

 <p>MNPEF Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física</p>	 <p>UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ Centro de Ciências Exatas Departamento de Física</p>	 <p>SBF SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA</p>
--	---	--

PRODUTO EDUCACIONAL

Utilizando um fenômeno físico para medir o diâmetro de um fio de cabelo

Desenvolvido por: Marina Aparecida Ferreira de Oliveira
Orientado por: Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira

MARINGÁ
Novembro de 2016

APRESENTAÇÃO

O presente trabalho trata-se de um Produto Educacional¹, que pode ser definido como uma sequência didática que poderá ser utilizada por professores de física para o ensino de ondas, difração da luz e conversão de unidades. Auxiliará ainda a realização de um experimento simples, porém, que ajudará a compreender tais conceitos.

O Produto foi elaborado visando despertar nos alunos o interesse pela física e levá-los a refletir que a mesma está presente nas diversas situações do seu cotidiano. O tema apresentado será tratado de forma contextualizada e de maneira interdisciplinar, contará com questões problematizadoras, podendo ser desenvolvido com alunos do Ensino Médio.

A sequência didática é composta por um manual de procedimentos para aplicação em sala e também para a realização do experimento da difração. A atividade experimental com uso desse fenômeno permite calcular medidas micro, ou seja, pequenas, como o diâmetro de um fio de cabelo.

Este Produto conta com questões prévias à prática, bem como questões posteriores à aula, buscando com estas identificar os conceitos prévios dos alunos sobre o conteúdo de ondas, difração e outros, bem como, identificar a compreensão dos mesmos após a aula. Apresenta também Slides que poderão ser utilizados pelo professor durante a aula, com explicações sobre os conteúdos que devem ser abordados em cada um deles. Estes poderão ser usados de forma a auxiliar a aula e desenvolvimento do tema.

Os alunos realizarão o experimento para calcular a espessura do fio de cabelo. Este procedimento ajudará a fortalecer o entendimento do fenômeno da difração, bem como ajudará a fortalecer o trabalho com conversão de unidades e conceitos de razão e proporção.

Espera-se que este trabalho contribua para com os professores de física no ensino de conteúdos da óptica física, e que estes trabalhem conceitos matemáticos de forma interdisciplinar e os conceitos físicos de maneira descontextualizada, utilizando exemplos conhecidos pelos aprendizes e considerando seus

¹ Tanto o Produto Educacional quanto os Slides utilizados na aula, estão disponíveis no seguinte endereço: <https://www.dropbox.com/sh/cuvyvg4lctdawjh3/AACCqoGaWEu8VJxljQ0kEzAGa?dl=0>

conhecimentos prévios para aquisição dos novos, e que estes passem a fazer sentido para os alunos ajudando a interpretar o mundo em que vivem, e que saibam lidar com leis, conceitos e teorias científicas.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	2
1 A FUNÇÃO DA EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA	5
2 A FONTE LASER E SUAS APLICAÇÕES NA CIÊNCIA E NA TECNOLOGIA	7
3 O FENÔMENO DA DIFRAÇÃO.....	12
4 DIFRAÇÃO E A LEI DA BRAGG	18
5 ESTRUTURA E DINÂMICA DA AULA.....	23
5.1 Situação-problema	23
5.2 Questões prévias a realização do experimento	23
5.3 Conteúdos a serem abordados durante a aula	25
6 PRÁTICA EXPERIMENTAL PARA MEDIR O DIÂMETRO DO FIO DE CABELO.....	32
6.1 Questões posteriores a realização do experimento	35
7 SÍNTESE FINAL	36
8 REFERÊNCIAS	37

1 A FUNÇÃO DA EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA

O uso de experimentos na sala de aula acontecem por demonstração por parte do professor, onde o aprendiz apenas observa o fenômeno, ou ocorrerem na sala/laboratório, onde os alunos fazem uso de materiais, observando e testando. O emprego de experimentos em sala de aula, aliado às teorias, pode ser de grande valia para a aprendizagem, uma vez que dão oportunidade aos alunos de relacionarem os conhecimentos empíricos a conceitos e linguagens científicas. Além disso, permite dar sentido aos acontecimentos, despertando o caráter investigativo, orientando os aprendizes na compreensão de fenômenos, modelos explicativos, bem como para aprender a fazer o uso da linguagem científica.

Séré et al, afirmam que *“...por meio de atividades experimentais o aluno consegue mais facilmente ser ator na construção da ciência, já que a experiência demonstrativa seria mais propícia para um enfoque dos resultados de uma ciência acabada”*. (SÉRÉ et al, 2003, p. 39)

Sabe-se que na ciência, os conhecimentos científicos não vêm prontos e acabados, mas estão sempre em construção, sujeitos à mudança, e até serem substituídos por um novo, pois, o que é válido hoje futuramente poderá não o ser. Daí a importância de despertar no aluno o gosto pela pesquisa, pela investigação, para que não sejam meros repetidores, mas que busquem alternativas e participem do processo de construção, de descoberta, da tomada de decisões. E por fim, que saibam fazer e entender leituras de textos científicos, contribuindo para a cidadania.

As aulas experimentais não devem ocorrer de forma isolada, mas sim serem precedidas de aulas teóricas, para que os alunos tenham uma visão do que irão estudar, isso permitirá uma melhor eficácia no desenvolvimento do experimento. Levando-se em consideração, que o uso de procedimentos facilitam a organização e a coleta de dados, auxiliando na realização do mesmo e contribuindo para que os objetivos sejam alcançados.

Nardi sobre o uso da experimentação, considera que:

“[...] vai além de “motivar” ou “cativar” o aluno. Ela é importante, entre outros aspectos, para orientar os alunos na compreensão de suas formas de explicar e interagir com os colegas visando aprimorar raciocínios e ampliar sua linguagem científica.” (NARDI, 2014, p. 111).

A prática experimental funcionará como uma estratégia para que os alunos sejam instigados à pesquisa, a novas descobertas, ao enriquecimento científico, favorecendo a aprendizagem significativa. Cabe ao docente mediar esta atividade, de forma a levar os alunos a uma reflexão, bem como desafiá-los a resolver problemas.

Andrade et al. (2014) salienta:

Diante desta dificuldade de contextualização, encontramos uma ferramenta didática, que possibilita atender os anseios de uma aprendizagem significativa, a experimentação. A Experimentação permite que o estudante tenha um contato com a Física de uma forma diferente da sua rotina nas aulas tradicionais, servindo como um elo entre a teoria e a prática. (ANDRADE et al., 2014, p. 6).

Em capítulo anterior comentamos que o trabalho interdisciplinar pode ajudar a resolver o problema da descontextualização no ensino de Física, e como pode-se perceber, a experimentação também é uma forma de resolver essa situação. De acordo com Andrade (2014), o uso de experimentos no ensino de Física contribuem para a reestruturação dos saberes e reflexão sobre os conhecimentos prévios, de maneira que ocorra a aprendizagem significativa.

2 A FONTE LASER E SUAS APLICAÇÕES NA CIÊNCIA E NA TECNOLOGIA

A invenção do laser pode ser considerada revolucionária, uma das mais fascinantes da humanidade, presente na tecnologia moderna da fibra ótica, dos leitores de códigos de barras, entre várias outras aplicações. As primeiras ideias sobre o laser surgiram com Einstein, quando propôs o conceito de radiação estimulada ou emissão estimulada de luz.

Décadas depois um professor da Universidade da Columbia, Charles Townes anuncia o MASER (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) que quer dizer Amplificação de Microondas por Emissão Estimulada de Radiação. No entanto, Townes tentava criar um aparelho que emitisse luz visível, entretanto, mais difícil de amplificar. Com a ajuda de Arthur Schawlow investiu no desenvolvimento do Maser Óptico.

Segundo Figueira e Dias (2005), Gordon Gould em 1957, teve uma ideia de como resolver o problema de estimulação da luz visível, em suas anotações introduziu o termo “L” Laser no lugar do “M” do Microwave. No entanto, Gordon imaginava que para patentear precisava criar o Laser, apenas autenticou o caderno em cartório, sem saber que podia registrar a ideia, quando resolveu fazer isso, descobriu que Townes e Schawlow já tinham registrado.

Por volta de 1960, Theodore Maiman opera o primeiro laser de rubi, emitindo luz vermelha, que consistia de uma barra de rubi (cristal transparente), envolvida por um tubo *flash* contendo gás que emite luz.

Somente em 1987, Gould conseguiu os direitos sobre a patente. Neste período a tecnologia dos lasers de Gould estava sendo amplamente utilizado, tanto na indústria, quanto na medicina.

De acordo com Bagnato, o laser surgiu a partir da ideia do átomo, definido por Dalton como uma “minúscula partícula, indestrutível, podendo combinar-se e produzir diferentes espécies de matéria”, depois por Rutherford após experimentos como: *“...constituído de uma parte central, que foi denominada núcleo. Esse caroço central apresenta uma carga elétrica positiva. O tamanho desse núcleo seria bastante pequeno em relação ao tamanho do átomo (de 10.000 a 100.000 vezes maior)”*

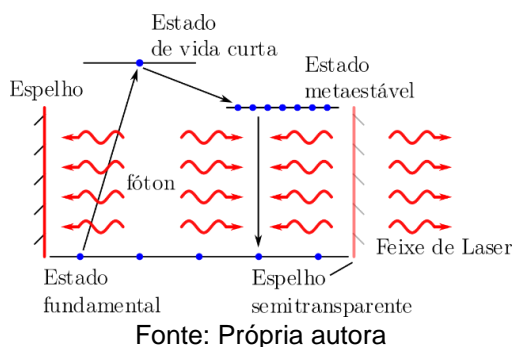
(BAGNATO, 2001, p. 5). Logo depois Niels Bohr explicou a energia dos elétrons a partir das ideias de Planck, surgindo a ideia dos fótons.

O laser funciona como uma fonte de luz, com características e propriedades que o tornam muito utilizado em instrumentos tecnológicos e também científicos. Tem como uma de suas propriedades a questão de ser monocromático, quer dizer, tem comprimento de onda específico. É coerente, pois, um fóton estimula outro, ou seja, a emissão dos fótons transcorre em fase e de maneira colimada, com feixes estreitos, paralelos, sendo emitidos numa determinada direção, ocorrendo um mínimo de dispersão.

Zilio (S/D)² destaca que “[...] A natureza especial deste tipo de radiação eletromagnética tornou a tecnologia laser uma ferramenta vital em quase todos os aspectos da vida diária, incluindo comunicações, diversão, fabricação, e medicina”. (ZILIO, s.d., p. 209)

A fonte laser produz feixes de luz concentrados, e um intenso feixe de fótons por meio de emissão estimulada. O princípio básico de funcionamento de um Laser, consiste em fornecer energia para um material, que usa essa energia para tirar os seus elétrons do estado fundamental e colocar em um nível mais energético. Esses elétrons acabam decaindo para um nível de energia metaestável. Nesse caso temos a chamada inversão de população. Um fóton, como energia igual da diferença de energia entre o estado metaestável e o estado fundamental, pode estimular a emissão de fótons idênticos devido ao decaimento dos elétrons do estado metaestável para o estado fundamental. A figura 1 ilustra o esquema da emissão estimulada. O espelho semitransparente serve para que alguns fótons retornem e continuem a estimular a emissão.

Figura 1: Desenho esquemático do funcionamento de um Laser.



Fonte: Própria autora

² Zilio (S/D): no material não consta data da edição.

Existem vários tipos de laser, os mais conhecidos são o de rubi, o de gás e o de semicondutor. No **Laser de rubi** o componente principal deste é o rubi, minério composto de átomos de alumínio, oxigênio e cromo, apresenta coloração avermelhada.

Tipler traz que uma das características do laser a rubi é que uma extremidade do cristal com 100% de reflexão, sendo completamente espelhada, e a outra extremidade acopladora, parcialmente espelhada e 85% refletora. Assim:

Quando os fótons se deslocam paralelamente ao eixo do cristal atingem as extremidades espelhadas, todos são refletidos na parte de trás e 85% são refletidos na parte da frente, com 15% dos fótons escapando através da face frontal parcialmente espelhada. (TIPLER, 2006, p. 372).

Ao passar pelos cristais, os fótons estimulam mais átomos e emitem um feixe de luz intenso a partir da extremidade espelhada. Os feixes duram poucos segundos, mas a energia envolvida nesse processo é intensa.

No **Laser a Gás** os principais elementos são os gases Hélio e Neônio, numa composição de 15% e 85%, respectivamente. Nesse tipo de laser os átomos de hélio são excitados por descargas elétricas até atingirem um estado acima do fundamental, colidem com os átomos de neônio e excitam alguns deles, ocorre inversão da população e a emissão de fótons estimula outros átomos a emitir fótons.

Os **Lasers de semicondutor – lasers a diodo ou lasers de junção**, são lasers de tamanho pequeno e de custo acessível. Um dos mais utilizados na produção da fonte laser, em equipamentos de CD e DVD e como apontadores em apresentações.

O funcionamento dos lasers semicondutores tem aspectos semelhantes aos lasers a gás He-Ne. Com exceção que se deve incorporar as bandas de energia. Serway e Jewett Jr (2014) destacam que o **Diodo de junção** “[...]é um dispositivo baseado na junção simples *p-n*” (2014, p. 291). A camada *p* contém cargas positivas e a camada *n* cargas negativas. A junção **pn** permite a passagem de corrente em apenas uma direção, ou seja, um único sentido para a corrente.

Cavalcante, explica:

Quando aplicamos uma diferença de potencial na zona de depleção (junção dos materiais *p* e *n*) ocorre uma troca de cargas entre os materiais dando origem a uma corrente de elétrons e uma corrente de lacunas. Durante esta troca existe uma recombinação entre elétrons e lacunas. Para que um elétron recombinar com uma lacuna é necessário que ele caia para a banda de valência, neste processo o elétron perde energia que é liberada sob a forma de um fóton (CAVALCANTE, 1999, p. 158).

Assim, estabelece-se um equilíbrio com a difusão de elétrons para o lado p e das lacunas para o lado n . O laser de semicondutor atuando em altas correntes, produz uma inversão de população permitindo que aconteça a emissão estimulada.

O GREF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, define a fonte Laser como:

A fonte laser (light amplification by simulated emission of radiation – amplificação da luz estimulada por radiação) é basicamente constituída de uma fonte de energia (bombeador), em geral uma lâmpada de descarga, que excita átomos ou moléculas (meio), no interior de uma cavidade ressoadora. (GREF, 2005, p. 324).

Na Mecânica Quântica, o GREF (2005), destaca que as radiações visíveis ou não, são constituídas de fótons (pacotes de energia). O funcionamento dos lasers e a produção de luz nos mesmos se baseia na hipótese de emissão estimulada, no qual um fóton incide sobre o átomo e estimula a produção de um fóton idêntico, caso haja um elétron com energia de excitação correspondente a do fóton incidente.

Segundo Bagnato:

“[...] a luz do laser provém justamente da emissão que ocorre quando elétrons decaem de seus níveis energéticos de forma estimulada, produzindo um feixe de luz onde todas as pequenas porções (fótons) comportam-se identicamente”. (BAGNATO, 2001, p. 7)

Isto acontece porque os fótons são emitidos por meio do declínio para um nível de energia menor. Este decaimento que permite obter os lasers.

Bagnato (2001) ressalta que a monocromaticidade da luz laser ocorre porque a energia do fóton estimulante é igual a energia do fóton emitido, por essa razão ao observar uma luz laser percebe-se apenas uma linha, uma só cor, um único comprimento de onda. Alguns lasers têm altas intensidades, devido à potência dos feixes, como nos lasers pulsados em que a energia acumulada é emitida num curto intervalo de tempo.

Suas características e propriedades permitem detectar com precisão o Efeito Doppler, a absorção e o espalhamento, e ainda na identificação de vazamento de óleos e outros poluentes, no estudo das células biológicas, na espectroscopia, na leitura do código de barras.

O laser tem várias aplicações como o uso para cortar, soldar, também na medicina, nas cirurgias a laser, nas telecomunicações por meio de fibras ópticas. Nas medições de grandes distâncias, através do alinhamento e pela reflexão de um pulso

laser a partir de um espelho, servindo como por exemplo, para medir a distância até a lua, mecanismo muito utilizado neste caso.

No ensino de Física, os lasers são utilizados principalmente em experimentos e demonstrações da óptica física, Catelli, argumenta que:

[...] com alguma teoria, poderemos fazer dele um instrumento de medida realmente impressionante. Será possível medir o diâmetro de fios, a abertura de fendas e pequenos orifícios, o número de linhas de CDs, o número de linhas em fitas de controle dos cartuchos de algumas impressoras jato de tinta, telas de serigrafia e outras façanhas que você mesmo poderá inventar. (CATELLI, 2004, p. 321).

Logo, os Lasers são considerados um instrumento de grande utilidade, principalmente no estudo da óptica. No entanto, para que as medidas realizadas com os mesmos possam ser mais precisas, torna-se essencial conhecer o comprimento de onda (λ) do laser, geralmente informado no próprio equipamento pelo fabricante.

Nos conteúdos de óptica, os Lasers são utilizados principalmente em experimentos sobre difração da luz. Neste caso, utilizam-se lasers devido as suas propriedades de ser monocromático e coerente, o que evita que ocorra dispersão, daí o porquê utilizar este tipo de luz no experimento de difração.

3 O FENÔMENO DA DIFRAÇÃO

Para entender como ocorre o fenômeno da difração, recomenda-se primeiramente compreender o conceito de ondas. Como exemplo de ondas temos a formação de círculos quando uma pedra é jogada em uma poça de água, ocasionando uma perturbação que dão origem as ondas. Temos também, as ondas causadas por meio de pulsos em uma corda, as ondas sonoras, eletromagnéticas, entre outras. No entanto, as ondas transportam energia, mas não transportam matéria.

Quando as ondas contornam obstáculos, como por exemplo, as ondas do mar contornam pedras, barcos, lanchas; o som da TV pode ser escutado em outro ambiente sem ser o que nós estamos, isto ocorre porque as ondas estão desviando, ou seja, estão sofrendo *difração*. Esse fenômeno da difração verifica-se tanto em ondas mecânicas, quanto em ondas eletromagnéticas.

Os exemplos mais usuais de ondas mecânicas são as do mar, da corda (pulsando), as sísmicas e as sonoras, tais ondas necessitam de um meio material para se propagar. A luz visível, a radiação ultravioleta, os raios-x, são exemplos de ondas eletromagnéticas. Elas não precisam de meio material para se propagar e consistem de um conjunto de campos elétricos e magnéticos, perpendiculares entre si, que se propagam a velocidade da luz.

As ondas sonoras, são ondas mecânicas, que se propagam no ar. Halliday (2009) as define como uma onda longitudinal, citando algumas aplicações científicas para essas ondas, como por exemplo: são usadas como sondagem para localizar petróleo, navios usam para detectar submarinos.

Mas afinal, o que são ondas transversais e longitudinais? Para entender as ondas transversais, tomemos como exemplo ondas mecânicas, como as de uma corda, na forma de pulsos que se propagam ao longo da mesma. Estas sobem e descem, ocorrendo somente na transversal, é perpendicular à direção de propagação da onda, daí o nome de ondas transversais.

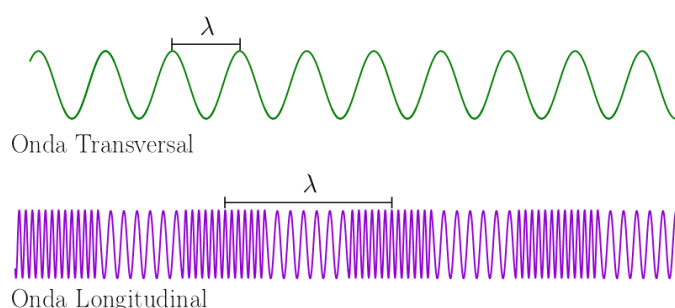
Tipler, explica o caso das ondas na corda, causadas por perturbações:

[...] quando uma corda esticada é tocada o pulso produzido se propaga através da corda, como uma onda. A perturbação, nesse caso, é uma mudança na corda a partir de sua posição de equilíbrio original. A propagação surge graças a interação de cada segmento da corda com os segmentos adjacentes. Os segmentos da corda (meio físico) se movem na direção

perpendicular à corda, conforme o pulso nela se propaga para cima e para baixo. (TIPLER, 2006, p. 523).

Já quando a direção de propagação é paralela a perturbação, ocorrem ondas longitudinais, como por exemplo as ondas sonoras. As ondas longitudinais tem a direção de oscilação dos corpos, ocorrendo para frente e para traz. Como exemplo cita-se uma mola helicoidal, onde o movimento ocorre na direção de propagação. A figura 2 traz uma representação das ondas transversal e longitudinal.

Figura 2: Representação esquemática de uma onda transversal (figura acima) e de uma onda longitudinal (figura abaixo).



Fonte: Própria autora

A velocidade com que essas ondas se propagam depende do meio, podendo ser, por exemplo, a água ou o ar, e essa diferença na propagação em função do meio é denominada *refração*. Quando se está em um ambiente em que os sons produzem eco, está ocorrendo *reflexão*. As ondas possuem algumas características que permitem identifica-las, tais como a propagação, a frequência e o comprimento de onda.

Quando a luz se difrata, apresenta comportamento característico de uma onda. Logo, a difração é um fenômeno ondulatório, podendo ocorrer em diversos tipos de ondas eletromagnéticas. No entanto, daremos ênfase a difração da luz visível. Esta acontece quando ela passa por uma fenda estreita, e também quando passa por um obstáculo pequeno.

No momento em que uma frente de onda sofre um bloqueio parcial por um obstáculo, a parte não bloqueada sofre um desvio, dando origem ao fenômeno de difração.

Algumas diferenças são estabelecidas em relação à difração da luz visível e às ondas sonoras. A observação do fenômeno da difração depende do comprimento de onda, uma vez que se este for grande em relação ao tamanho da fenda o efeito da

difração é maior, oportunizando que seja melhor observado. Se o comprimento de onda é pequeno, a difração é menor.

Tipler, ressalta que:

Uma vez que os comprimentos de onda dos sons audíveis (faixa que varia desde uns poucos centímetros até diversos metros) são geralmente grandes quando comparados às dimensões das fendas e dos obstáculos comuns (portas ou janelas, e pessoas, por exemplo), pode-se frequentemente observar o fenômeno da difração das ondas sonoras. Por outro lado como os comprimentos de onda da luz visível (4×10^{-7} a 7×10^{-7} m) são muito pequenos quando comparados com as dimensões de objetos comuns e fendas, a difração da luz não é notada facilmente; à primeira vista, a luz parece se propagar em linha reta. (TIPLER, 2006, p. 545).

Pelo motivo dos comprimentos de ondas sonoras serem grandes, os efeitos da difração ficam mais evidentes, notáveis, fazendo que seja possível ouvir as pessoas conversando do outro lado do muro, ouvir um sino tocar a alguns quilômetros de distância. O mesmo não ocorre com a luz, uma vez que esta tem comprimentos de onda pequenos.

De acordo com GREF *“A difração da luz só pode ser percebida quando esta atravessa fendas de dimensões muito pequenas, e isso se deve ao fato de seu comprimento de onda também ser muito pequeno.* (GREF, 2005, p. 218).

Sabe-se que tal fenômeno é observado somente quando o comprimento de onda é proporcional ao obstáculo ou fenda. Por isso, é possível visualizar a difração da luz, quando esta for incidida em objetos / obstáculos de diâmetros pequenos, como é o caso do fio de cabelo.

Ao atravessar uma fenda, além do fenômeno da difração, tem-se a possibilidade de ocorrer o fenômeno de interferência, sendo possível notar, neste caso, regiões claras e escuras. Serwey e Jewett (2014) ao especificarem este fenômeno, argumentam que essas regiões são chamadas de padrão de difração.

Um padrão de difração, de acordo com os autores, são obtidos, quando uma luz de laser for projetada para passar por uma fenda estreita ou um obstáculo e for refletida numa tela ou anteparo. Isto possibilita que se observem regiões claras e escuras. Portanto, o padrão de difração consiste de uma faixa central clara e intensa (máximo central) ao lado de uma série de faixas mais estreitas e menos intensas (máximos laterais ou secundários) e por faixas escuras (mínimos).

Para o GREF :

[...] O surgimento dessas regiões é explicado pela não existência de ondas reemitidas em quantidade suficiente para recompor toda a frente incidente. As novas ondas reemitidas se propagam, atingindo certos pontos do espaço em fase (regiões claras) e outros pontos, defasadas (regiões escuras). (GREF, 2005, p. 219)

As regiões claras e escuras descritas pelo autor são observadas em experimentos, nas chamadas figuras de difração, onde as regiões claras ou iluminadas representam a parte atingida pela luz que contornou o obstáculo. As regiões escuras constituem as partes não atingidas pela radiação, ou seja, a luz foi interceptada pelo obstáculo.

Sobre estas regiões Einstein e Infeld dizem:

Suponha-se que temos uma folha de papel escuro com dois furos de alfinete através dos quais a luz pode passar. Se os furos estiverem juntos e forem muito pequenos, e se a fonte de luz homogênea for suficientemente forte, aparecerão sobre a parede muitas faixas claras e escuras, desvanecendo gradativamente dos dois lados para o fundo escuro. A explicação é simples. Uma faixa escura é onde a cava de uma onda de um dos furos se encontra com a crista de uma onda com outro furo, de forma que as duas se anulam. Uma faixa iluminada é onde duas cavas ou duas cristas se encontram e se reforçam. (EINSTEIN; INFELD, 2008, p. 102).

O fenômeno relatado pelos autores é o da difração, que ocorre quando um obstáculo intercepta a luz, ou quando esta passa por uma fenda. Explicando ainda o porquê das partes claras e escuras na figura de difração formada neste acontecimento. De acordo com os autores: *“A luz só revela a sua natureza ondulatória quando são usados obstáculos e aberturas muito pequenas”*. (EINSTEIN; INFELD, 2008, p. 101).

Dessa forma, para se observar a difração da luz é necessário que o tamanho dos obstáculos sejam comparáveis ao do comprimento de uma onda luminosa. Na difração, portanto, quanto menor a largura da fenda, maior é o espalhamento ou alargamento causado pela difração.

Para compreender melhor a difração, que acontece quando a onda encontra um obstáculo, faz-se primordial introduzir o conhecimento sobre óptica ondulatória, descrita por meio do Princípio de Huygens. A primeira pessoa a apresentar uma teoria satisfatória para a luz foi o físico holandês Huygens, em 1678. Uma teoria matemática simples e que permitiu explicar as leis da refração e da reflexão, além de se utilizar de uma construção geométrica que tornou possível prever onde estará uma frente de onda em qualquer momento.

Einstein e Infeld ressaltam que para Huygens a luz é uma onda, na qual há transferência de energia, mas não de substância. Tal observação foi feita quando comparou que as ondas formadas na água espalham-se.

Nussenzveig, destaca que, Huygens teria sido motivado pelas observações feitas num tanque com água. Nesse tanque, formavam ondas na sua superfície, no qual, uma frente de onda atingindo uma barreira com um furo, formava do outro lado ondas circulares, isto porque a frente que não estava obstruída funcionava como uma fonte puntiforme. Logo:

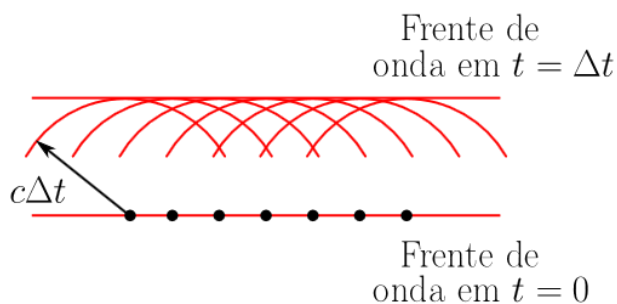
Dada um frente de onda inicial, Huygens propõe uma construção geométrica para obter a frente de onda num instante posterior: considera-se todas as ondas secundárias emanadas de pontos da frente de onda inicial não obstruídos por obstáculos. A frente de onda no instante posterior é a envoltória dessas ondas secundárias. (NUSSENZVEIG ,1998, p. 4).

Segundo este princípio, cada ponto do meio de propagação é um reemissor de novas ondas com mesmo comprimento e frequência da onda de origem, e quando se propagam ocupam posições perpendiculares ao raio da onda. Hallyday, sobre o Princípio de Huygens diz o seguinte:

“Todos os pontos de uma frente de onda se comportam como fontes pontuais de ondas secundárias. Depois de um intervalo de tempo t a nova posição da frente de onda é dada por uma superfície tangente a essas ondas secundárias”. (HALLYDAY, 2009 p. 77).

A figura 3 ilustra esse princípio, na qual, uma onda plana no vácuo, no tempo zero, apresenta vários pontos, de onde se originam as ondas. E depois de um certo intervalo de tempo surgem novas fontes pontuais de ondas secundárias, a partir dos pontos iniciais.

Figura 3: Representação do Princípio de Huygens, no qual cada ponto da onda da origem a uma nova frente de onda.



Fonte: Própria autora

Bechara et. al. explicam este princípio em outras palavras:

[..] uma vez perturbado, cada ponto do meio se comporta como uma fonte puntiforme. Essa fonte puntiforme emite ondas em todas as direções e, no vácuo, ou em meio homogêneo não dissipativo, a propagação se dá em todas as direções com a mesma velocidade. Assim, a fonte puntiforme gera uma onda esférica. Os raios da onda esférica tem a direção radial com origem na fonte, representada por um ponto, e as frentes de onda são superfícies esféricas concêntricas com a fonte. (BECHARA, 2014, p. 144).

Os autores destacam ainda tópicos importantes a respeito do princípio de Huygens, o primeiro é a frequência, que segundo eles independente do meio em que ela se propaga, continuando a mesma da onda de origem. E um segundo ponto: a velocidade, cuja onda secundária tem a mesma velocidade da que a originou.

4 DIFRAÇÃO E A LEI DA BRAGG

O fenômeno da difração também ocorre com os raios-X, que são ondas eletromagnéticas com comprimento de onda muito curtos. Os raios-X foram descobertos por Roentgen em 1895, apresentam comportamento semelhante ao da luz visível. Laue, em 1912, observando um monocristal de Sulfato de Cobre explicou o fenômeno da difração desses raios.

Segundo Napolitano, a difração tem várias aplicações na ciência, cujas implicações:

[...] sustentam o arcabouço teórico das técnicas difratométricas como, por exemplo, a cristalografia de raios X. É um assunto bem conhecido de todos que estudam fenômenos ondulatórios, sendo abordado por vários livros texto e ilustrado por diversas experiências de Química e/ou Física. Pode ser utilizada para explicar desde a localização dos máximos e mínimos na experiência de fenda única até a descrição de padrões observados em sólidos cristalinos quando expostos à radiação X (NAPOLITANO, 2004, p. 3).

Tal fenômeno portanto, é aplicado também aos raios-X, e assim como a difração da luz, a difração de raios-X pode ser explicada pelo Princípio de Huygens, já especificado anteriormente. O Cristal observado por Laue é visto como uma rede de difração tridimensional. Segundo Napolitano (2004), quando os Bragg estudaram os sólidos cristalinos tinham a intenção de determinar as características estruturais destes a partir dos padrões de difração.

O autor ressalta que:

[...] o trabalho dos Bragg marca o nascimento da difratometria de raios X, de grande interesse para identificação dos elementos químicos presentes em uma amostra, e o uso da difração para obtenção de estruturas moleculares e cristalinas. Assim como através da difração da luz visível podemos observar as franjas de Young e calcular a separação entre as fendas, também podemos, através da difração de raios X, observar o padrão de difração e reconstruir o retículo associado ao ordenamento dos átomos no cristal. (NAPOLITANO, 2004, p. 7)

O fenômeno da difração permitiu grandes avanços, com o trabalho dos Bragg, definiu-se a equação:

$$2d \sin \theta = m\lambda \text{ para } m = 1, 2, 3, \dots \text{ (Lei de Bragg)}$$

Esta equação de acordo com Halliday (1999 p. 134), é um dos critérios para que a intensidade da difração seja máxima. Da Lei de Bragg, temos que **m** é um

número de ordem (inteiro) de um dos máximos de intensidade, d corresponde a distância entre os planos, λ ao comprimento de onda do feixe de luz e θ chamado de ângulo de Bragg.

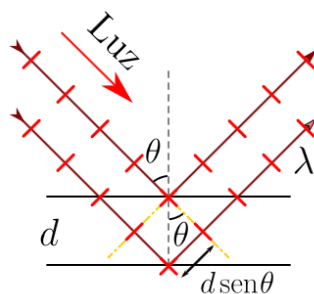
A equação ficou conhecida como Lei de Bragg em homenagem ao físico inglês W. L. Bragg, primeiro a demonstrá-la. W. L. Bragg e seu pai W. H. Bragg receberam o prêmio Nobel da Física em 1915, por estudar a estrutura de cristais com o uso de raios X.

Stariolo, sobre a Lei de Bragg diz que:

Se fazemos incidir um feixe de ondas planas sobre uma estrutura formada por uma série de planos paralelos, as ondas irão refletir nos sucessivos planos e um padrão de interferência será produzido pelas ondas refletidas. Duas ondas sendo refletidas em dois planos separados por uma distância d irão sofrer interferência construtiva apenas se a diferença de caminho entre ambas for um número inteiro de comprimentos de onda: $2 d \sin \theta = n \lambda$. (STARIOLO, 2009, p. 5).

Portanto, a Lei de Bragg envolve três variáveis, d , θ e λ . Como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4: Reflexão de um feixe de raios-X para dois planos cristalinos. As linhas vermelhas representam a frente de onda e a distância entre elas correspondem a um comprimento de onda λ .



Fonte: Própria autora

Na figura 4, é possível observar que, o padrão de interferência construtiva só será formado se a diferença de caminho entre o feixe refletido na superfície superior e o feixe refletido na superfície inferior, for múltiplo do comprimento de onda do feixe. Isto é, em uma linguagem matemática

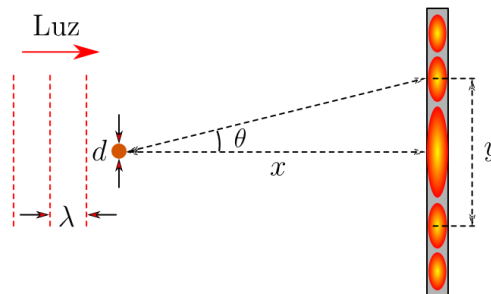
$$2d \sin \theta = m \lambda,$$

onde d é a distância entre o plano, θ é o ângulo que os feixes incidentes fazem com o eixo perpendicular dos planos e m é o número inteiro de múltiplos comprimento de onda λ .

Quando um feixe laser, que consiste em uma luz monocromática, polarizada e coerente, é obstruído por um fio de cabelo, um padrão de interferência também é produzido devido a diferença de caminho. A figura 5 ilustra esse fenômeno.

Da mesma forma como na Lei de Bragg, deve haver uma relação entre as grandezas físicas, presentes na figura 5. Essa relação nos permite encontrar o diâmetro de um fio de cabelo. Para esse propósito, é essencial verificar para qual condição ocorre uma diferença de caminho óptico entre os feixes que passam do lado esquerdo (cima) e direito (baixo) do fio de cabelo.

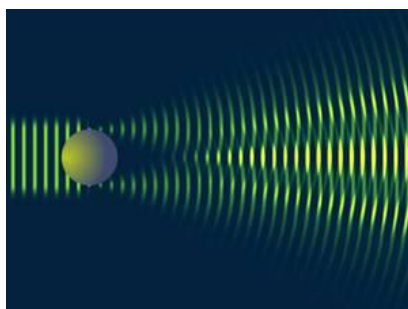
Figura 5: Representação da luz de um laser difratando em um fio de cabelo, com a formação de uma imagem de difração em um anteparo que está uma distância x do fio de cabelo. Na figura, y corresponde a distância entre os primeiros máximos.



Fonte: Própria autora

A figura 6 ilustra o fenômeno de difração da luz. Quando a onda plana atinge o cilindro de diâmetro d há a formação de duas novas fontes de ondas esféricas. Essas ondas surgem devido ao princípio de Huygens. Quando a diferença entre os caminhos dessa duas ondas for de um comprimento de onda, irá ocorrer a formação de um máximo de interferência. Essa diferença de caminho está ilustrada na figura 7.

Figura 6: Representação esquemática da difração da luz em um cilindro.

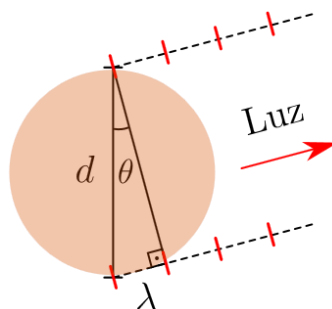


Fonte: Extraída da internet ³

Os traços em vermelho na figura 7 correspondem à frente da onda que está se deslocando para o primeiro máximo de interferência. Como a distância do anteparo até o fio de cabelo, x , é extremamente maior que a espessura do fio de cabelo, d , pode-se tratar esses raios como paralelos. Portanto, a diferença de caminho entre esses dois feixes deve ser (1).

$$\text{sen } \theta = \frac{\lambda}{d}. \quad (1)$$

Figura 7: Ampliação da figura 6 ressaltando a diferença de caminhos entre os feixes que formam o primeiro máximo.



Fonte: Própria autora

O ângulo θ presente nas figuras 5 e 7 são os mesmos, pois as retas que formam o ângulo θ na figura 5 são mutuamente perpendiculares as retas que formam o mesmo ângulo na figura 7. Neste sentido, pode-se usar a trigonometria $\text{sen } \theta = \frac{CO}{H}$, para obter

$$\text{sen } \theta = \left[\frac{\frac{y}{2}}{\sqrt{x^2 + \frac{y^2}{4}}} \right]. \quad (2)$$

³ Disponível em: <http://www.horiba.com/typo3temp/pics/7ed23b31e4.jpg> Acesso em 26 Set. 2016.

Substituindo a equação (2) na equação (1), obtêm-se

$$\left[\frac{\frac{y}{2}}{\sqrt{x^2 + \frac{y^2}{4}}} \right] = \frac{\lambda}{d}. \quad (3)$$

Na realização do experimento, quando a distância do anteparo até o fio de cabelo é da ordem de alguns metros, a distância entre os dois primeiros máximos é da ordem de centímetros. Portanto, x^2 é por volta de dez mil vezes maior que y^2 , ou seja, $x \sim 100y$. Essa diferença permite escrever $\sqrt{x^2 + \frac{y^2}{4}} \sim \sqrt{x^2} = x$.

Por exemplo, considerando $x = 3$ metros, $y = 2,5$ centímetros = $0,025$ metros, temos que $\frac{y^2}{4} = \frac{(0,025)^2}{4} = \frac{0,0006}{4} = 0,0001$ e

$$x^2 = 3^2 = 9$$

$$\text{Logo, } \sqrt{x^2 + \frac{y^2}{4}} = \sqrt{9 + 0,0001} = \sqrt{9,0001} = \sim 3 = x.$$

Assim, usando essa aproximação é possível reescrever a equação (3) como

$$d = \frac{2\lambda x}{y}. \quad (4)$$

Desse modo, medindo a distância x , a distância entre os dois máximos e conhecendo o comprimento de onda do laser, é possível conhecer a espessura do fio de cabelo.

5 ESTRUTURA E DINÂMICA DA AULA

5.1 Situação-problema

O docente irá propor uma questão central motivadora, deixando um tempo hábil para que os alunos tentem responder. Espera-se que deem respostas de acordo com seus conhecimentos empíricos, mesmo que estejam incorretas, o objetivo é leva-los a uma reflexão, sobre alguma maneira de medir o diâmetro do fio do cabelo, de como poderiam fazer isso, se existem equipamentos que facilitem essa medida.

Slide 1:



No **Slide 1**, o professor inicia com a questão motivadora, que leve os alunos a pensarem, refletirem sobre a mesma, ouvindo e discutindo as diversas respostas que forem surgindo. Deixar a questão com as possíveis soluções em “aberto”.

5.2 Questões prévias a realização do experimento

- 1) Qual deve ser, em sua opinião, a espessura de um fio de cabelo? E como medir a espessura de um fio de cabelo?
- 2) O que é uma onda?
- 3) Indique possíveis aplicações para um laser?

Tais questões poderão ser apresentadas no segundo slide, como segue:

Slide 2:

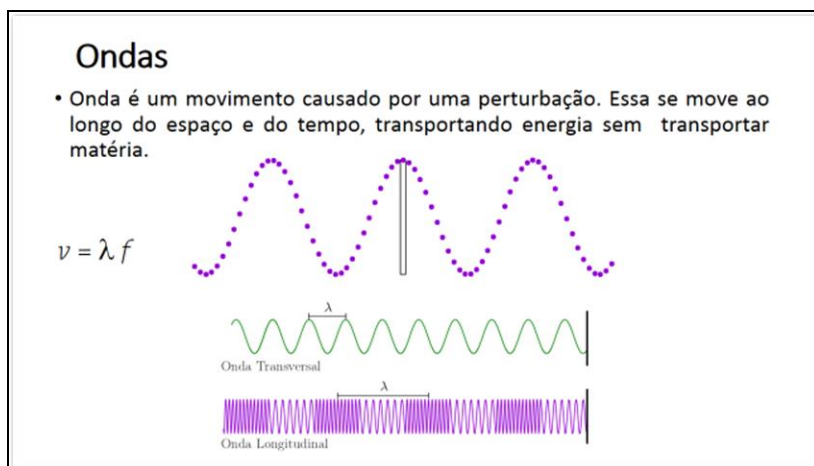
Questões prévias

- 1) Qual deve ser, em sua opinião, a espessura de um fio de cabelo? E como medir a espessura de um fio de cabelo?
- 2) O que é uma onda?
- 3) Indique possíveis aplicações para um laser?

Neste slide são propostas as questões prévias e deve ser dado um tempo para que os alunos respondam as mesmas, espera-se que eles respondam com seus conhecimentos cotidianos, da forma como imaginam. Em alguns casos podem ser esperadas respostas com exemplos que tenham visto em TV, em jornais, livros ou outros.

5.3 Conteúdos a serem abordados durante a aula

Slide 3:



No **Slide 3**, introduz-se explicando o conceito de onda, e dizer que a questão: “Como medir a espessura de um fio de cabelo?” poderá ser solucionada por meio de uma onda, ou seja, fazendo uso dos conceitos físicos, para medir a espessura de um fio de cabelo, neste caso, a onda luminosa, já que a luz se comporta como onda. Um exemplo de onda é a perturbação que ocorre quando se joga uma pedra em um lago, ou um pulso em uma corda, entre outros.

Nesse slide também devem ser expostas as principais características de uma onda, destacando o que é uma onda transversal e longitudinal. Para demonstrar uma onda transversal é proposta a animação (ver figura 8) representando-a, quando ocorre o movimento no sentido vertical (para cima e para baixo).

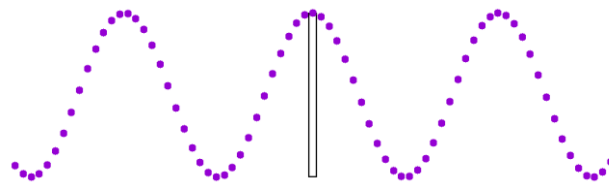
Vale ressaltar, que todos os pontos da onda se movem para cima e para baixo. A velocidade de propagação depende do comprimento de onda e da frequência da mesma. Como modelo, de ondas transversais podem ser citadas as ondas em uma corda e também as “ondas na arquibancada”, como um exemplo supostamente conhecido por todos os alunos como o “ôla” de uma plateia quando vão levantando os braços, pois, parece formar uma onda, lembrando que na “onda aparente” formada as pessoas não saem de seus lugares, fortalecendo que o que acontece é o transporte de energia e não de matéria.

Na onda longitudinal a vibração ocorre na mesma direção do movimento, ou seja, ela vibra e se propaga na mesma direção. Cita-se o caso das ondas sonoras e

também o de uma mola com um peso. O professor poderá levar para sala de aula uma *mola maluca* (brinquedo em forma de mola), para demonstrar/ simular o movimento de uma onda longitudinal.

A figura 8 é uma foto de uma animação que mostra uma onda transversal. Por meio da animação é possível notar que a onda não transporta matéria, pois as bolinhas possuem apenas movimento vertical.

Figura 8: Foto de uma animação para mostrar que a onda não transporta matéria.



Fonte: Própria autora

Essa animação foi gerada com o software GNUPLOT <<http://www.gnuplot.info/>>. Esse programa funciona na maioria dos sistemas operacionais. Os comandos para gerar a animação estão destacados abaixo:

onda.plt

```
1 set terminal gif size 1000, 300 animate delay 0.01 loop 0
2 set output "wave.gif"
3 set sample 75
4 unset key
5 unset border
6 unset tics
7 set object 1 rectangle from -0.12, -1 to 0.12, 1 lw 2
8 t=1
9 while (t < 157){
10 plot cos(x+0.04*t) w p pt 7 ps 2
11 t=t+1
12 }
13 unset output
```

Em escolas com laboratório de informática, é possível ministrar uma aula onde os alunos podem reproduzir a animação e na sequência, modificando o valor dos parâmetros para ver quais as alterações podem ocorrer na animação.

É interessante que as palavras em inglês presente nesses comandos, fossem trabalhadas na aula de inglês. Assim, promovendo uma atividade interdisciplinar.

Slide 4:

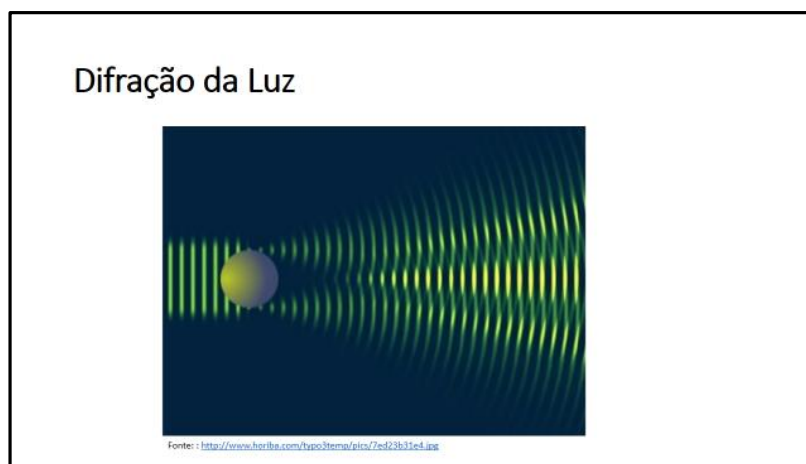


O **Slide 4**, representa a difração do som, com ele, o docente deve levantar alguns questionamentos como “já ouviu alguém conversando por trás de um muro?”, ou “Já conversou com alguém que está do outro lado do muro?”

Ouvir as possíveis respostas, e explicar que se trata de ondas sonoras, e que é possível ouvir as pessoas conversarem ou conversar com alguém que está do outro lado do muro devido ao fenômeno da difração.

Na imagem o que se observa é que as ondas sonoras são difratadas, ou seja, estão contornando o obstáculo, que neste caso é o muro. Devendo deixar claro que, isso só é possível por que, o comprimento de onda do som é proporcional ao tamanho do obstáculo. Assim, tem-se que o comprimento de onda do som é muito grande, quando comparado com o comprimento de onda de uma fonte luminosa. Portanto, a difração das ondas sonoras são mais perceptíveis do que a difração da luz.

Slide 5:

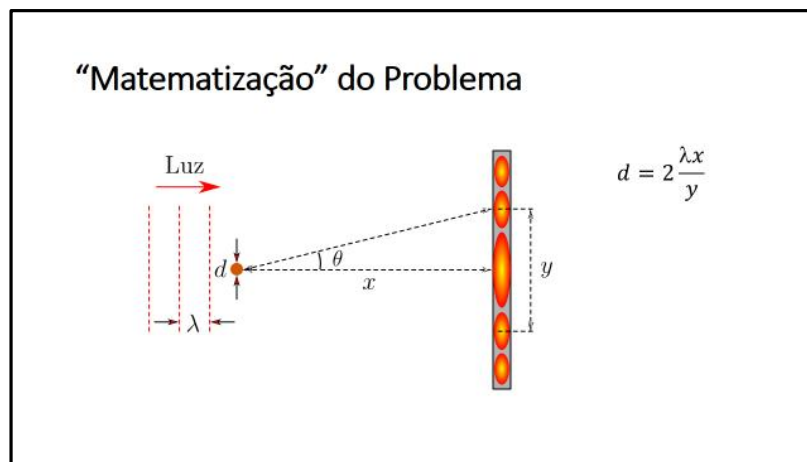


O **Slide 5**, traz uma figura representando a difração, por meio desta imagem o professor poderá definir como ocorre o fenômeno da difração da luz, explicando que difração é a propriedade do movimento ondulatório de contornar obstáculos ao ser interrompido parcialmente por eles. Com a figura do slide poderá explicitar o Princípio de Huygens no qual cada ponto de uma frente de onda em determinado instante é fonte de ondas secundárias que tem características iguais a da onda inicial, ou seja, cada ponto se comporta como uma nova frente de ondas.

Na imagem apresentada no slide 5 também deverá ser explicado a questão das franjas claras e escuras, que representam os máximos e os mínimos da figura de difração.

O professor explorará a imagem obtida pela demonstração do fio de cabelo como obstáculo no laser, mostrando aos alunos a figura de difração formada neste experimento. Lembrando que posteriormente os alunos farão este experimento e realizarão as medidas para descobrir o diâmetro de um fio de cabelo.

Slide 6:



Já no **Slide 6**, com a “matematização” do problema o docente abordará como serão feitos os cálculos matemáticos que permitirão saber qual o diâmetro do fio de cabelo, lembrando que o valor varia de fio para fio, visto que existem cabelos finos, grossos.

Poderá utilizar a equação simplificada $d = 2 \frac{\lambda x}{y}$

Nesta parte matemática o professor mostrará a equação que os alunos usarão para calcular a espessura (diâmetro) do fio de cabelo. Trabalhará ainda conceitos de razão e proporção. O professor solicitará que os alunos variem a distância x e observar o que acontece, e durante o experimento que troquem o fio de cabelo entre um mais fino e um mais grosso e observar as mudanças.

Slide 7:

Conversão de Unidades

Fator	Prefixo	Símbolo
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	quilo	k
10^2	hecto	h
10^1	deca	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	η

No **Slide 7** deverá ser trabalhado como converter unidades, uma vez que o diâmetro do fio de cabelo tem como unidade o micrometro (μm), o comprimento de onda (λ) do laser é dado em nanômetros (nm), a distância x (do fio de cabelo + laser ao anteparo) é em metros (m) e a distância entre os máximos consecutivos y em centímetros (cm). Dessa maneira, destacar esses conceitos são essenciais

O professor deverá discutir essa tabela, explicando porque é necessário esses símbolos, por exemplo, k quer dizer mil (1.000), mega corresponde a 1 milhão (1.000.000), giga a um bilhão (1.000.000.000) podendo citar como exemplo que quando ele vai comprar um computador não vai pedir um computador com 1 bilhão de bytes de memória e sim com 1G de memória, ficando mais fácil de quantificar as grandezas, e se forem objetos com medidas menores, milímetros, centímetros e assim por diante.

Ressalta-se para os alunos que estes símbolos (letras), representam um fator da base 10, ou seja, são números, e quando aparecerem essas letras/ símbolos em algum exercícios, eles deverão substituir pelos valores correspondentes, por exemplo, quando tivermos o símbolo n, este deverá ser substituído por 10^{-9} de acordo com o que está na tabela. Dessa forma ocorre um trabalho interdisciplinar com a matemática.

Slide 8:

Exemplo

• Resolva $d = \frac{650 \text{ nm} \cdot 3\text{m}}{6\text{cm}}$. Expresse o resultado em μm

$$d = \frac{650\text{nm} \cdot 3\text{m}}{6 \text{ cm}}$$
$$d = \frac{650 \cdot 10^{-9} 3\text{m}}{6 \cdot 10^{-2}}$$
$$d = \frac{650 \cdot 10^{-9} \cdot 10^{+2} \cdot 3\text{m}}{6}$$
$$d = 325 \cdot 10^{-9} \cdot 10^{+2}\text{m}$$
$$d = 325 \cdot 10^{-7}\text{m}$$
$$d = 32,5 \cdot 10^{-6}\text{m}$$
$$d = 32,5\mu\text{m}$$

No **Slide 8**, após evidenciar a conversão de unidades, o professor explicará e resolverá o exercício acima contando com a participação dos alunos. Ainda neste exemplo, procurará fortalecer os conceitos de razão e proporção. E no segundo

momento da aula propor aos alunos que realizem a prática experimental sobre o fenômeno da difração, bem como calculem o diâmetro do fio de cabelo.

Slide 9:

Exercício

Resolva $d = 2 \frac{650 \text{ nm} \cdot 4\text{m}}{8\text{cm}}$. Expresse o resultado em μm

Neste slide destaca-se um exercício para que os discentes resolvam, buscando com ele trabalhar um pouco mais a conversão de unidades. Todavia, faz-se importante deixar um tempo para que eles resolvam e havendo tempo hábil o professor ajudará a corrigirem no quadro ou solicitar que algum aluno venha até o quadro resolver, buscando a participação e colaboração dos demais alunos.

6 PRÁTICA EXPERIMENTAL PARA MEDIR O DIÂMETRO DO FIO DE CABELO

Objetivo

Utilizar o fenômeno da difração para medir o diâmetro de um fio de cabelo.

Justificativa

A realização deste experimento permitirá que o fenômeno da difração faça sentido para os alunos. Com esta aula os alunos poderão visualizar o fenômeno da difração da luz quando esta incide sobre obstáculos e ainda realizar micro medidas.

Duração das atividades: 100 minutos.

Conhecimentos prévios

- Comportamento da luz como onda.
- Conceito de difração da luz.
- Laser - luz monocromática coerente.

Recursos didáticos

- Aula expositiva utilizando recursos multimídia para exposição de textos e figuras.
- Aula prática.

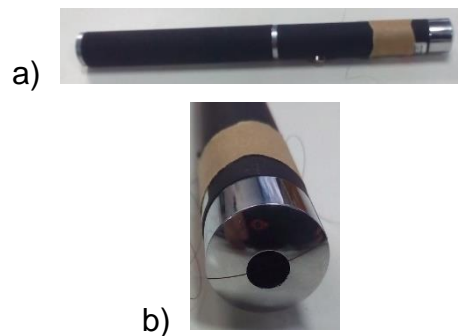
Materiais Necessários para o experimento:

- Laser
- Anteparo (Sulfite em branco)
- Trena e régua
- Fio de cabelo
- Fita adesiva
- Lápis

Procedimentos:

- Deixar a sala parcialmente escura;
- Fixar o fio de cabelo diretamente no laser utilizando fita adesiva, conforme figura 9:

Figura 9 – fio de cabelo fixado na ponteira laser



Fonte: Própria autora

Na Figura 9 em a) temos a visão lateral da ponteira laser já com o fio de cabelo fixado na mesma. Em b) a imagem frontal permite observar o fio de cabelo fixado na ponteira laser de onde sairá a luz. Este fio fará com que a luz sofra um desvio, dando origem a difração da luz.

- A fonte de laser deve estar a uma distância de 2 a 3 metros da parede / anteparo para facilitar a visualização do fenômeno da difração;
- Medir e anotar a medida do comprimento x (do laser ao anteparo);
- Obter o padrão de difração no anteparo;

Ao direcionar a ponteira laser para o anteparo deverá ser obtida uma figura de difração semelhante a imagem abaixo:



Fonte: Própria autora

- Medir y (ver figura 5);
A figura 5 representa a montagem do experimento, lembrando que y é a medida do máximo central;
- Calcular a espessura do fio de cabelo, d , a partir da equação:

$$d = 2 \frac{x\lambda}{y}$$

Onde:

- y - é a distância entre dois máximos da luz difratada;
 - x - distância do anteparo ao obstáculo;
 - d - espessura do fio de cabelo;
- λ - comprimento de onda do laser utilizado (ver figura 11).

O comprimento de onda do laser geralmente é informado pelo próprio fabricante no equipamento. No caso das ponteiros laser pode-se observar etiquetas semelhante à das imagens abaixo:

Figura 11 – Ponteiros laser



Fonte: Própria autora

Na figura 11 estão representadas as ponteiros laser. Em a) visão geral da ponteira laser. Em b) e c) a visão etiquetas das ponteiros laser verde e vermelha, com comprimento de onda de 532nm e 650 nm respectivamente.

6.1 Questões posteriores a realização do experimento

- 1) E agora, após ter feito o experimento, você saberia dizer qual a espessura (aproximada) do fio de cabelo?
- 2) Você consegue medir a espessura de um fio de cabelo utilizando uma onda sonora?
- 3) Usando as mesmas condições do experimento anterior e um fio de cabelo mais grosso, o novo tamanho do máximo de difração (y) deve ser maior ou menor? Justifique.
- 4) Aumentando a distância (laser + fio) do anteparo o que acontece com y ? Justifique.

Obs.: Para responderem as questões 3 e 4 podem usar a equação

$$d = 2 \frac{x\lambda}{Y} .$$

Slide 10:

Questões posteriores

- 4) E agora, após ter feito o experimento, você saberia dizer qual a espessura (aproximada) do fio de cabelo?
- 5) Você consegue medir a espessura de um fio de cabelo utilizando uma onda sonora?
- 6) Usando as mesmas condições do experimento anterior e um fio de cabelo mais grosso, o novo tamanho do máximo de difração (y) deve ser maior ou menor que o anterior? Justifique.
- 7) Aumentando a distância (laser + fio) do anteparo o que acontece com y ? Justifique.

No **Slide 10** são propostas as questões posteriores a realização da aula e do experimento, espera-se que com estas possa se identificar a aprendizagem dos alunos, bem como se o objetivo da aula foi atingido.

7 SÍNTESE FINAL

Esperamos que este material possa contribuir com os professores de Física do Ensino Médio, para o ensino da óptica física, em especial ao fenômeno de difração da luz. Que venha a enriquecer as aulas e colaborar para o ensino desta disciplina, de maneira contextualizada e interdisciplinar.

A aplicação do presente material poderá levar a uma aprendizagem mais significativa em relação aos conteúdos de física. Contribuindo para que os alunos estabeleçam relações dos conceitos físicos a situações vivenciadas ou presentes em seu cotidiano.

A teoria aliada a prática facilitará o ensino deste conteúdo, faz com que a aula mais torne-se mais dinâmica e participativa. Cabe ao docente o caráter mediador, questionador, levando os alunos a refletirem sobre o tema, bem como partir do conhecimento destes, para dar significado aos novos.

8 REFERÊNCIAS

ANDRADE, G.G.F; MENDES, B.B.C; BRITO, A.C.A; LIMA, J.R.T; RÊGO BARROS, K.C.T.F. **Experimentando a óptica: uma nova perspectiva para o ensino de física em turmas de ensino médio**. Congresso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación. Buenos Aires – Argentina, 2014.

BAGNATO, Vanderlei S. **Os fundamentos da luz laser**. Física na escola, v.2, n. 2, 2001.

CATELLI, Francisco; VICENZI, S. **Laboratório Caseiro: Transformando um Laser de Diodo para experimentos de Óptica Física**. Cad. Brás. Ens. Fís., v. 19, n.3: p.393-406, dez. 2002.

CAVALCANTE, Marisa Almeida; JARDIM, Vladimir; BARROS, José A. A. **Inserção de Física Moderna no Ensino Médio: Difração de um Feixe Laser**. Cad.Cat.Ens.Fís., v. 16, n. 2: p. 154-169, ago. 1999.

GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA – GREF. **Física 2: Física Térmica / Óptica / GREF – 5. Ed. 3. Reimp.** – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005.

HALLIDAY, David; HESNICK, Jearl Walker. **Fundamentos de Física: gravitação, ondas e termodinâmica**. Trad.: Ronaldo Sérgio de Biase. 2º Vol. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

HALLIDAY, David; HESNICK, Jearl Walker. **Fundamentos de Física: óptica e física moderna**. Trad.: Ronaldo Sérgio de Biase. 4º Vol. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

HALLIDAY ROBERT RESNICK, J. W. D. **Fundamentos de Física: Ótica e Física Moderna**. 4ª edição. ed. [S.I.]: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1995.

NARDI, Roberto; CASTIBLANCO, Olga. **Didática da Física**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2014.

NAPOLITANO, H. B.; THEODORO, J.E.; ELLENA, J. **Ênfase cognitivista no ensino da Lei de Bragg**. Disponível em:
http://www.cienciamao.usp.br/dados/epef/_enfasecognitivistanoensi.trabalho.pdf
http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=epef&cod=_enfasecognitivistan
oensi acesso em 09 de agosto de 2016.

SÉRÉ, M.G et al. **O papel da experimentação no ensino de física**. Cad.Bras.Ens.Fís., v.20, n.1: 30-42, abr. 2003.

SERWAY, Raymond A; JEWETT JR, John W. **Princípios de Física - Vol.4 - Óptica e Física Moderna**. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

TIPLER, Paul Allan; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros, v.1:** mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica. Tradução: Fernando Ribeiro da Silva, Gisele Maria Ribeiro Vieira. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

STARIOLO, D. A. **Física da Matéria Condensada.** Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/~stariolo/ensino/curso_2009.pdf, acesso em 15 de fevereiro de 2016.

ZILIO, S.C. **Óptica Moderna:** Fundamentos e Aplicações. Disponível em: <http://www.fotonica.ifsc.usp.br/ebook/book1/Optica-Moderna.pdf> acesso em 03 de junho de 2016.