

A ACEITAÇÃO DO MODELO ONDULATÓRIO PARA A LUZ E ALGUMAS DE SUAS CONSEQUÊNCIAS

Conforme já estudamos, a luz é o exemplo mais perceptível de ondas eletromagnéticas, pois nossos olhos estão adaptados para enxergá-la. No entanto, no nosso dia a dia atribulado, não percebemos a luz que nos ilumina durante o dia. Em geral, só "sentimos" a presença desta quando ela é bastante intensa. Vamos refletir um pouco sobre o assunto. Se durante o dia a luz do Sol é a responsável pela iluminação da Terra, o que é essa claridade que nos rodeia? Tudo isto é luz, que está dispersa pelo espaço. A luz se propaga? Ora, se a claridade que nos rodeia é luz originária do Sol, esta teve que se deslocar até a Terra. Antigamente, pensava-se que a velocidade da luz era infinita, ou seja, instantânea. Entre outros que acreditaram no contrário, Galileu Galilei¹ (1564-1662) até tentou medi-la, mas apenas chegou à conclusão de que era muito rápida. Hoje, sabemos que a velocidade da luz é da ordem de 300.000 km/s. Para se ter uma idéia de sua rapidez, ela leva aproximadamente 8 minutos para chegar do Sol até aqui. Isso representa uma velocidade muito grande, uma vez que o Sol está aproximadamente a 150.000.000 km da Terra.

Mas, você já pensou profundamente sobre o que é luz? Como ela se propaga? Como ela está relacionada à visão? Qual a relação entre luz e cores? É possível que, caso você nunca tenha pensado no assunto antes, estas perguntas tenham despertado o seu interesse. Estas questões vêm preocupando muitos homens ao longo da história da humanidade e a até hoje, como muitos outros "objetos" da ciência, a luz não está completamente entendida e ainda suscita muitas dúvidas e questões.

Ao contrário do que pensam alguns, a ciência ainda tem muito para descobrir e o entendimento que tem hoje dos fenômenos que estuda não está livre de erros. Tentamos explicar os fenômenos através do uso de modelos, os quais são usados até que se perceba que este não é mais suficiente para explicar todos os aspectos envolvidos na questão em estudo. Assim, esse modelo vem a ser substituído ou reestruturado. É dessa maneira que a ciência evolui. Para que você possa ter uma ilustração sobre como isso acontece, vamos conversar sobre a natureza da luz, ou seja, o que é a luz. Essa questão já foi respondida de várias maneiras, respostas estas muitas vezes contraditórias entre si. Vamos neste texto, contar um pouco desta história e nos deter no estudo de um experimento muito importante na história da ciência para aprimorar o entendimento sobre a natureza da luz: o experimento de Thomas Young.

Controvérsias que antecederam o experimento de Young

Em 1665, Robert Hooke² (1635-1703), propôs uma teoria ondulatória para a luz e vinte anos mais tarde essa teoria foi melhorada pelo cientista holandês Christiaan Huygens³ (1629-1695). Embora Hooke tivesse proposto um modelo de propagação transversal para a luz, Huygens, em comparação com as ondas sonoras, propôs um modelo de propagação longitudinal. Já nessa época se sabia que a luz não precisava de um meio material visível para se propagar, conforme já estudamos. No entanto Huygens e seus contemporâneos não podiam imaginar um espaço completamente vazio, sem nenhuma matéria, como hoje fazemos sem problemas aparentes. Eles imaginavam que deveria existir pelo espaço uma matéria muito sutil, chamada ÉTER, na qual a luz se propagaria. Nenhum deles podia ver, sentir ou medir qualquer presença dessa matéria, mas para esses cientistas, ela era fundamental para explicar um universo sem "vazios" e a matéria na qual as ondas luminosas se propagavam. Segundo Huygens, o ÉTER LUMINÍFERO, seria um meio invisível, rarefeito e elástico,

¹ Físico, matemático e astrônomo italiano. Um dos precursores do método científico com grandes contribuições na mecânica. Defendeu o sistema Heliocêntrico e teve de renegá-lo para não ser morto na fogueira pela Santa Inquisição.

² Cientista inglês com contribuições em diversas áreas entre elas a biologia e a paleontologia. É mais conhecido pela famosa "Lei de Hooke" para a força elástica.

³ Físico e matemático Holandês. Realizou várias contribuições na matemática e na mecânica.

como uma camada gasosa.

Na época havia outra teoria concorrente: a corpuscular, na qual Isaac Newton⁴ (1642-1727) acreditava (esse aí é o mesmo que elaborou as tais “Leis de Newton”). Esse renomado cientista observou a dispersão da luz por um prisma nas cores do arco-íris e explicou esse fenômeno, assumindo que a luz é composta por muitos tipos de minúsculas partículas, cada uma correspondente a uma cor, todas misturadas, viajando à mesma velocidade. Newton mostrou, também, que a luz “branca” é a soma de todas as outras cores, pois ao passá-las por outro prisma, a cor branca era obtida novamente.



Figura 1 - Os cientistas contemporâneos Huygens e Newton.

Assim, nesta época tínhamos duas teorias concorrentes: uma corpuscular e outra ondulatória. E, embora a teoria corpuscular encontrasse algumas dificuldades em explicar certos fenômenos, as duas aparentemente eram consideradas satisfatórias. Então, qual foi a considerada correta? Possivelmente devido ao prestígio que Newton alcançara por causa do sucesso de sua teoria sobre movimentos³, a teoria corpuscular foi aceita e defendida durante muitos anos por cientistas que acreditavam que Newton não podia estar errado.

Em 1801, Thomas Young (1773-1829), um físico, médico e egiptólogo inglês, apresentou para a Royal Society uma experiência que reavivou a teoria ondulatória da luz. Ele mostrou que a luz pode sofrer interferência, manifestando assim uma natureza ondulatória.

Antes de ver o fecho da história, vamos fazer uma pausa para entender a interferência luminosa.

O fenômeno da interferência entre ondas

As ondas mecânicas ou eletromagnéticas tem um propriedade muito interessante que é denominada superposição, ou interferência. Podemos resumir essa propriedade afirmando que duas ondas, sob certas condições, podem se reforçar ou se atenuar. Vamos ver como isso ocorre com a ajuda de uma corda. Se duas pessoas derem dois “safanões” nas extremidades da corda ao mesmo tempo, quando as ondas se encontrarem elas irão se interferir de maneira construtiva, resultando numa onda instantânea com uma amplitude maior. Como as duas ondas estão em movimento

⁴ Físico, matemático e astrônomo inglês. Responsável pela consolidação da mecânica clássica, com contribuições também na ótica. Um dos primeiros a desenvolver o cálculo diferencial e integral.

contrário, após se encontrarem, cada uma continua isoladamente o seu trajeto. Chamamos esse tipo de interferência, em que a amplitude das duas ondas se reforçam, de interferência construtiva. Em contrapartida,

chamamos de interferência destrutiva, quando as amplitudes das ondas que se encontram são atenuadas:

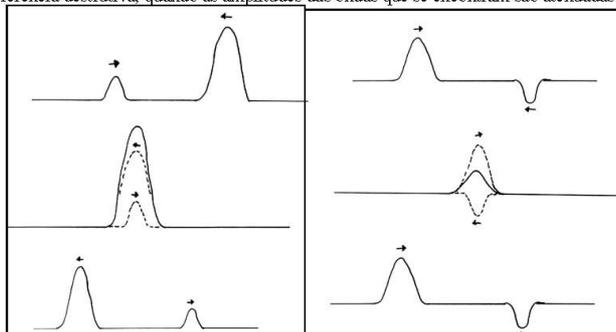


Figura 2 - Interferência construtiva e destrutiva em uma corda.

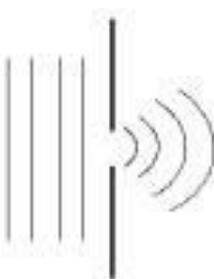
Em geral, quando falamos em luz, conseguimos visualizar o fenômeno de interferência associado ao de difração. Nesse fenômeno, quando uma onda passa por um orifício que tenha mais ou menos as dimensões do seu comprimento de onda (λ), a onda faz curvas. Ou seja, as ondas têm a capacidade de contornar obstáculos. ⁵ Não é a toa que ele aparece tanto nos livros didáticos!

Por causa da difração é que conseguimos ouvir sons com boa intensidade mesmo se o emissor estiver atrás de um muro ou dentro de um quarto. Para a luz esse fenômeno não é tão fácil de perceber pois o orifício tem que ser bem pequeno para melhor visualização, já que a luz tem comprimento de onda muito pequeno.

O esquema na página seguinte ilustra o fenômeno da difração.

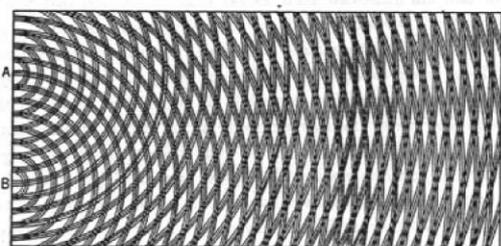
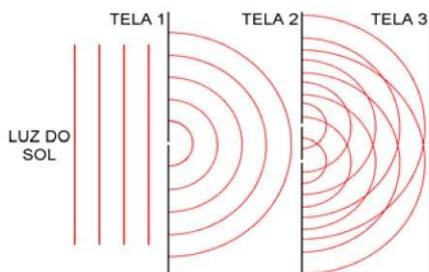
Fig. 3 - O fenômeno da difração.

Na ilustração acima, uma frente de onda paralela se propaga em direção a um orifício com dimensões da ordem de λ . O feixe então é difratado e se espalha pelo espaço ao redor do obstáculo. Quando esse feixe espalhado se encontra com algum anteparo, os máximos e mínimos da própria onda se interferem construtivamente ou destrutivamente e assim temos um padrão de claros e escuros que chamamos de franjas de interferência. Podemos visualizar esse fenômeno em uma cuba de ondas, ou mesmo com luz e fendas apropriadas.



O experimento de duas fendas de Thomas Young

Na época em que Young fez o experimento não existiam nem mesmo lâmpadas e nenhuma tecnologia para a confecção de fendas adequadas. Assim, Young fez a luz do Sol passar por uma tela preta, com um pequeno orifício para produzir, por difração, um feixe de luz solar estreito num quarto escuro. Na trajetória do feixe, ele colocou uma segunda tela preta com dois pequenos furos circulares, um próximo ao outro; e por detrás dessa tela, colocou outra branca. Os pincéis de luz provenientes das duas fendas, difratam e se interferem construtivamente em alguns pontos e destrutivamente em outros. Ao projetar a luz na tela branca, foram obtidas franjas de interferência, ou seja, manchas claras e escuras alternadas. Nas figuras abaixo,



mostramos esquemas do fenômeno.

Fig.4 - Representação esquemática do experimento de duas fendas. À direita temos o esquema feito pelo próprio Young⁶.

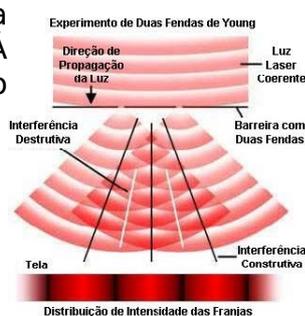


Fig. 5 - Franjas de interferência para a experiência de duas

fendas com um laser.

A aceitação da teoria ondulatória para a luz

O experimento de Thomas Young foi muito importante pois evidenciou a natureza ondulatória para a luz, já que apenas ondas podem se interferir e difratar. Ao apresentar seus resultados, Young teve o cuidado em mostrar que o próprio Newton argumentou sobre o fato de que a luz manifestava aspectos ondulatórios. Mas, os

defensores das idéias de Newton não o levaram a sério, pois Young não apresentou nenhuma formulação matemática. Mesmo sem que fosse possível explicar satisfatoriamente o experimento pela teoria corpuscular, o modelo ondulatório caiu no esquecimento novamente.

⁶ Shamos (1959), p. 100.

Mais tarde, em 1816, o francês Augustin Fresnel (1788-1827) propôs uma teoria matemática para as ondas e os trabalhos de Young começaram a ter crédito. Em um concurso da Academia Francesa de Ciências, Fresnel submeteu o seu trabalho a um grupo de simpatizantes da teoria corpuscular. Um destes cientistas, Simon Denis Poisson (1781-1842), mostrou com cálculos, que se a teoria ondulatória fosse correta um fato aparentemente impossível deveria ocorrer: ao projetar a sombra de um disco, haveria um pequeno ponto brilhante no centro. Fresnel se propôs a realizar o experimento e para o espanto de todos, ele obteve o resultado previsto por Poisson.

Entretanto, a aceitação da teoria ondulatória para a luz, não ocorreu de uma hora para outra. Gradualmente, os cientistas tomaram conhecimento dos experimentos de Young e Fresnel e a teoria corpuscular foi deixada de lado. Em 1818, Fresnel, aproveitando-se de uma idéia de Young em carta para um grande amigo seu, desenvolveu uma teoria que explicava muitos fenômenos não entendidos na época, mas para isso precisou se desfazer da hipótese de que a luz era uma onda longitudinal. Fresnel mostrou que muito podia se avançar no estudo sobre a luz se esta fosse uma onda transversal. Isso gerou sérias discussões sobre o ÉTER, pois se o ÉTER LUMINÍFERO de Huygens era tido como um gás, os gases não resistem a esforços transversais. Assim, Fresnel propôs a idéia de um ÉTER sólido, o que criava sérias dificuldades em tentar explicá-lo. Afinal, como conceber um meio material sutil, invisível, elástico e sólido?

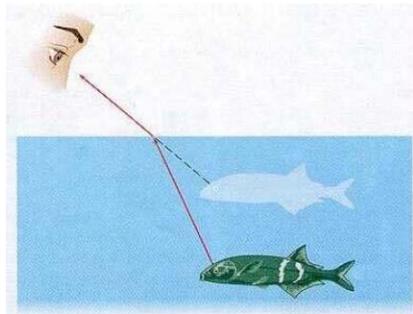
Por volta de 1850, a teoria ondulatória estava largamente aceita e os físicos trabalhavam no sentido de entender esse modelo e aplicá-lo aos fenômenos relacionados com a luz, embora as dúvidas e polêmicas em torno do ÉTER persistissem.

Avanços na compreensão da natureza da luz

Em 1862, o físico escocês James Clerk Maxwell (1831-1879) formulou quatro equações fundamentais que constituem a base da eletricidade e do magnetismo. Como resultado de suas equações foi possível prever a existência de ondas eletromagnéticas. Para o espanto de todos, a velocidade prevista para essas ondas era exatamente igual a velocidade da luz, já conhecida na época.

Em 1887, dois cientistas norte-americanos, Albert Michelson (1852-1931) e Edward Morley (1838-1923), tentaram medir, de maneira bastante rigorosa, o movimento da Terra em relação ao ÉTER e não obtiveram nenhum resultado, o que só poderia ser explicado caso a Terra, a medida que se movia, arrastasse o ÉTER junto a ela. Cada vez mais a existência do ÉTER estava se tornando complicada.

Em 1905, Albert Einstein (1879-1955) criou a teoria especial da relatividade e abandonou o conceito de ÉTER. A partir daí, entendemos a luz como uma onda eletromagnética, a qual não necessita de um suporte. Esse mesmo cientista revolucionou o modelo para a natureza da luz como veremos mais adiante.



Outras conseqüências do modelo ondulatório

Muitos outros fenômenos luminosos, são decorrência das características ondulatórias para a luz, assim como a difração e a interferência. Vamos analisar mais um pouco esses fenômenos.

1. Reflexão

Tanto a luz, como as ondas mecânicas podem se refletir quando atingem algum outro meio material com características diferentes, ou seja um obstáculo. Para a luz, o ângulo de reflexão será o mesmo que o ângulo de incidência.

Fig. 6 - Reflexão luminosa.

Podemos perceber a reflexão das ondas mecânicas em molas, ou na cuba de ondas. O eco é um exemplo de reflexão de ondas sonoras em obstáculos como cavernas ou montanhas. Para a luz, o melhor exemplo que poderíamos discutir é o espelho que reflete para os nossos olhos praticamente toda luz que sobre ele incide.

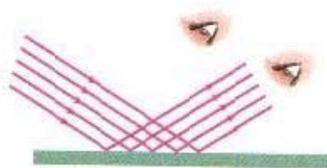
2. Refração

Os raios luminosos, além de serem refletidos pelos objetos, podem também serem refratados. Esse fenômeno acontece quando a luz atravessa uma superfície de separação entre dois meios diferentes. Quando isso acontece, a velocidade da luz muda e assim ela passa a seguir outra trajetória, sofrendo um desvio em relação ao ângulo em que incidiu na superfície de separação.

Podemos perceber a refração luminosa num copo d'água com um objeto em seu interior. O objeto em questão parece quebrado, mas isso é uma ilusão criada pela refração pois a luz sofre um desvio ao passar da água para o ar.

Fig. 7 - Refração da luminosa.

Embora estejamos tratando a reflexão e a refração de maneira separada, de modo geral, todas superfícies refletem parte da luz que incide sobre ela, absorvendo ou refratando o resto.



3. Ressonância

Um outro interessante fenômeno que está relacionando com a luz e ondas mecânicas é conhecido como ressonância. Ele pode ser observada na interação das ondas tanto com objetos macroscópico, como um balanço, quanto com os átomos e moléculas constituintes da matéria.

Para entender a ressonância, imaginemos uma criança oscilando em um balanço. Você pode nunca ter percebido, mas a frequência de oscilação do balanço não depende da altura que ele atinge, mas apenas de massa da criança e do comprimento da corda do balanço. Isso é conhecido como frequência natural do objeto.

Agora, se você está atrás da criança e quiser que o balanço atinja alturas mais altas; o que você faz? Ora, pela experiência você sabe que o

ideal é empurrá-lo cada vez que ele completa ele for reiniciar o movimento para frente novamente (ou seja, cada vez que ele completa um período). Perceba então, que a força que você está aplicando tem a mesma frequência da oscilação do balanço. Essa é a essência do fenômeno de ressonância: a absorção da energia de uma onda por um corpo, é máxima se a frequência da onda é a mesma da frequência natural do objeto.

A ressonância surge em fenômenos com a luz, quando esta interage com as moléculas de um corpo. Cada tipo de molécula tem uma frequência natural diferente. É como se os átomos que formam as moléculas estivessem ligados por molas que podem oscilar. Assim, se a frequência da onda for igual a frequência de oscilação das moléculas, a absorção de energia é máxima.

Esse é o princípio de funcionamento do forno de microondas, que emite ondas eletromagnéticas que tem frequência igual a frequência de oscilação das moléculas de água. Por isso, apenas os objetos contendo água (ou aqueles que contenham moléculas com frequência de oscilação bem parecida) são aquecidos no forno de microondas.