As ondas sonoras que têm frequência inferior a 20 Hz são chamadas de **infrassom**. As que têm frequência superiores a 20000 Hz, **ultrassom**.

Curiosidade

Cachorros são capazes de escutar ondas de ultrassom. Morcegos são capazes de emitir ultrassons, cuja frequência chega a 120000Hz. Esse é o motivo pelo qual, mesmo no escuro, não colidem com obstáculos. Os morcegos emitem ultrassons e captam sua reflexão, podendo assim detectar a presença de obstáculos, pessoas, insetos.

.....

Intensidade, altura e timbre



Importante

A intensidade de uma onda sonora está relacionada à taxa média de energia transportada pela onda, por unidade de área. A taxa de transmissão de energia é a potência ($P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$). Em nosso estudo, iremos considerar que a onda se propaga igualmente em todas as direções. Nessa situação, enquanto o pulso sonoro viaja, a onda irá cobrir a superfície de uma esfera.

Aqui, definimos a intensidade de uma onda sonora como:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

$4\pi r^2$ é a área da esfera, r é a distância da fonte até o receptor e P é a potência. Dessa forma, a unidade de intensidade é W/m^2 .

Quando damos um grito bem forte, estamos produzindo um som de grande intensidade. Quando damos um grito fraco, produzimos um som de baixa intensidade. Sons de grande intensidade podem ser prejudiciais para os nossos ouvidos, conforme verificaremos a seguir. Existe uma escala do nível de intensidade sonora de diversas fontes, dada em decibéis, que é definida a partir da seguinte equação:

Quando damos um grito bem forte, estamos produzindo um som de grande intensidade.

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Em que:

I_0 = intensidade de referência, escolhida com o valor de $10^{-12} \frac{W}{m^2}$, que é o limite de audição do ouvido humano. A unidade de medida do nível sonoro é o decibel (dB).

A tabela a seguir apresenta o nível de intensidade sonora, em decibéis, e o nível de conforto dos nossos ouvidos. É importante observar que valores muito altos, na escala decibel, são prejudiciais aos nossos ouvidos.

TABELA 1 - Nível de Ruídos em Decibéis

Níveis de Ruído em Decibels					
Conforto Acústico	Muito baixo	0 dB		Limiar do som	
		5 dB	Passarinho		
		10 dB	Cochicho		
		15 dB	Torneira		
		20 dB	Conversa		
	Baixo	25 dB	Relógio		
		30 dB	Biblioteca	Limite para o sono	
		35 dB	Enfermaria		
		40 dB			
	Moderado	45 dB			
50 dB		Aspirador de pó			
Moderado	55 dB	Bebê chorando	Irritação		
Moderado Alto	60 dB		Irritação aumenta consideravelmente		
Riscos de Danos à Saúde	Moderado Alto	65 dB	Cachorro latindo		
		70 dB			
		75 dB	Sala de aula		
		80 dB	Piano		
	Alto	85 dB	Telefone tocando	Tolerâncias diárias de exposição	8 h
		90 dB	Secador de cabelos		4 h
		95 dB	Moto		2 h
		100 dB	Cortador de grama		1 h
	Muito alto	105 dB	Caminhão		30 min
		110 dB	Pátio no intervalo das aulas		15 min
		115 dB	Banda tocando		7 min
		120 dB	Tiro		
		125 dB	Auto-falante		
		130 dB	Britadeira		
	135 dB	Avião			
	140 dB				

Fonte: NÍVEIS de ruído em Decibels. In: Site "Matemática, Física, Ciências e afins."

Exemplo

Um tiro de revólver provoca um ruído cuja potência é 0,2 w. Qual é a intensidade desse som a 1,5 metros do atirador? Qual é o nível sonoro desse ruído em decibéis?

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad I = \frac{0,2}{4\pi 1,5^2} = 7,08 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2$$

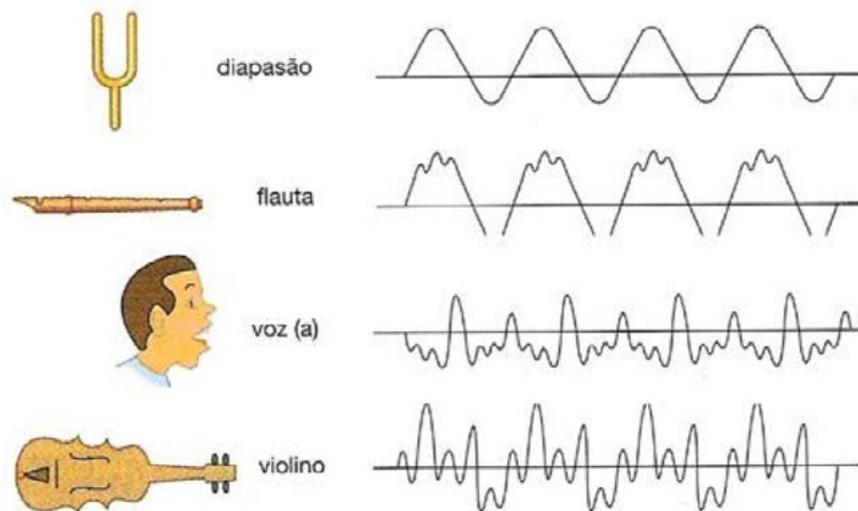
$$\beta = 10 \log \frac{7,08 \times 10^{-3}}{10^{-12}} = 98,5 \text{ dB}$$

Atenção

Não podemos confundir o conceito de um som intenso com um som alto, que fisicamente significa um som agudo. Também não podemos confundir o conceito de um som fraco com um som baixo, uma vez que baixo, fisicamente, significa um som grave. A altura de um som está relacionada com a sua frequência. Sons altos são sons de alta frequência e sons baixos, sons de baixa frequência. As notas musicais (dó, ré, mi, fá, sol, lá, si e dó) estão colocados em uma ordem crescente de altura que é a mesma de frequência.

A outra característica da onda sonora é o timbre, que diferencia a voz de uma pessoa e de outra, e está relacionado à forma da onda. Os sons de diferentes instrumentos musicais também podem ser diferenciados pelo timbre. Por exemplo, quando escutamos a mesma nota musical (mesma frequência) tocada por um piano e por um violão. A imagem a seguir representa a forma da onda de várias fontes sonoras para a mesma frequência. Observe que cada onda é diferente da outra, porque cada fonte possui um timbre diferente.

A outra característica da onda sonora é o timbre, que diferencia a voz de uma pessoa e de outra, e está relacionado à forma da onda.

FIGURA 51 - Timbres de Diferentes Fontes

Fonte: <http://sociedadederacionalista.org/wp-content/uploads/2013/07/image031.jpg>. Acesso em 04 jul. 2016.

Na seção seguinte aprenderemos sobre como a frequência de uma fonte pode variar devido ao seu movimento. Estudaremos, então, o efeito Doppler aplicado a ondas sonoras.

Efeito Doppler é um fenômeno observado nas ondas, quando são emitidas ou refletidas, por um objeto que está em movimento em relação a um observador.

Efeito Doppler

Conceito

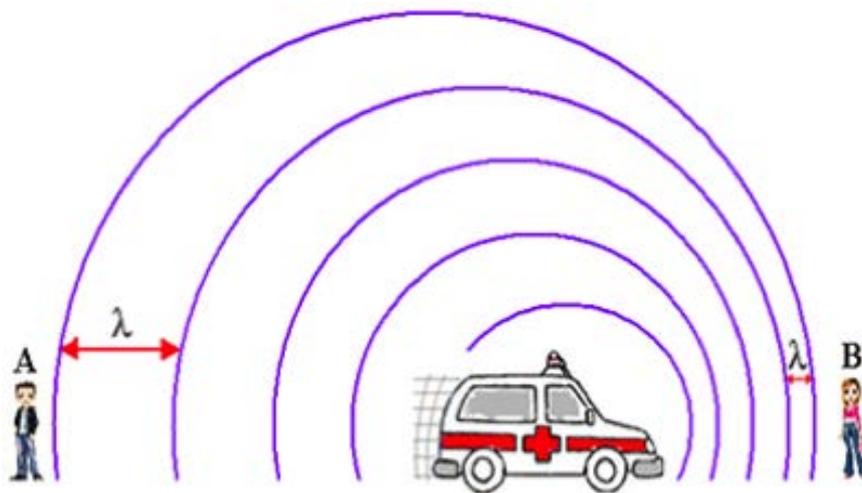
Efeito Doppler é um fenômeno observado nas ondas, quando são emitidas ou refletidas, por um objeto que está em movimento em relação a um observador. O efeito Doppler é observado também em ondas eletromagnéticas, mas iremos analisar somente o efeito em ondas sonoras.

No caso das ondas sonoras, se a fonte estiver se movimentando, por exemplo, uma ambulância com sua sirene ligada, a frequência recebida por uma pessoa parada, quando a ambulância estiver se aproximando ou afastando, é diferente da frequência emitida pela ambulância.

Quando a ambulância está aproximando da pessoa, o número de cristas que chega até o ouvido dela é maior do que se a ambulância estivesse parada. Então a pessoa escuta um som com uma frequência maior, mais agudo.

Se a ambulância estiver se afastando, chegará ao ouvido da pessoa um menor número de cristas num intervalo de tempo. Então ela escutará um som de frequência menor, mais grave. Observe esse fenômeno na figura a seguir.

FIGURA 52 - Efeito Doppler



Fonte: <http://alunosonline.uol.com.br/upload/conteudo/images/ambulancia-em-movimento.jpg>. Acesso em 04 jul. 2016.

A pessoa A ouve os sons de baixa frequência (maior comprimento de onda) e a pessoa B os de alta frequência (menor comprimento de onda).

A equação que permite calcular a frequência aparente do efeito Doppler é:

$$f_0 = f_f \frac{v + v_0}{v + v_f}$$

Em que :

- f_0 = frequência que o observador recebe;

- f_f = frequência emitida pela fonte;
- v = velocidade da onda no ar;
- v_o = velocidade do observador em relação ao ar (positiva ao se aproximar da fonte, negativa ao se afastar);
- v_f = velocidade da fonte em relação ao ar (positiva ao se afastar, negativa ao se aproximar do observador).



Exemplo

Efeito Doppler e som emitido pelos morcegos (David, HALLIDAY, RESNICK, Robert, WALKER, Jearl. *Fundamentos de Física - Vol. 2 - Gravitação, Ondas e Termodinâmica*, 9ª edição. LTC, 08/2012)

Os morcegos se orientam e localizam suas presas, emitindo e detectando ondas ultrassônicas que são ondas sonoras com frequências tão altas que não podem ser percebidas pelos ouvidos humanos. Suponha que um morcego emite ultrassons com frequência $f_f = 82,52$ kHz, enquanto está voando com uma velocidade $v_f = 9,0$ m/s em perseguição a uma mariposa que voa com uma velocidade $v_o = 8,0$ m/s na mesma direção que o morcego. Qual é a frequência detectada pela mariposa? Qual é a frequência detectada pelo morcego ao receber o eco da mariposa?

Considerando a mariposa como observador e a velocidade do som no ar 340 m/s:

Como a mariposa se afasta do morcego, temos $v_o = -8$ m/s.

Como o morcego se aproxima da mariposa, temos $v_f = -9$ m/s.

Logo, temos $f_o = 82,52 \frac{340 - 8}{340 - 9} = 82,77$ kHz

Considerando o morcego como observador (recebendo o eco da mariposa):

Como o morcego se aproxima da mariposa, temos $v_o = 9$ m/s.

Como a mariposa se afasta do morcego, temos $v_f = 8$ m/s.

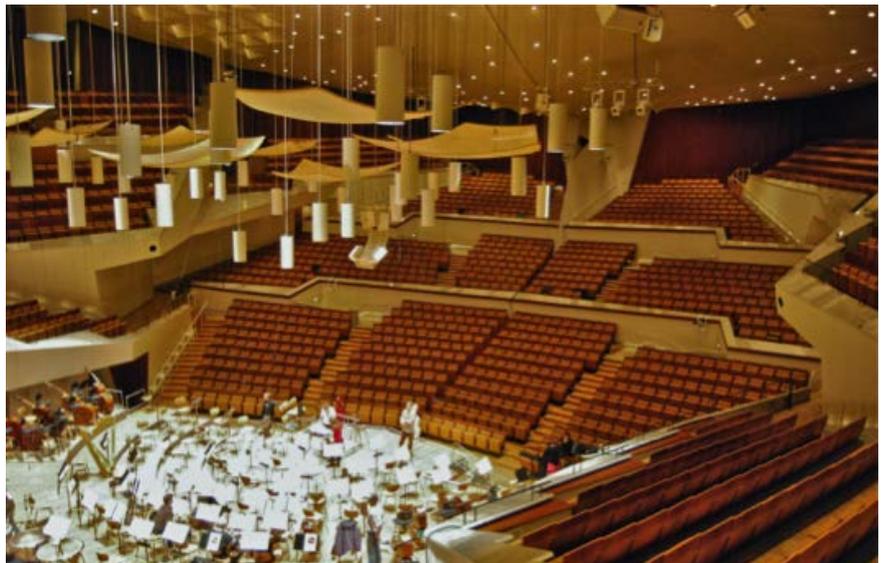
Logo, temos $f_o = 82,77 \frac{340 + 9}{340 + 8} = 83,01$ kHz

Vimos, nessa unidade, que a onda sonora é uma onda mecânica longitudinal. Estudamos como percebemos o nível de intensidade de um som através da escala decibel. Analisamos também como a variação de frequência do som pode ser observada devido ao movimento da fonte e/ou do observador, como no movimento de uma ambulância, que é o efeito Doppler.

APLICAÇÃO NA PRÁTICA

Salas de Concerto

Se você já foi a um teatro, deve ter percebido que o teto possui placas como as da imagem abaixo.



Fonte: <http://1.bp.blogspot.com/-1Up1qPbXn80/UmKOHvKRN3I/AAAAAAAAHsk/-zWjclAHeoM/s1600/Philharmonie+2.jpg>. Acesso em 07 jul. 2016.

Essas placas possuem uma função que vai além da estética e que é muito importante. Elas devem refletir as ondas sonoras provenientes da orquestra, direcionando o som para a plateia.

Outro detalhe que melhora a percepção dos sons é a disposição dos assentos, que não ficam exatamente um atrás do outro. Existe uma defasagem entre a fila da frente e a fila de trás. Como se pode perceber na fila que está em primeiro plano, na figura abaixo.



Fonte: http://www.filarmonica.art.br/wp-content/themes/filarmonica/staging/assets/img/seat-map/SMG_balcao-principal.jpg. Acesso em 07 jul. 2016.

Revisão

A onda sonora é uma onda longitudinal e depende de um meio de propagação. O som é formado pelas compressões e rarefações que provocamos quando perturbamos o meio. Além de ser uma onda mecânica, o som também é uma onda longitudinal.

A intensidade do som está relacionada à energia que a onda carrega e a escala de intensidade é medida em decibéis. A altura de um som está relacionada à frequência, sons altos têm alta frequência (agudos) e sons baixos, baixa frequência (graves). O timbre está relacionado à forma da onda.

O efeito Doppler com o som é a variação da frequência, que ocorre quando há movimentação do observador, da fonte ou dos dois. A equação que determina a frequência aparente do efeito Doppler é:

$$f_0 = f_f \frac{v + v_0}{v + v_f}$$

O som é formado pelas compressões e rarefações que provocamos quando perturbamos o meio.

Exercícios

1. Dois sons que chegam a uma pessoa só podem ser percebidos distintamente se estiverem separados por um intervalo de tempo de 0,1 segundos. Então, se uma pessoa consegue perceber o eco de um som que ela emitiu, qual é a mínima distância que deve existir entre a pessoa e o anteparo que produziu o eco?
2. Em uma oficina mecânica, a intensidade do som ambiente é de 10^{-3} w/m^2 . Qual é, em dB, o nível de intensidade sonora nessa oficina? Em uma rua de tráfego intenso, a intensidade sonora é de 80dB. Quantas vezes a intensidade do som na oficina mecânica é maior que a intensidade do som nessa rua?
3. O nível de intensidade sonora da fala humana é 65 dB, a uma distância de 1 m. Qual é a potência da fala?
4. Um apito de 540Hz descreve uma circunferência de 60,0 cm de raio, com uma velocidade angular de 15,0 rad/s. Qual é a frequência:
 - a. mais baixa?
 - b. mais alta, escutada por um ouvinte distante em repouso em relação ao centro da circunferência?

Problema Desafiador

Um artigo sobre poluição sonora denuncia que os níveis de intensidade sonora têm aumentado 1 dB por ano nas grandes cidades. Qual é o percentual de aumento na intensidade que isso representa? Em quantos anos a intensidade do som duplicará, se o aumento for de 1dB por ano?



Site: Mundo Educação: informações sobre as ondas sonoras. Disponível em: <http://www.mundoeducacao.com/fisica/ondas-sonoras.htm>

Site: Ciência e Diversão - Mais sobre o efeito doppler. Disponível em: <http://parquedaciencia.blogspot.com.br/2013/08/sons-e-o-efeito-doppler.html>

Artigo sobre o som e o corpo humano. In site: ???. Disponível em: <http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viiienpec/pdfs/1297.pdf>

HEWITT, Paul. *Fundamentos de Física Conceitual*. 11 ed. São Paulo: Bookman, 2011.

Gabarito

1. 17 m

2.

a) 90 dB.

b) 10 vezes

3. $3,97 \times 10^{-5}$ W

4.

a) 526 Hz b) 555 Hz

Problema Desafiador

26%, 3 anos

UNIDADE

Espelhos e Lentes

Introdução

Iniciaremos esta unidade analisando a propagação da luz e todas as características do princípio de reflexão. Após estudar as características de propagação da luz, entenderemos como são formadas as imagens nos espelhos.

Apresentaremos também os tipos de espelhos: os planos e os esféricos. Os espelhos planos estão presentes no nosso dia a dia, nos retrovisores dos carros, nos quartos e banheiros, e são usados também como elemento decorativo. Já os espelhos esféricos são de dois tipos: côncavos e convexos. Os espelhos esféricos estão presentes nos espelhos de banheiros nos shoppings e nas superfícies espelhadas das colheres. Veremos também sobre as imagens formadas nesses espelhos e as suas aplicações. Os espelhos côncavos e convexos são usados em sistemas de segurança, em aparelhos eletrônicos de microscopia e em outros locais.

Após apresentarmos o processo de reflexão da luz, passaremos para outro fenômeno, que é o da refração da luz. Nesse fenômeno, a luz sofre modificações na sua velocidade ao mudar o meio de propagação. Esse fenômeno é a base de funcionamento das lentes e do olho humano.

Veremos ainda os tipos de lentes chamadas de convergentes e divergentes, que serão estudadas em detalhes ao longo da unidade.

Tópicos abordados

- Reflexão da Luz
- Espelhos Planos
 - Espelhos Esféricos
- Refração da luz
 - Lentes
 - Revisão
- Exercícios

Começaremos os nossos estudos pela reflexão da luz, que nos permitirá aprender sobre as imagens formadas nos espelhos. A luz sofre reflexão no espelho e obedece alguns princípios físicos que serão estudados a seguir. Vejamos!

Reflexão da Luz

A luz é uma onda eletromagnética cuja velocidade no vácuo é $3,0 \times 10^8$ m/s e que, em várias situações, pode ser tratada como um único raio ou feixe de raios que se propagam em linha reta. Devido a essa propriedade, vários fenômenos podem ser estudados usando-se geometria básica.

O ramo da física que faz esse estudo é chamado ótica geométrica e possui várias aplicações práticas. Uma das aplicações mais básicas é usar a sombra projetada por um corpo para determinar suas dimensões.

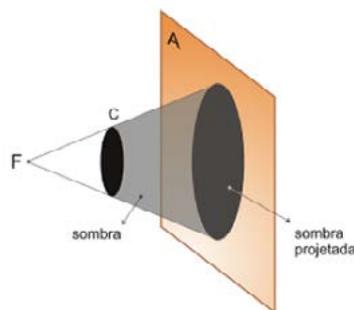
A luz é uma onda eletromagnética cuja velocidade no vácuo é $3,0 \times 10^8$ m/s e que, em várias situações, pode ser tratada como um único raio ou feixe de raios que se propagam em linha reta.



Exemplo

Na figura a seguir podemos observar a sombra de um objeto projetada em um anteparo. Observe que, para a formação da sombra, utilizamos o princípio de propagação da luz em linha reta.

FIGURA 44: Formação de Sombra

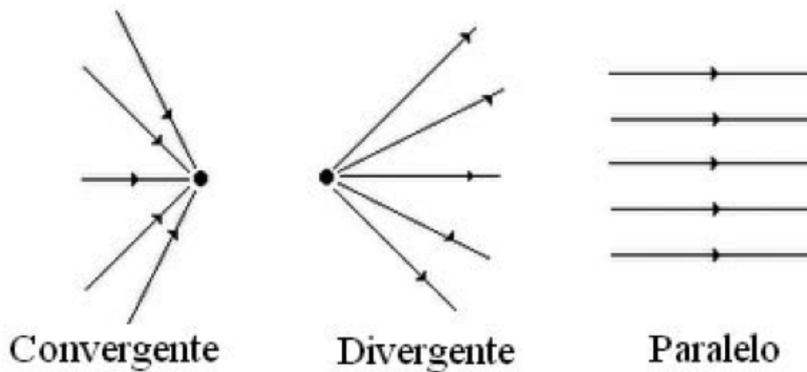


Fonte: <http://osfundamentosdafisica.blogspot.com.br/2014/08/cursos-do-blog-termologia-optica-e-ondas.html>. Acesso em 07 jul. 2016.

Importante

Para se realizar o estudo da ótica geométrica, consideramos as fontes de luz como sendo pontos (fontes pontuais ou puntuais) que originam feixes convergentes ou divergentes. Os raios também podem ser paralelos, conforme visto na figura abaixo.

FIGURA 45 – Raios Paralelos

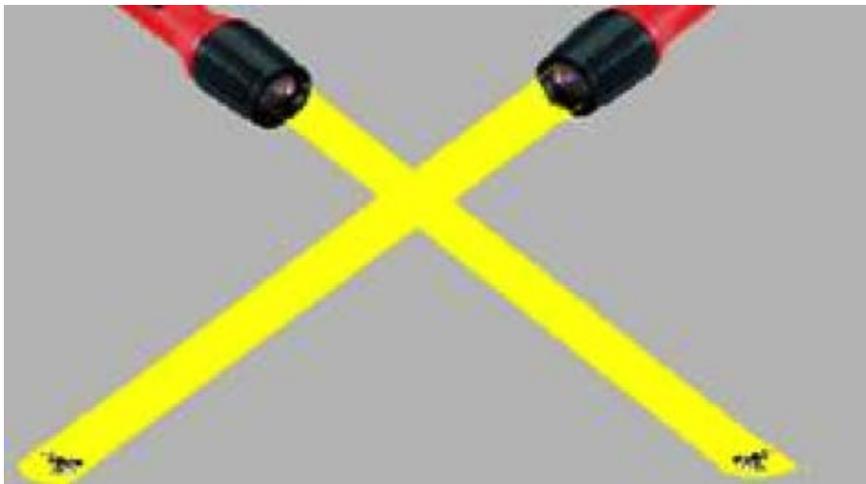


Fonte: <http://www.mundoeducacao.com.br/upload/conteudo/divisoes%20da%20optica%20fig%201.jpg>. Acesso em 07 jul. 2016

Outra propriedade dos raios de luz é a independência que eles têm entre si. Após os feixes de luz se cruzarem, eles seguem o seu caminho como se não tivessem se cruzado. As duas lanternas da figura a seguir emitem feixes de luz que se cruzam em um ponto, mas continuam a se propagar seguindo o mesmo caminho. Esse conceito será usado ao estudarmos como se formam as imagens em espelho e lentes.

Outra propriedade dos raios de luz é a independência que eles têm entre si.

FIGURA 46: Princípio da Independência dos Raios Luminosos



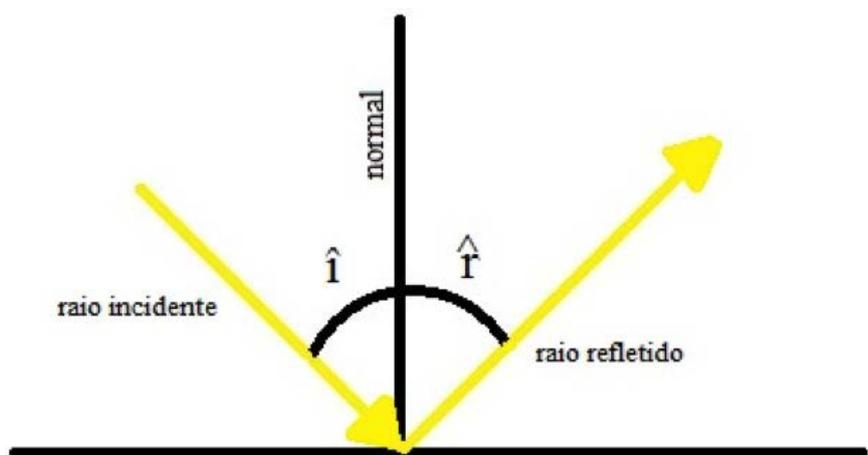
Fonte: <http://fisicaestibular.com.br/optica1.htm> Acesso em 07 jul. 2016

Quando um raio de luz bate em um objeto, parte dele é refletida e parte é absorvida e/ou transmitida. A parte do raio luminoso que é refletida segue duas leis básicas:

- O raio incidente e o raio refletido estão situados em um mesmo plano.
- O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão (esse ângulo é medido em relação à reta normal e à superfície, no ponto em que o raio a atinge).

A figura a seguir mostra essas duas leis da reflexão. Os raios contidos no mesmo plano e o ângulo de incidência igual ao de reflexão.

FIGURA 47: Princípios da Reflexão



Um espelho plano é uma superfície lisa que reflete especularmente a luz.

Fonte: <http://www.mundoeducacao.com/upload/conteudo/Raio%20incidente%20e%20raio%20refletido.jpg>. Acesso em 07 jul. 2016

Veremos a seguir os tipos de espelhos: planos e esféricos, e como as imagens se formam neles.

Espelhos Planos

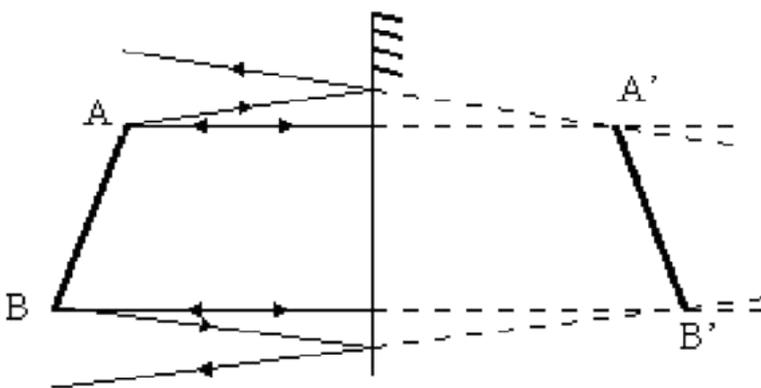
Um espelho plano é uma superfície lisa que reflete especularmente a luz. Se colocarmos um objeto extenso na frente de um espelho

plano, a imagem aparecerá atrás do espelho e será formada pelo prolongamento dos raios refletidos pela superfície do espelho.

Exemplo

A figura a seguir representa a situação da formação de imagem de um espelho plano. O objeto A encontra-se na frente do espelho, o raio de luz que "parte" de A incide no espelho e obedece à lei da reflexão, ou seja, o raio incidente e o refletido têm o mesmo ângulo de incidência e reflexão com a normal. O mesmo acontece com o raio B. A imagem é formada pelo prolongamento dos raios A e B (linhas pontilhadas).

FIGURA 48: Formação de Imagens com Espelhos Planos



A imagem de um objeto não se superpõe a ele. O espelho troca a direita pela esquerda e vice-versa.

Fonte: http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20022/Rod_Oliveira/textos/optica.htm. Acesso em 07 jul. 2016.

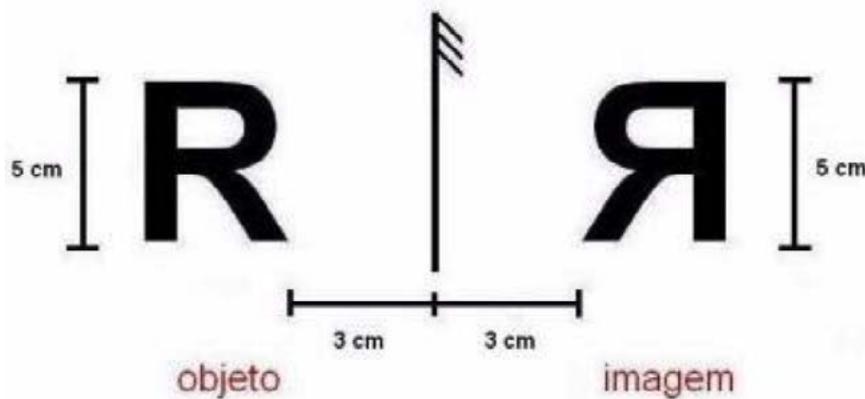
A imagem é simétrica ao espelho e tem o mesmo tamanho. Como é formada pelo prolongamento dos raios refletidos, é considerada virtual. Além disso, observe que a distância do objeto ao espelho é a mesma da imagem ao espelho.

Curiosidade

Outra coisa interessante a respeito dos espelhos é que a imagem de um objeto não se superpõe a ele. O espelho troca a direita pela esquerda e vice-versa. Para entendermos a troca da esquerda pela direita, veja o que acontece quando você coloca uma palavra na frente de um espelho. Veja

a imagem dessa palavra. Ela está invertida, transformando-se, em alguns casos, em algo não identificável (como na figura a seguir).

FIGURA 48: Imagem Refletida no Espelho Plano



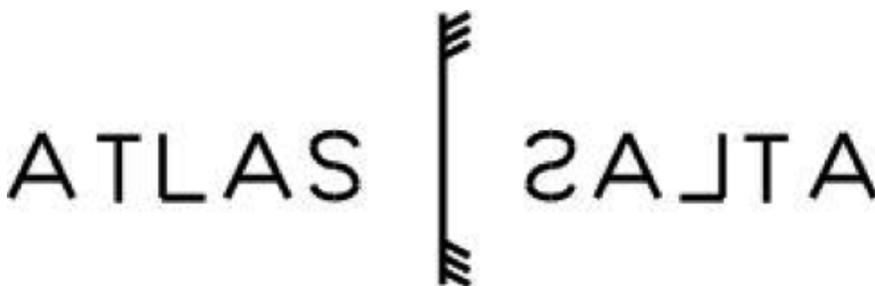
Fonte: <http://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2009/08/1-badd248955.jpg>. Acesso em 07 jul. 2016.

Exemplo

Como ficaria escrita a palavra ATLAS, vista em um espelho plano?

Nesse exemplo iremos descobrir um conceito interessante, o de simetria. Alguns objetos (neste caso, letras) não sofrem a inversão direita/esquerda quando observamos sua imagem refletida. É o caso das letras A e T, veja a figura:

FIGURA 48: Imagem Refletida no Espelho Plano



Fonte: <http://www.coladaweb.com/wp-content/uploads/espelhos2.jpg>. Acesso em 07 jul. 2016.

Na próxima seção vamos continuar a estudar os espelhos, mas, agora, as imagens formadas nos espelhos esféricos.

Espelhos Esféricos

Os espelhos esféricos são de dois tipos: côncavos e convexos. O espelho esférico é uma superfície que reflete a luz especularmente (obedece às duas leis da reflexão). Se a reflexão ocorre na parte interna do espelho, dizemos que ele é côncavo. E se acontece na parte externa, dizemos que ele é convexo.

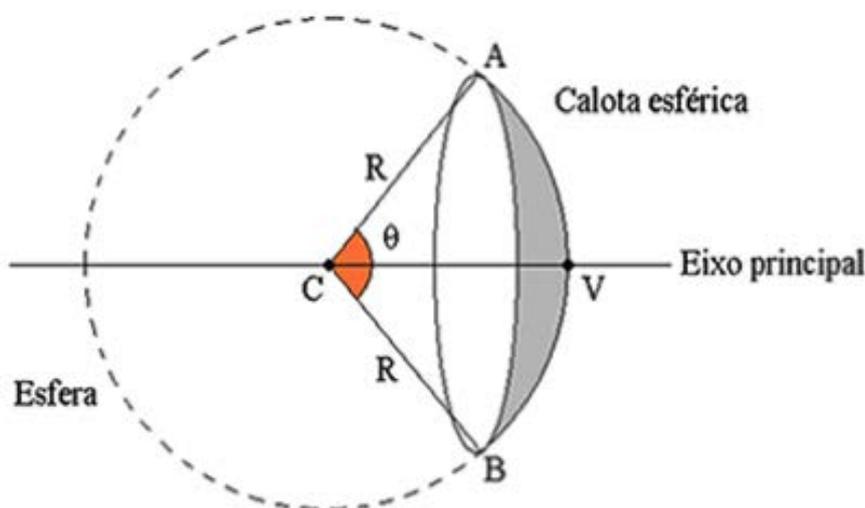
Para estudar a formação de imagens em um espelho esférico, é necessário conhecer os seguintes elementos:

- O ponto V (centro da superfície refletora)
- O ponto C (centro de curvatura do espelho)
- O raio R do espelho
- A distância focal do espelho (f)

Na figura a seguir temos representados os pontos principais de um espelho esférico. O único que não se encontra representado é o foco do espelho, que será mostrado em seguida.

Os espelhos esféricos são de dois tipos: côncavos e convexos.

FIGURA 49: Calota Esférica

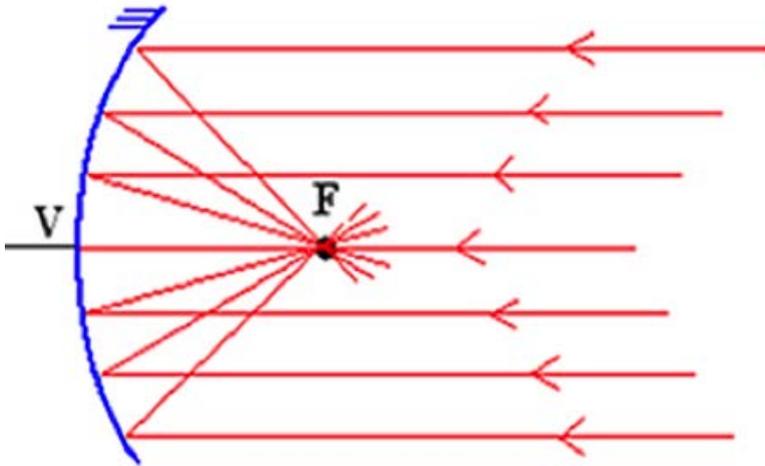


Fonte: <http://www.alunosonline.com.br/upload/conteudo/images/calota-esferica.jpg>. Acesso em 07 jul. 2016.

Conceito

O foco do espelho é o local em que os raios incidentes convergem em um espelho côncavo. Na figura a seguir podemos ver que todos os raios paralelos ao espelho, ao sofrerem reflexão, passam pelo foco.

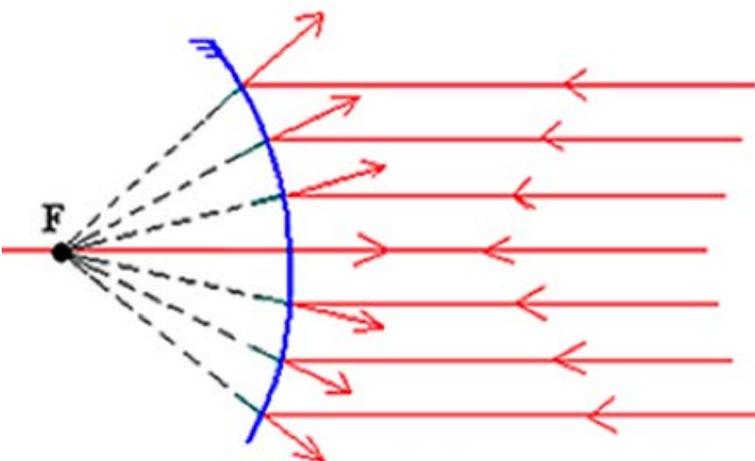
FIGURA 50: Foco em um Espelho Esférico Côncavo



Fonte: <http://www.mundoeducacao.com/fisica/foco-um-espelho-esferico.htm>. Acesso em 07 jul. 2016.

No caso do espelho convexo, os raios que incidirem paralelamente ao espelho divergem após a reflexão. Se prolongarmos esses raios divergentes, poderemos verificar que eles passam pelo foco, como na figura a seguir.

FIGURA 51: Foco em um Espelho Esférico Convexo



Fonte: <http://www.mundoeducacao.com/fisica/foco-um-espelho-esferico.htm>. Acesso em 07 jul. 2016.

O foco do espelho é o local em que os raios incidentes convergem em um espelho côncavo.

Atenção

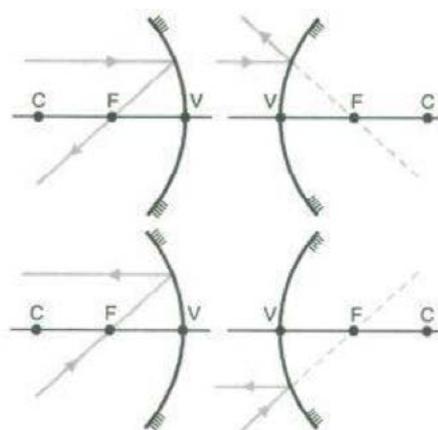
O foco de um espelho esférico corresponde à metade da distância entre o ponto V (vértice) e o ponto C (centro de curvatura), ou seja, $f = R/2$.

Os raios principais, que são usados para formar imagens de um objeto extenso em um espelho, são:

- O raio luminoso que incide paralelamente ao espelho esférico se reflete passando pelo foco, no caso do espelho côncavo. No caso do espelho convexo, um raio que incide paralelamente ao espelho se reflete de tal modo que o prolongamento do raio passa pelo foco.
- Um raio luminoso que incide em um espelho côncavo, passando pelo foco, se reflete paralelamente ao espelho. No caso do espelho convexo, um raio que incide, de tal maneira que sua direção passa pelo foco, se reflete paralelamente ao eixo do espelho.
- Um raio luminoso que incide passando pelo centro de curvatura do espelho reflete sobre si mesmo côncavo. No caso do espelho convexo, um raio luminoso que incide no espelho, de tal maneira que sua direção passa pelo centro de curvatura do espelho, é refletido sobre si mesmo.

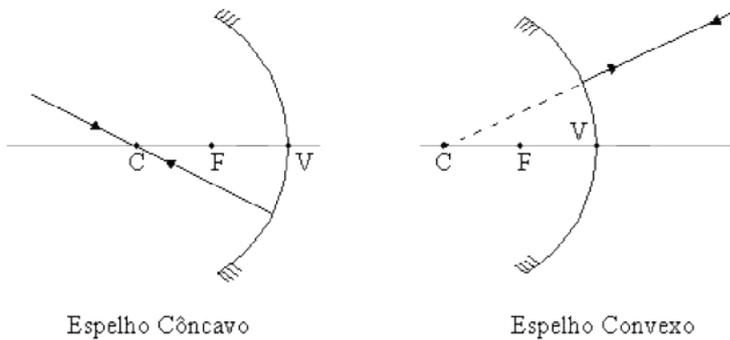
O raio luminoso que incide paralelamente ao espelho esférico se reflete passando pelo foco, no caso do espelho côncavo.

FIGURA 52: Propriedades dos Raios Luminosos que passam pelo Foco Espelho Côncavo à Esquerda e Convexo à Direita



Fonte: <http://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2009/08/1-8a37533147.jpg>. Acesso em 07 jul. 2016.

FIGURA 53: Propriedades dos Raios Luminosos que passam pelo Centro de Curvatura



Fonte: http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20022/Rod_Oliveira/textos/optica.htm. Acesso em 07 jul. 2016.

! Importante

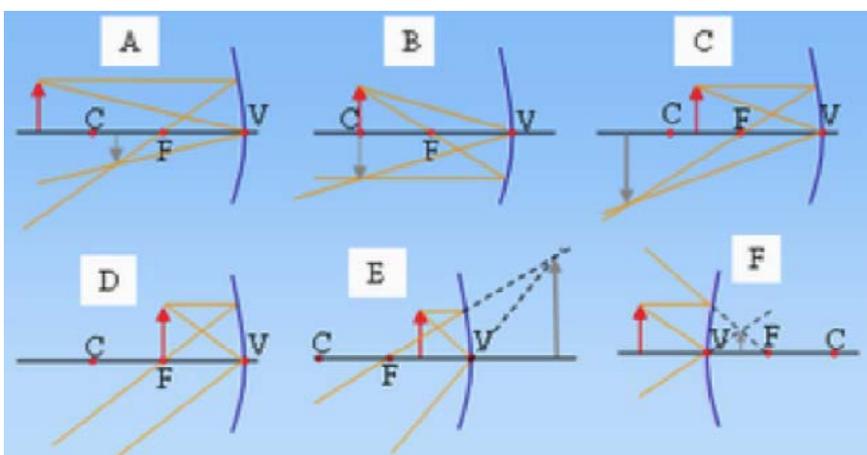
Com todos esses raios, podemos formar todas as imagens em espelhos esféricos. Para exemplificar, analisaremos duas imagens formadas nos espelhos côncavos e uma formada no convexo.

🔧 Exemplo

Formação de Imagens em Espelhos Esféricos:

Existem cinco situações possíveis para o espelho côncavo e uma para o espelho convexo, mostradas na figura abaixo.

FIGURA 54: Imagens em Espelhos Esféricos



Fonte: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/discovirtual/galerias/imagem/0000003161/md.0000035605.png>. Acesso em 07 jul. 2016.

Observe que:

A imagem obtida no espelho côncavo, nas situações A, B e C, é formada pelos raios refletidos. Quando isso acontece ela é real e invertida, localizando-se na frente do espelho.

Na situação mostrada em D não existe imagem, pois os raios refletidos não se encontram. Já em E a imagem é formada pelos prolongamentos dos raios refletidos, ela se localiza atrás do espelho. Ela é virtual, direta e maior que o objeto.

A situação F é o único caso de formação de imagem em espelhos convexos. Como a imagem é formada por prolongamentos de raios, ela é virtual e direta, e nesse caso sempre menor que o objeto.

Os espelhos côncavos podem formar imagens reais e virtuais de objetos, no entanto o espelho convexo só forma imagens virtuais. A equação a seguir fornece a relação matemática entre o foco (f), a distância do objeto ao espelho (d_o) e a distância da imagem ao espelho (d_i).

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

Os espelhos côncavos podem formar imagens reais e virtuais de objetos, no entanto o espelho convexo só forma imagens virtuais

Para utilizarmos essa equação, devemos usar:

- $f > 0$ para espelho côncavo e $f < 0$ para espelho convexo
- d_i negativo para virtual e positivo para imagem real
- a razão entre o tamanho da imagem (H_i) e o tamanho do objeto (H_o) é o aumento proporcionado pelo espelho e obtida com a fórmula $A = \frac{|d_o|}{|d_i|} = \frac{H_o}{H_i}$



Exemplo

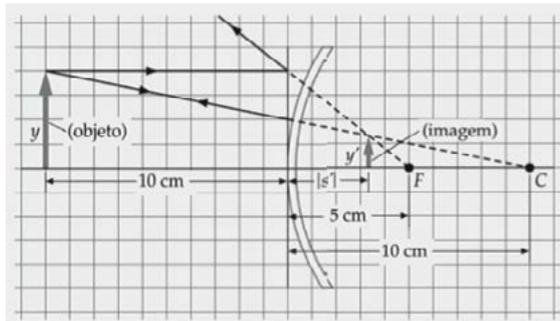
Um objeto de 2,0 cm de altura está a 10 cm de um espelho convexo que tem raio de curvatura igual a 10 cm.

a. Localize a imagem.

b. Determine a altura da imagem.

a) Usando a relação $\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$, temos para o espelho convexo:

$-\frac{1}{5} = \frac{1}{10} + \frac{1}{d_i}$ $d_i = -3,3$ cm. O sinal negativo indica que a imagem é virtual (formada pelos prolongamentos dos raios – atrás do espelho).



b) A relação de aumento $A = \frac{|d_i|}{|d_o|} = \frac{H_i}{H_o}$

fornece uma altura da imagem $H_i = H_o \frac{|d_i|}{|d_o|} = 23,3 = 0,66$ cm. A imagem é menor que o objeto, como podemos ver no diagrama.

Fonte: TIPLER, Allen, MOSCA, Gene P. *Física para Cientistas e Engenheiros* - Vol. 2 - *Eleticidade e Magnetismo, Ótica*. 6ª edição. LTC, 07/2009.

Se a incidência do raio de luz na interface, que separa os dois meios de propagação, for oblíqua (medida em relação à normal), ela sofrerá um desvio além da mudança na velocidade.

Refração da luz

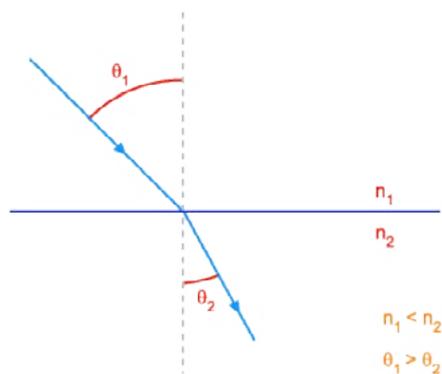
No capítulo sobre ondas vimos que quando o meio de propagação de uma onda muda, ocorre uma mudança em sua velocidade. Esse fenômeno, denominado refração, também é observado em raios de luz.

Se a incidência do raio de luz na interface, que separa os dois meios de propagação, for oblíqua (medida em relação à normal), ela

sofrerá um desvio além da mudança na velocidade. Esse fenômeno está representado na figura a seguir.

Nela está representado o raio incidente que está no meio 1 após passar para o meio 2. Podemos verificar que esse raio muda a sua direção de propagação, mas continua no mesmo plano do raio incidente. A normal é a reta pontilhada que determina o ângulo de incidência do raio incidente e o ângulo de refração. Todos os três, raio incidente, raio refratado e normal, encontram-se no mesmo plano.

FIGURA 55: Refração da Luz



Fonte: <<http://cepa.if.usp.br/efisica/imagens/optica/basico/cap06/fig03.gif>>. Acesso em 07 jul. 2016.

A normal é a reta pontilhada que determina o ângulo de incidência do raio incidente e o ângulo de refração.

O índice de refração dos meios é nomeado de n_1 e n_2 . Definimos o índice de refração (n) como a razão entre a velocidade da luz no vácuo (3×10^8 m/s) e a velocidade no meio. Dessa forma, temos:

$$n_1 = \frac{c}{v_1} \text{ e } n_2 = \frac{c}{v_2}$$

A relação entre os índices de refração e os ângulos de incidência e refração é dado pela relação matemática $n_1 \cdot \text{sen}\theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\theta_2$, conhecida como Lei de Snell.

Lentes

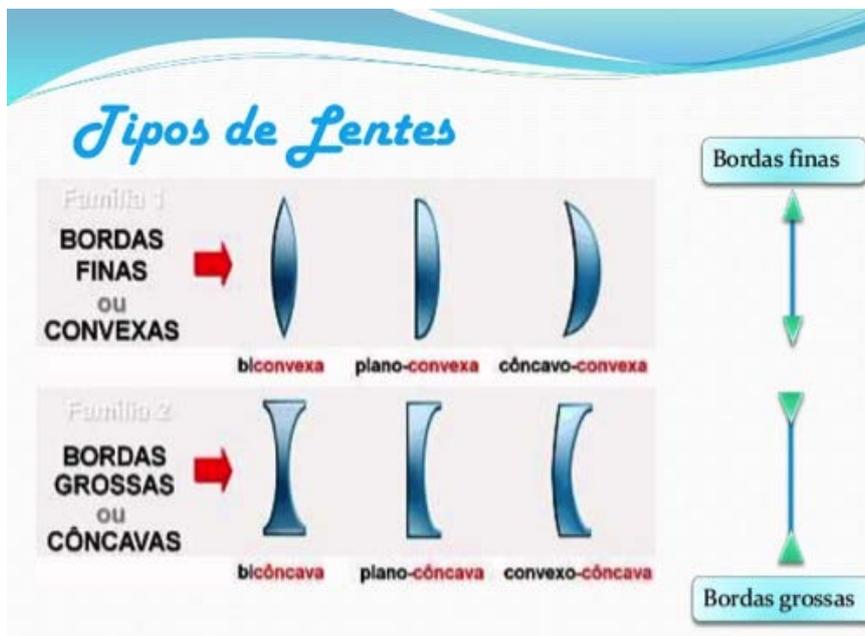
As lentes estão entre os sistemas óticos com mais aplicações, entre eles a máquina fotográfica, os óculos, o telescópio e até mesmo o nosso olho. Com a lente podemos aumentar ou reduzir o tamanho de um objeto, e pode chegar a milhares de vezes. As lentes mais comuns são aquelas constituídas de vidro ou de acrílico (óculos, por exemplo).

Conceito

As lentes são classificadas em convergentes e divergentes, devido ao fato de elas concentrarem ou espalharem os raios. As lentes convergentes são mais finas nas pontas e conseguem convergir os raios de luz. As lentes divergentes são mais grossas na borda e divergem os raios. A figura a seguir apresenta lentes convergentes e divergentes: as de borda fina são convergentes e as de borda grossa, divergentes.

As lentes estão entre os sistemas óticos com mais aplicações, entre eles a máquina fotográfica, os óculos, o telescópio e até mesmo o nosso olho.

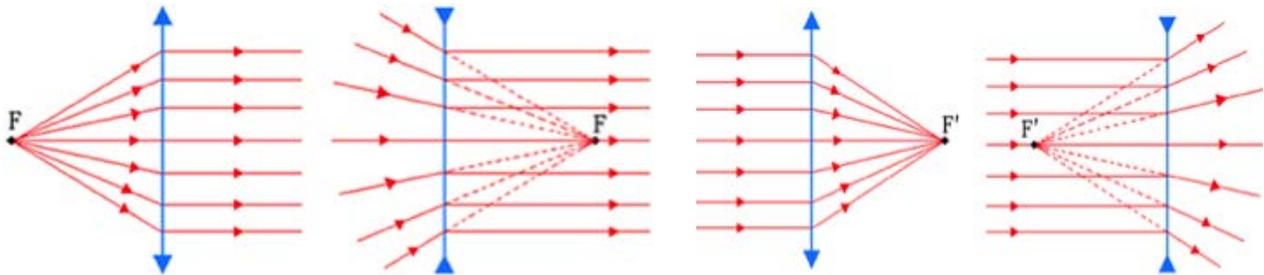
FIGURA 56: Tipos de Lentes



Fonte: <http://image.slidesharecdn.com/pticalentes-140915203030-phpapp01/95/ptica-geomtrica-lentes-19-638.jpg?cb=1410814407>. Acesso em 07 jul. 2016.

O caminho dos raios, incidente e refratado, nas lentes convergentes e divergentes seguem as trajetórias mostradas na figura abaixo.

FIGURA 57: Raios de Luz em Lentes. Raios em Direção ao Foco à Esquerda e Paralelos à Direita



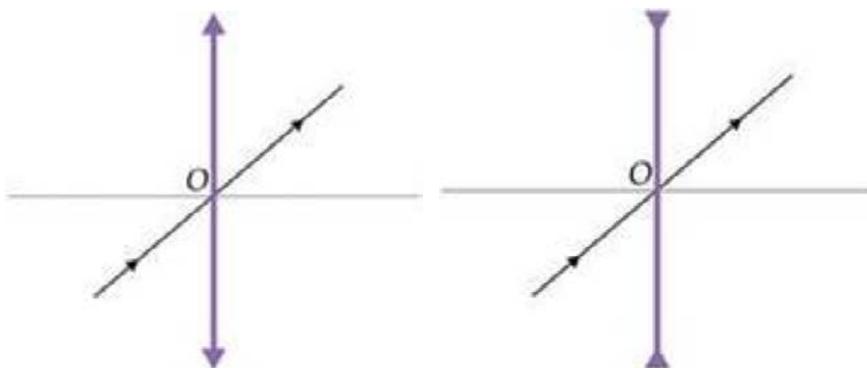
Fonte: <http://brasilecola.uol.com.br/upload/conteudo/images/foco-principal-objeto.jpg>. Acesso em 07 jul. 2016.

Atenção

Observe que, em lentes convergentes, usamos o prolongamento do raio refratado, o que numa formação de imagem nos dará uma imagem virtual.

Se o raio de luz incidir passando pelo centro ótico da lente, ele não sofre desvio.

FIGURA 58: Raios e Lentes

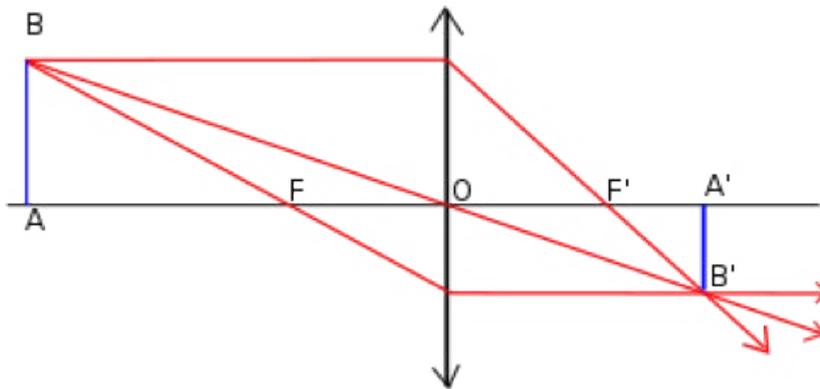


Fonte: <http://www.fisicaevestibular.com.br/optica12.htm>. Acesso em 07 jul. 2016.

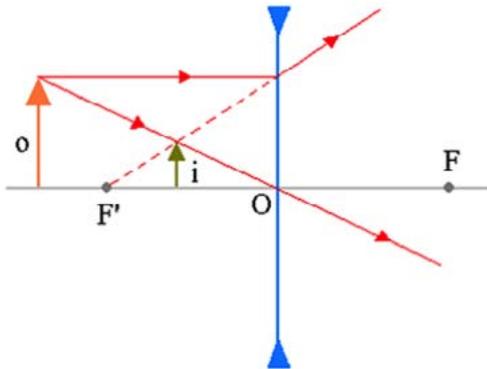
Podemos formar todas as imagens de objetos nas lentes com os raios que foram apresentados acima.

Exemplo

Observe, nos diagramas a seguir, a formação de uma imagem em uma lente convergente e em uma lente divergente.

FIGURA 59: Convergente

Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/9d/Lentille_convergente_image.svg/355px-Lentille_convergente_image.svg.png. Acesso em 07 jul. 2016.

FIGURA 59: Divergente

Fonte: [http://alunosonline.uol.com.br/upload/conteudo/images/lente-divergente\(1\).jpg](http://alunosonline.uol.com.br/upload/conteudo/images/lente-divergente(1).jpg). Acesso em 07 jul. 2016.

A relação entre a imagem, objeto e foco para as lentes é a mesma dos espelhos esféricos

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

e a relação de aumento também é a mesma

$$A = \frac{|d_o|}{|d_i|} = \frac{H_o}{H_i}$$

A convenção de sinais segue as seguintes regras:

1. O foco é positivo para lentes convergentes e negativo para lentes divergentes.
2. Se a imagem for real, d_i é positivo. Se a imagem for virtual, d_i é negativo.

Exemplo

Suponhamos que um objeto é colocado a 60 cm de uma lente esférica do tipo convergente. Tal lente possui distância focal igual a 20 cm. Calcule a distância da imagem à lente. A imagem é maior ou menor que o objeto?

Usando a relação $\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$, temos

$$\frac{1}{20} = \frac{1}{60} + \frac{1}{d_i}, \text{ temos } d_i = 30 \text{ cm.}$$

A relação de aumento é $A = 30/60 = 0,5$. Como o resultado é menor que 1, a imagem é menor que o objeto.

.....

Nessa unidade aprendemos sobre dois fenômenos de propagação da luz: a reflexão e a refração. Eles auxiliam na formação de imagens nos espelhos e nas lentes. Analisamos também a formação de imagens nos diferentes tipos de espelhos planos e esféricos, e a formação das imagens nas lentes.

APLICAÇÃO NA PRÁTICA

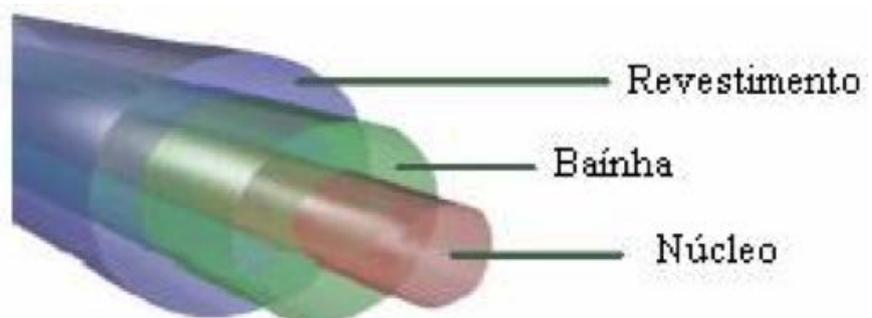
A Fibra Ótica

A fibra ótica é um sistema de transmissão ótico que transmite sinais de computador, sinal de voz de telefones, sinais de vídeos ou dados.

FIGURA 60: Fibra Ótica

Fonte: <http://tca.com.br/empresa/Imagens/fibra.jpg>

Ela é formada por um núcleo de material dielétrico (em geral, vidro de alta pureza) e por uma casca também de material dielétrico (vidro ou plástico) com índice de refração ligeiramente inferior ao núcleo, empregados como meio de transmissão para sinais óticos. Podem também estar presentes, para proteger fisicamente a fibra, uma ou várias camadas de material amortecedor de impacto e resistente à tensão mecânica.

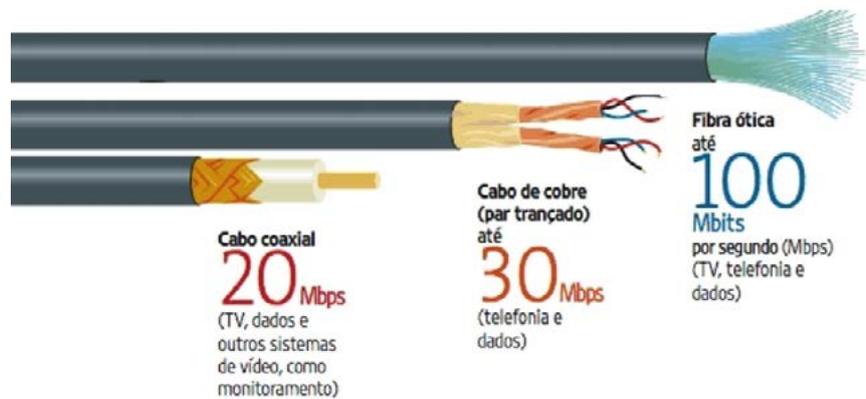
FIGURA 61: Constituição de uma Fibra Ótica

Fonte: http://www.img.lx.it.pt/~mpq/st04/ano2002_03/trabalhos_pesquisa/T_5/FO_ficheiros/image013.jpg

A fibra ótica tem um poder de transmissão, comparado ao cabo coaxial e o cabo de cobre, 5 vezes e 3,3 vezes maior, respectivamente. As fibras óticas são utilizadas principalmente nas telecomunicações, pois apresentam várias vantagens em relação ao uso dos antigos cabos metálicos, como:

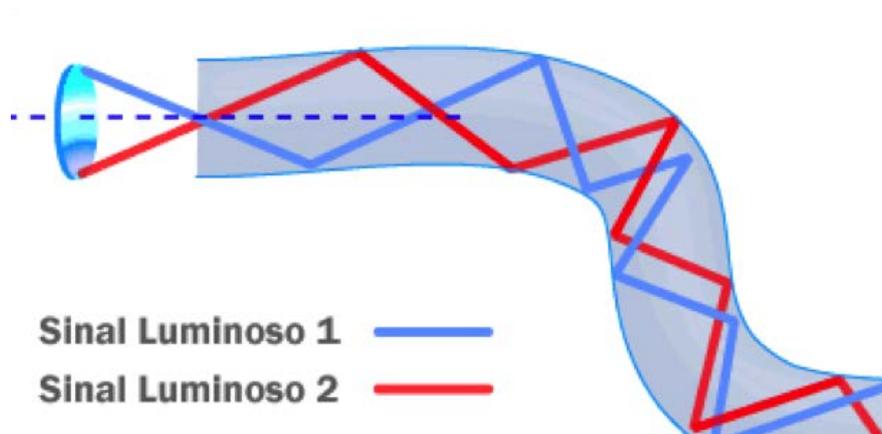
- Ter maior capacidade para transportar informações.
- A matéria-prima para sua fabricação, a sílica, é muito mais abundante que os metais e possui baixo custo de produção.

- Não sofre com as interferências elétricas nem magnéticas, além de dificultar um possível grampeamento.
- A comunicação é mais confiável, pois é imune a falhas.

FIGURA 62: O Funcionamento da Fibra Ótica

Fonte: <http://www.oficinadanet.com.br/artigo/redes/o-que-e-fibra-optica-e-como-funciona>

A fibra ótica funciona baseada no princípio da reflexão interna total, que transmite o raio de luz por toda a sua extensão, como na figura a seguir.

FIGURA 63: Princípio da Reflexão Interna Total na Fibra Ótica

Fonte: <http://static.hsw.com.br/gif/fiber-optic-transmission.gif>

O funcionamento da fibra ótica acontece baseado no princípio de reflexão total: a luz viaja através do núcleo (o corredor), refletindo constantemente na interface (as paredes revestidas de espelhos). O núcleo, normalmente feito de vidro, possui um alto índice de refração e a casca (bainha) possui um índice de refração menor em relação ao núcleo. Dessa forma, o ângulo limite para que ocorra a reflexão total é bem baixo, facilitando o fenômeno.

O ângulo limite pode ser calculado pela lei da refração, vejamos:

$$n_{\text{núcleo}} \cdot \text{sen}\theta_{\text{incidência}} = n_{\text{bainha}} \cdot \text{sen}90^\circ$$

$$\text{então, } \text{sen}\theta_{\text{incidência}} = \text{sen}\theta_{\text{limite}} = \frac{n_{\text{bainha}}}{n_{\text{núcleo}}}$$

Já que o índice (n) da bainha é bem menor que o do núcleo, o ângulo limite é bem pequeno.

Os feixes de luz que penetram no cabo ótico sofrem várias reflexões na superfície de separação entre os dois vidros que o formam. Dessa maneira, a luz caminha, podendo percorrer vários quilômetros de distância.

Uma parte do sinal luminoso se degrada dentro da fibra, principalmente em razão de impurezas contidas no vidro. O grau dessa degradação do sinal depende da pureza do vidro e do comprimento de onda da luz transmitida.

Revisão

A luz tem dois princípios que regem a sua reflexão: um em que os dois raios, incidente e refletido, estão contidos no mesmo plano; e outro, em que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão, ambos medidos em relação a uma reta normal à superfície.

Os espelhos planos formam imagens virtuais e do mesmo tamanho do objeto. As imagens são invertidas em relação ao objeto e, para serem formadas, obedecem à lei da reflexão. Já no caso dos espelhos côncavos, formam-se imagens virtuais maiores e imagens reais de mesmo tamanho, maiores e menores de objetos extensos. O espelho convexo, no entanto, só forma imagens menores e virtuais de objetos extensos.

Vimos o conceito de que a refração é o fenômeno em que o raio de luz muda de meio, conseqüentemente de velocidade, desviando-se em relação à normal.

Diferenciamos os tipos de lentes, que podem ser convergentes e divergentes. As lentes convergentes formam imagens reais e invertidas dos objetos, e as lentes divergentes formam imagens sempre virtuais e menores dos objetos.

Exercícios

1. Um feixe de luz de comprimento de onda de 600 nm se propaga no vácuo até atingir a superfície de uma placa de vidro. Sabendo-se que o índice de refração do vidro é $n = 1,5$ e que a velocidade de propagação da luz no vácuo é de 3×10^8 m/s, calcule o comprimento de onda e a velocidade de propagação da onda no vidro, em nm e m/s (Obs: $1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$).
2. Qual é a velocidade da luz no diamante, cujo índice de refração é $n = 2,42$? Se a velocidade da luz no topázio é $1,85 \times 10^8$ m/s, qual é o índice de refração do topázio?
3. Se a distância focal média do olho humano é 2 cm, qual será:
 - a. A distância da imagem de um objeto situado a 2 metros do olho?
 - b. O tamanho da imagem se esse objeto tiver 10 cm de altura?
4. Uma mariposa está ao nível dos seus olhos, a 10 cm de distância de um espelho plano. Você se encontra atrás da mariposa, a 30 cm do espelho. Qual é a distância entre os seus olhos e a posição aparente da imagem da mariposa no espelho?
5. Um espelho de barbear côncavo, com um raio de curvatura de 35,0 cm, é posicionado de tal forma que a imagem (não invertida) do rosto de um homem é 2,50 maior que o original. A que distância do homem está o espelho?



HEWITT, Paul. *Fundamentos de Física Conceitual*. 11 ed, São Paulo: Bookman, 2011.

<http://www.if.usp.br/gref/optica/optica3.pdf> - Material sobre ótica com várias aplicações

<http://www.oficinadanet.com.br/artigo/redes/o-que-e-fibra-optica-e-como-funciona> O que é fibra ótica e como ela funciona?

Gabarito

1. $v = 2 \times 10^8 \text{ m/s}$ $\lambda = 400 \text{ nm}$
2. $v = 1,24 \times 10^8 \text{ m/s}$ $n = 1,62$
3. $d_i = 2,02 \times 10^{-2} \text{ m}$ $H_i = 0,101 \text{ cm}$
4. 40 cm
5. 24,5 cm

UNIDADE



Instrumentos Óticos

Introdução

A Unidade 8 é o fechamento da parte da ótica da disciplina com todas as aplicações do dia a dia, o que torna o conteúdo muito interessante. Começaremos a unidade estudando o olho humano e os defeitos de visão mais comuns, como a miopia e a hipermetropia, que podem ser corrigidos com o uso das lentes. Após estudar o instrumento ótico mais importante para nós, partiremos para a lupa. A lupa é um instrumento ótico de aumento que permite observar objetos pequenos e até mesmo ler letras minúsculas, muito usado por pessoas idosas.

Estudaremos também a máquina fotográfica e o microscópio, que são instrumentos óticos mais elaborados que o olho e a lupa, e que fazem parte do nosso dia a dia. Aprenderemos sobre a formação de imagens na máquina fotográfica e no microscópio. Entenderemos como é possível fotografar ambientes grandes e pequenos em um aparelho portátil, como a máquina fotográfica, e aprenderemos como se constitui um instrumento de observação de objetos pequenos, o microscópio.

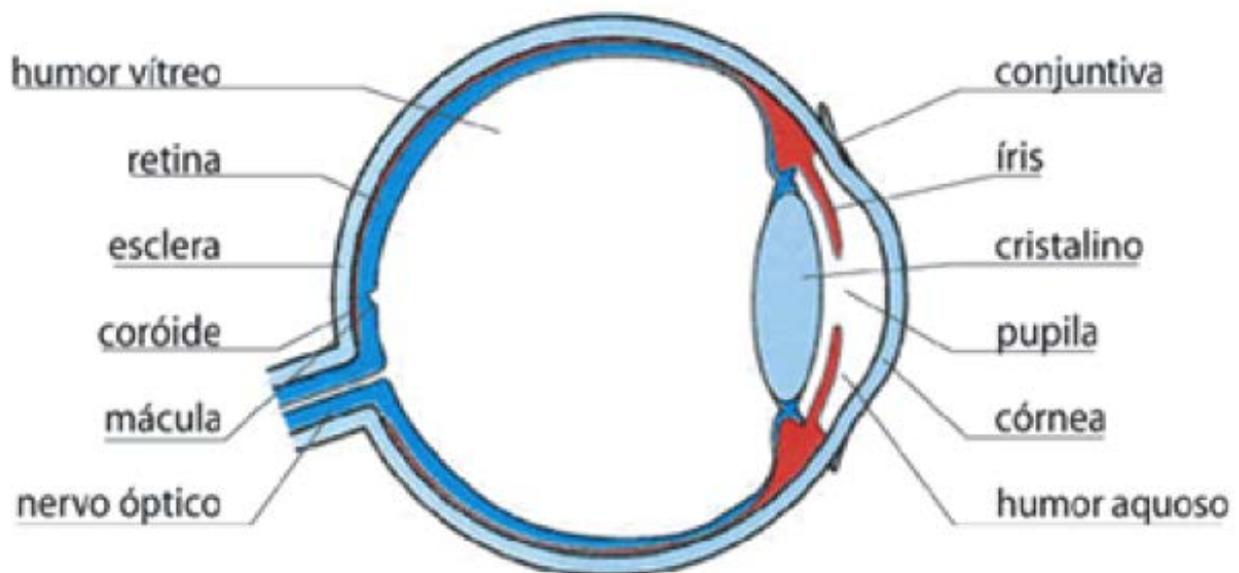
Tópicos abordados

- O olho humano
 - A Lupa
 - A Máquina Fotográfica
- O Microscópio
 - Revisão
 - Exercícios

O olho Humano

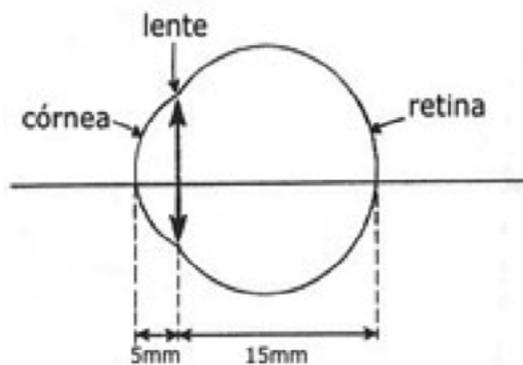
O olho humano nos permite enxergar tanto de perto quanto de longe, controlar a quantidade de luz que entra com a abertura e fechamento das pupilas, focar objetos próximos e enxergar detalhes. A figura a seguir representa o desenho do olho humano e os componentes do globo ocular.

FIGURA 71 - Constituição do Olho Humano



Fonte: OLHO humano. In: Site "Só Física".

A parte da frente do olho é coberta pela córnea, que é uma membrana transparente. Logo depois da córnea temos o humor aquoso, um líquido transparente. A íris controla a entrada de luz juntamente com as nossas pálpebras, que podem abrir e fechar para controlar a entrada de luz. O cristalino é a lente do olho e a retina, localizada "atrás do olho". É uma película sensível à luz, que pode ser comparada ao filme de uma máquina fotográfica. É a retina que envia comandos para o cérebro, onde a imagem é percebida. Se quisermos simplificar o olho para os nossos estudos, podemos pensar da seguinte forma:

FIGURA 72 - O Olho Humano

Fonte: Olho humano. In: Site "Só Física".

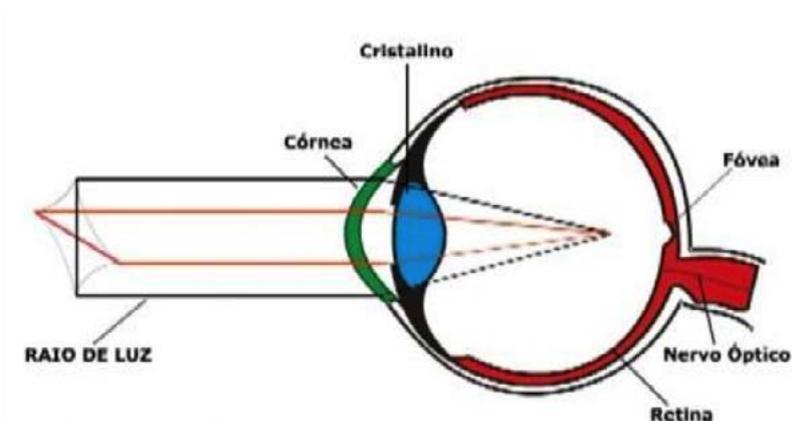
Na figura apresentada do olho simplificado, o cristalino foi substituído por uma lente convergente. O olho é um sistema ótico composto de uma lente convergente. As imagens formadas na retina são então invertidas, reais e menores que os objetos.

Atenção

Um olho com defeito de visão apresenta simplificada dois problemas: quando a imagem se forma antes da retina e quando a imagem se forma depois da retina.

No olho míope, a imagem se forma antes da retina.

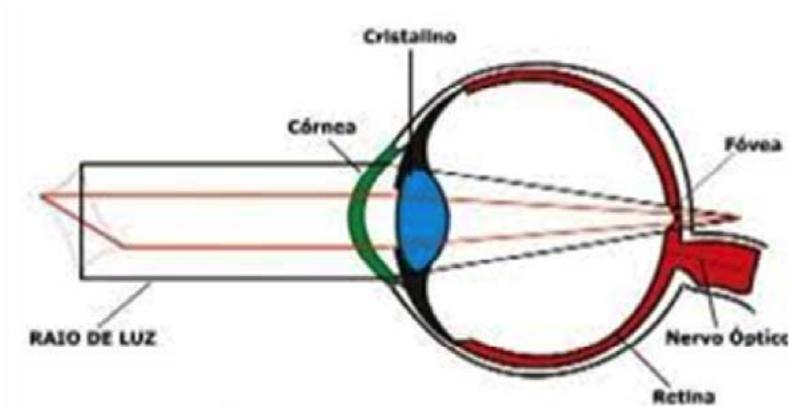
No olho míope, a imagem se forma antes da retina, como na figura a seguir. Para corrigir isso, o míope deve utilizar lentes divergentes, que colocam a imagem sobre a retina e permitem uma boa observação de objetos de longe.

FIGURA 73 - A Miopia

Fonte: A MIOPIA e o míope. In: Site "O estrabismo".

No olho hipermetrope, a imagem se forma atrás da retina. Assim, para a correção desse defeito de visão deve-se utilizar lentes convergentes, para que a imagem se forme na retina.

FIGURA 74 - A Hipermetropia



Fonte: HIPERMETROPIA. In: Site "Serviços Vera Cruz".

Após aprender sobre os defeitos de visão e o olho humano, vamos estudar a lupa, o microscópio e a máquina fotográfica, que são instrumentos óticos do dia a dia.

A lupa é um instrumento ótico que permite aumentar as imagens.

A Lupa

A lupa é um instrumento ótico que permite aumentar as imagens. Ela permite que visualizemos os detalhes, como veremos na figura a seguir.

FIGURA 75 - Lupa

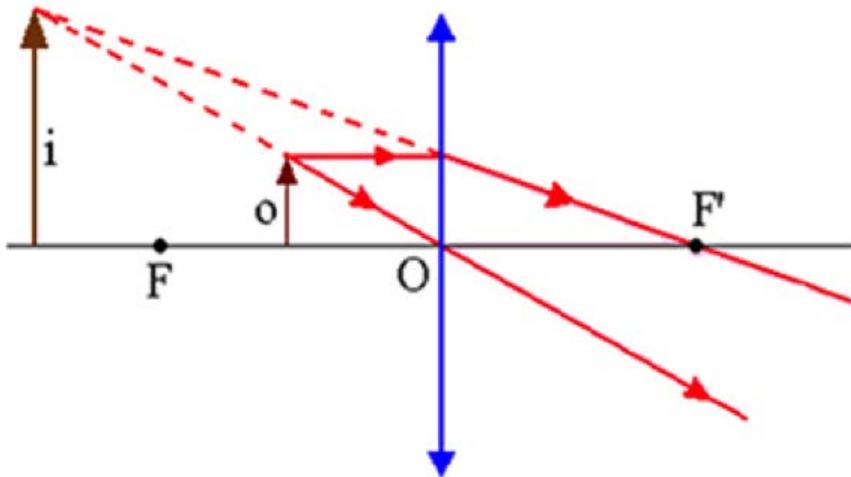


Fonte: [Lupa]. In Site: "Folha da Manhã".

Atenção

As imagens da lupa são diretas e maiores que os objetos. A lupa é, então, uma lente convergente de grande distância focal.

FIGURA 76 - Imagens Formadas em Lupas



Fonte: SILVA, Domiciano Correa Marques da. *Lupa ou microscópio*.

Na figura apresentada, podemos ver como ocorre a formação da imagem na lupa, em que são formadas imagens virtuais, diretas e maiores que os objetos.

Na seção seguinte estudaremos a máquina fotográfica, que é um instrumento ótico muito parecido com o olho humano.

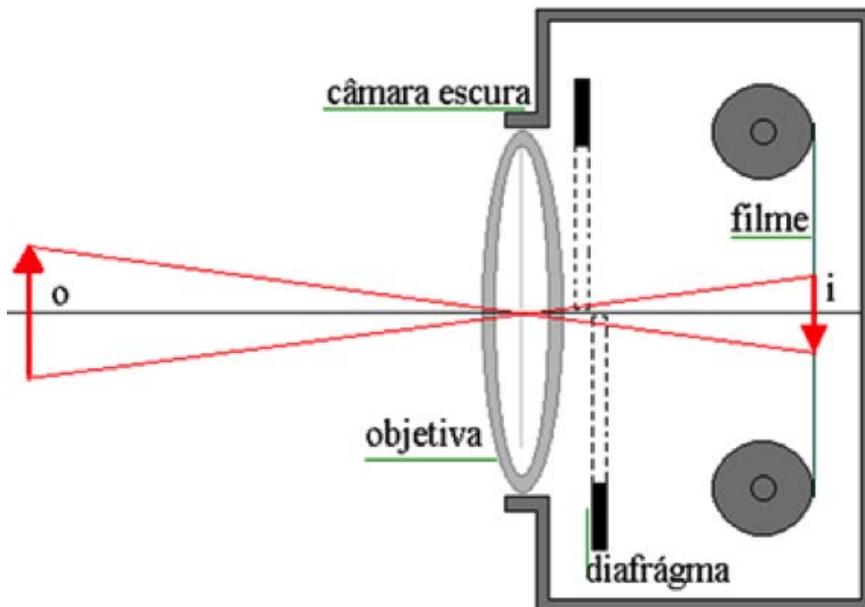
A máquina fotográfica também é considerada um instrumento ótico e é bem parecida como o olho humano.

A Máquina Fotográfica

A máquina fotográfica também é considerada um instrumento ótico e é bem parecida como o olho humano, como já vimos anteriormente. O objetivo de uma máquina fotográfica é captar imagens reais em um dispositivo sensível à luz. A máquina pode ser

simplificada, como uma câmara escura com um orifício em que é colocada uma lente convergente, conforme na figura a seguir.

FIGURA 77 - Formação de Imagens em uma Máquina Fotográfica



Fonte: SILVA, Domiciano Correa Marques da. *Máquina Fotográfica*.

Os raios que chegam à câmara e incidem na lente convergem para um ponto, já que se trata de uma lente convergente. O diafragma da máquina fotográfica é o componente que controla a entrada de luz na câmara. A imagem é formada sobre o filme como no olho humano, em que a imagem é formada sobre a retina. A imagem é, então, real, invertida e menor que o objeto fotografado. A objetiva em uma câmara tem o poder de se movimentar e, dessa maneira, permite a formação de objetos nítidos sobre o filme.

Na próxima seção estudaremos o microscópio, que é um instrumento ótico que permite observar detalhes e revolucionou a biologia.

O microscópio é um instrumento ótico que permite enxergar detalhes muito pequenos, como os componentes de uma célula.

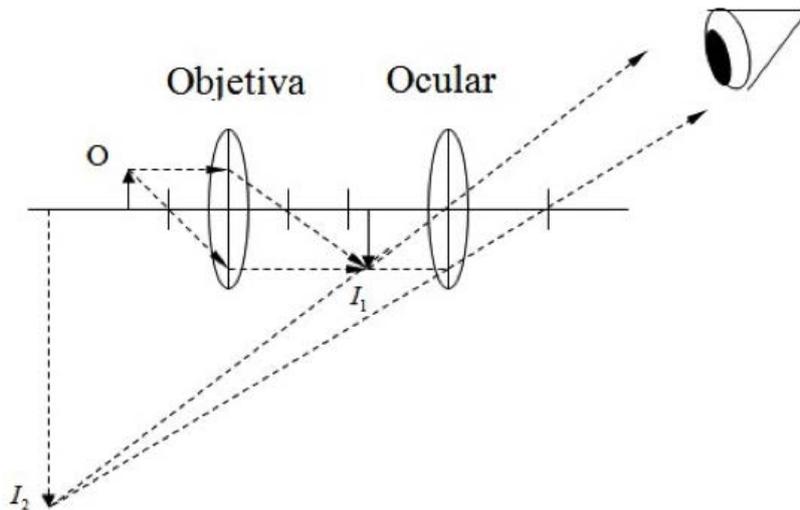
O Microscópio

O microscópio é um instrumento ótico que permite enxergar detalhes muito pequenos, como os componentes de uma célula.

Atenção

Podemos simplificar o microscópio como um sistema de duas lentes, uma objetiva e uma ocular, ambas convergentes. O objeto é colocado na frente da objetiva, que é uma lente convergente, e forma uma imagem invertida do objeto. Essa imagem é formada entre o foco e a lente ocular, e serve como objeto para a ocular, que também é uma lente convergente. A imagem formada pela ocular é direta e maior que o "objeto", já que este se encontra entre o foco e a lente ocular. É aí que ocorre a ampliação no microscópio.

FIGURA 78 - Microscópio



Podemos simplificar o microscópio como um sistema de duas lentes, uma objetiva e uma ocular, ambas convergentes.

Fonte: [Microscópio]. In: Site: "Dax Resolve".

A unidade apresentada mostrou qualitativamente alguns dos instrumentos óticos mais relevantes, em que os conceitos aprendidos sobre as lentes foram aplicados. Estudamos os defeitos de visão que necessitam de lentes corretoras e aprendemos sobre a lupa, a câmera fotográfica e o microscópio.

Projetores Multimídia – o Datashow

FIGURA 79 – Projetor de imagens



Fonte: http://www.premiumstore.com.br/images/product/PJIBQSP920P_1.jpg.
Acesso em 07/07/2016

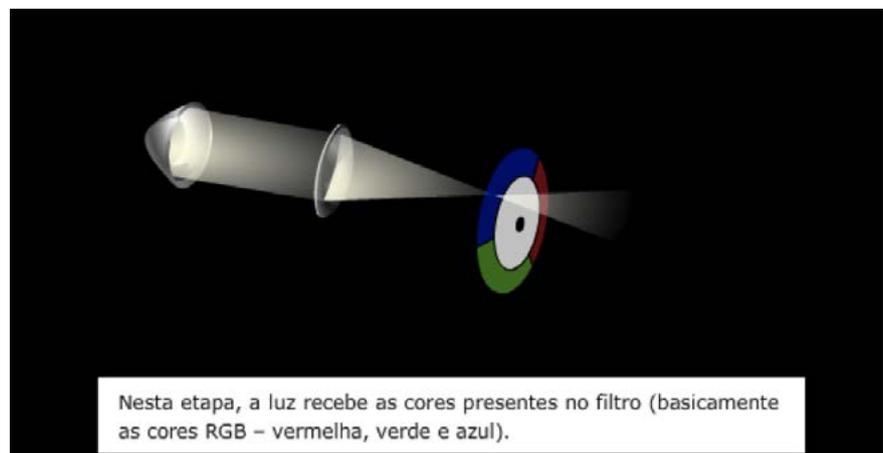
Na física, chamamos de instrumento ótico todo dispositivo que tem por finalidade captar, ampliar e/ou reduzir a imagem de objetos. A máquina fotográfica que manuseamos diariamente é um instrumento ótico. A lupa também se encaixa perfeitamente nessa descrição e, por fim, não poderíamos deixar de citar os óculos.

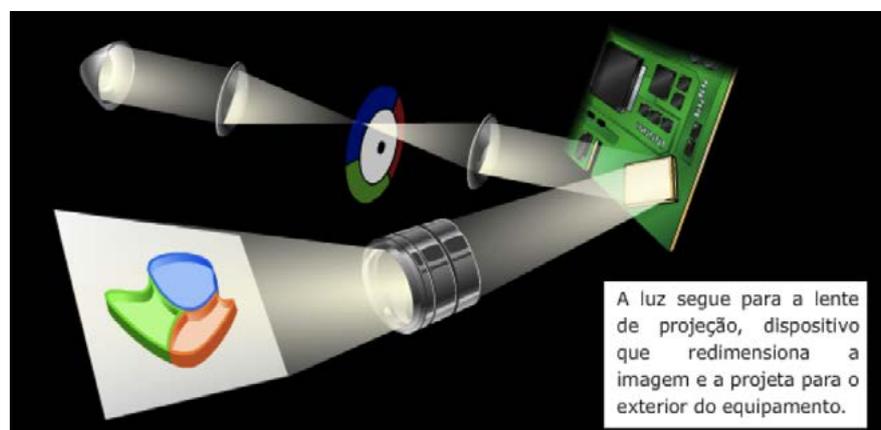
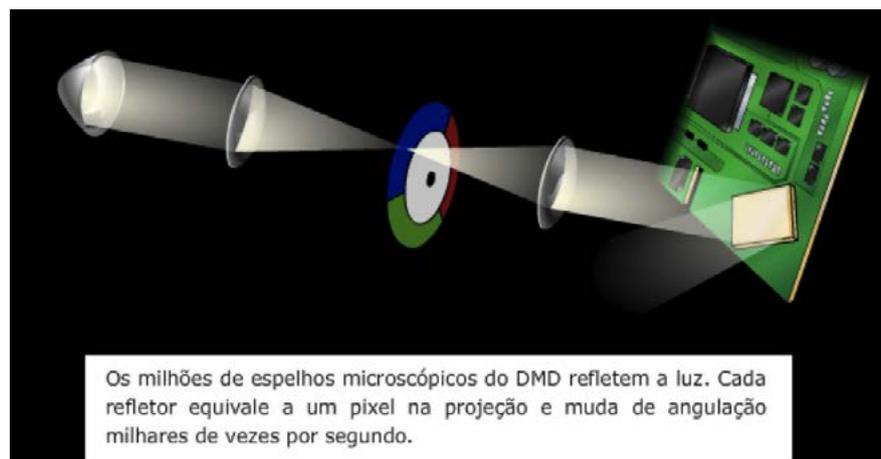
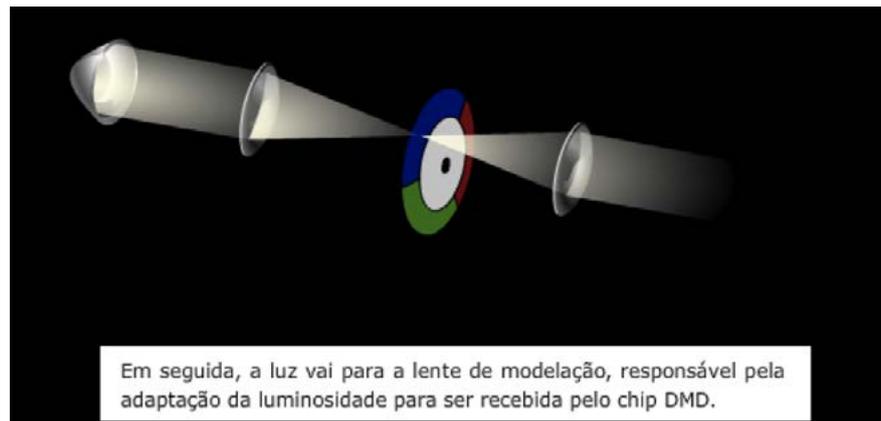
Outro instrumento ótico que é muito usado atualmente é o chamado projetor multimídia ou Datashow. Esse projetor usa uma fonte de luz e seu funcionamento segue basicamente o modelo descrito a seguir.

A projeção tem seu processo iniciado com a fonte de luz. Em equipamentos mais simples, a lâmpada utilizada emite luminosidade parecida com a que usamos no dia a dia.

Após ser condensada por uma lente específica, a luz atravessa um filtro de cores que possui, no mínimo, as cores vermelha, azul e verde. Isso permite que o sistema produza 16,7 milhões de pigmentos diferentes.

Depois de passar por esse filtro, a luz entra na fase primordial da projeção. Ela encontra-se com o *Digital Micromirror Device* (DMD). Esse dispositivo é um semicondutor que possui uma matriz com mais de 2 milhões de espelhos microscópicos, que podem ser movimentados entre as posições "on" e "off" milhares de vezes por segundo. Esse sistema é o responsável pela formação da imagem. Após passar por outra lente, é projetada em uma tela com toda a riqueza de cores e detalhes. Esses passos são mostrados na sequência de figuras, de 1 a 6 a seguir.





Baseado no texto Como funcionam os projetores e televisores com tecnologia DLP? de Fernando Daquino. Disponível em: <http://www.tecmundo.com.br/projetor/8160-como-funcionam-os-projetores-e-televisores-com-tecnologia-dlp-.htm>. Acesso em 07 jul.2016.

Revisão

O olho humano pode ser simplificado como um sistema ótico composto de uma lente convergente, em que as imagens são

formadas invertidas sobre a retina. O cérebro é responsável por inverter as imagens. Olhos míopes devem corrigir o defeito de visão utilizando lentes divergentes. Olhos hipermetropes devem corrigir o defeito de visão utilizando lentes convergentes.

A lupa é uma lente convergente de grande distância focal e permite obter imagens diretas e maiores dos objetos observados.

A máquina fotográfica se parece bastante com o olho humano e é constituída de uma lente convergente, em que as imagens são formadas sobre o filme. As imagens são invertidas e reais. O microscópio é um sistema ótico constituído de duas lentes: a objetiva e a ocular. As duas lentes são convergentes e é a ocular que faz a ampliação dos objetos.

Exercícios

1. Suponha que o olho humano possua uma lente convergente de distância focal 25 mm.
 - a. Calcule a distância da imagem para um objeto de 5 cm de altura, situado a 1,5 m de um observador.
 - b. Calcule o tamanho dessa imagem.

OBS: O valor encontrado por você para o tamanho da imagem não é real. De fato, esse valor seria correto se o cristalino (a lente que “focaliza” a imagem sobre a retina), estivesse mergulhada no ar ($n \approx 1$). Para obtermos o valor correto, devemos levar em conta o meio que envolve o cristalino, cujo índice de refração é 1,336. Faça a “correção” dos valores encontrados por você, dividindo-os pelo índice de refração mencionado

2. Um projetor de *slides*, com lente de 10 cm distância focal, projeta uma imagem sobre um anteparo que se encontra a 2,5 m da lente. Calcule:

A lupa é uma lente convergente de grande distância focal e permite obter imagens diretas e maiores dos objetos observados.

- a. A distância entre o *slide* e a lente.
 - b. O aumento da imagem.
 - c. O tamanho da imagem de um *slide* de 35 mm.
3. Para fazermos fotos a pequenas distâncias (macrofotografia), utilizamos uma lente de 40 mm de distância focal.
- a. Se a lente pode estar no máximo a 5,20 cm do filme, qual será a menor distância (a partir da lente) para a qual será possível focalizar bem um objeto?
 - b. Qual é o aumento, nesse caso?
4. Uma câmara fotográfica, com lente de distância focal de 5 cm, é usada para fotografar uma árvore de 1,68 m de altura.
- a. A que distância da árvore deve ser posicionada a lente da câmara para que o tamanho da imagem no filme seja de 2 cm?
 - b. Calcule a distância entre a lente e o filme.



Saber mais sobre a lupa:

ALVARENGA, Beatriz; MÁXIMO, Antônio. *Curso de Física*. v. 2. São Paulo: Editora Scipione, 2005.

SILVEIRA, Fernando Lang da; AXT, Rolando. *Uma dificuldade recorrente em óptica geométrica – Uma imperceptível descontinuidade de imagem na lupa*. *Rev. Bras. de Ensino de Física*, v. 28, n. 4, p. 421-425. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172006000400003&script=sci_arttext>. Acesso em: 25 jun. 2015.

Gabarito**1.****a.** $d_i = 25,42 \text{ mm}$ **b.** $H_i = 0,063 \text{ cm}$ Corrigidos: $d_i = 19,03 \text{ mm}$ e $H_i = 0,063 \text{ cm}$ **2.****a.** $d_o = 10,42 \text{ cm}$ **b.** $A = 24$ **c.** $H_i = 84 \text{ cm}$ **3.****a.** $d_o = 173 \text{ mm}$ **b.** $A = 0,30$ **4)****a.** $d_o = 3,25 \text{ m}$ **b.** $d_i = 3,87 \text{ cm}$

Referências

8º RELATÓRIO – Dilatação Térmica 9, 2. In: Site “Ebah”. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgEgoAJ/8-relatorio-dilatacao-termica-9-2>>. Acesso em: 02 jun. 2015.

ALVARENGA, Beatriz; MÁXIMO, Antônio. *Curso de Física*. São Paulo: Editora Scipione, 2005. v. 2.

[A MIOPIA e o míope]. In: Site “O estrabismo”. Disponível em: <<http://oestrabismo.com/miopia/>>. Acesso em: 26 jun. 2015.

BLACKWOOD, Oswald H. *Física na Escola Secundária*. 6 ed. Rio de Janeiro: Editora Fundo de Cultura, 1971.

[Calota Esférica]. PORTAL UOL – Alunos On Line. Disponível em: <<http://www.alunosonline.com.br/upload/conteudo/images/calota-esferica.jpg>>. Acesso em: 07 jul. 2016.

[Celsius]. Disponível em: <<http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo2B/Calor/celsius.gif>>. Acesso em: 02 jun. 2015.

CONHEÇA os itens de informação obrigatória no rótulo nutricional das embalagens de alimentos. In: Site “Diário Verde”. Disponível em: <<http://diarioverde.com.br/2016/02/01/como-ler-ou-decifrar-os-rotulos-dos-alimentos-e-haja-paciencia/>>. Acesso em: 16 maio 2016.

[Convecção]. Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com/fisica/radiacao-conducao-conveccao.htm>>. Acesso em: 02 jun. 2015.

[Constituição de uma Fibra Ótica]. In Site: “IMG”. Disponível em: <http://www.img.lx.it.pt/~mpq/st04/ano2002_03/trabalhos_pesquisa/T_5/FO_ficheiros/image013.jpg>. Acesso em: 19 ago. 2016.

[Convergente]. In Site: “Wikimedia Commons”. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Convergent_ray.png>.

upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/9d/Lentille_convergente_image.svg/355px-Lentille_convergente_image.svg.png.

Acesso em: 07 jul. 2016.

[Deslocamento em Função da Posição]. In Site: "Sou Mais ENEM". Disponível em: <<http://soumaisenem.com.br/sites/default/files/onda3.jpg>>. Acesso em: 28 jun. 2016.

[Deslocamento em Função do Tempo]. In Site: "8 Ondas Sonoras". Disponível em: <http://8ondassonoras.weebly.com/uploads/2/4/5/8/24589599/3929910_orig.jpg>. Acesso em: 28 jun. 2016.

[Difração da Onda]. In BLOG DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA. Interferência e Difração: Física. 25 jul. 2012. Disponível em: <<http://hudsonzanin.blogspot.com.br/2012/07/interferencia-e-difracao-fisica.html>>. Acesso em: 17 jun. 2015.

DILATAÇÃO anômala da água. In: Site "Wikipédia". Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Dilata%C3%A7%C3%A3o_an%C3%B4mala_da_%C3%A1gua>. Acesso em: 15 jun. 2016.

[Efeito Doppler]. In Site: "AlunosOnline". Disponível em: <<http://alunosonline.uol.com.br/upload/conteudo/images/ambulancia-em-movimento.jpg>>. Acesso em: 04 jul. 2016.

[Elevador Hidráulico]. In: ELEVADOR de 4 colunas eletro-hidráulico 3500 KG FV4813. Site "Ferramenta Vitalícia". Disponível em: <http://www.ferramentavitalicia.com/contents/pt/p10447_ELEVADOR_DE_4_COLUNAS_.html>. Acesso em: 29 jan. 2015.

[Empuxo]. Disponível em: <http://www.bertolo.pro.br/Biofisica/Fluidos/buoy_1.gif>. Acesso em: 13 jun. 2016.

[Estados físicos da matéria]. Disponível em: <<https://manualdoestudante.wordpress.com/2010/02/27/quimica-mudancas-de-estado-fisico/>>.

Acesso em: 02 jun. 2015.

EXPERIMENTO DE TORRICELLI. In: Acosta, Juan Aznar. et al. *Ciências de la naturaleza 1º eso*. Oxford Educación, 2011. Disponível em: <<http://librodigital.oupe.es/oxed/alumno/ciencias-de-la-naturaleza-1-eso-mec-proyecto-adarve/ebook/5-5-la-presion-atmosferica.html>>. Acesso em: 10 abr. 2015.

FERNANDES, Sheila. *Não existe quantidade segura de refrigerante para a criança tomar*. 12 ago. 2013. In: Site "Uol – Estilo de vida". Disponível em: <<http://estilo.uol.com.br/gravidez-e-filhos/noticias/redacao/2013/08/12/nao-existe-quantidade-segura-de-refrigerante-para-a-crianca-tomar.htm>>. Acesso em: 13 jun. 2016.

[Fibra Ótica]. In Site: "TCA – Parceria em Tecnologia". Disponível em: <<http://tca.com.br/empresa/Imagens/fibra.jpg>>. Acesso em: 19 ago. 2016.

[Foco em um Espelho Esférico Côncavo]. In Site: "Mundo Educação". Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com/fisica/foco-um-espelho-esferico.htm>>. Acesso em: 07 jul. 2016.

[Foco em um Espelho Esférico Convexo]. In Site: "Mundo Educação". Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com/fisica/foco-um-espelho-esferico.htm>>. Acesso em: 07 jul. 2016.

[Formação de Imagens com Espelhos Planos]. In Site: "UFRGS". Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20022/Rod_Oliveira/textos/optica.htm>. Acesso em: 07 jul. 2016.

[Formação de Sombra] In: BLOG OS FUNDAMENTOS DA FÍSICA. Disponível em: <<http://osfundamentosdafisica.blogspot.com.br/2014/08/cursos-do-blog-termologia-optica-e-ondas.html>>. Acesso em: 07 jul. 2016.

FLUTUABILIDADE. In: Site "PhET – Interactive Simulations". Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/buoyancy>. Acesso em: 29 jan. 2015.

Gráfico das Mudanças de Estados Físicos. In: Site "SOQ Portal de Química". Mudanças de fases e gráficos. Disponível em: <<http://www.soq.com.br/conteudos/em/introducao/p3.php>>. Acesso em: 17 maio 2016.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. *Fundamentos de Física*. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996. v. 2.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de Física*. v. 2 - Gravitação, Ondas e Termodinâmica. 9 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HEWITT, Paul G. *Física Conceitual*. 11 ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

HEWITT, Paul. *Fundamentos de Física Conceitual*. 11 ed. São Paulo: Bookman, 2011.

[HIPERMETROPIA]. In: Site "Serviços Vera Cruz". Disponível em: <<http://royalline.no.comunidades.net/visao>>. Acesso em: 26 jun. 2015.

[Iceberg]. Disponível em: <<http://www.wonderwhizkids.com/icebergs>>. Acesso em: 13 jun. 2016.

[Imagens em Espelhos Esféricos]. In Site: Portal do Professor. Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/discovirtual/galerias/imagem/0000003161/md.0000035605.png>>. Acesso em: 07 jul. 2016.

[Imagem Refletida no Espelho Plano]. In Site "InfoEscola". Disponível em: <<http://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2009/08/1-badd248955.jpg>>. Acesso em: 07 jul. 2016.

[Infravermelho]. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/quimica/raios-infravermelhos.htm>>. Acesso em: 02 jun. 2015.

[Irradiação térmica]. Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/irradiacao-termica/irradiacao-termica.php>>. Acesso em: 12 jun. 2015.

[Lupa]. In Site: "Folha da Manhã". Disponível em: <<http://www.fmanha.com.br/blogs/opinioes/wp-content/uploads/2014/11/lupa.png>>. Acesso em: 25 jun. 2015.

[Microscópio]. In: Site: "Dax Resolve". Física - Instrumentos Ópticos - Microscópios e Telescópios. Disponível em: <http://www.da-educacao.com/2009/10/plantao-de-duvidas-on-line-fisica_13.html>. Acesso em: 26 jun. 2015.

[Modos de Vibração da Corda]. In BLOG ELETROMAGNETISMO. Ondas estacionárias aplicadas as cordas de instrumentos musicais. 20 nov. 2012. Disponível em: <http://3.bp.blogspot.com/-B9MG2J7559w/UKw3h_sg50I/AAAAAAAAACw/3CO7Ak9IHu0/s1600/violao.jpg>. Acesso em 30 jun. 2016.

[Objeto que não Sofre Inversão Direita / Esquerda]. In Site: "Cola da web". Disponível em: <<http://www.coladaweb.com/wp-content/uploads/espelhos2.jpg>>. Acesso em: 07 jul. 2016.

[O Fenômeno da Reflexão de um Pulso em Extremidade fixa (1) e em Extremidade livre (2)] In Site: "Portal do Professor". Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/discovirtual/galerias/imagem/0000000595/0000005761.png>>. Acesso em: 30 jun. 2016.

[O Funcionamento da Fibra Ótica]. In Site: "Oficina da Net". Disponível em: <<https://www.oficinadanet.com.br/artigo/redes/o-que-e-fibra-optica-e-como-funciona>>. Acesso em: 19 ago. 2016.

[Olho humano]. In: Site "Só Física". Disponível em: <<http://www.sofisica.com>>.

com.br/conteudos/Otica/Instrumentosoticos/olhohumano.php>. Acesso em: 25 jun. 2015.

[Ondas eletromagnéticas]. Disponível em: <http://www.aulas-fisica-quimica.com/7e_11.html>. Acesso em: 12 jun. 2015.

[Onda Transversal e o Pulso]. In "Site": "Colégio Web". Disponível em: <<http://www.colegioweb.com.br/nocoes-gerais-de-ondas/ondas-longitudinais-e-ondas-transversais.html>>. Acesso em: 29 jun. 2016.

[Ondas Sonoras no Ar]. In Site: "Wikimedia Commons". Disponível em: <<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/82/CPT-sound-physical-manifestation.svg/2000px-CPT-sound-physical-manifestation.svg.png>>. Acesso em: 04 jun. 2016.

[Os Sentidos de Vibração]. In: Site "Os Fundamentos da Física". Disponível em: <http://osfundamentosdafisica.blogspot.com.br/2013/11/cursos-do-blog-termologia-optica-e-ondas_19.html>. Acesso em: 29 jun. 2016.

[Princípio de Pascal]. In: SILVA, Marco Aurélio da. *Máquinas Hidráulicas: a aplicação do princípio de Pascal*. Site "Brasil Escola". Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/fisica/maquinas-hidraulicas-aplicacao-principio-pascal.htm>>. Acesso em: 29 jan. 2015.

[Princípio da Independência dos Raios Luminosos]. In Site "Física e Vestibular". Disponível em: <<http://fisicaevestibular.com.br/optica1.htm>>. Acesso em: 07 jul. 2016.

[Princípios da Reflexão]. In: Site "Mundo Educação". Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com/upload/conteudo/Raio%20incidente%20e%20raio%20refletido.jpg>>. Acesso em: 07 jul. 2016.

[Propriedades dos Raios Luminosos que passam pelo Centro de Curvatura]. In: Site "UFRGS". Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20022/Rod_Oliveira/textos/optica.htm>. Acesso em: 07 jul. 2016.

[Propriedades dos Raios Luminosos que passam pelo Foco Espelho Côncavo à Esquerda e Convexo à Direita]. In Site: "Info Escola". Disponível em: <<http://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2009/08/1-8a37533147.jpg>>. Acesso em: 07 jul. 2016.

[Pulsos Refratados]. In Site: "Alunos Online". Disponível em: <<http://alunosonline.uol.com.br/upload/conteudo/images/pulso-refratado.jpg>>. Acesso em: 25 jul. 2016.

[Raios de Luz em Lentes. Raios em Direção ao Foco à Esquerda e Paralelos à Direita]. In Site: "Brasil Escola". Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/upload/conteudo/images/foco-principal-objeto.jpg>>. Acesso em: 07 jul. 2016.

[Raios e Lentes]. In Site: "Física e Vestibular". Disponível em: <<http://www.fisicaevestibular.com.br/optica12.htm>>. Acesso em: 07 jul. 2016.

[Raios Paralelos]. In: Site "Mundo Educação". Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com.br/upload/conteudo/divisoes%20da%20optica%20fig%201.jpg>>. Acesso em: 07 jul. 2016.

[Reflexão de Ondas]. In Site: "Infravermelho". Disponível em: <<http://2.bp.blogspot.com/-ZlylJUHIJHc/UgRXdDqmOwI/AAAAAAAAAERI/PjfpFCh85J0/s1600/Reflection-Water-Waves.gif>>. Acesso em: 30 jun. 2016.

[Refração da Luz]. In: Site "USP". Disponível em: <<http://cepa.if.usp.br/efisica/imagens/optica/basico/cap06/fig03.gif>>. Acesso em: 07 jul. 2016.

SEARS; ZEMANSKY. *Física II - Termodinâmica e ondas*. 12 ed. São Paulo: Pearson, 2008

SILVA, Domiciano Correa Marques da. *Lupa ou microscópio*. In: Site "Mundo Educação". Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com/fisica/lupa-ou-microscopio-simples.htm>>. Acesso em: 26 jun. 2015.

SILVA, Domiciano Correa Marques da. *Máquina Fotográfica*. In: Site "Mundo Educação". Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com/fisica/maquina-fotografica.htm>>. Acesso em: 25 jun. 2015.

SILVA, Domiciano Correa Marques da. *Projetores de imagens*. In: Site "Mundo Educação". Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com/fisica/projetores-imagens.htm>>. Acesso em: 25 jun. 2015.

SILVEIRA, Fernando Lang da; AXT, Rolando. *Uma dificuldade recorrente em óptica geométrica – Uma imperceptível descontinuidade de imagem na lupa*. Rev. Bras. de Ensino de Física, v. 28, n. 4, p. 421-425. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172006000400003&script=sci_arttext>. Acesso em: 25 jun. 2015.

[Termômetro]. Disponível em: <<https://ipemsp.wordpress.com/2010/04/12/termometro-clinico-como-funciona-e-o-que-verificar-ao-se-comprar-um/>>. Acesso em: 12 jun. 2015.

[Timbres de Diferentes Fontes]. In: Site "Sociedade Racionalista". Disponível em: <<http://sociedaderacionalista.org/wp-content/uploads/2013/07/image031.jpg>>. Acesso em: 04 jul. 2016.

[Tipos de Lentes]. In: Site "Slide Share". Disponível em: <<http://image.slidesharecdn.com/pticalentes-140915203030-phpapp01/95/ptica-geomtrica-lentes-19-638.jpg?cb=1410814407>>. Acesso em: 07 jul. 2016.

YOUNG; FREEDMAN. *Livro Física II – Termodinamica e Ondas*. 14 ed. São Paulo: Pearson, 2014.

YOUNG, D. Hug; FREEDMAN, Roger A. *Física*. 10 ed. São Paulo: Addison Wesley. v. 2.



www.animaeducacao.com.br

