



Experimentando o fenômeno da difração

Fascículo 8
Unidade 19

Experimentando o fenômeno da difração

Para início de conversa...

O fato de você não conseguir ver algo, não quer dizer que ele não exista. Talvez, você apenas não tenha instrumentos ou técnicas para observá-lo.

Até o século XIX, por exemplo, uma grande quantidade de pessoas morriam de doenças inexplicáveis, um certo “mal invisível” acometia-as. Tempos depois, como você viu nas Unidades 1 e 2, foram difundidos e aperfeiçoados instrumentos que possibilitavam a observação física (por meio de instrumentos) dos microorganismos que causavam tantas doenças. Era a difusão dos microscópios.

O aperfeiçoamento de instrumentos e técnicas em Ciência e Tecnologia é uma busca constante. Assim, desde a construção dos primeiros microscópios ópticos, por Von Leeuwenhoek, foram possíveis outros avanços na direção de se conseguir obter imagens de objetos de tamanhos muito, muito pequenos (mais de um milhão de vezes menores do que a cabeça de um alfinete!).

Um desses equipamentos, por exemplo é o microscópio eletrônico, que opera baseado em um fenômeno da Física: a difração. Este fenômeno é relativamente complexo, mas você pode visualizá-lo no seu dia a dia. Ele explica, por exemplo, por que você consegue escutar atrás da porta...

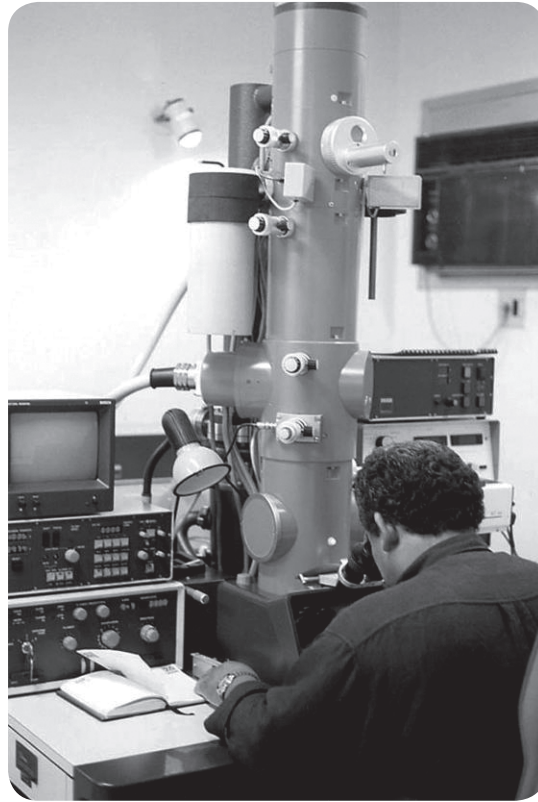


Figura 1: Microscópio eletrônico de transmissão, um exemplo de utilização da difração de ondas

Objetivos de aprendizagem

- Compreender o fenômeno da difração e o limite da sua ocorrência;
- Descrever o fenômeno de difração da luz;
- Identificar a difração do som.

Seção 1

Difração

A chamada difração de uma onda é um fenômeno que ocorre no dia a dia sob certas condições e seus efeitos são percebidos pelos nossos sentidos sem que saibamos por que eles ocorrem. Assim, vale a pena estudar este interessante fenômeno, para compreendê-lo melhor. Ela pode acontecer quando a onda contorna um obstáculo ou passa por uma abertura. Vamos explicar melhor. A ponta de uma rocha que emerge e fica exposta na superfície pode representar um obstáculo a ser contornado pelas ondas do mar, caso ocorra a difração dessas ondas.

No caso da luz, esta pode incidir em uma abertura representada, por exemplo, por um pequeno orifício produzido em um pedaço de cartolina que irá difratar as ondas de luz sob certas condições.

O fenômeno da difração

Vamos considerar que o orifício na cartolina seja iluminado por uma lanterna, para entendermos o fenômeno da difração. Chamaremos a lanterna de fonte de onda luminosa, a cartolina de anteparo e o orifício nela de abertura ou fenda.

Quando a onda (no exemplo, a luz que sai da lanterna) encontra o anteparo (cartolina) e este apresenta uma abertura (fenda – orifício na cartolina), a difração poderá ocorrer. Entretanto, para isso, é necessário que seja satisfeita uma condição: a largura da abertura (orifício na cartolina) deve ser aproximadamente igual ao comprimento de onda relativo à onda que incide na abertura. A figura a seguir ilustra três casos onde o fenômeno pode ocorrer ou não.

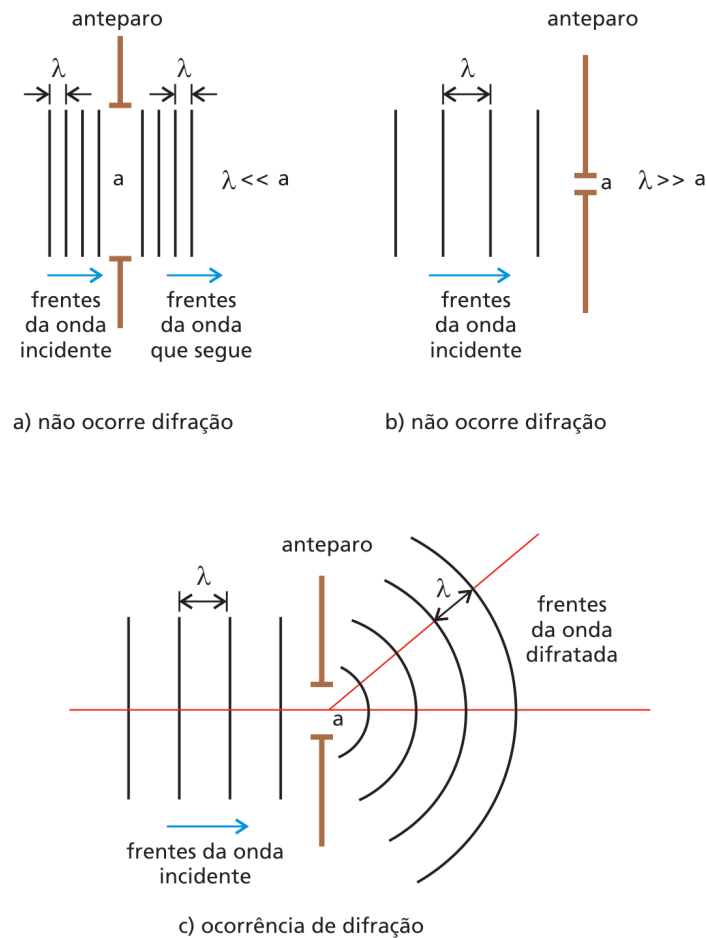


Figura 2: Condições para ocorrência de difração

No primeiro caso, temos uma onda incidente cujo comprimento de onda (λ) é muito menor que a abertura (a) e a onda passa pela fenda. É o caso de, por exemplo, fazermos um orifício do tamanho da palma da mão e utilizarmos como fonte luminosa uma lanterna. O comprimento de onda da luz é da ordem de 10^{-6} m; logo, é tão pequeno em relação ao espaço da fenda que a difração não acontece.

No segundo caso, o comprimento de onda (λ) é muito maior e a difração da onda também não acontece. É como se fizéssemos um orifício com um alfinete na cartolina e sobre ele incidisse uma onda de comprimento de onda muito grande em relação ao tamanho do orifício, o que não seria possível com a onda de luz, já que o seu comprimento de onda é pequeno (10^{-6} m).

O fenômeno da difração é observado no terceiro caso, onde a largura da abertura (a) e o comprimento de onda (λ) são muito parecidos. Isso equivale a fazer um experimento com uma lanterna e um orifício bem pequeno na cartolina, de tal maneira que o tamanho do orifício aproxime-se ao máximo do comprimento de onda da luz.

A rigor, esse limite de aproximação é difícil de ser atingido, uma vez que a ponta de um alfinete não pode produzir um orifício tão pequeno, da ordem de 10^{-6} m. Entretanto, mesmo neste caso, o fenômeno já pode ser observado e a difração da onda pela fenda será tão mais acentuada quanto mais o seu comprimento de onda aproximar-se das dimensões da fenda. Outra observação importante está relacionada com o primeiro caso discutido anteriormente. Na realidade, o resultado experimental irá exibir alguma difração das ondas, nas bordas da fenda. Entretanto, este efeito não é relevante quantitativamente porque a intensidade da onda que continua a se propagar é muito maior do que a pequena parcela difratada.

Este fenômeno também pode ser observado em ondas que se propagam na água e pode ser reproduzido facilmente, utilizando-se uma cuba de ondas. A figura a seguir ilustra o primeiro e o terceiro casos acima descritos, em um experimento realizado com o auxílio de uma dessas cubas, onde foram obtidas fotografias das duas situações.

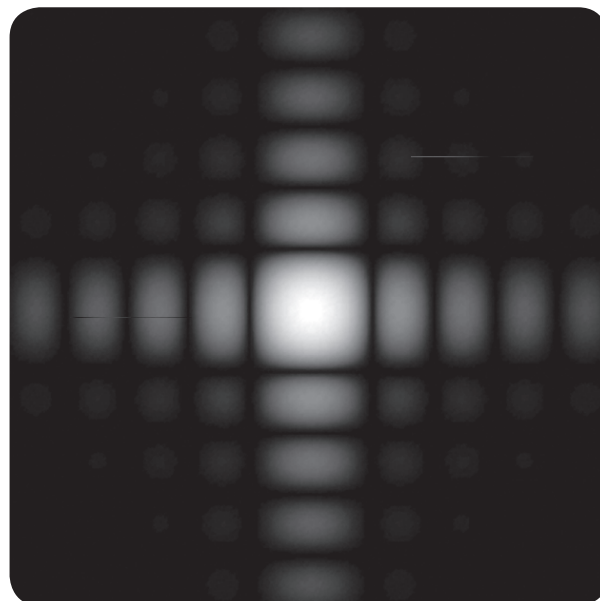


Figura 3: A difração da luz ocorre quando a largura da abertura da fenda é muito próxima ao comprimento da onda, como nesta figura que mostra a difração de um raio laser em um fenda quadrada.

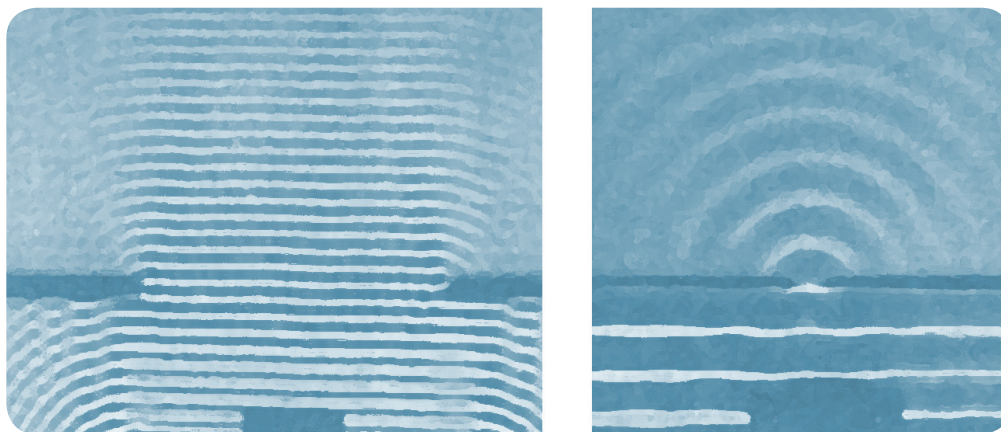


Figura 4: Difração em cubas de ondas

Para exemplificar a difração, vejamos o caso dos chamados Raios-X, um tipo de onda eletromagnética cujo comprimento de onda médio é muito pequeno. A difração de Raios-X é uma técnica que encontra aplicação na caracterização de materiais cristalinos. Da interação dessas ondas com os espaçamentos existentes entre os planos atômicos que constituem o material estudado pode ocorrer a difração. Os padrões de difração resultantes podem ser

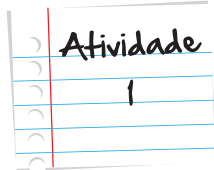
registrados por meio de equipamentos especiais e, a partir da análise desses padrões, é possível obtermos informações a respeito da estrutura do material. O comprimento de onda característico dos Raios-X é compatível, portanto, com as dimensões desses espaçamentos existentes entre os planos atômicos, em uma estrutura cristalina.

Quando ocorre a difração, a fenda comporta-se como se fosse uma fonte pontual que reproduz as mesmas propriedades da fonte que gerou a onda incidente, ou seja, a mesma frequência e o mesmo comprimento de onda. Logo, a onda difratada deverá possuir as mesmas características da onda que chega à fenda.

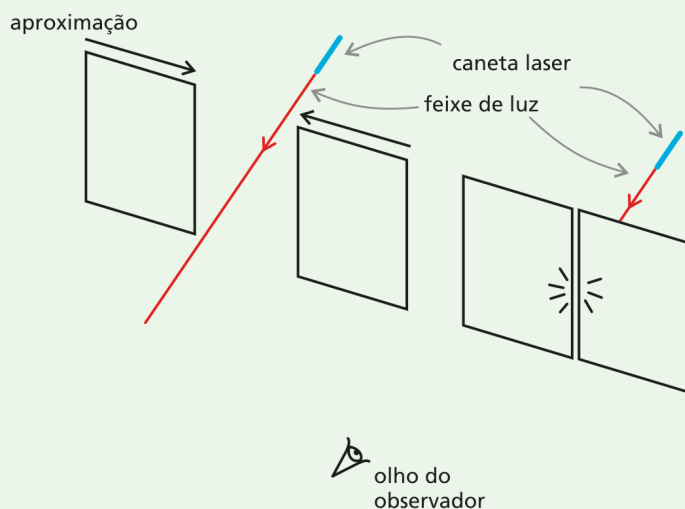


Saiba Mais

Você pode estar se perguntando: por que a onda incidente é formada por frentes retas e paralelas, enquanto a onda difratada apresenta frentes circulares e concêntricas? Aqui é importante esclarecer que a fonte geradora da onda incidente também produziu uma onda de frentes circulares e concêntricas. Entretanto, o que está representado nos desenhos da Figura 2 são trechos de ondas cujas fontes encontram-se muito distantes dos anteparos. As frentes que aparecem nas ilustrações são pequenos trechos de círculos extensos, que foram gerados distante do anteparo e, por isso, parecem planos. São segmentos de círculos cujos raios de curvatura são muito grandes.



Para analisar a difração da luz e o limite da sua ocorrência, obtenha um apontador de LASER, desses que se vende em qualquer loja de presentes de baixo custo e pegue dois cartões de crédito. TOME MUITO CUIDADO PARA QUE O LASER NÃO ATINJA OS SEUS OLHOS. Em seguida, ligue e posicione o apontador de frente para você com os cartões entre o apontador e os seus olhos, conforme na figura a seguir. Você deve analisar o efeito que ocorre com o feixe de luz depois que passa pelos cartões, quando o espaçamento entre eles é suficientemente pequeno para que a difração da luz possa ser observada. Se puder, realize a atividade em um local onde você possa apagar as luzes.



Aparato para observação da difração da luz

Descreva o que você observou em cada situação.

Anote suas
respostas em
seu caderno

Seção 2

Difração do som

O fenômeno da difração também pode acontecer com o som, que, assim como a onda de luz e as ondas que se propagam no mar, é também uma onda.

Vamos imaginar que pudéssemos construir salas de aula com material que fosse um perfeito isolante acústico. Imagine que a porta da sala estivesse aberta e você se posicionasse da seguinte forma: próximo à parede da sala, pelo lado de fora, ao lado da porta. Conseguiríamos ouvir o som que sai da sala?



Figura 5: Sempre é possível escutar "atrás da porta"?

Ora, isso depende da ocorrência da difração da onda do som ou não. Se conseguirmos, a responsável por isso será a difração. Vamos ver duas situações:

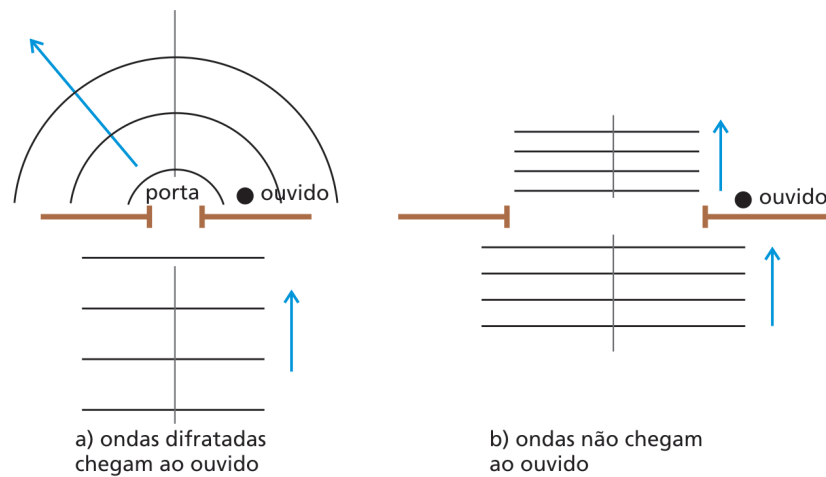
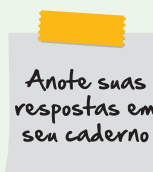
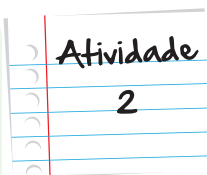


Figura 6: O que acontece com uma onda sonora, quando se depara com um anteparo, depende do comprimento da onda em relação à largura da fenda neste anteparo.

No primeiro caso da figura anterior, temos a ocorrência da difração e, portanto, é possível ouvir na posição em que se encontra a pessoa. Isso seria possível porque o comprimento de onda relativo à onda de som é aproximadamente igual à dimensão da largura de uma porta. Logo, esta porta funcionaria como fenda ideal para que a difração acontecesse e a onda contornasse a abertura. Entretanto, se a porta fosse muito larga, com as dimensões muito maiores que o comprimento de onda característico das ondas sonoras, como no segundo caso, o ouvido da pessoa que estivesse posicionada ao lado da porta não seria atingido pelas frentes da onda difratada, já que não ocorreria a difração.

(UFRJ) A difração da luz só é nitidamente perceptível quando ocasionada por objetos pequeninos, com dimensões inferiores ao milésimo de milímetro. Por outro lado, diante de obstáculos macroscópicos, como uma casa ou seus móveis, a luz não apresenta difração, enquanto que o som difrata-se com nitidez. A velocidade de propagação do som no ar é de cerca de 340 m/s e o intervalo de frequências audíveis vai de 20 Hz até 20000 Hz. Calcule o intervalo dos comprimentos de onda audíveis e com esse resultado explique por que há difração do som diante de objetos macroscópicos.



Utilizamos os casos do som e da luz, por serem exemplos concretos e possíveis de você observar. O fenômeno da difração poderia parecer uma coisa distante de nós, mas, se pensarmos em diversas situações do dia a dia, percebemos que isso não é necessariamente verdade.

Da configuração de um projeto de iluminação por um arquiteto até o simples “escutar atrás da porta”, a ocorrência da difração de ondas é algo que permeia o nosso entorno. Há exemplos dos quais você ainda nem faz ideia, como é o caso das ondas eletromagnéticas do sinal de telefonia celular, que sofrem sucessivos processos de difração ao se propagarem pelas cidades, mas que às vezes somem porque não conseguem difratar ao encontrar um obstáculo de dimensões incompatíveis (um morro, por exemplo). Ou o que acontece mesmo com os elétrons em um microscópio eletrônico, que tem permitido aos cientistas responderem a uma série de perguntas importantes sobre o funcionamento das células dos seres vivos, utilizando o fenômeno da difração.

Os estudos até aqui realizados mostraram que a difração pode ocorrer com qualquer tipo de onda, sejam elas as ondas do mar, o som, a luz e outras ondas eletromagnéticas, como os Raios-X. A condição para a ocorrência da difração é que o tamanho do comprimento de onda (λ) seja próximo do tamanho da fenda, ou do obstáculo com o qual a onda vai interagir. Nesse caso, quanto mais próximos forem esses valores, mais perceptível será a difração. Além disso, a onda difratada irá preservar as mesmas características da onda incidente.

A difração pode explicar para nós um pouco daquilo que, experimentalmente, podemos observar no dia a dia. Esse é um dos importantes papéis que a Física desempenha e, para isso é que desejamos sensibilizar vocês com os conteúdos apresentados neste módulo.



Difração e microscopia

Quando nos referimos às técnicas de microscopia e aos microscópios, quase sempre nos vem à cabeça aquele aparelho que foi desenvolvido pelo microscopista Von Leeuwenhoek (1632-1723), mais comumente encontrado nas bancadas dos laboratórios de ciências e utilizado para a realização de análises clínicas ou de amostras biológicas, dentre outras aplicações. Esses instrumentos são microscópios ópticos, ou seja, funcionam baseados em princípios e métodos que envolvem a incidência da luz sobre a amostra e, de maneira geral, possibilitam uma ampliação de 1.000 vezes da área analisada.

Outra forma de obter imagens de estruturas microscópicas é através do uso de microscópios eletrônicos. Nesse caso, ocorre a incidência de um feixe de elétrons na amostra ao invés de luz. Esses aparelhos são muito poderosos e permitem ampliações bem maiores do que aquelas fornecidas pelos microscópios ópticos, podendo chegar até 1.000.000 de vezes de aumento da região analisada. Além disso, funcionam como instrumentos analíticos bastante completos, na medida em que possibilitam a realização de avaliações acerca da composição química e, principalmente, permitem identificar as características físicas relacionadas com a estrutura cristalina da amostra, a partir da utilização de técnicas de difração de elétrons. Devido a isso, esses instrumentos têm sido largamente utilizados nas áreas de química, física e engenharia.

Você pode estar se perguntando: se a difração é um fenômeno que ocorre com as ondas, como pode ocorrer a difração de elétrons-partículas materiais?

Sendo o elétron uma partícula de massa conhecida $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ Kg, talvez fosse mesmo difícil atribuir a este corpúsculo uma propriedade que normalmente atribuímos às ondas, como é o caso do fenômeno da difração. Entretanto, a difração de partículas materiais, como os elétrons, foi uma das principais evidências experimentais que ajudou a esclarecer questões levantadas no início do século XX a respeito da natureza ondulatória da matéria, quando da formulação do princípio da dualidade partícula-onda, um dos princípios fundamentais da Mecânica Quântica.

Hoje, a difração de elétrons, amplamente utilizada como técnica de análise, evidencia o comportamento dual da matéria. O que ocorre é que, assim como no caso dos Raios-X, o comprimento de onda (λ) da onda associada ao elétron é da ordem do tamanho dos espaçamentos existentes entre os planos atômicos desses monocristais que funcionam como fendas para os feixes de elétrons acelerados, por exemplo, pelas lentes eletromagnéticas de microscópios eletrônicos de transmissão.

As figuras a seguir ilustram tanto o mecanismo de interação entre os elétrons e a rede de difração que o cristal proporciona, como os padrões obtidos dessa difração realizada em um microscópio eletrônico de transmissão, a partir de um monocristal.

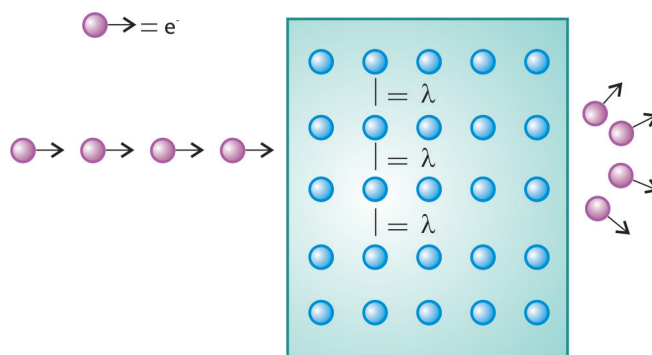


Ilustração do mecanismo de interação elétron – cristal

Resumo

Nesta aula, você viu que:

- A difração é um fenômeno que ocorre em dois casos: quando uma onda precisa contorna um obstáculo que se encontra em seu trajeto, ou quando atravessa uma fenda;
- Para que ocorra a difração da luz em uma fenda, este orifício precisa ter uma largura próxima da medida do comprimento da onda da luz;
- Quando o orifício de um anteparo é maior que o comprimento da onda, estão não sofre modificação em sua trajetória;
- A difração do som ocorre de forma similar à difração da luz, a diferença está no comprimento da onda do som, que por ser maior que a da luz, faz com que a difração ocorra em aberturas maiores do que para a luz.

Veja ainda

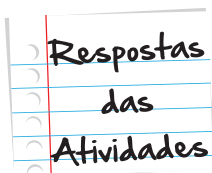
O fenômeno da difração é algo corriqueiro em nosso dia a dia, porém não nos damos conta de sua existência. Ela pode ser observada quando ouvimos sons que passam por obstáculos, ao vermos luz por uma fenda e, em escalas maiores, em ondas do mar, quando encontram grandes obstáculos. A seguir, há dois vídeos bastante interessantes, mostrando experimentos de difração com ondas mecânicas (ondas na água) e com ondas eletromagnéticas (feixe de luz). Veja como essas ondas comportam-se ao atravessar obstáculos diferentes e compare com fenômenos do nosso cotidiano.

O experimento com ondas na água pode ser visto no *link*:

<http://www.youtube.com/watch?v=JrQ1jgwKd-0>

e o experimento com um feixe de luz pode ser visto no *link*:

http://www.youtube.com/watch?v=_BunIbYgwa8



Atividade 1

Inicialmente, o feixe de LASER passa direto entre os cartões e o fenômeno repete-se até que os cartões estejam bem próximos. Quando o espaçamento entre eles se torna muito pequeno, observa-se que a luz que emerge da fenda difrata-se. A partir deste ponto, vários raios divergem. O ponto funciona como se fosse uma fonte pontual, emitindo luz em diversas as direções.

Atividade 2

A relação matemática que envolve a velocidade de propagação da onda (v), o comprimento de onda (λ) e a frequência (f) é:

$$v = \lambda f$$

Logo, para obtermos o intervalo entre os comprimentos de onda, podemos utilizar:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Substituindo os dados fornecidos para os dois valores de λ limites do intervalo:

$$\lambda_1 = \frac{340}{20000} = 0,017\text{m}$$

$$\lambda_2 = \frac{340}{20} = 17\text{m}$$

Referências

- KANTOR, Carlos; PAOLIELLO Jr, Lilio; MENEZES, Luis Carlos; BONNETTI, Marcelo; CANATO Jr, Osvaldo; ALVES, Viviane. Quanto Física. v. 3, Primeira edição, São Paulo: Ed. PD, 2010, 96 p.
- GUIMARÃES, Luiz Alberto; FONTE BOA, Marcelo. Física Ensino Médio. v. 3, Segunda edição, São Paulo: Ed. Futura, 2004, 327 p.

Imagens



- <http://www.sxc.hu/browse.phtml?f=download&id=1381517>.



- <http://teca.cecierj.edu.br/popUpVisualizar.php?id=50138>.



- http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diffraction_ouverture_carree.png?uselang=pt-br.



O que perguntam por aí?

Atividade 1 (UFF-RJ)

A luz visível que atravessa um buraco de fechadura praticamente não sofre desvio porque:

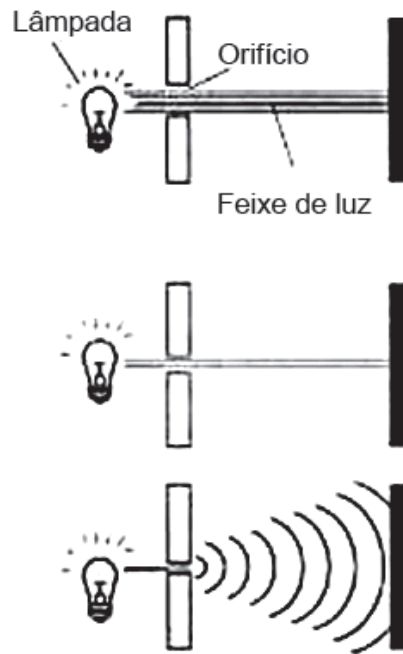
- a. Os comprimentos de onda da luz são muito menores que as dimensões do buraco da fechadura.
- b. Os comprimentos de onda da luz são muito maiores que as dimensões do buraco da fechadura.
- c. Os comprimentos de onda da luz têm dimensões da ordem daquelas do buraco da fechadura.
- d. A luz sempre se propaga na mesma direção.
- e. A luz só muda de direção de propagação, quando passa de um meio para outro.

Resposta: Letra a.

Comentário: Sendo o comprimento de onda da luz (λ) da ordem de 10^{-6} m, fica claro que a difração da luz não pode ocorrer em uma fenda tão grande em relação a λ , como é o caso do buraco da fechadura.

Atividade 2 (ENEM 2011)

Ao diminuir o tamanho de um orifício, atravessado por um feixe de luz, passa menos luz por intervalo de tempo e próximo da situação de completo fechamento do orifício, verifica-se que a luz apresenta um comportamento como o ilustrado nas figuras.



Sabe-se que o som, dentro de suas particularidades, também pode se comportar dessa forma.

Em qual das situações a seguir está representado o fenômeno descrito no texto?

- a. Ao se esconder atrás de um muro, um menino ouve a conversa de seus colegas.
- b. Ao gritar diante de um desfiladeiro, uma pessoa ouve a repetição do seu próprio grito.
- c. Ao encostar o ouvido no chão, um homem percebe o som de uma locomotiva, antes de ouvi-lo pelo ar.
- d. Ao ouvir uma ambulância aproximando-se, uma pessoa percebe o som mais agudo do que quando aquela se afasta.
- e. Ao emitir uma nota musical muito aguda, uma cantora de ópera faz com que uma taça de cristal despedace-se.

Resposta: Letra A.

Comentário: O texto e a figura tratam do fenômeno da difração da luz, que ocorre no limite em que o tamanho do orifício torna-se próximo do comprimento de onda, característico da luz. Nas opções oferecidas, aquela da letra a é a que trata do fenômeno da difração da onda sonora, quando esta incide no muro que funciona como um obstáculo. Como a altura do muro aproxima-se do comprimento de onda do som, a difração ocorre também neste caso.





Atividade extra

Experimentando o fenômeno da difração

Exercício 1 – Adaptado de UFSCAR

Os fenômenos ondulatórios estão presentes no nosso cotidiano como, por exemplo, as ondas sonoras que possuem origem mecânica.

Sobre essas ondas, podemos concluir que:

- a. em meio ao ar, todas as ondas sonoras têm igual comprimento de onda.
- b. assim como as ondas eletromagnéticas, as sonoras propagam-se no vácuo.
- c. assim como as ondas eletromagnéticas, as sonoras também sofrem difração.
- d. a velocidade da onda sonora no ar é próxima a da velocidade da luz nesse meio.

Exercício 2 – Adaptado de UFRN

Na óptica geométrica, utiliza-se o conceito da propagação do raio de luz em linha reta. Isso é o que ocorre, por exemplo, no estudo das leis da refração.

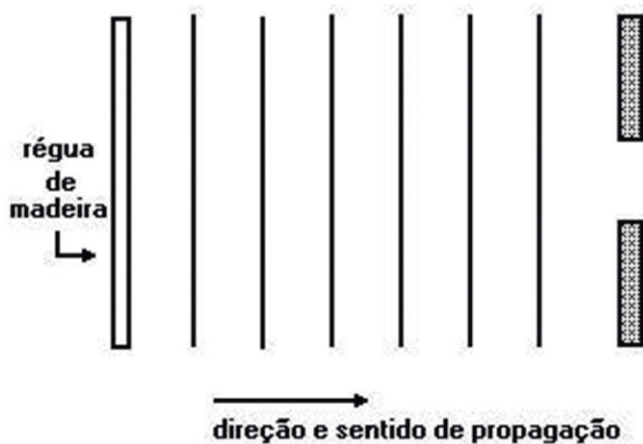
Esse conceito é válido:

- a. somente para espelhos cujas superfícies refletoras sejam compatíveis com a lei de Snell-Descartes.
- b. sempre, independentemente de a superfície refletora ser ou não compatível com a lei de Snell-Descartes.
- c. somente para objetos (obstáculos ou fendas) cujas dimensões relevantes sejam muito maiores que o comprimento de onda da luz.
- d. sempre, independentemente da relação entre a dimensão relevante do objeto (obstáculo ou fenda) e o comprimento de onda da luz.

Exercício 3 – Adaptado de UFMG

Para se estudar as propriedades das ondas num tanque de água, faz-se uma régua de madeira vibrar regularmente, tocando a superfície da água e produzindo uma série de cristas e vales que se deslocam da esquerda para a direita.

Na figura a seguir estão esquematizadas duas barreiras verticais separadas por uma distância aproximadamente igual ao comprimento de onda das ondas.



Após passar pela abertura, a onda apresenta modificação

- a. em sua forma.
- b. na sua frequência.
- c. em sua velocidade.
- d. no seu comprimento de onda.

Exercício 4 – Adaptado de EFOMM

As ondas contornam obstáculos. Isto pode ser facilmente comprovado quando ouvimos e não vemos uma pessoa situada em outra sala, por exemplo. O mesmo ocorre com o raio luminoso, embora este efeito seja observável em condições especiais.

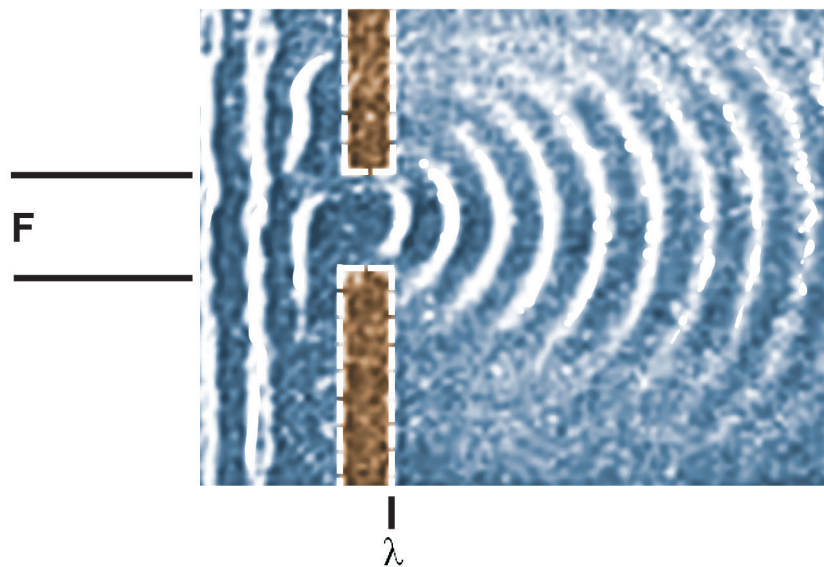
O fenômeno acima descrito é chamado de:

- a. difusão.

- b. difração.
- c. refração.
- d. reflexão.

Exercício 5 – Adaptado de UFRS

Uma sequência de ondas planas de comprimento de onda λ , que se propaga para a direita em uma cuba com água, incide em um obstáculo que apresenta uma fenda de largura F . Ao passar pela fenda, a sequência de ondas muda sua forma, como se vê na fotografia a seguir.



Responda:

- a. Qual é o fenômeno físico que ocorre com a onda quando ela passa pela fenda?
- b. O que aconteceria se aumentássemos o tamanho da fenda de forma que F fosse bem maior que λ ?

Gabarito

Exercício 1 – Adaptado de UFSCAR

A B C D
☐ ☐ ☒ ☐

Exercício 2 – Adaptado de UFRN

A B C D
☐ ☐ ☒ ☐

Exercício 3 – Adaptado de UFMG

A B C D
☒ ☐ ☐ ☐

Exercício 4 – Adaptado de EFOMM

A B C D
☐ ☒ ☐ ☐

Exercício 5 – Adaptado de UFRS

Difração.

Quando o orifício de um anteparo é maior que o comprimento da onda, então a onda não sofre modificação em sua trajetória.