

ORIENTAÇÕES DE ESTUDOS DE

FÍSICA **4**

3ª
SÉRIE



Ensino Médio

Secretaria de
Educação



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO



/SeeducRJ



/seeducrj



/seeducio

Secretaria de
Educação



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO

Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado de Educação

Comte Bittencourt
Secretário de Estado de Educação

Andrea Marinho de Souza Franco
Subsecretária de Gestão de Ensino

Elizângela Lima
Superintendente Pedagógica

Maria Claudia Chantre
Coordenadoria de Área de conhecimento

Assistentes

Carla Lopes
Catia Batista Raimundo
Roberto Farias

Texto e conteúdo

Prof. Geneci Alves de Sousa
Prof. José Accioli
Prof. Sandro Jerônimo dos Santos
C.E. Central do Brasil
Prof. Wellington Dutra dos Reis
C.E. Presidente Bernardes
Prof. Marcelo Simões de Souza
C.E. Minas Gerais

Capa

Luciano Cunha

Revisão de texto

Prof^a Andreia Cristina Jacurú Belletti

Prof^a Andreza Amorim de Oliveira Pacheco.

Prof^a Cristiane Ramos da Costa

Prof^a Deolinda da Paz Gadelha

Prof^a Elizabete Costa Malheiros

Prof^a Karla Menezes Lopes Niels

Prof^a Kassia Fernandes da Cunha

Prof Marcos Giacometti

Prof Mário Matias de Andrade Júnior

Prof Paulo Roberto Ferrari Freitas

Prof^a Regina Simões Alves

Prof Sammy Cardozo Dias

Prof Thiago Serpa Gomes da Rocha

Este documento é uma curadoria de materiais que estão disponíveis na internet, somados à experiência autoral dos professores, sob a intenção de sistematizar conteúdos na forma de uma orientação de estudos.

© 2021 - Secretaria de Estado de Educação. Todos os direitos reservados.



Física – Orientações de Estudos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. Aula 1 – Fenômenos Ondulatórios – Reflexão e Refração	6
3. Aula 2 – Fenômenos Ondulatórios – Difração, Polarização e Interferência	9
4. Aula 3 – O Efeito Fotoelétrico	11
5. Aula 4 – Aplicações do Efeito Fotoelétrico e Dualidade Partículas - Ondas	14
6. Aula 5 – Atividades	16
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	20
6. RESUMO	20
7. INDICAÇÕES BIBLIOGRÁFICAS	20

DISCIPLINA: Física

ORIENTAÇÕES DE ESTUDOS

4º Bimestre de 2020 - 3ª série do Ensino Médio Regular

META: Desenvolver conceitos de física dentro do aspecto luminoso, apresentando sua dualidade entre ondas e partículas alinhados com o edital do ENEM.

OBJETIVOS:

Ao final destas Orientações de Estudos, você deverá ser capaz de:

- Conceituar reflexão, refração, difração e interferência de ondas;
- Conceituar polarização;
- Identificar em situações práticas os fenômenos de reflexão, difração, refração e interferência de ondas;
- Descrever a situação da Física no final do século XIX;
- Descrever os experimentos precursores da teoria quântica: o efeito fotoelétrico;
- Entender o conceito da quantização da energia;
- Usar a teoria quântica para explicar o efeito fotoelétrico;
- Compreender as limitações da mecânica Newtoniana;
- Enumerar as aplicações tecnológicas advindas da mecânica quântica.

INTRODUÇÃO

Ao descrever fenômenos físicos, nós nos deparamos com situações em que ocorre transporte de energia de um local, no espaço, para outro sem que ocorra transporte de matéria. Um exemplo é a propagação de calor no processo da radiação: a energia proveniente do Sol chega à Terra sem haver transmissão de matéria; outro exemplo é a propagação do som: ouvimos um trovão sem que a matéria se desloque das nuvens até nossos ouvidos. Essas e outras situações são descritas em Física usando o conceito de onda.

No nosso dia-a-dia, utilizamos vários tipos de ondas para transmitir e receber informações. Nosso corpo possui vários mecanismos para produzir e detectar ondas; as pregas (cordas) vocais produzem ondas sonoras que são percebidas pelo ouvido. Os olhos detectam as ondas luminosas e a pele sente a radiação térmica. Nesta aula, estudaremos as características gerais do movimento ondulatório e sua geração e propagação, bem como suas aplicações práticas.

Aula 01

Fenômenos ondulatórios

No estudo de ondas, é possível encontrar, em nosso cotidiano, situações que permitem verificar fenômenos ondulatórios. Dentre os mais comuns, é possível destacar:

Reflexão

É o fenômeno que ocorre quando uma onda incide sobre um obstáculo e retorna ao meio original de propagação. A onda refletida mantém todas as características da onda incidente.

Refração

É o fenômeno que ocorre quando uma onda passa de um meio para outro, com variação na sua velocidade de propagação. A onda refratada mantém apenas a frequência da onda incidente.

Difração

É o fenômeno que ocorre quando uma onda consegue contornar um obstáculo ou abertura.

Polarização

É o fenômeno que ocorre quando uma onda transversal, vibrando em várias direções, passa a fazê-lo em apenas uma.

Interferência

É o fenômeno que ocorre quando duas ondas se encontram e elas se superpõem.

Para que os fenômenos possam ser verificados dependemos de algumas características das ondas:

- ser transversal ou longitudinal
- em quantas dimensões a energia se propaga (unidimensional, bidimensional ou tridimensional).

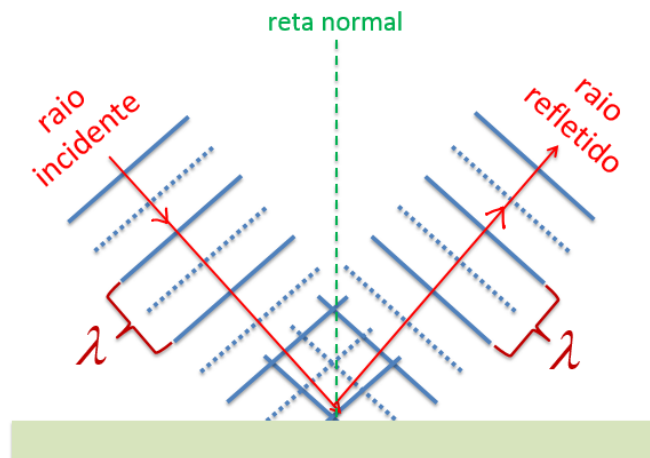
REFLEXÃO E REFRAÇÃO DE ONDAS

Reflexão

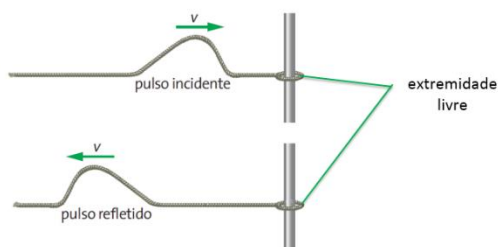
Retorno da onda ao meio de origem após a sua incidência na superfície de separação entre o meio em que se propaga (meio de origem) e um outro meio qualquer

Propriedades:

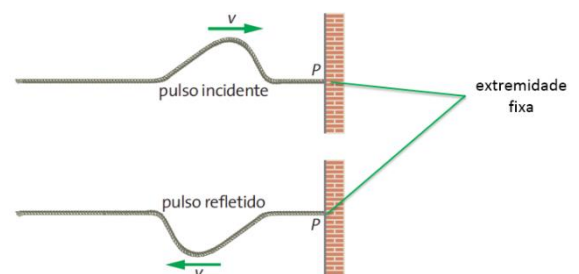
- A velocidade, o comprimento de onda e a frequência não se alteram.
- O raio incidente, o raio refletido e a perpendicular normal são coplanares.
- Os ângulos de reflexão e de incidência têm o mesmo valor.



- Reflexão de pulso sem inversão



- Reflexão de pulso com inversão de fase

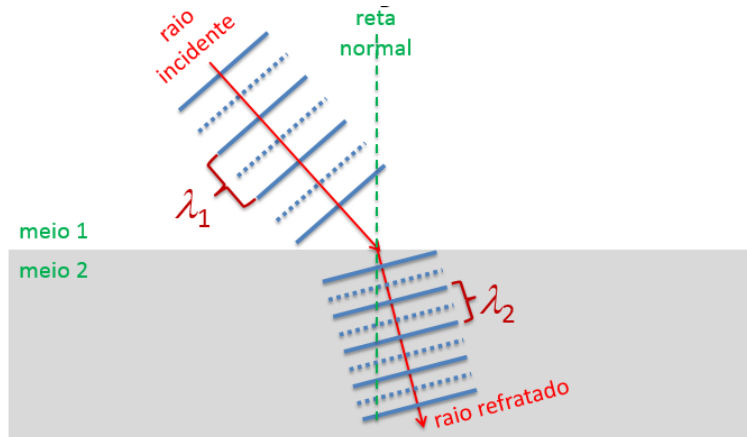


REFRAÇÃO

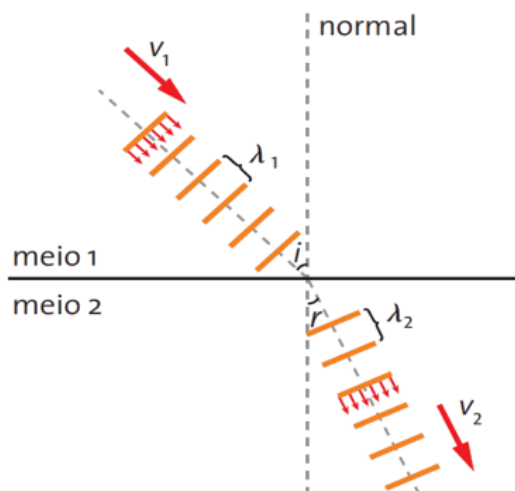
*Passagem de uma onda de um meio para outro, mantendo a mesma frequência
Modificando sua velocidade, seu comprimento de onda e sua direção*

Propriedades:

- A frequência e a fase não se alteram na refração.
- Se $r < i$ (aproxima da normal) $\Rightarrow \lambda_2 < \lambda_1$ e $v_2 < v_1$ (velocidade diminui)
- Se $r > i$ (afasta da normal) $\Rightarrow \lambda_2 > \lambda_1$ e $v_2 > v_1$ (velocidade aumenta)



Lei de Snell:

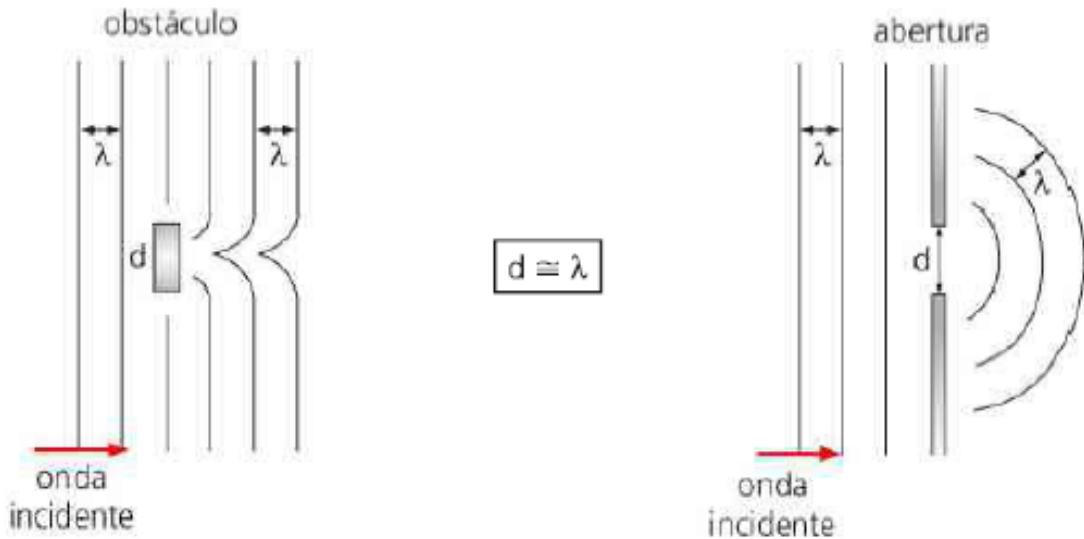


$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Aula 2 - Fenômenos Ondulatórios

Difração

O fenômeno segundo o qual uma onda contorna um obstáculo (ou abertura) é chamado **difração**.



A difração é explicada pelo Princípio de Huygens.

- Mas por que o som sofreu difração e a luz não?
- A experiência mostra que, quando o comprimento de onda (λ) é pequeno em comparação ao tamanho do obstáculo (ou orifício), não ocorre difração (fig.40). Mas, quando λ tem valor aproximadamente igual (ou maior) ao dos obstáculos, ocorre difração (fig. 41).

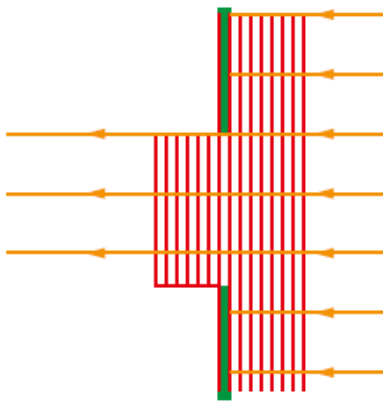


Figura 40.

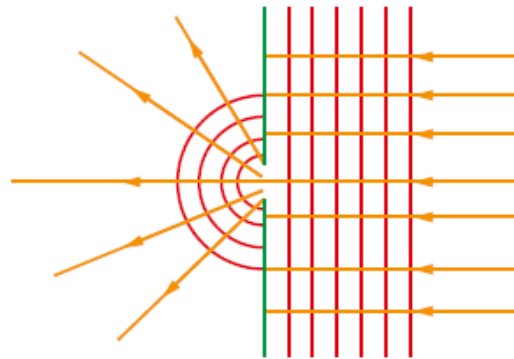
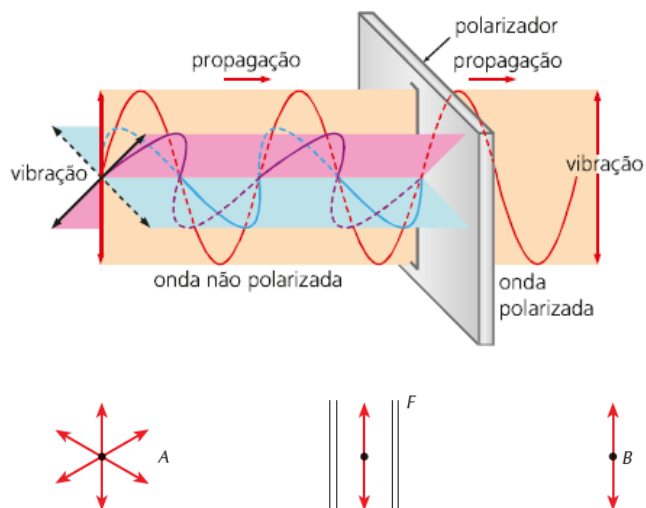


Figura 41.

Polarização

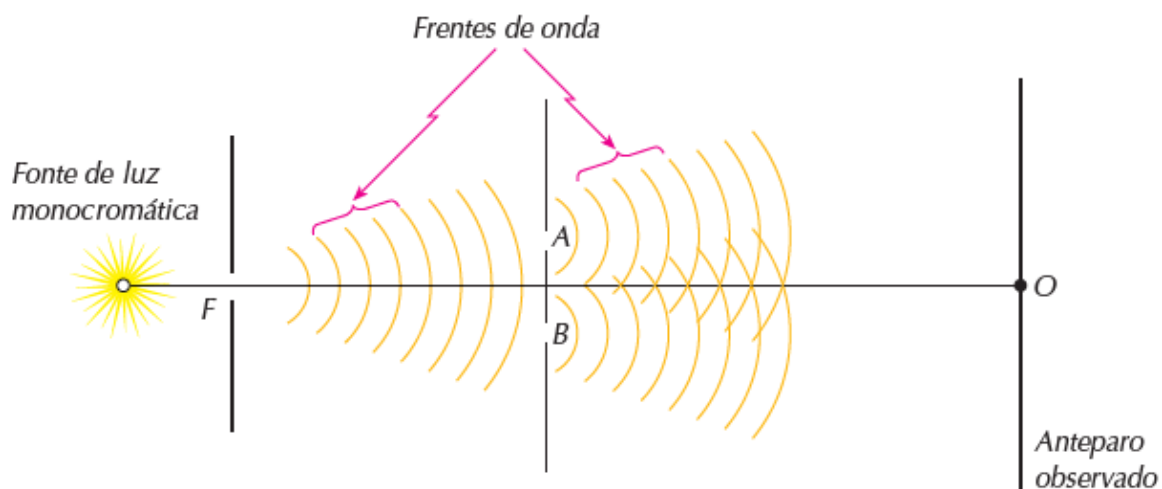
Uma onda natural (ou não polarizada) é aquela que possui várias direções transversais de vibração, relativamente à direção da propagação. Polarizar essa onda é fazê-la vibrar em apenas uma direção por meio de um polarizador.



A polarização é exclusiva das ondas transversais, não ocorrendo esse fenômeno com as ondas longitudinais.

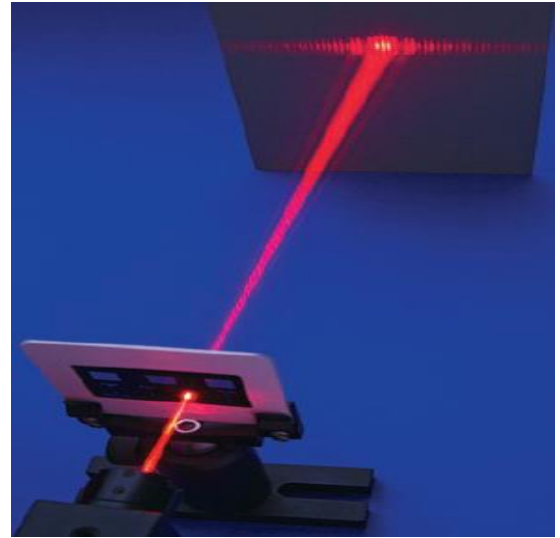
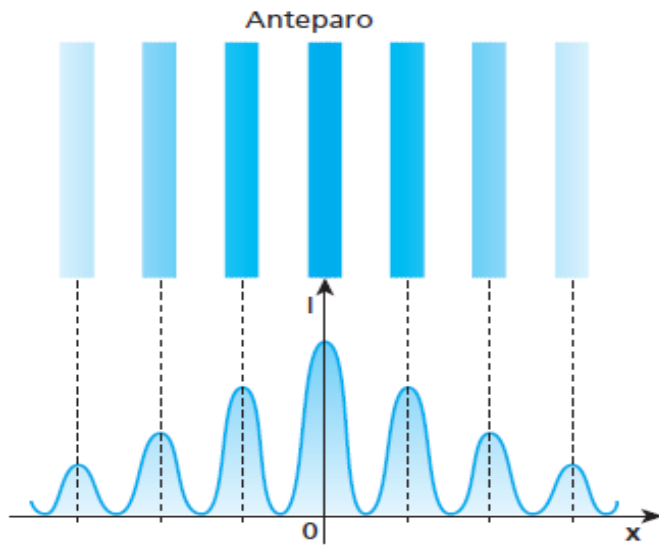
Interferência da luz

A experiência de Young



A interferência de ondas luminosas, pela qual se verificou que a luz é um fenômeno ondulatório, foi obtida por Young.

O dispositivo idealizado por Young serviu para demonstrar a interferência de ondas luminosas. Em vista da interferência dessas ondas, o anteparo não é iluminado por igual, mostrando regiões claras e escuras, alternadas, que constituem as franjas de interferência.



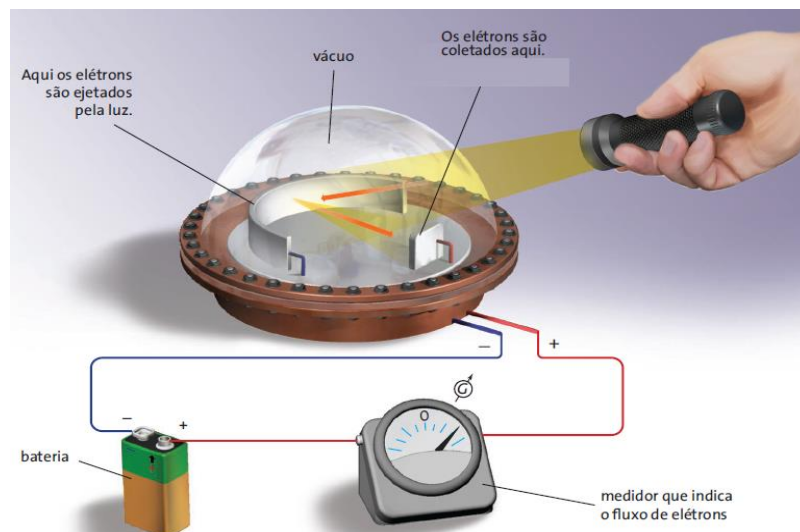
Aula 03 - O Efeito fotoelétrico

Durante observações experimentais, foi verificado que, em certas condições, ondas eletromagnéticas “arrancam” elétrons da superfície de uma placa metálica.

Relevância

Foi um dos fenômenos precursores da teoria quântica.

Arranjo experimental do efeito fotoelétrico



PONTOS INCOMPATÍVEIS COM A TEORIA CLÁSSICA

PRIMEIRO PROBLEMA

- Ainda que se aumentasse a intensidade da radiação incidente, esse aumento não acarretava em aumento da energia cinética máxima dos elétrons ejetados. Pela teoria clássica, o aumento da intensidade deveria acarretar em aumento da energia fornecida para os elétrons.

SEGUNDO PROBLEMA

- O intervalo de tempo entre a incidência da radiação e a respectiva ejeção de elétrons era desprezível. Pela teoria clássica, o elétron deveria acumular paulatinamente energia do campo elétrico oscilante da onda eletromagnética até que, enfim, fosse ejetado; ou seja, a ejeção não deveria ser instantânea.

TERCEIRO PROBLEMA

- O efeito fotoelétrico ocorreria somente se a frequência da radiação incidente estivesse acima de um valor mínimo. Pela teoria clássica, a energia recebida pelo elétron deveria ser proporcional à amplitude do campo elétrico da onda eletromagnética, por isso, o aumento da intensidade deveria ser suficiente para ejetar os elétrons, independentemente da frequência da onda eletromagnética.

INTERPRETAÇÃO DE EINSTEIN PARA O EFEITO

Em vez de pensar na radiação eletromagnética como ondas, Einstein propôs que ela era formada por um conjunto de partículas: os fótons.

Onde a energia transportada pelo fóton será determinada pela equação:

$$E = h.f$$

E: Energia transportada por cada fóton: um quantum de energia.

f: Frequência da onda eletromagnética associada ao feixe de fótons.

h: Constante de Planck (menor constante da Física) $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

SOLUÇÃO DE EINSTEIN PARA OS PROBLEMAS

Solução para o primeiro problema

O aumento de intensidade da radiação implica aumento da quantidade de fótons e, portanto, da quantidade de elétrons ejetados, mas não muda a energia cinética máxima de cada elétron.

Solução para o segundo problema

A colisão de um único fóton com um único elétron resulta na ejeção do elétron. Isso explica o fato dos elétrons serem ejetados instantaneamente.

Solução para o terceiro problema

O fóton deve ter uma energia suficiente para “arrancar” o elétron, pois o elétron é atraído pelos cátions positivos da rede metálica. Isso explica por que existe uma frequência mínima para a ocorrência do efeito (energia e frequência são proporcionais).

Modelo matemático proposto por Einstein:

$$E_{C(\text{máx})} = h \cdot f - W$$

$E_{C(\text{máx})}$:

Energia cinética máxima que um elétron removido pode adquirir.

$h \cdot f$:

Energia transportada pelo fóton que colidiu com o elétron removido do metal.

W : função trabalho;

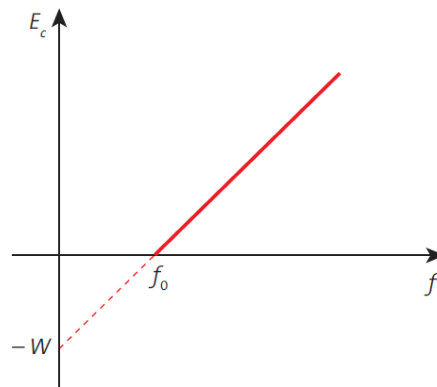
Depende do metal e corresponde à energia mínima necessária para remover um elétron de sua superfície.

Frequência mínima

Caso a energia do fóton ($h \cdot f$) seja menor do que W , o elétron não é removido do metal, ou seja, existe um valor mínimo para a energia (e para a respectiva frequência) do fóton:

$$h \cdot f_{\text{mín.}} = W \Rightarrow f_{\text{mín.}} = W/h$$

Gráfico da equação do efeito fotoelétrico:



Aula 4 - Aplicações do Efeito fotoelétrico e a Dualidade partícula-onda

É possível verificar as aplicações do efeito fotoelétrico em várias situações. Dentre elas podemos citar:

- As portas automáticas de elevadores usam sensores construídos a partir de **células fotoelétricas**



- O funcionamento dos binóculos de visão noturna se baseia no efeito fotoelétrico



DUALIDADE PARTÍCULA ONDA – FATOS HISTÓRICOS

Durante os anos finais do século XIX, os físicos acreditavam que os princípios fundamentais da física já haviam sido estabelecidos e que ela alcançava um estado de perfeição. A mecânica de Newton era capaz de descrever, com enorme sucesso, os movimentos dos corpos materiais, incluindo os movimentos dos planetas em torno do sol. A teoria eletromagnética de Maxwell descrevia com perfeição os fenômenos elétricos e magnéticos. Por fim, a termodinâmica de Boltzmann e outros, somada aos elegantes e sofisticados tratamentos matemáticos apresentados por Lagrange e Hamilton para a mecânica newtoniana, definiam os conceitos da **física clássica**.

A física moderna estabeleceu-se no início do século XX, quando aconteceram profundas modificações, dando origem a duas novas teorias: a teoria da relatividade especial de Einstein em 1905, e a teoria quântica, que teve seu início com um trabalho de Max Planck, no ano de 1900. A teoria da relatividade mostrou que a mecânica clássica deixa de ser válida no estudo de corpos que estejam viajando a uma velocidade comparável à da luz. A teoria quântica substitui a teoria clássica na descrição dos fenômenos que ocorrem nos níveis atômico e subatômico.

Dualidade onda-partícula

A hipótese de De Broglie: a sugestão de que a matéria pode ter propriedades de ondas foi apresentada por Louis De Broglie em 1924. Ele argumentou que “se a luz (que é uma onda) pode se comportar como partícula (efeito fotoelétrico), seria possível que a matéria (que é feita de partículas) pudesse se comportar como ondas”. Com esse argumento, De Broglie apresentou uma relação entre o módulo do momento linear P da partícula e o comprimento de onda λ associado ao comportamento ondulatório. Essa relação é:

$$P = \frac{h}{\lambda}$$

Onde $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ é a constante de Planck.

A hipótese apresentada por De Broglie, atribuindo um caráter dual partícula/onda à matéria, parece estranha por contrariar o senso comum do nosso mundo macroscópico. Entretanto, no nível atômico, o comportamento da matéria tem se mostrado bastante estranho, apresentando-se como ondas e partículas.

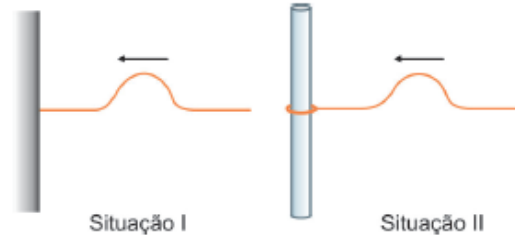
Aula 5 - Atividades

1) (Enem 2010) As ondas eletromagnéticas, como a luz visível e as ondas de rádio, viajam em linha reta em um meio homogêneo. Então, as ondas de rádio emitidas na região litorânea do Brasil não alcançariam a região amazônica do Brasil por causa da curvatura da Terra. Entretanto sabemos que é possível transmitir ondas de rádio entre essas localidades devido à ionosfera.

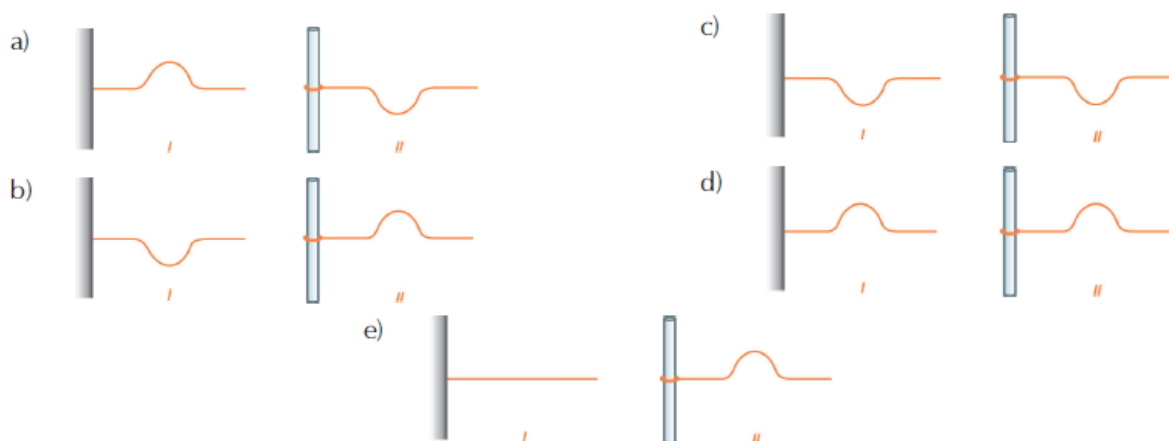
Com ajuda da ionosfera, a transmissão de ondas planas entre o litoral do Brasil e a região amazônica é possível por meio da:

- a) reflexão.
- b) refração.
- c) difração.
- d) polarização.
- e) interferência.

2) (UFF) A figura representa a propagação de dois pulsos em cordas idênticas e homogêneas. A extremidade esquerda da corda, na situação I, está fixa na parede e, na situação II, está livre para realizar, com atrito desprezível, ao longo de uma haste.

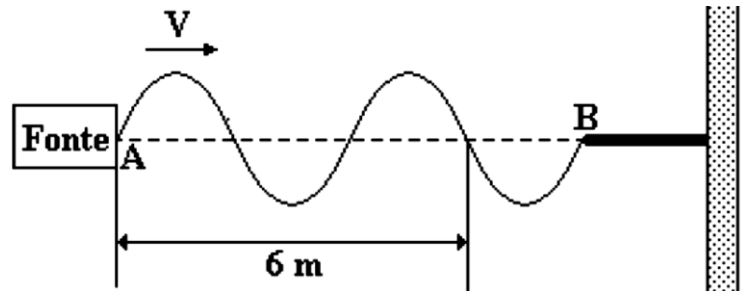


Identifique a opção em que estão mais bem representados os pulsos refletidos nas situações I e II:

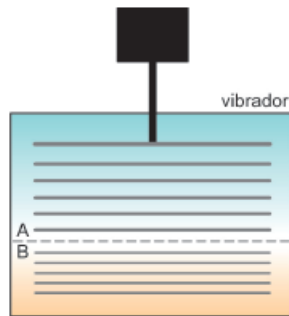


3) (EFOMM) Na figura acima, tem-se duas cordas e uma fonte que vibra na frequência de 15Hz. Pode-se afirmar que, neste caso, a velocidade na corda A e a frequência na corda B valem, respectivamente:

- a) 60 km/h e 15Hz.
- b) 90 km/h e 15Hz.
- c) 60 km/h e 20Hz.
- d) 166 km/h e 20Hz.
- e) 216 km/h e 15Hz.

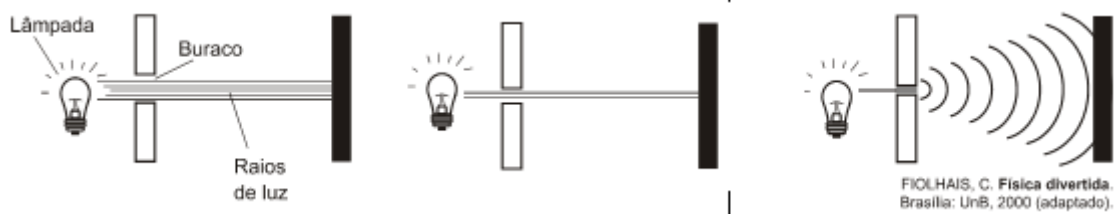


4) (U.F. PELOTAS) Em uma cuba de ondas, o professor de Física, utilizando um vibrador de frequência f , produz ondas planas, como mostra a figura. A estudante Angelita, participando da experiência, percebe que a distância entre duas cristas sucessivas das ondas no meio B é a metade da distância entre duas cristas no meio A. Com base no enunciado, responda:



- a) A frequência das ondas que se propagam no meio B é maior, menor ou igual à frequência das ondas que se propagam em A? Justifique sua resposta.
- b) Qual a velocidade das ondas que se propagam no meio B, se vale 340m/s a velocidade de propagação das ondas no meio A?

5) (Enem 2011) Ao diminuir o tamanho de um orifício atravessado por um feixe de luz, passa menos luz por intervalo de tempo, e próximo da situação de completo fechamento do orifício, verifica-se que a luz apresenta um comportamento como o ilustrado nas figuras. Sabe-se que o som, dentro de suas particularidades, também pode se comportar dessa forma.



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

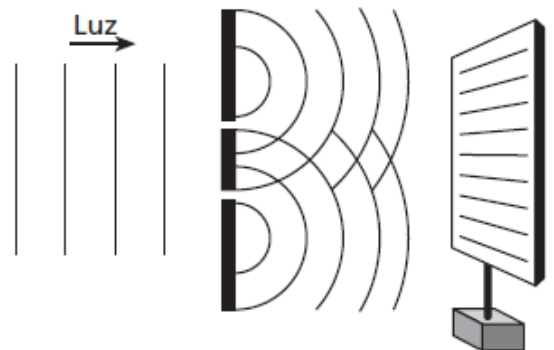
- a) Ao se esconder atrás de um muro, um menino ouve a conversa de seus colegas.
- b) Ao gritar diante de um desfiladeiro, uma pessoa ouve a repetição do seu próprio grito.
- c) Ao encostar o ouvido no chão, um homem percebe o som de uma locomotiva antes de ouvi-lo pelo ar.
- d) Ao ouvir uma ambulância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

6) (Enem PPL 2014) Ao assistir a uma apresentação musical, um músico que estava na plateia percebeu que conseguia ouvir quase perfeitamente o som da banda, perdendo um pouco de nitidez nas notas mais agudas. Ele verificou que havia muitas pessoas bem mais altas à sua frente, bloqueando a visão direta do palco e o acesso aos alto-falantes. Sabe-se que a velocidade do som no ar é 340 m/s e que a região de frequências das notas emitidas é de, aproximadamente, 20 Hz a 4000 Hz. Qual fenômeno ondulatório é o principal responsável para que o músico percebesse essa diferenciação do som?

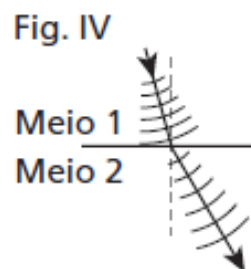
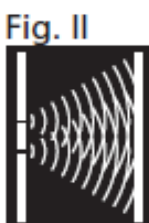
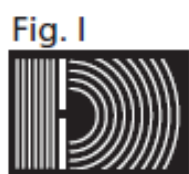
- a) Difração.
- b) Reflexão.
- c) Refração.
- d) Atenuação.
- e) Interferência.

7) A figura a seguir representa um feixe de luz propagando-se da esquerda para a direita, incidindo em dois anteparos: o primeiro com dois pequenos orifícios e o segundo opaco. Neste, forma-se uma série de franjas claras e escuras. Os fenômenos responsáveis pelo aparecimento das franjas são, sucessivamente:

- a) a refração e a interferência;
- b) a polarização e a interferência;
- c) a reflexão e a difração;
- d) a difração e a polarização;
- e) a difração e a interferência.



8) (UFC) Sabemos que a luz apresenta propriedades de polarização, interferência, refração e difração. Os diagramas identificam estas propriedades.



Dentre as opções apresentadas, indique aquela que contém as propriedades na seguinte ordem: difração, interferência, refração e polarização.

- a) I, II, IV e III
- b) II, I, IV e III
- c) IV, II, I e III
- d) III, IV, I e II
- e) IV, I, III e II

9) (UFRS-RS) Assinale a alternativa que preenche corretamente a lacuna do parágrafo abaixo. O ano de 1900 pode ser considerado o marco inicial de uma revolução ocorrida na Física do século XX. Naquele ano, Max Planck apresentou um artigo à Sociedade Alemã de Física, introduzindo a ideia da da energia, da qual Einstein se valeu para, em 1905, desenvolver sua teoria sobre o efeito fotoelétrico.

- a) conservação
- b) quantização
- c) transformação
- d) conversão
- e) propagação

10) (ENEM) O efeito fotoelétrico contrariou as previsões teóricas da física clássica porque mostrou que a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:

- a) exclusivamente da amplitude da radiação incidente.
- b) da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.
- c) da amplitude e não do comprimento de onda da radiação incidente.
- d) do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.
- e) da frequência e não da amplitude da radiação incidente.

Considerações Finais

Nestas Orientações de Estudos, procuramos desenvolver de forma clara e objetiva alguns tópicos essenciais da física básica.

Buscamos apresentar o conteúdo de física sempre ligado a situações práticas, simples e reais. Abordamos também algumas questões de concursos militares e vestibulares. Dessa forma, esperamos que, sintam que a física é fácil e tem um valor prático real. A cada novo conceito apresentado, procuramos mostrar sua utilidade em nossa vida, bem como suas relações com outros ramos da ciência e tecnologia.

RESUMO

Nestas Orientações de Estudos Física foi possível discutir a natureza dos fenômenos ondulatórios, descrevendo suas características e condições para suas análises.

Verificamos que em determinadas condições é possível considerar como onda e em outras como partículas, sendo esse um caráter especial chamada de dualidade partícula – Onda no estudo de física moderna.

INDICAÇÕES BIBLIOGRÁFICAS

- FÍSICA 2 – edição 2004 – exercícios reformulados Editora: HARBRA
AUTORES: Alexandre Lago; Fernando Cabral
- FÍSICA 2 – Os fundamentos da Física/ Francisco Ramalho Junior, Nicolau Gilberto Ferraro, Paulo Antônio de Toledo Soares – 11 edição – São Paulo Moderna 2015
- FÍSICA 3 – edição 2004 – exercícios reformulados Editora: HARBRA
AUTORES: Alexandre Lago; Fernando Cabral