

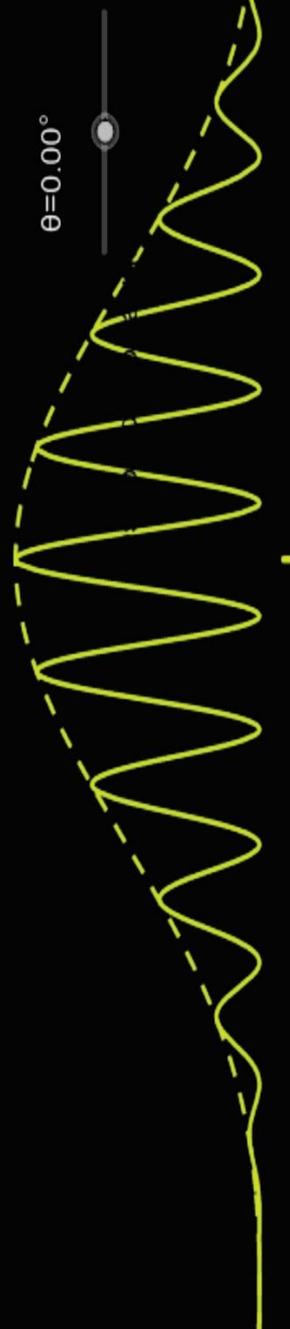
Sequência didática aplicada ao Ensino Médio

Para estudo da difração da luz

Utilizando materiais alternativos



$\theta = 0.00^\circ$



JOSE ALVINO SOUSA FERREIRA

EDER NASCIMENTO SILVA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA POLO 47

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA APLICADA AO ENSINO MÉDIO PARA ESTUDO DA
DIFRAÇÃO DA LUZ UTILIZANDO MATERIAIS ALTERNATIVOS**

JOSÉ ALVINO SOUSA FERREIRA

Material vinculado à Dissertação de mestrado apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Eder Nascimento Silva

SÃO LUIS - MA
2020

© José Alvino Sousa Ferreira e Eder Nascimento Silva – 2020.

O cronograma apresentando do material neste documento pode ser reproduzido livremente desde que citada a fonte. As imagens apresentadas são de propriedade dos respectivos autores e utilizadas para fins didáticos. Por favor, contate os autores caso constate que houve violação de seus direitos autorais. Este documento é veiculado gratuitamente, sem nenhum tipo de retorno comercial a nenhum dos autores, e visa apenas a divulgação do conhecimento científico e das alternativas de ensino e aprendizagem.

Apresentação

A educação básica deve preparar os alunos para o exercício da cidadania proporcionando competências e habilidades através de uma aprendizagem significativa, para que o aluno desenvolva atitudes de valor na sociedade. Embora pareça satisfatório esse contexto ideal para o ensino-aprendizagem, na realidade de muitas escolas ainda prevalece o tradicionalismo, onde há o repasse de informações oriundas do livro didático e que conta com aula expositiva, exercícios e provas, sem uma contextualização, ou seja o relacionamento deste conteúdo com a realidade do aluno, resultando em informações retidas somente para a execução de provas e que são descartadas e esquecidas logo após o uso por não ter significância. Este trabalho baseia-se nos conhecimentos prévios existentes no(s) aluno(s), ou seja, princípios da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, e Aprendizagem significativa Crítica por Marco Antonio Moreira a qual nos diz que a partir do aprendizado o aluno deve empregar o conhecimento adquirido nas questões do dia a dia. A partir de conhecimento prévio existente que formam os Subsúncios constrói-se novos conhecimentos bem mais complexos sendo que é necessário despertar a curiosidade do aluno em descobrir os efeitos difrativos das ondas do espectro luminoso utilizando material descrito neste trabalho que baseia-se em uma Sequência didática com o intuito de aprofundar os conceitos da difração para além da abordagem dos livros em uma forma teórica e prática inserida ao nível das terceiras séries do ensino médio. Nesse trabalho propõe-se a aplicação de uma sequência didática baseada na teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Marco Antonio, proporcionando mais uma ferramenta, a ser desenvolvida num processo de negociação de significados sendo que os alunos precisam valorizar os conceitos físicos para análise, compreensão e tomada de decisões sobre futuros problemas emergentes e para isso deve se levar em conta os seus conhecimentos prévios para dar início à construção dos novos conhecimentos e tomada de decisões futuras. Propõe-se a aplicação da Sequência Didática em quatro encontros, ou seja, quatro aulas.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
2.1. Elementos de uma onda	5
2.2. Tratamento da Óptica geométrica.....	7
2.3. Tratamento da Óptica Ondulatória.....	8
2.4. Interferência de ondas	13
2.5. Intensidade da Luz no Pontos de Máximos e Mínimos.....	15
2.6. Difração em fenda única	18
2.7. Dupla Fenda	22
2.8. Redes de Difração	25
3.1. Medida da espessura de um cabelo	34
3.2. Experimento Sobre Redes de Difração.....	37
3.3. Produção de cartaz.....	39
3.4. Produção de vídeo.....	40
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS.....	47

1. INTRODUÇÃO

Ao iniciar-se a docência em Física do Ensino Médio surgem muitas dificuldades no repasse dos conhecimentos, então, busca-se a melhora das aulas no que tange à transposição didática do conteúdo. Uma das dificuldades é a linguagem fora de contexto do aluno do ensino médio, longe de suas compreensões e desvinculada de sua realidade, levando-os, às vezes, a observar a Física como uma disciplina pouco agradável. O resultado é uma desmotivação por parte dos alunos e uma preocupação para professores(as), pedagogos(as) e diretor(es) de escolas, que buscam por um ensino de Física diferenciado que atraia os alunos.

Exercer a função de docente de Física é um grande desafio, alguns professores, devido ao contexto de sua formação acadêmica, encontram-se arraigados em problemas dos antigos livros didáticos de Física para o segundo grau, atual ensino médio, lecionam usando quase que absolutamente a modelagem matemática: só fórmulas e exercícios, relegando ou desconhecendo a fenomenologia tratada e/ou métodos pedagógicos que possam lhes auxiliar didaticamente ao lecionar o conteúdo, o que torna o ensino totalmente conteudista e, às vezes, não extraem nem as siglas como (ITA), (FATEC) e outras do início das questões ao “elaborarem” seus simulados do ENEM ou outras avaliações para aplicações na escola. Exemplifica-se aqui um desses tipos de questão extraída de sites e utilizada por um professor da escola, por meio da qual percebe-se a falta de contextualização.

(Unitau-SP) Um móvel parte do km50, indo até o km 60, onde, mudando o sentido do movimento, vai até o km 32. O deslocamento escalar e a distância efetivamente percorrida são, respectivamente:

- a) 28km e 28km b) 18km e 38km c) 18km e 38km
- d) 18km e 18km e) 38km e 18km (MACHADO, 2016)

Para contextualizar a questão acima seria necessário a busca de material mais atualizado, ou remodelar o enunciado desta relacionando o fenômeno ao cotidiano do aluno.

As reclamações ocorrem por parte de alunos tanto em relação à não compreensão dos conteúdos quanto à transmissão destes, e certos docentes, por sua

vez, culpam a base matemática do aluno pelo não entendimento do conhecimento repassado. Convém lembrar, que não são todos os docentes e nem devemos desprezar o uso da matemática nas fórmulas, que se torna indispensável quando contextualizadas com os respectivos fenômenos.

Mas a escola pública, desde as reformulações exigidas pela LDB e PCNs (BRASIL, 1999) nas práticas de ensino de Física, tem passado por uma transformação de paradigmas do tradicionalismo para o construtivismo, um modelo atual que considera os processos cognitivos dos alunos. Porém, essa transformação tem acontecido de forma vagarosa, pois a própria política educacional no país corrobora com atraso na implantação do modelo de ensino atualizado na escola pública. Isso ocorre, principalmente, quando as diretrizes têm descendência vertical e baixo investimento na formação de seus profissionais e, por isso, dispõe-se de uma certa quantidade de professores na linha tradicionalista, os quais aplicam fórmulas e cálculos nas resoluções de exercícios.

Já os professores construtivistas instigam o aluno, propondo-lhe situações-problemas, explicando e orientando experimentos e outras atividades pertinentes à Matriz de Referência de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (INEP 2015). Percebe-se que a escola pública está caracterizada com uma mistura de métodos de aprendizagem: Tradicional e Construtivista.

Além das reformulações exigidas pela LDB, houve também um tratamento diferenciado no conteúdo da grade curricular devido ao avanço tecnológico permeado pela ciência, que fez a sociedade repensar o currículo das escolas e, através de análise do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2012 a 2014 e do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) de 2009 a 2018, nota-se que o Ministério da Educação (MEC) passou a incluir o ensino da física moderna no ensino médio e, muitas obras, atualmente, já abrangem o conteúdo de física moderna (DOMINGUINI et al, 2012). Esse item não constitui escopo desse trabalho, mas configura como um problema a mais a ser tratado pelo professor de Física. Essa alteração provém, há tempos, dos anseios de Terrazan (TERRAZAN, 1992) a Marisa Almeida (CAVALCANTE; TAVOLARO 2001), reforçada pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional LDB nº 9394/96 (BRASIL 1996) e Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1999).

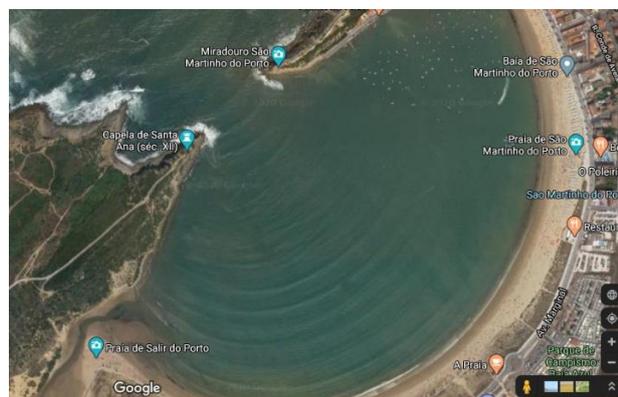
Com a promulgação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN), o Ministério da Educação e Cultura (MEC) efetivou o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) e reformulou a Base Nacional Curricular Comum (BRASIL, 2017), promovendo assim mudanças significativas na educação nacional, o que sutil melhora em relação à prática pedagógica significativa dos conteúdos. Apesar dessas mudanças, quando se trata da Física no ensino médio, são raras as escolas públicas do Estado do Maranhão que dispõem de laboratórios didáticos para aulas experimentais ou laboratórios de informática para realizar simulações e, quando existem, estão obsoletos ou desativados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os fenômenos Interferência e Difração de ondas se configuram na vida cotidiana como efeitos que são percebidos e ignorados pela maioria das pessoas, ou seja, os efeitos são vistos sem o conhecimento de sua fundamentação: o porquê e como ocorre. Por exemplo, todos veem o arco-íris, mas não imaginam como se origina, alguns atribuem sua existência a algo divino, e outros não fazem nem ideia do que seja. Outro fenômeno corrente é quando seu vizinho liga o som em uma alta intensidade de forma que chegue a seus ouvidos, mesmo havendo paredes separando os cômodos, enquanto outros até já brincaram atirado pedras na superfície de um rio, lago ou mar, e observaram a formação de círculos concêntricos que, ao colidirem com um objeto, fez surgir novas formações de círculos concêntricos, mesmo desconhecendo quais os efeitos estão por trás de tais formações.

Os fenômenos ainda se explicitam quando se olha um tecido de trama fina contra uma lâmpada distante. Quando visualizamos a Lua através de uma nuvem (as gotículas de água na nuvem). Olhando o reflexo num CD vemos faixas ou halos coloridos, devido à difração da luz por pequenos obstáculos (os sulcos do CD). Na figura 1 temos a difração de ondas do mar.

Figura 1: Devido à difração das ondas, as ondas do oceano que entram através de uma abertura natural podem se espalhar por toda a baía.



Fonte: Google maps,¹ baía de são martinho do porto em portugal.

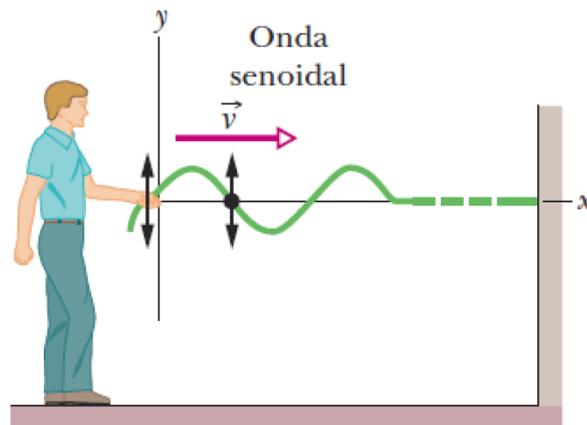
¹ Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@39.5078511,9.1473956,1119m/data=!3m1!1e3;>> Acesso em 24 jul. 2020.

A onda é uma perturbação que se move em um meio transportando energia e quantidade de movimento sem transportar matéria. Ela sofre vários efeitos, dentre eles, os de interferência e difração, que são fenômenos característicos de “todas as ondas” quando elas contornam obstáculos ou atravessam fendas.

2.1. ELEMENTOS DE UMA ONDA

Para uma compreensão real considere, inicialmente, uma corda esticada por suas extremidades, a esse estado chamaremos de posição de equilíbrio da corda. A seguir, realizamos oscilações em uma das extremidades da corda e após um tempo observamos a formação de ondas na corda, como mostrado na Figura 2. A esse padrão de ondas chamaremos de onda senoidal, devido ao seu comportamento se modular muito bem com a função trigonométrica seno.

Figura 2 : Formação de uma onda numa corda.



Fonte: (Haliday 2016, 116)

Matematicamente, as ondas ditas clássicas, que oscilam no tempo (t) e se propagam ao longo de uma direção (no presente caso x) com uma velocidade v , obedecem ao que chamamos de equação diferencial de onda, dada pela equação abaixo;

$$\frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} \quad (2.1.1)$$

Cuja solução particular para essa equação pode ser dada por;

$$y(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t) \quad (2.1.2)$$

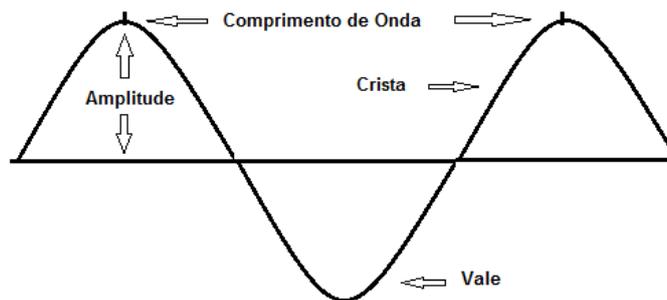
Onde:

A amplitude y_m de uma onda é o módulo do deslocamento máximo sofrido pelos elementos do meio que a onda se propaga a partir da posição de equilíbrio.

A fase de uma onda é o argumento $(kx - \omega t)$ da função seno. Quando a onda passa por uma posição x , a fase varia linearmente com o tempo t .

O comprimento de onda λ é a distância (paralela à direção de propagação) entre repetições da forma da onda, assim como as projeções acima e abaixo do eixo horizontal que são denominados de Crista (acima) e Vale (abaixo) como mostrado na Figura 3.

Figura 3 : Elementos de uma onda.



Fonte: Autoria própria (2019).

O número de onda k , está relacionado com λ , através de;

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.1.3)$$

O período de oscilação (T) é o tempo gasto por um elemento que sai do meio de uma crista e chega ao meio da crista seguinte executando uma oscilação completa e está relacionado à frequência angular ω através da equação;

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.1.4)$$

A frequência f de uma onda é definida como T^{-1} e está relacionada à ω através da equação;

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (2.1.5)$$

A velocidade v da onda pode ser calculada por;

$$v = \lambda f = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k} \quad (2.1.6)$$

esta equação da velocidade da onda é semelhante a formula da velocidade no movimento uniforme $v = \frac{s}{t}$. onde s representa o espaço (comprimento da onda λ) e t o tempo gasto (período T)

Esse conjunto de valores caracterizam bem a onda em questão, cada onda possui seu comprimento de onda e frequência características. Quando comparadas duas ondas elas podem possuir esses valores iguais, mas podem possuir uma chamada diferença de fase angular (ϕ) entre si, ou seja, a onda se modelaria como segue;

$$y(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t + \phi) \quad (2.1.7)$$

Assim como a onda na corda, a luz também é um tipo de onda composta por campos elétrico e magnético e sofre os mesmos efeitos ondulatórios, sendo que o fenômeno da difração foi observado experimentalmente, pela primeira vez, pelo padre jesuíta italiano Francesco Maria Grimaldi (1618-1663) e inclusive nomeou o efeito com o trabalho intitulado *Diffraction*. Atualmente, o estudo das ondas é tratado pelas Ópticas geométrica e ondulatória.

2.2. TRATAMENTO DA ÓPTICA GEOMÉTRICA

Trata o raio de luz como um segmento de reta orientado (Ver Figura 4), e possui limitações ao tentar explicar fenômenos como a difração e a interferência, mas a Óptica Geométrica pode explicar muitos fenômenos envolvendo a luz baseando-se somente em previsões e dispensando um tratamento matemático mais rigoroso. Os principais físicos que estudaram os efeitos de reflexão, refração da luz e formação de imagens em espelhos nessa metodologia foram Newton, Fermat, Snell e Descartes.

Figura 4: Raios de luz representados por retas orientadas.



Fonte: Machado (s.d.)

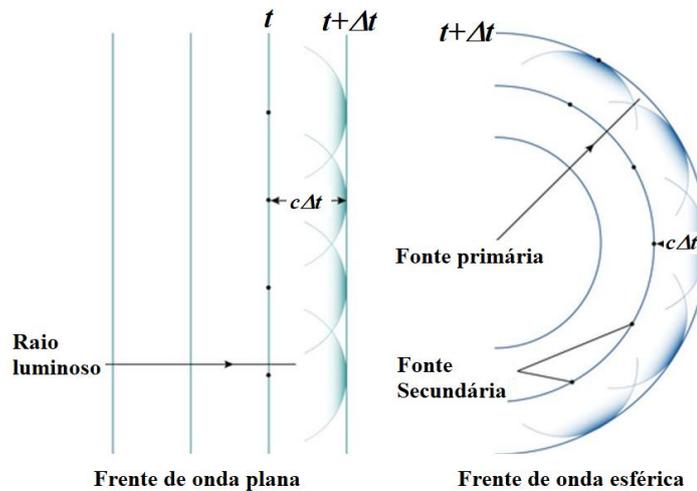
2.3. TRATAMENTO DA ÓPTICA ONDULATÓRIA

Em 1678, Huygens formulou um princípio de grande importância para a compreensão da propagação de ondas publicado em 1690 em seu “tratado sobre a luz”. Embora aplicado apenas à propagação de ondas sonoras (onde o comprimento da onda é próximo das dimensões dos objetos) o princípio de Huygens afirma:

Cada ponto em uma **frente de onda** funciona como uma nova fonte, produzindo ondas que se propagam com a mesma frequência, **velocidade** e na mesma direção das ondas originais. (IFPR Oficina do Ensino de Física s.d.)

A Figura 5 ilustra bem o princípio de Huygens considerando frentes de ondas primárias e secundárias planas (da esquerda) e circulares (da direita). As ondas estão se propagando com uma velocidade c . Huygens faz uma transição do princípio geométrico usando retas para círculos, sem fugir da Geometria.

Figura 5 : Cada ponto da frente de onda comporta-se como uma nova fonte de onda.



Fonte: Adaptado de <https://slideplayer.com.br/slide/359069/>²

Ele não considera o comprimento de onda no efeito da difração e prevê o mesmo comportamento para todas as ondas indo de encontro ao mesmo obstáculo.

O princípio da ótica geométrica não consegue explicar como ondas sonoras sofrem difração, isto é, se curvam em torno de obstáculos grandes como árvores ou postes, enquanto as ondas de luz visível, não sofrem difração nos mesmos obstáculos.

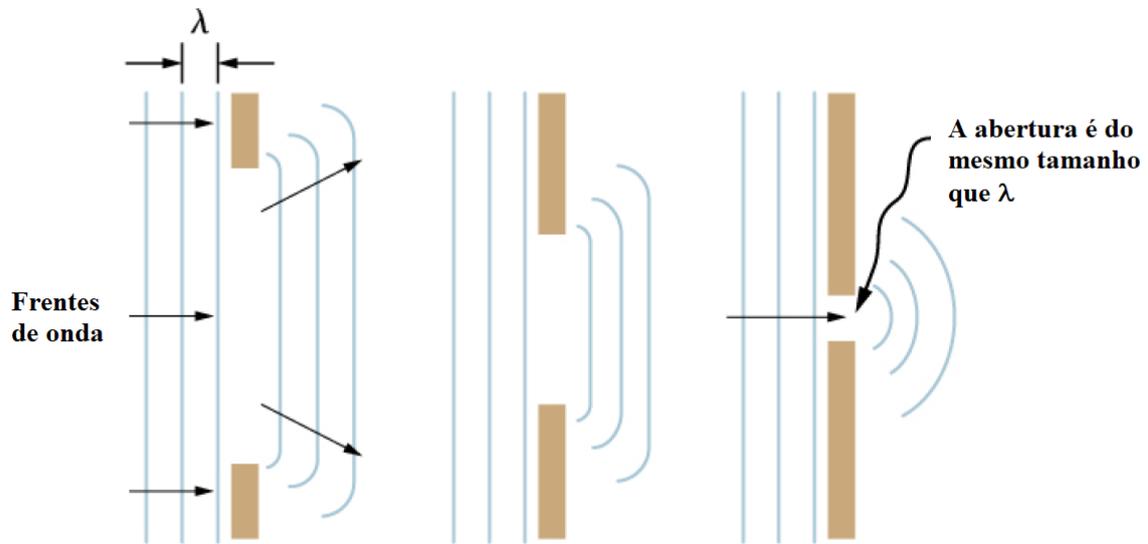
A observação de fenômenos e o uso de experimentos através dos tempos nos informam que a difração ocorre de acordo com o comprimento de onda, ou seja, para a luz atravessando uma fenda, o fenômeno da difração só vai ocorrer quando a fenda for pequena, ou melhor, o tamanho da fenda vai ficando pequeno até tornar-se próximo do comprimento de onda da luz. Note a Figura 6 para um auxílio na compreensão.

O comprimento de onda da luz visível está compreendido entre 700 nm³, luz vermelha e 400 nm para luz violeta, o que equivale em milímetros a $7 \cdot 10^{-4}$ mm a $4 \cdot 10^{-4}$ mm. Medidas realizadas comprovam que a espessura de um fio de cabelo humano é da ordem de 7×10^{-5} m sendo ideal para verificar a difração da luz e até possível medir a espessura do fio de cabelo.

² Disponível em: < <https://slideplayer.com.br/slide/359069/> > Acesso em 20 de jun. de 2020.

³ nm sigla para nanômetros que equivalem a 10^{-9} metros.

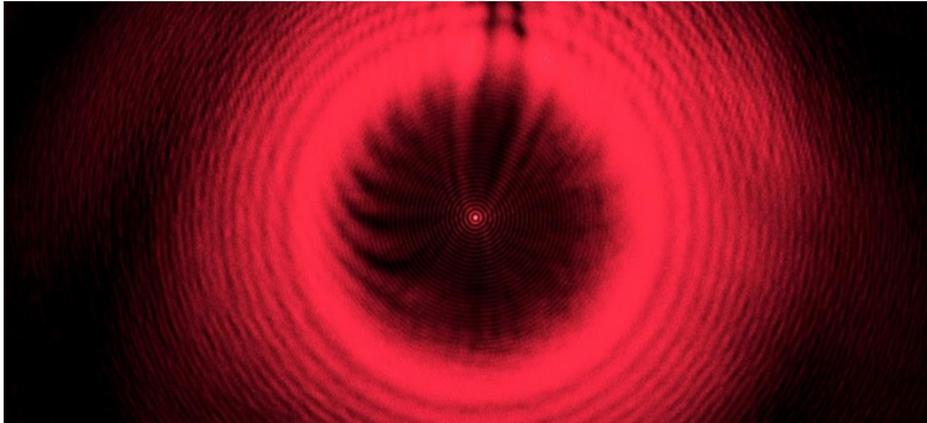
Figura 6: Frentes de onda projetada em uma fenda. À medida que a fenda diminui, fica mais evidente o efeito de difração.



Fonte: Ling, sanny, moebis (2016, p. 32)

A teoria newtoniana dos raios luminosos dominava os debates científicos franceses no início do século XIX, enquanto Augustin-Jean Fresnel, muito jovem e engenheiro militar, acreditava que poderia explicar o fenômeno de difração usando a teoria ondulatória. Ele escreveu um trabalho à Academia Francesa de Ciências, no qual descrevia seus experimentos com a luz e os explicava usando a teoria ondulatória. Fresnel venceu um concurso com o intuito de premiar o melhor trabalho sobre difração. Ele usou uma chapa com furo circular com dimensões da ordem do comprimento de onda da luz usada. Inconformado, Siméon Denis Poisson propôs que a experiência fosse feita com uma esfera ao invés de um simples furo circular. Ele propôs que, se a teoria de Fresnel estivesse correta, as ondas luminosas convergiriam para a sombra da esfera produzindo um ponto luminoso no centro da sombra. A comissão julgadora realizou o experimento e estava lá o *ponto claro de Fresnel*. As franjas de difração desta última experiência são mostradas na Figura 7.

Figura 7 : Uma esfera de aço iluminada por um laser vermelho.



Fonte : Ling, sanny, moebs (2016, p. 145)

O cálculo quantitativo dos efeitos de difração foi possível após a reformulação do princípio de Huygens por Fresnel. Ele acrescentou os efeitos de interferência ao princípio original. As componentes da onda em direções fora da direção de propagação sofrem interferência destrutiva, gerando outra frente de onda que segue o padrão anterior. Acrescenta-se que as ondas que se propagam para trás não são notadas devido a interferência destrutiva nessa direção. Esses novos termos foram adicionados ao princípio de Huygens, que ficou conhecido como o princípio de Huygens-Fresnel:

“... qualquer ponto de uma frente de onda que não seja obstruído, em qualquer instante se comporta como uma fonte de ondas esféricas secundárias, da mesma frequência da onda primária. A amplitude do campo óptico em qualquer ponto após a passagem pelo obstáculo é a superposição das amplitudes das ondas esféricas secundárias, levando em conta suas fases relativas.” (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO 2007)

O motivo pelo qual a luz atinge regiões para além da fenda, regiões inatingíveis para a luz, caso esta não sofresse difração, é que o grande número de ondas secundárias esféricas “emitidas pela abertura” interfere constantemente no anteparo.

A interferência é um fenômeno que se dá quando duas ou mais ondas se superpõem em fase ou defasadas. Faremos uma análise qualitativa das situações mostradas na Figura 8 onde as diferenças de fase são $\phi = 0, \pi$ e $2\pi/3$ rad, com ondas que possuem mesmo número de onda (k) e mesma amplitude (y_m).

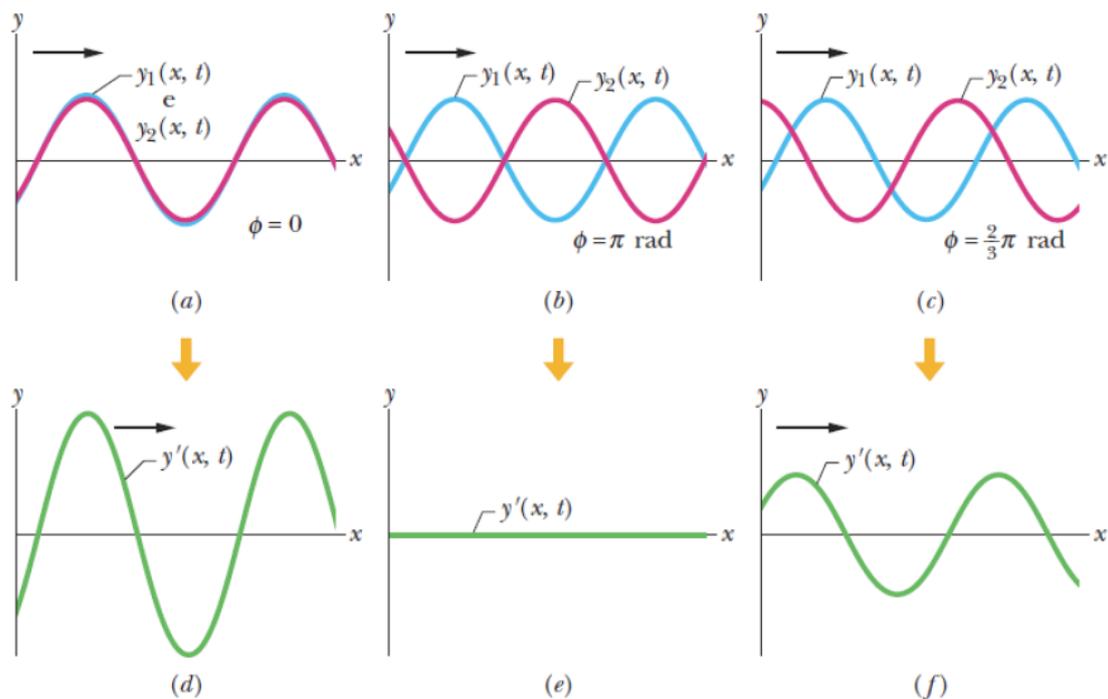
Na Figura 8 em (a) ambas as ondas estão em fase assim a superposição dessas ondas resultam em uma onda com amplitude aumentada de $2y_m$, veja na figura

a seta apontando para o resultado Figura 8(d). Esse tipo de interferência é chamado de interferência construtiva.

Na Figura 8(b) ambas as ondas estão completamente fora de fase assim a superposição dessas ondas resultam em uma onda com amplitude nula, veja a seta apontando para o resultado como ilustrado na Figura 8(e). Esse tipo de interferência é chamado de interferência destrutiva.

Na Figura 8(c) as ondas estão com uma diferença de fase que difere dos dois casos anteriores assim a superposição dessas ondas resultam em uma onda com amplitude intermediária entre 0 e $2y_m$, veja a seta apontando para o resultado ilustrado na Figura 8(f). Esse tipo de interferência é chamado de interferência intermediária.

Figura 8 : Três exemplos de diferença de fase entre duas ondas coerentes.



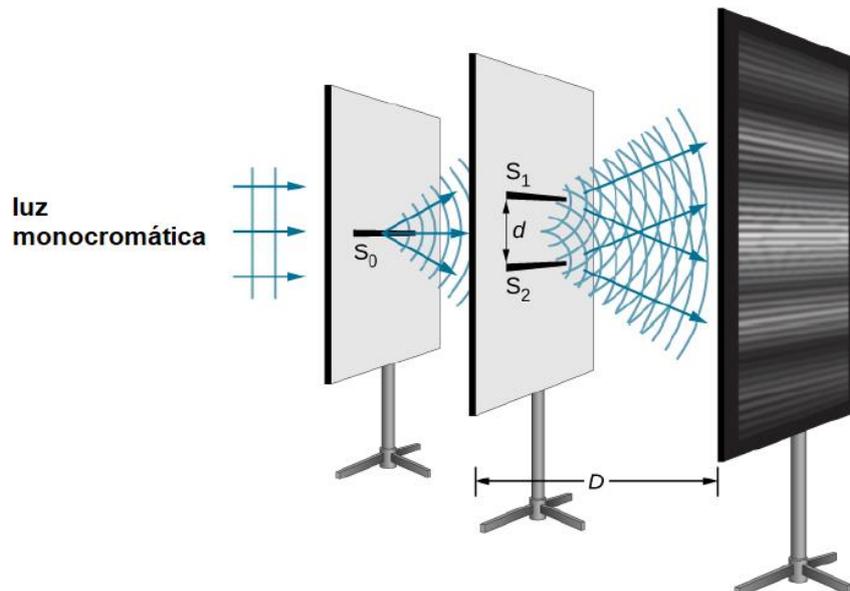
Fonte: Haliday (2016, p131)

Os fenômenos mostrados acima são perceptíveis se tivermos fontes coerentes que produzam ondas sem variação no decorrer do tempo em relação às outras, e possuindo uma relação de fase constante. Agora, se as fontes forem incoerentes produzindo ondas que variam com o tempo em relação às outras, o padrão de interferência pode até não ser notado pelo observador e, nesse caso, a relação de fase varia continuamente.

2.4. INTERFERÊNCIA DE ONDAS

O experimento de interferência com a luz, feito pela primeira vez por Thomas Young, em 1801, foi determinante para estabelecer-se a natureza ondulatória da luz, pois sabia-se que somente ondas poderiam sofrer interferência. Nesse experimento, uma onda dita plana não pontual e nem monocromática torna-se mais coerente e pontual depois de passar por uma fenda S_0 na primeira placa opaca. Após esse estágio a luz coerente difrata-se através da fenda e é usada para iluminar as fendas estreitas S_1 e S_2 do segundo anteparo. Uma nova difração ocorre quando a luz atravessa essas fendas e duas ondas esféricas se propagam simultaneamente para a direita interferindo uma com a outra, até incidir numa tela de observação (terceiro anteparo) veja Figura 9.

Figura 9 : O experimento de interferência de dupla fenda usando luz monocromática e fendas estreitas. Franjas produzidas pela interferência das ondas de Huygens das fendas s_1 e s_2 são observadas na tela.



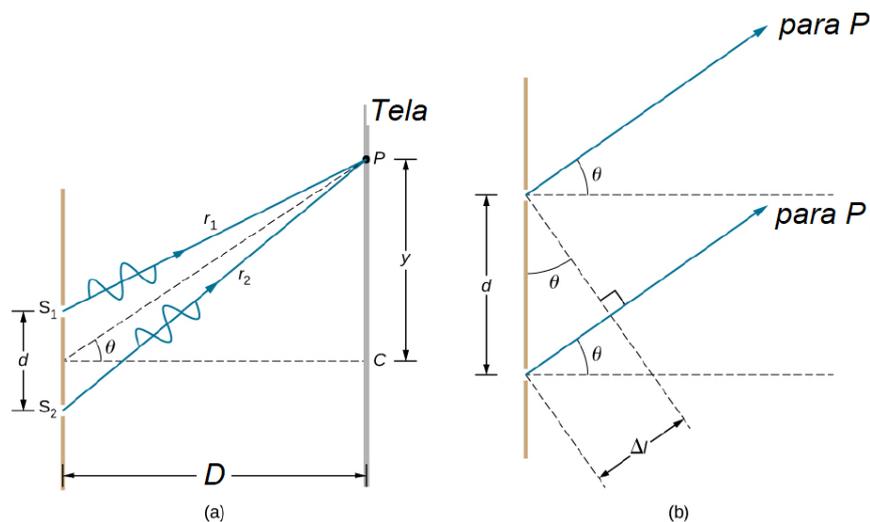
Fonte : Ling, sanny, moebs (2016, p. 119)

As ondas provenientes de cada fenda superpõem-se e interferem, construtiva ou destrutivamente, em um certo ponto, dependendo da diferença de fase entre elas. Devido a esse efeito, observam-se, em um anteparo colocado na frente das fendas, regiões em que a intensidade da luz é máxima, alternadas com outras em que a intensidade é mínima, como mostrado, esquematicamente, na Figura 9.

Para obtermos esse padrão de interferência, com franjas claras e escuras, as ondas provenientes de cada fenda devem ser monocromáticas (de mesma frequência) e coerentes (a diferença de fase entre elas deve permanecer constante no tempo). A luz de um *laser* tem essas características, tornando-se assim adequada para a obtenção de padrões de interferência.

Podemos usar a Figura 10(a) para representar uma onda plana que incide em uma placa com duas fendas. Nessa figura estão indicadas a separação d entre as fendas, a distância D da placa ao anteparo e o comprimento de onda λ da luz. Considere o ponto P, situado no anteparo, em uma posição determinada pelo ângulo θ .

Figura 10: Esquema geométrico de duas ondas, representadas pelos raios r_1 e r_2 , passando através das fendas estreitas e interferindo no ponto p.



Fonte : Ling, sanny, moebs (2016, p. 122)

Para atingir esse ponto, as ondas provenientes de cada fenda percorrem distâncias diferentes. Se a diferença entre essas distâncias (Δl , de acordo com a Figura 10(b)) é igual a um número inteiro de comprimentos de onda, essas ondas chegam em fase em P e a intensidade da luz, nesse ponto, será máxima. Se, por outro lado, a diferença entre essas distâncias é igual a um número ímpar de meios comprimentos de onda, as ondas chegam fora de fase em P e a intensidade, nesse ponto, será mínima. De acordo com a Figura 10(b), Δl é o cateto oposto do triângulo retângulo definido por d e a projeção perpendicular de r_1 sobre r_2 . Assim,

$$\Delta l = d \sin \theta \quad (2.4.1)$$

O que nos leva a definir que para interferências construtivas,

$$d \sin \theta = m\lambda, \quad \text{com } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2.4.2)$$

e para interferências destrutivas,

$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda, \quad \text{com } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2.4.3)$$

A posição de cada franja de interferência pode ser calculada através de Y (dado na Figura 10(a)) e considerando a condição de baixos valores de ângulo onde podemos aproximar $\sin \theta \approx \tan \theta$, implicando que, para as franjas claras;

$$\frac{m\lambda}{d} = \frac{Y_m}{D}$$

ou

$$Y_m = \frac{m\lambda D}{d}; \quad \text{com } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2.4.4)$$

Aqui Y é a posição da franja não confundir com y_m amplitude.

2.5. Intensidade da Luz no Pontos de Máximos e Mínimos

Para calcular a intensidade da luz em um ponto do anteparo trata-se a luz como onda eletromagnética com ênfase ao campo elétrico. Lembrando que é importante que a fonte seja coerente, com fase constante. Caso a fonte seja incoerente com a fase variando no tempo, não se observará a interferência.

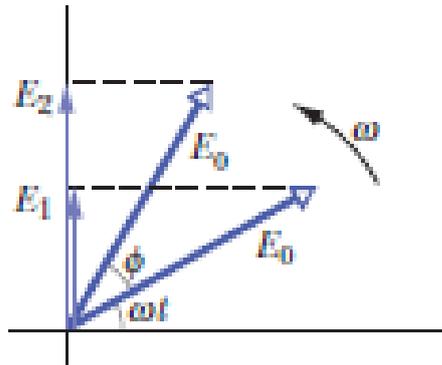
Na figura 11 temos a onda eletromagnética, luz, representada por fasores⁵ que são formas compactas de simbolizar um sinal.

⁴ m é o número que representa os múltiplos comprimentos de onda que interferem construtivamente e destrutivamente: por exemplo para interferências construtivas, quando $m = 0$ temos o ponto luminoso central, $m = 1$ temos o primeiro ponto luminoso após o central. Já para interferências destrutivas quando $m = 0$ temos o primeiro ponto escuro e para $m=1$ temos o segundo ponto escuro e por aí vai. só lembrando que para valores positivos temos pontos acima do ponto central e valores negativos, abaixo do ponto central.

⁵ Fasores, são na realidade vetores que giram em uma determinada velocidade em um círculo trigonométrico, dando origem as funções senoidais. Então toda função senoidal pode ser representada por um fasor. Os fasores possuem muitas aplicações em sistemas de potências.

A notação fasorial simplifica a resolução de problemas envolvendo funções senoidais no tempo.

Figura 11: Fasores representando ondas.



Fonte: HALIDAY,(2016)

A onda que sai da parte superior da fenda e atinge o ponto P, tem seu campo elétrico representado por:

$$\vec{E}_1 = \vec{E}_0 \sin \omega t \quad (2.4.5)$$

e a onda que sai da parte inferior da fenda, atingindo também o ponto P, tem seu campo elétrico dado por

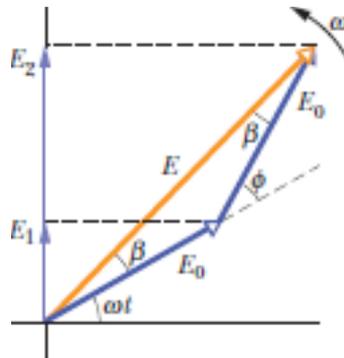
$$\vec{E}_2 = \vec{E}_0 \sin (\omega t + \phi) \quad (2.4.6)$$

onde ϕ representa a diferença de fase dos dois campos.

Quando as ondas atingem o anteparo há superposição dos campos e o campo resultante é dado pela soma de 2.3.5.1 e 2.3.5.2.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \vec{E}_0 \sin \omega t + \vec{E}_0 \sin(\omega t + \phi). \quad (2.4.7)$$

No modo geométrico esta soma é mais trabalhosa, pois usa as propriedades da soma e subtração de senos e cossenos. Usando fasores temos um resultado com menos trabalho. Os fasores E_1 e E_2 podem ser decompostos na direção de E . Veja figura 12.

Figura 12 : Fasores E_1 e E_2 resultando em E .

Fonte: HALIDAY, (2016)

A projeção dos fasores E_1 e E_2 sobre o fasor E resulta em:

$$E = 2E_0 \cos \beta. \quad (2.4.8)$$

E = campo elétrico, E_0 = campo inicial e β é o ângulo entre o campo E e os campos E_1 e E_2 .

Mas o ângulo externo ϕ de um triângulo é igual à soma dos dois ângulos internos não adjacentes a ele: $\phi = \beta + \beta \Rightarrow \phi = 2\beta$, então $\beta = \frac{\phi}{2}$ substituindo em (2.4.8) temos:

$$E = 2E_0 \cos \frac{\phi}{2} \quad (2.4.9)$$

Por outro lado, segundo Haliday "a intensidade de uma onda eletromagnética é proporcional ao quadrado da amplitude..." (Haliday, Fundamentos de Física 4, 2016, 202). Então elevando 2.3.5.5 ao quadrado tenho $E^2 = \left(2E_0 \cos \frac{\phi}{2}\right)^2$ que resulta em:

$$E^2 = 4E_0^2 \cos^2 \frac{\phi}{2} \quad (2.4.9.1)$$

Ainda de acordo com Haliday: "... E_0 , têm uma intensidade I_0 que é proporcional a E_0^2 , e a onda resultante, de amplitude E , tem uma intensidade I que é proporcional a E^2 ." (Haliday, Fundamentos de Física 4, 2016, p.202).

Do exposto temos: $\frac{I}{I_0} = \frac{E^2}{E_0^2}$ Isolando o campo E , $E^2 = E_0^2 \frac{I}{I_0}$ substituindo em

2.4.9.1 temos: $E_0^2 \frac{I}{I_0} = 4E_0^2 \cos^2 \frac{\phi}{2}$

Simplificando e escrevendo para I :

$$I = I_0 4\cos^2 \frac{\phi}{2} \quad (2.4.9.2)$$

Segundo Haliday a relação entre diferença de fase com diferença de percurso (Haliday, Fundamentos de Física 4, 2016, p.203) [...] é.

Se a diferença de percurso Δl for $\frac{\lambda}{2}$ a diferença de fase será $\phi = \pi$;

Se a diferença de percurso Δl for λ então a diferença de fase é $\phi = 2\pi$;

Se a diferença de percurso Δl for $\frac{3\lambda}{2}$ a diferença de fase será $\phi = 3\pi$

De acordo com as afirmativas escrevemos $\frac{\phi}{2\pi} = \frac{\Delta l}{\lambda}$ isolando o termo diferença de fase, temos $\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta l$, mas lembrando que a diferença de percurso $\Delta l = d \sin \theta$, então:

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta$$

Agora substituindo o valor de ϕ em 2.4.9.2 e simplificando temos:

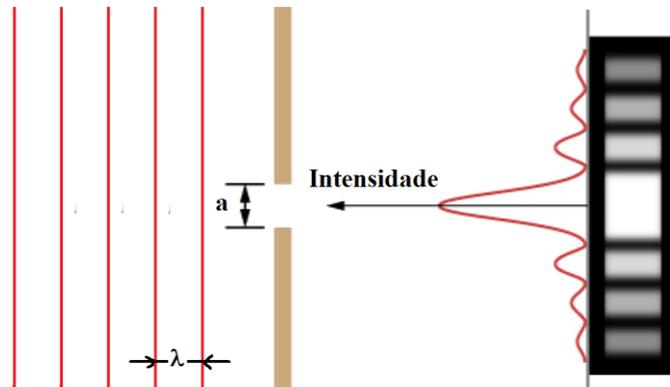
$$I = I_0 4\cos^2 \left(\frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta \right) \quad (2.4.9.3)$$

Onde: I =intensidade da onda; I_0 =intensidade inicial da onda; d = tamanho da fenda e θ = ângulo ente os raios r_1 e r_2 que saem da fenda.

2.6. DIFRAÇÃO EM FENDA ÚNICA

Quando a luz, que é composta por ondas provenientes de uma única fonte ou de fontes coerentes, com comprimento de onda λ , atravessa uma fenda de tamanho a , aproximadamente igual ao seu comprimento de onda, forma-se uma figura de difração de uma fenda, que consiste em um máximo central (franja clara) e uma série de franjas claras laterais separadas por franjas escuras (Veja Figura 14). Considerando o eixo central que passa pelo centro da franja clara máxima, os máximos estão situados aproximadamente a meio caminho entre os mínimos. (difração e interferência)

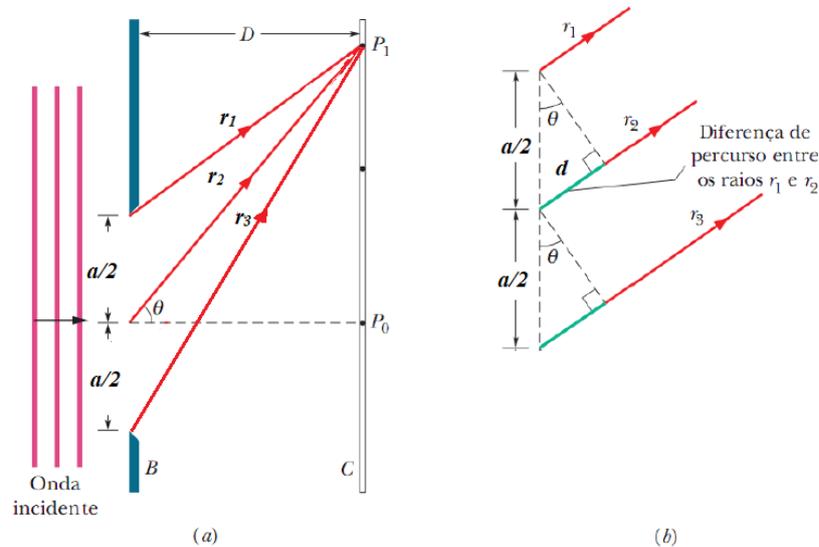
Figura 13 : Padrão de difração e interferência de fenda única. A luz monocromática que passa através de uma única fenda tem um máximo central, o mais brilhante, e máximos secundários (de intensidades menores) e escuros de cada lado.



Fonte: Adaptado de ling, sanny, moebs (2016, p. 145)

Esse efeito pode ser analisado de acordo com o modelo de Huygens — cada porção da fenda atua como uma fonte de luz, pois participa da mesma frente de onda e estão em fase inicialmente, como mostrado na Figura 14(a). As ondas provenientes de cada ponto da fenda podem chegar ao anteparo em fase ou fora de fase, produzindo regiões respectivamente claras ou escuras. Considere o ponto P, situado no anteparo, em uma posição indicada pelo ângulo θ em relação a P_0 . O fato de termos usados aqui setas, não anula as ideias de Huygens, uma vez que elas indicam a direção de propagação das ondas, de onde podemos calcular o caminho percorrido por cada onda.

Figura 14 : (a) Os raios provenientes da extremidade superior de duas regiões de largura $a/2$ sofrem interferência destrutiva no ponto p_1 . (b) para $d \gg a$, podemos supor que os raios r_1 e r_3 são aproximadamente paralelos e fazem um ângulo θ com o eixo central.



Fonte: Adaptada de Haliday (2009 p.113-114)

Inicialmente dividiremos a fenda mentalmente em 2 regiões de largura $a/2$. Os raios r_1 , r_2 e r_3 ligam cada ponto da fenda ao ponto P_1 . Quando o anteparo está muito próximo das fendas, o padrão de difração se torna muito difícil de descrever matematicamente. Para contornar isso, vamos supor que o anteparo esteja muito distante da fenda de forma que $D \gg a$ (como mostrado na Figura 14(b)), o que é de fato o que ocorre experimentalmente. Esse artifício faz com que apareçam vários triângulos retângulos, como o mostrado na Figura 14(b), cujo manejo matemático é conhecido. Nota-se que a diferença de percurso (d) entre cada par de raio é o cateto oposto a θ , em todos os referidos triângulos retângulos. Onde analisaremos as condições de mínimo de difração. Para isso tomaremos os pares de raios vizinhos e sugerimos que a condição de mínimo deve ser satisfeita sempre que a diferença de percursos entre os pares de raios seja meio comprimento de onda, $\lambda/2$.

Desta forma, se a diferença de percurso, d , entre os raios r_1 e r_2 , for $d = \lambda/2$, onde a hipotenusa do referido triângulo é $a/2$, estaremos numa condição de mínimo de difração, logo;

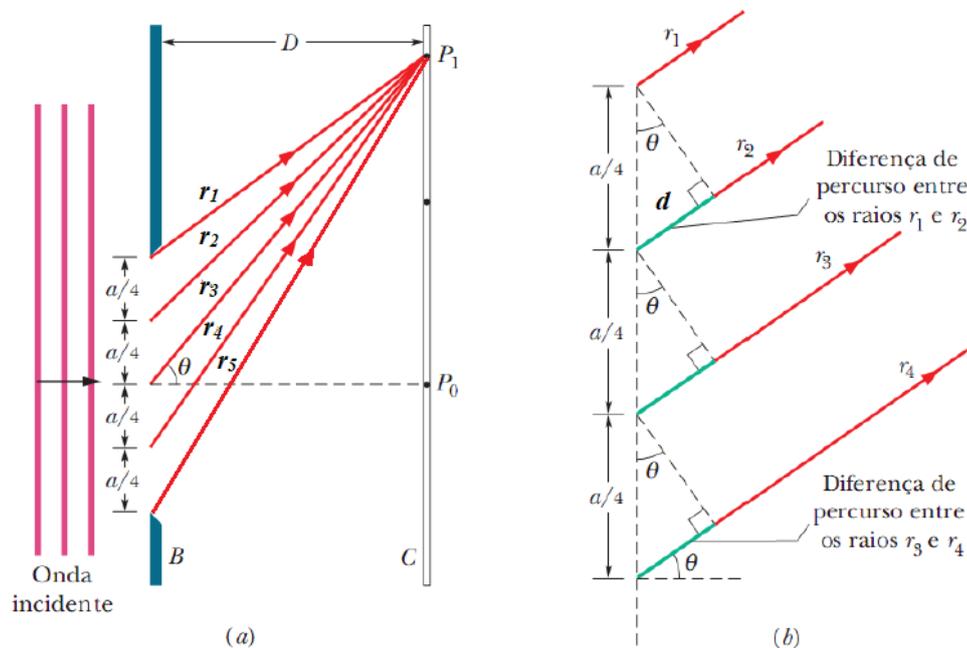
$$\sin \theta = \frac{d}{\frac{a}{2}} = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{2}{a} = \frac{\lambda}{a} \quad (2.6.1)$$

Assim, se fizermos o mesmo procedimento para os raios r_2 e r_3 encontraremos o mesmo resultado matemático, logo, essa é a primeira condição de mínimo de difração, onde

$$a \sin \theta = \lambda \quad (2.6.2)$$

Agora dividiremos a fenda mentalmente em 4 regiões de largura $a/4$, como mostra a Figura 15(a). Os raios r_1, r_2, r_3, r_4 e r_5 ligam cada ponto da fenda ao ponto P_1 .

Figura 15 : (a) os raios provenientes da extremidade superior de quatro regiões de largura $a/4$ sofrem interferência destrutiva no ponto p_1 . (b) para $d \gg a$, podemos supor que os raios r_1, r_2, r_3, r_4 e r_5 são aproximadamente paralelos e fazem um ângulo θ com o eixo central.



Fonte: Haliday (2009, p.114)

Analisaremos a condição de mínimo de difração para esse caso. Desta forma, se a diferença de percurso, d , entre os raios r_1 e r_2 , for $d = \lambda/2$, onde a hipotenusa do referido triângulo é $a/4$, estaremos numa condição de mínimo de difração, logo;

$$\sin \theta = \frac{d}{a/4} = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{4}{a} = \frac{2\lambda}{a} \quad (2.6.3)$$

Assim, se fizermos o mesmo procedimento para todos os outros pares de raios vizinhos, encontraremos o mesmo resultado matemático, fazendo com que seja a segunda condição de mínimo de difração, onde

$$a \sin \theta = 2\lambda \quad (2.6.4)$$

Analogamente se dividirmos a fenda em 6 partes encontraremos a condição,

$$a \sin \theta = 3\lambda \quad (2.6.5)$$

que é a terceira condição de mínimo.

Se continuarmos a dividir a fenda em um número cada vez maior de regiões, chegaríamos à conclusão de que as posições das franjas escuras acima e abaixo do eixo central são dadas pela seguinte condição geral:

$$a \sin \theta = m\lambda, \quad \text{para } m = 1, 2, 3, \dots \quad (2.6.6)$$

A intensidade das franjas de difração é dada por;

$$I = I_0 \left(\frac{\sin \alpha}{\beta} \right)^2 \quad (2.6.7)$$

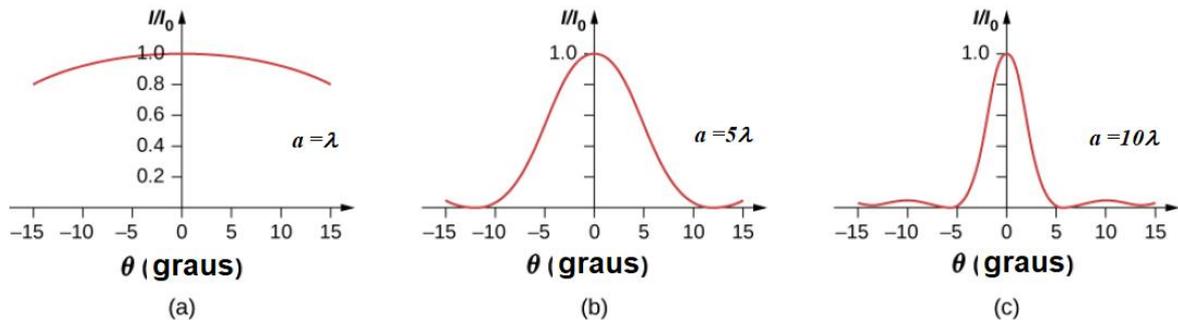
onde ϕ é a diferença de fase entre as ondas que atingem o ponto P, e

$$\alpha = \frac{\phi}{2} = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta. \quad (2.6.8)$$

2.7. DUPLA FENDA

Quando estudamos a interferência no experimento de dupla fenda de Young, naquele cenário as fendas eram tão estreitas que, na tela, você via apenas a interferência da luz de duas fontes pontuais, uma difração eficiente e sem a contribuição da interferência destrutiva. Se a fenda é igual ao comprimento de onda, a Figura 16a mostra que há apenas um espalhamento de luz na tela.

Figura 16 : Padrões de difração de fenda única para várias larguras de fenda. À medida que a largura da fenda d aumenta de $d = \lambda$ para 5λ e depois para 10λ , a largura do pico central diminui à medida que os ângulos dos primeiros mínimos diminuem conforme previsto.



Fonte: Adaptado de Ling, sanny, moebis (2016, p. 155)

No entanto, se você fizer a fenda mais larga, a Figura 16b mostra que já começa a surgir padrão de interferências destrutiva e construtiva. Na figura 16c percebe-se um pico mais estreito devido a uma abertura maior da fenda e maior quantidade de interferências destrutivas e construtivas.

Nesta seção, estudamos as complicações do experimento de Dupla fenda que surgem quando você também precisa levar em consideração o efeito de difração de cada fenda.

Para calcular o padrão de difração para duas (ou qualquer número de) fendas, precisamos generalizar o método que acabamos de usar para uma única fenda. Ou seja, em cada fenda, colocamos uma distribuição uniforme de fontes pontuais que irradiam ondas de Huygens e então somamos as ondas de todas as fendas. Isso fornece a intensidade em qualquer ponto da tela. Embora os detalhes do cálculo possam ser complicados, o resultado final é bastante simples:

O padrão de difração de duas fendas de largura D que são separadas por uma distância d é o padrão de interferência de duas fendas separadas por d multiplicado pelo padrão de difração de uma fenda de largura a .

Matematicamente a intensidade do padrão de difração de dupla fenda é dada por:

$$I(\theta) = I_m (\cos^2 \beta)^2 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2, \quad (2.7.1)$$

onde

$$\beta = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta, \quad (2.7.2)$$

que é um fator de interferência que depende de **d**, distância entre as fendas, e

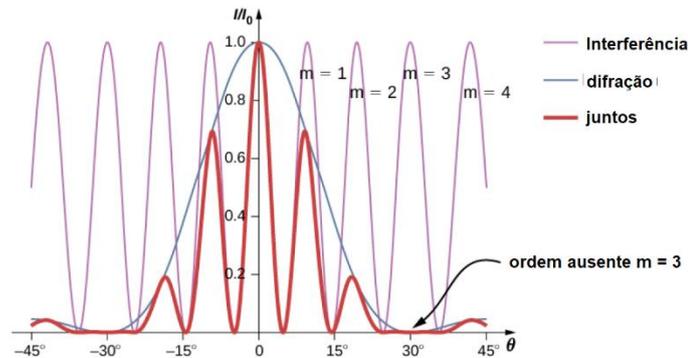
$$\alpha = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta \quad (2.7.3)$$

é um fator de difração que depende de **a** que é a largura das fendas.

Em outras palavras, os locais das franjas de interferência são dados pela equação $d \sin \theta = m\lambda$, a mesma de quando consideraram as fendas como fontes pontuais, mas as intensidades das franjas agora são reduzidas por efeitos de difração, segundo o fator $\left(\frac{\sin \alpha}{\alpha}\right)^2$ da equação 2.3.6.1. Observe que em interferência de ondas, escrevemos $d \sin \theta = m\lambda$ e usamos o número inteiro **m** para nos referir a franjas de interferência. A equação 2.3.5.6 também usa **m**, mas desta vez para se referir aos mínimos de difração. Se ambas as equações forem usadas simultaneamente, é uma boa prática usar uma variável diferente (como n) para um desses números inteiros e mantê-los distintos.

Os efeitos de interferência e difração operam simultaneamente e geralmente produzem mínimos em ângulos diferentes. Isso dá origem a um padrão complicado na tela, no qual faltam alguns dos máximos de interferência das duas fendas se o máximo da interferência está na mesma direção que o mínimo da difração. Nos referimos a um pico ausente como uma ordem ausente. Um exemplo de um padrão de difração no anteparo é mostrado na Figura 17. A linha sólida com múltiplos picos de várias alturas é a intensidade observada na tela. É o produto do padrão de interferência de ondas de fendas separadas e a difração das ondas de uma fenda.

Figura 17 : Difração de uma fenda dupla. O gráfico mostra o resultado esperado para uma fenda de largura $d = 2\lambda$ e separação da fenda $d = 6\lambda$. O máximo de $m = \pm 3$ ordem para a interferência é ausente porque o mínimo da difração ocorre na mesma direção.

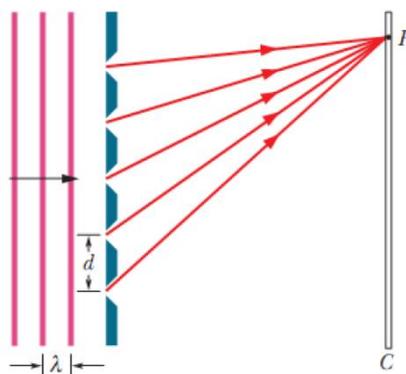


Fonte: Adaptado de Ling, sanny, moebis (2016, p. 156)

2.8. REDES DE DIFRAÇÃO

Uma rede de difração tem um comportamento semelhante a uma fenda dupla exceto pela quantidade de fendas existentes na rede. De acordo com Haliday “um dos dispositivos mais usados para estudar a luz e os objetos que emitem e absorvem luz é a rede de difração” (Haliday, 2009, p.126). A luz ao atravessar uma rede de difração sofre um espalhamento e produz vários pontos de luz e escuridão. (Quando a luz difratada produz pontos de luz estreitos, denominam-se linhas). Na Figura 18 podemos ver uma rede de difração simplificada.

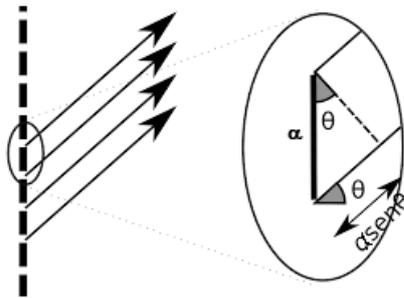
Figura 18 : Rede de difração simplificada.



Fonte: Haliday, fundamentos de fisica iv (2009,p.126)

Para determinar as posições das linhas no anteparo usamos as mesmas considerações feitas para a dupla fenda. Considerando duas fendas vizinhas, veja a ampliação na Figura 19, nota-se que $a \sin \theta = m\lambda$, o mesmo para uma fenda simples ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$).

Figura 19: Múltiplas fendas simplificadas.



Fonte: Adaptada de (Danilo 2016)⁶

Se uma rede contém M fendas com espaçamentos iguais a a ocupando largura total A , então $a = \frac{A}{M}$ e a distância A entre a primeira (primeiro raio) e última fenda (último raio) será Ma , que corresponde a abertura total. Então podemos escrever $Ma \sin \theta = m\lambda$ para os raios extremos da rede.

Se determinarmos a distância entre duas fendas, e o tamanho da rede, poderemos determinar a razão M/A (fendas por metro) uma vez que a rede seja homogeneamente espaçada.

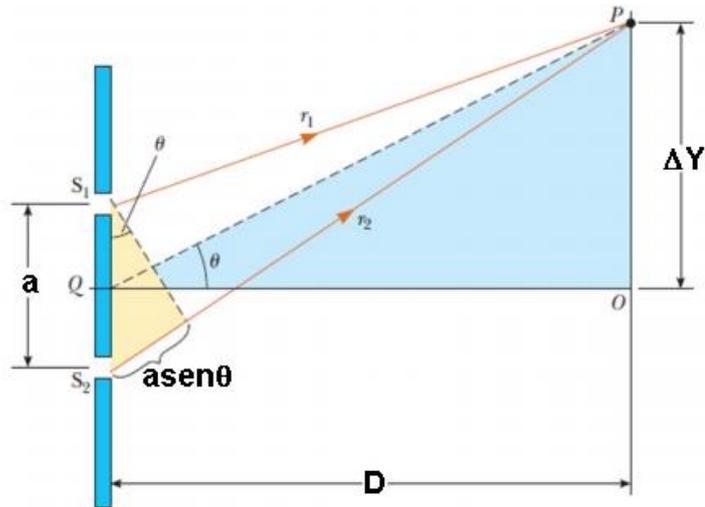
Um CD tem comportamento de uma rede de difração e pode-se determinar a distância entre os sulcos a , veja figura 20, calculando a separação entre duas fendas com o uso de:

$$a \sin \theta = m\lambda \quad (2.8.1)$$

$$\text{Então } a = \frac{m\lambda}{\sin \theta}$$

Figura 20: Difração entre duas fendas

⁶ Disponível em: <http://estudeadistancia.professordanilo.com/?tag=rede-de-difracao>. Acesso em 7 de julho de 2019



Fonte: Adaptada de edisciplinas.usp.br⁷

o $\text{sen } \theta$ pode ser calculado por

$$\text{sen } \theta = \frac{\Delta Y}{\sqrt{\Delta Y^2 + D^2}} \quad (2.8.2)$$

logo

$$a = \frac{m\lambda \sqrt{\Delta Y^2 + D^2}}{\Delta Y}, \quad (2.8.3)$$

Onde:

a = distância entre os sulcos do CD.

λ = comprimento de onda da luz (a ser pesquisado).

D = distância entre o anteparo e o ponto de incidência da luz no cd.

ΔY = distância entre os pontos de luz no anteparo (franjas).

m = número relativo à fenda (no caso 1 é relativo à primeira fenda).

⁷ Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4346103/mod_resource/content/2/SSMHT%20difracao-e-interferencia%20GE-2017_c.pdf Acesso em 15 de agosto 2020.

3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

PROFESSOR: JOSÉ ALVINO SOUSA FERREIRA

Disciplina: Física

Período: 29/04/19 a 09/05/2019

Números de sequências: 04 Encontros

Tema gerador: DIFRAÇÃO/INTERFERÊNCIA

Subtema: OPTICA

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Conceitual (saber)

- ❖ Identificar as características da Difração e Interferência.
- ❖ Reconhecer a Difração em um fenômeno.

Procedimental (saber fazer)

- ❖ Produzir experimentos com materiais alternativos que demonstrem o efeito da Difração e Interferência.

Atitudinal (saber ser)

- ❖ Pesquisar os vários fenômenos que envolvam a Difração e Interferência.

ESTRUTURA DA AULA

1ª Parte

O/a professor/a iniciará sua aula aplicando um teste para verificar se os alunos possuem a estrutura cognitiva que lhes permita a compreensão da Difração.

2ª parte

Em seguida constrói um mapa conceitual relativo aos conhecimentos e conceitos da óptica: tal como a natureza da luz, ondas, período, frequência e comprimento de onda da luz,

3ª parte

O docente iniciará via exposição de conteúdos dialogando sobre a Difração no cotidiano do aluno relatando exemplos das ondas no mar, ondas sonoras e ondas da luz. Em seguida o/a professor/a falará sobre os conceitos de Difração e a influência do comprimento da onda sobre o efeito da Difração. Explicará também que a Interferência é fundamental no efeito da Difração, Difração por Fenda Simples, contornando um obstáculo, por Fenda Dupla, as Redes de Difração e fundamentos matemáticos.

4ª parte

Após receberem os roteiros, os grupos apresentarão seus conhecimentos adquiridos na forma de experimentos e produções.

5ª parte

Os alunos responderão a um questionário de aceitação da Sequência Didática.

ESTRATÉGIAS DE AVALIAÇÃO

Conceitual

O docente irá fazer um questionário com perguntas abertas e fechadas para verificar se os alunos entenderam os conceitos da aula

Procedimental

Os alunos construirão vários experimentos sobre difração com material alternativo, além de relatório sobre a construção do experimento realizado

Atitudinal

Os alunos divididos em grupos deverão fazer várias pesquisas sobre a difração (redes de difração; aspectos da produção de vídeo; informações sobre estudiosos da difração; difração em um obstáculo) trazer na aula seguinte para dialogar sobre o seu trabalho a ser produzido.

MATERIAL NECESSÁRIO

GRUPO 1: Confecção do experimento difração sobre um fio de cabelo

caixa de papelão, Laser, fio de cabelo, cola, estilete e mesa.

GRUPO 2: Experimento sobre redes de difração

Laser, CD, caixa de papel, suporte e régua

GRUPO 3: Produção de vídeo

celular; caixa de papelão, Laser, fio de cabelo, cola, estilete e mesa.

GRUPO 4: Produção de cartazes

Cartolina, revista ou livros e ainda internet, lápis, lapiseira, tesoura, cola.

Tabela 1- relação de material

MATERIAL	QUANTIDADE	UNIDADE	TOTAL
Caixas de papelão (para calçados)	2	0	0
Laser	3	5,00	15,00
Fio de cabelo	1	0	0
Cola	3	2,00	6,00
Estilete	1	8,00	8,00
Mesa	4	0	0
CD	1	0	0
Suporte	1	15,00	15,00
Régua	1	2,00	2,00
Celular	1	0	0
Cartolina	2	1,00	2,00
lápis	1	0	0

lapiseira	1	0	0
tesoura	1	1	5,00
TOTAL	53,00		

*valores coletados na época

Encontro 1

Informa-se aos alunos os aspectos da sequência, como será a abordagem e logo em seguida aplica-se um teste para verificar se os alunos possuem a estrutura cognitiva que lhes permita a compreensão da Difração. Aferição dos conhecimentos prévios.

ESCOLA:

Professor:

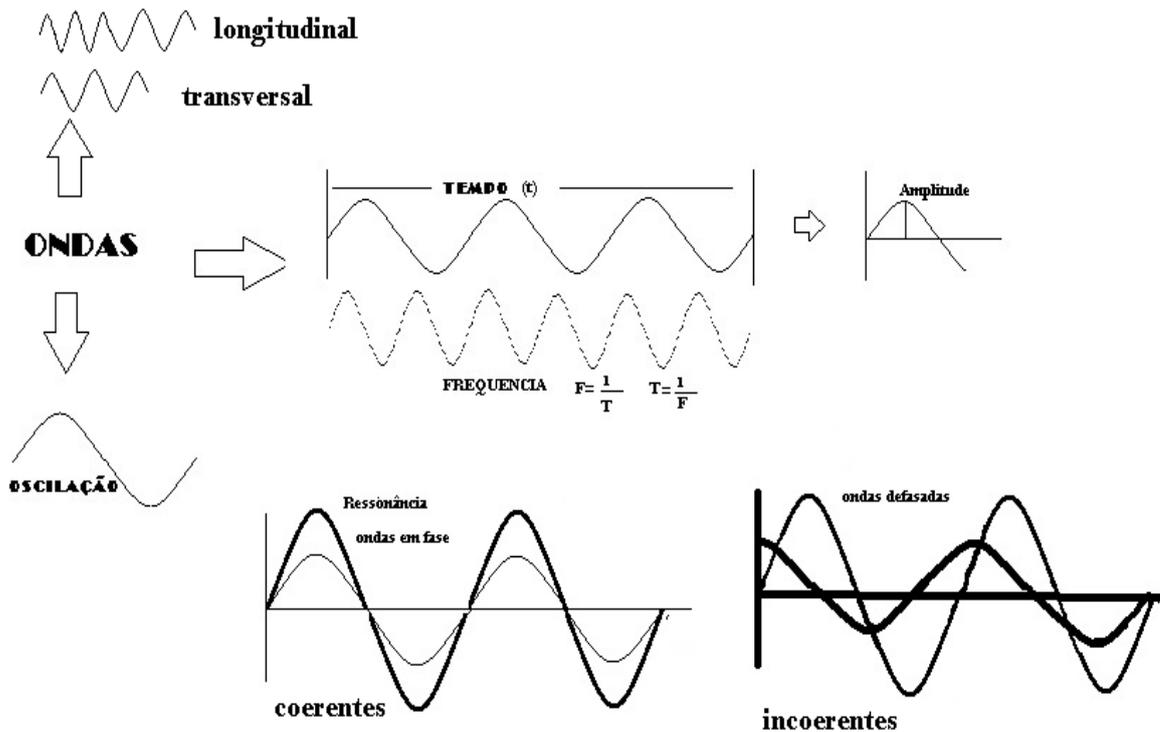
Nome:

1. Você já ouviu falar em movimento oscilatório ou movimento periódico? Se sim, tente explicar o que é e cite exemplo(s).
2. Já ouviu falar sobre ondas, tente definir uma fazendo uma representação gráfica (um desenho).
3. Você conhece quais tipos ondas?
4. Como se produz uma onda?
5. O que é frequência na sua concepção? Explique
6. Você já ouviu falar em ressonância? Se sim, tente explicar o que significa, com suas palavras
7. Você tem conhecimentos sobre interferência de ondas? Explique
8. Já viste alguma figura de interferência de ondas na água? Explique
9. Conhece as relações triangulares: catetos, hipotenusa, seno, cosseno e tangente? Explique
10. Por que você consegue ouvir uma pessoa do outro lado do muro, mas não a vê?

Encontro 2

Após aplicação do questionário e analisa-lo, inicia se uma aula com a construção de um mapa conceitual (como exemplo tem o mostrado na Figura 20) sobre Ondulatória a fim de reforçar os conhecimentos prévios dos alunos sobre: Oscilação, Onda, Frequência, Período, Amplitude, Comprimento de Onda, Ressonância: fase e defasagem, relações métricas no triangulo retângulo reforçando os conteúdos relacionados ao questionário acima.

Figura 21 - Exemplo de Mapa Conceitual



Encontro 3

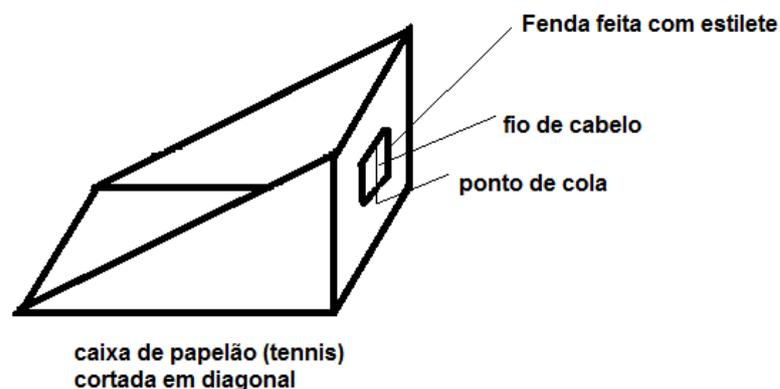
Após o reforço dos conhecimentos prévios introduz-se a óptica geométrica e física culminando com a Difração da Luz e em seguida divide-se a turma em 4 grupos de acordo com o número de temas e a identificação própria de cada grupo com a atividade proposta e deverão produzir os seguintes trabalhos:

3.1. MEDIDA DA ESPESSURA DE UM CABELO

Será necessário caixa de papelão (de tênis), Laser, fio de cabelo, cola, estilete, fita métrica ou régua, caderno para apoiar o laser e mesa (do professor). De posse do Laser instrua cuidados para não apontarem para os olhos das pessoas, pois é perigoso. Uma incidência de Laser nos olhos pode causar danos à retina e cegueira irreversível.

Com o uso de um estilete, corte a caixa em diagonal e faça uma janela aproximadamente 5 x 5 cm, usando a fita métrica, conforme a Figura 21. Usando cola rápida, faça a fixação de um fio de cabelo sobre a janela e teremos uma base para a incidência da luz laser.

Figura 22 - Caixa de papelão preparada para o experimento de difração.

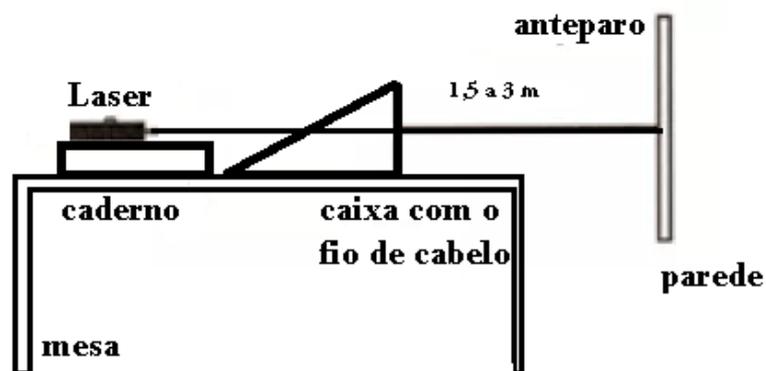


Fonte : Própria

Consiga um aparato (uma parede lisa e branca). Posicione o Laser de modo que o feixe atravessa o fio de cabelo e observe o que acontece com a projeção na parede. O diagrama abaixo, Figura 22, dá uma ideia de como montar seu experimento.

Observe que o fio de cabelo deve ficar a mais ou menos 1,5 metros de distância da parede use a fita métrica para medir.

Figura 23 – Esquema de montagem do experimento.



Fonte : Própria

Ao apontar o Laser para a parede esta deve ser a imagem que você vai obter, Figura 23.

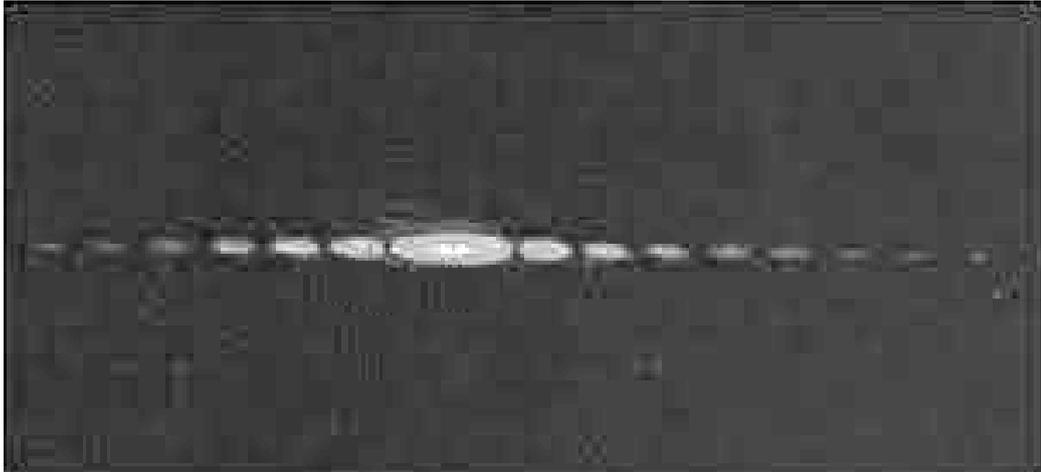
Figura 24 – Ponto de luz obtida com laser.



Fonte : Própria

E ao apontar o Laser para o fio de cabelo, ajustando a sua distância em relação ao Laser e anteparo (parede), você deve obter a imagem abaixo, Figura 24. Como vimos no Capítulo 2, esse fenômeno é a difração da luz usando o fio de cabelo como uma fenda.

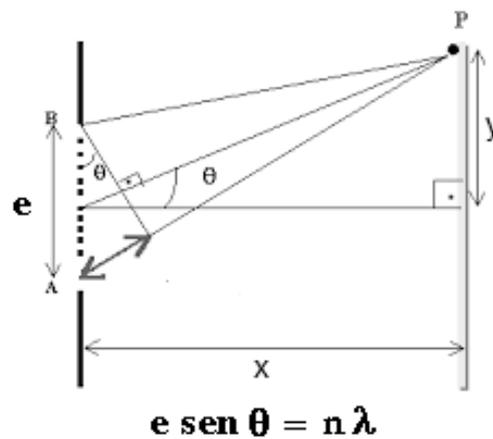
Figura 25 – Franjas obtidas com o fio de cabelo posicionado na frente do laser



Fonte : Própria

Para calcular, a partir do padrão de difração, a espessura de um fio de cabelo vamos esquematizar o problema geometricamente como mostrado na Figura 25. Onde e representa a espessura do cabelo, x a distância do fio de cabelo ao quadro da sala e y a distância do máximo central até a ordem desejada de máximo ou mínimo.

Figura 26 - Esquema de cálculo da espessura do fio de cabelo



Fonte : Própria

Vimos através da Equação 11 da Seção 5.4, que e , x e y são relacionados através de:

$$e = \frac{n\lambda x}{y}$$

λ = comprimento de onda da luz laser (nesta experiência utilizamos os lasers vermelho 680 nm ou verde 530 nm)

X = distancia da caixa ao anteparo (parede), medir com a fita métrica ou régua com máxima precisão.

Y = distância entre os dois primeiros pontos de luz do central e o primeiro imediato, medir com a fita ou régua com máxima precisão.

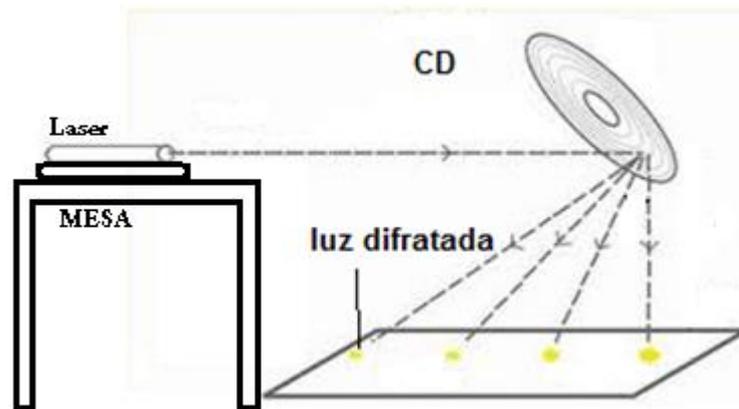
3.2. EXPERIMENTO SOBRE REDES DE DIFRAÇÃO

O aluno não encontrará dificuldade em obter Laser, CD, caixa de papel, suporte e régua. Ao apontar o laser para o cd e acionar o botão vai obter por reflexão (rede de reflexão) pontos de luz espaçados se estiver com a camada brilhante. Pode usar também um DVD (digital vídeo disc), mas a distância entre os pontos de luz refletidos será bem maior.

Embora a superfície do CD ou DVD pareça lisa e brilhante há furos microscópicos de aproximadamente $0,1 \mu\text{m}$ de profundidade e $3,3 \mu\text{m}$ de comprimento formando sulcos (pits) e afastados por $1,6 \mu\text{m}$ em espiral, sendo que o comprimento de onda da luz visível está na faixa de $0,4 \mu\text{m}$ a $0,7 \mu\text{m}$ então percebe-se que os sulcos (fendas) estão próximos do comprimento de onda da luz e o CD pode ser considerado uma rede de difração pois tanto uma rede de difração quanto um CD ou DVD têm o mesmo princípio de construção.

O esquema de montagem do experimento para visualizar o efeito da rede de difração pode ser visto na Figura 26.

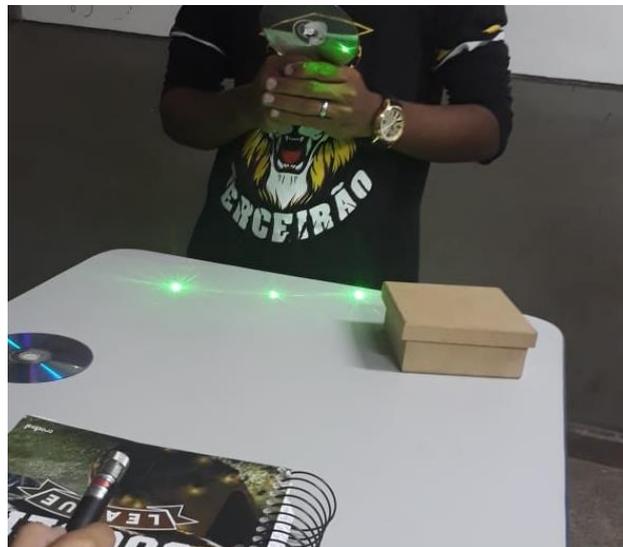
Figura 27 - Esquema de montagem do experimento



Fonte: Adaptada de portaldoprofessor.mec.gov.br

A Figura 27 mostra alunos se preparando para a realização da experiência usando um laser e um CD.

Figura 28 - Experimento demonstrando os feixes espaçados produzidos pela rede



Fonte :Própria

O aluno poderá calcular a distância entre as fendas usando $d \sin \theta = m \lambda$

$$\alpha = \frac{m \lambda}{\sin \theta} \text{ o } \sin \theta \text{ pode ser calculado por } \sin \theta = \frac{\Delta y}{\sqrt{\Delta y^2 + d^2}}$$

Onde

α = distância ente os sulcos (fendas)

m = número relativo à fenda (no caso 1 é relativo à primeira fenda)

λ = comprimento da onda da luz (a ser pesquisado) (vermelha 680×10^{-9} ou verde 530×10^{-9} m)

Δy = distância entre os pontos de luz no anteparo (franjas)

d = distância entre o anteparo e o ponto de incidência da luz no cd

3.3. PRODUÇÃO DE CARTAZ

Esta é uma tarefa que parece bem menos complicada e que vai obter grande aceitação por parte da turma e trata-se também de outra forma de expressão do conhecimento, que é um meio de apresentação e fixação de conteúdo. Os alunos podem usar sua arte em desenhos e produção textual para seu entendimento e propagação das informações.

Neste trabalho orienta-se a produção de cartazes para que estes contenham a história e desenhos ou imagens de vultos da Física responsáveis pelo estudo da difração.

Com o uso do material Cartolina, revista ou livros e ainda internet, lápis, lapiseira, tesoura, cola, grupo responsável pelo(s) cartaz(es) deve pesquisar em livros ou internet a biografia de Huygens, Fresnel, Fraunhofer e Grimaldi produzindo seu próprio texto fazendo referência também ao trabalho do cientista, inserindo (colando) desenho ou figura recortada de revista descartada ou jornal no cartaz. Um modelo de cartaz é apresentado na Figura 28.

Material necessário: Cartolina, revista ou livros e ainda internet, lápis, lapiseira, tesoura, cola.

Figura 29 - Exemplo de Cartaz



Fonte : Própria

3.4. PRODUÇÃO DE VÍDEO

Atualmente o processo de expansão midiática permitiu qualquer pessoa produzir um vídeo, mesmo aqueles que possuem pouca intimidade com um celular. Para um melhor aproveitamento, basta direcionar o uso do dispositivo, uma vez que o mesmo se torna um recurso auxiliar bem barato.

Daí o aluno pode muito bem expressar o que aprendeu sobre certo assunto produzindo um vídeo ressaltando seu conhecimento adquirido. O grupo de alunos responsável pelo vídeo devem reproduzir o experimento filmar e reproduzir vídeo + áudio explicando o funcionamento da difração. Utilizando o material: celular; caixa de papelão, Laser, fio de cabelo, cola, estilete e mesa.

Encontro 4

Após apresentação da produção aplica-se um questionário de aferição dos conhecimentos obtidos de cada aluno de modo individual. Abaixo temos a sugestão de um questionário para avaliar os conhecimentos obtidos podendo ser aplicado ou não, ficando a cargo do professor uma vez que haja uma avaliação qualitativa e quantitativa durante as etapas da Sequência Didática.

Escola

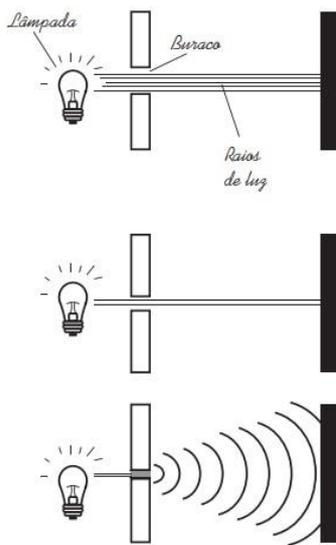
Nome

Atividade sobre Difração.

1 - Thomas Young (1773-1829) fez a luz de uma fonte passar por duas fendas paralelas antes de atingir um obstáculo e observou no anteparo o surgimento de regiões claras e escuras. Marque a alternativa verdadeira a respeito desse fenômeno:

- | | |
|---|--|
| a) Trata-se do fenômeno da refração, em que a luz tem condição de passar por obstáculos. | e) Trata-se do fenômeno da difração, em que, após a passagem por pequenos obstáculos, as ondas mecânicas tendem a contorná-lo. |
| b) Trata-se do fenômeno da difração, que ocorre somente com ondas mecânicas. | |
| c) Trata-se do fenômeno da difração, em que, após a passagem por pequenos obstáculos, as ondas tendem a contorná-lo. | |
| d) Trata-se do fenômeno da polarização, em que, após a passagem por pequenos obstáculos, as ondas tendem a contorná-lo. | |

2 - 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.



FIOLHAIS, C. Física divertida. Brasília: UnB, 2000 (adaptado).

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

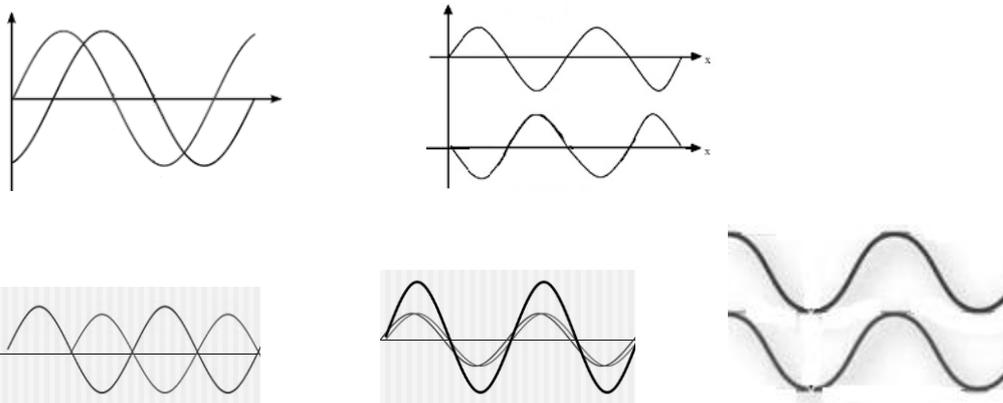
- Ao se esconder atrás de um muro, um menino ouve a conversa de seus colegas.
- Ao gritar diante de um desfiladeiro, uma pessoa ouve a repetição do seu próprio grito.
- Ao encostar o ouvido no chão, um homem percebe o som de uma locomotiva antes de ouvi-lo pelo ar.
- Ao ouvir uma ambulância se aproximando,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

3 – A respeito da difração, assinale a opção falsa:

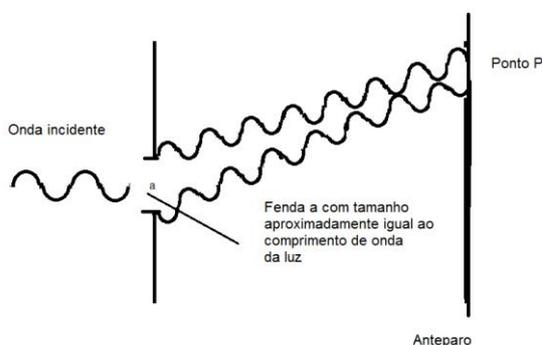
- a) O som se difrata mais do que a luz, porque o seu comprimento de onda é maior.
- b) Os sons graves se difratam mais do que os sons agudos.
- c) A luz vermelha se difrata mais do que a violeta.
- d) Para haver difração em um orifício ou fenda, o comprimento de onda deve ser maior ou da ordem de grandeza das dimensões do orifício ou fenda.
- e) Apenas as ondas longitudinais se difratam.

4 - Enumere as figuras e descreva:

- a) Quais estão em fase
- b) Quais estão defasadas (fora de fase)



5 – Observe a figura de interferência de ondas e descreva se no ponto p está ocorrendo uma interferência destrutiva ou construtiva.



6 – As interferências construtivas e destrutivas correspondem a pontos respectivamente:

- a) Escuro e claro b) Claro e escuro
c) Azuis d) verdes e) nada

7 - Um CD (*Compact Disc*) ao receber luz visível, mostra o espectro de cores contida na luz. Isto ocorre porque o CD se comporta como:

- a) rede de difração
b) placa polarizada
c) prisma refrator
d) lente refletora
e) nada

8 – Qual foi o precursor dos estudos sobre difração da luz?

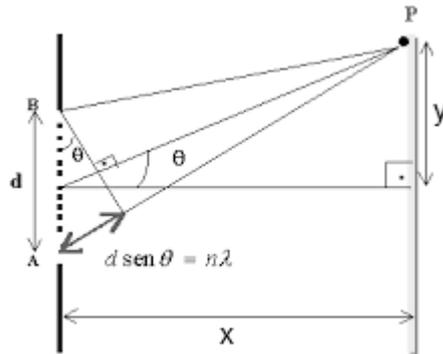
- a) Newton b) Thomas Young c) Huygens d) Francesco Grimaldi
e) nda

9 – Na foto da difração do fio de cabelo demonstrada pelos alunos, temos um ponto central luminoso e pontos tracejados significando:

- a) Pontos de interferência construtiva e destrutiva
b) Pontos de luz laser
c) Reflexos do fio de cabelo
d) Espessura do laser sobre o fio de cabelo
e) Nada



10 – Na figura determine a espessura do fio de cabelo iluminado com luz verde de comprimento de onda $\lambda = 500\text{nm}$, ou seja, $5 \times 10^{-5} \text{ cm}$



d = espessura do fio de cabelo; y = distância entre o centro luminoso e o primeiro ponto escuro ($0,01\text{m} = 1\text{cm}$) (obs.: isto faz com que $n=1$); x = distância entre o fio de cabelo e a parede ($1\text{m} = 100\text{cm}$).

Use $\rightarrow d = \frac{\lambda x}{y}$ (como demonstrado na aula sobre difração da luz)

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Destaca-se aqui que este trabalho foi efetuado em uma escola estadual do estado do maranhão, mesmo não tendo alcançado sucesso, e não sendo um material detentor do conhecimento absoluto, serve para incentivar e conquistar alunos que anseiam por outras formas de abordagens de conteúdo. A Sequência Didática produzida obteve grande aceitação na escola em que lhe deu origem sendo um instrumento altamente atraente para os alunos que jamais vão ver uma sombra produzida, um arco íris, ou até mesmo um fenômeno marítimo com a mesma visão, além disso esta Sequência Didática vem a ser mais uma ferramenta para somar com outras já existentes, podendo inclusive servir de inspiração para abordagem de outros assuntos e práticas produzidas por colegas docentes.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. **Lei Nº 9394 de 20 de Dezembro de 1986**. [S,I][2016?].Disponível em:<http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/lei9394_ldbn1.pdf>. Acesso em: 30 de jul. 2018.
- . Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais** (Ensino Médio). Brasília, 1999. Disponível em: < <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>>, Acesso em 26 de abr. de 2019.
- . Base Nacional Comum Curricular (BNCC). **Educação é a Base**. Brasília, MEC/CONSED/UNDIME, 2017. Disponível em :< http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf>. Acesso em 27 de maio de 2020.
- CAVALCANTE, M.A.; TAVOLARO, C. R. C. Uma Oficina de Física Moderna que Vise a sua Inserção no Ensino Médio.**Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n. 3, p. 372- 389. dez. 2001.São Carlos. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/10027/9274>>. Acesso em: 31 de jul. 2018.
- LING,S. J., SANNY, J. and MOEBS, W., **University Physics**, Volume 3, OpenStax, Houston, 2016.
- Haliday, Resnick, Walker. *Fundamentos de Física 4*. Rio de Janeiro : LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2016.
- IFPR Oficina do Ensino de Física. *Passei Direto*. s.d. Disponível em:< <https://www.passeidireto.com/disciplina/oficina-do-ensino-de-fisica?ordem=1>> (acesso em 29 de julho de 2018).
- MACHADO, João Vitor Hayashi. “Fisicfa - BONJORNNO - Exercícios de Física envolvendo Energia...” *EBAH*. 2016. Disponível em:< <https://www.ebah.com.br/content/ABAAAfJbMAD/fisicfa-bonjorno>> (acesso em 01 de Outubro de 2018).
- TERRAZZAN, Eduardo Adolfo. A inserção da fisica moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau.Cad.Cat.Ens.Fís.,v.9, n.3: p.209- 214, dez .1992. [S,I].Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/7392/6785>>. Acesso em: 31 de jul. 2018.

