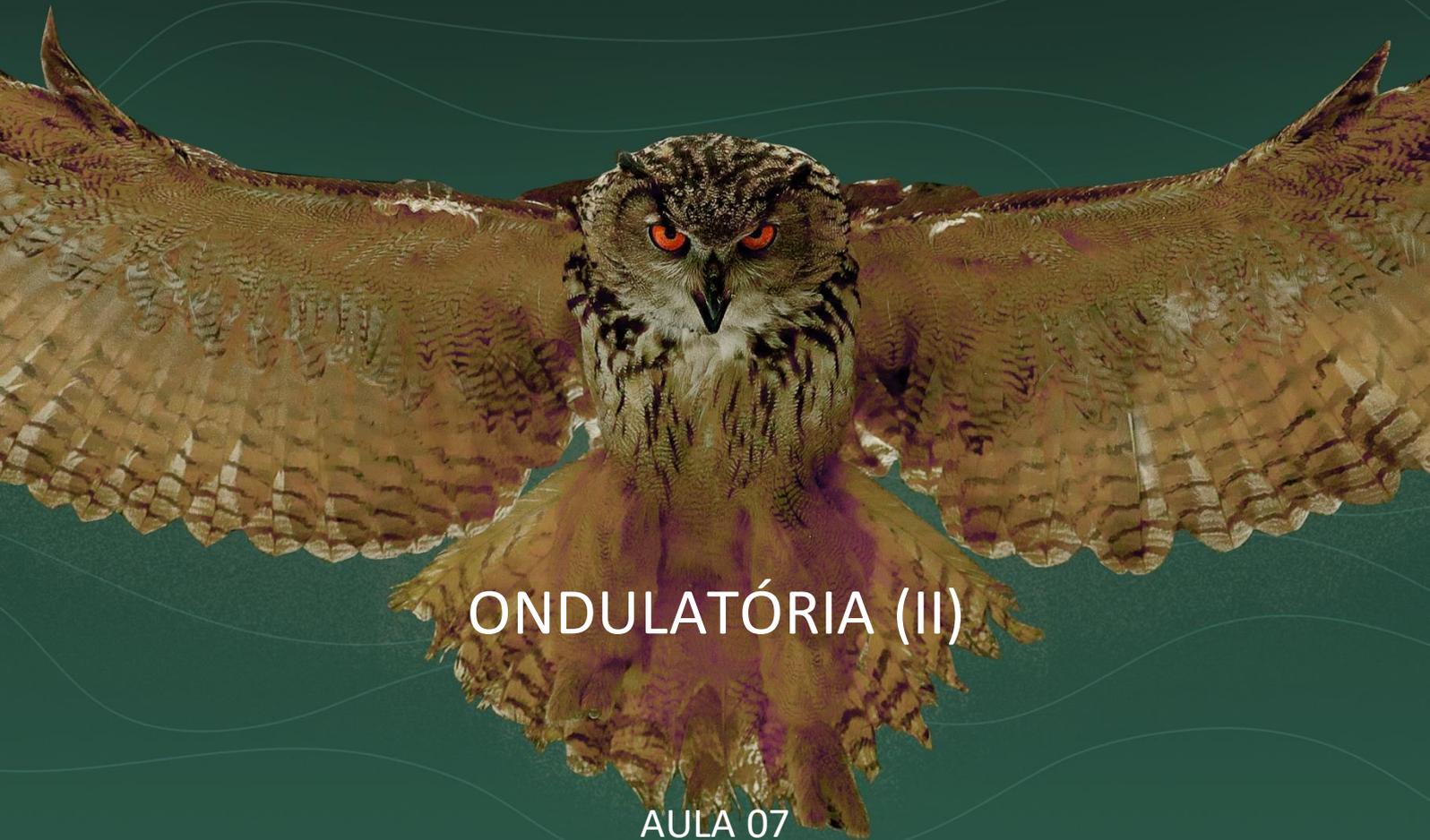




ITA 2023



ONDULATÓRIA (II)

AULA 07

Interferência e óptica física

Prof. Vinícius Fulconi





Sumário

Apresentação do Professor	4
1. INTERFERÊNCIA E DEFINIÇÕES	5
DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA E INTERFERÊNCIA	5
CONDIÇÕES DE INTERFERÊNCIA	5
FONTES DEVEM SER COERENTES	5
MESMA FREQUÊNCIA OU COMPRIMENTO DE ONDA	6
IGUALDADE DE AMPLITUDES	6
PRINCÍPIO DE HUYGENS	6
TÓPICOS IMPORTANTES DA INTERFERÊNCIA	7
PROPRIEDADE 1	7
PROPRIEDADE 2	7
2. DIFERENÇA DE CAMINHO ÓPTICO	8
DIFERENÇA DE CAMINHO Δx	9
2.2. DIFERENÇA DE FASE $\Delta\Phi$	9
3. EXPERIÊNCIA DE YOUNG	11
PRINCÍPIO DA EXPERIÊNCIA DE YOUNG	11
ANÁLISE TEÓRICA	12
ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA	13
INTERFERÊNCIA CONSTRUTIVA	13
INTERFERÊNCIA DESTRUTIVA	13
POSIÇÃO DAS FRANJAS	13
NOMENCLATURA E POSIÇÃO NO ANTEPARO	14
INTERFRANJA	15
DIFERENÇA DE FASE Φ	15
PADRÃO DE INTENSIDADE	15
4. INTERFERÊNCIA EM FILMES FINOS	19
DIFERENÇA DE CAMINHO	20
INVERSÃO DE FASE	20
PRODUÇÃO DA INTERFERÊNCIA	20
5. ANÉIS DE NEWTON	22
6. DIFRAÇÃO	24
DIFRAÇÃO EM FENDAS SIMPLES	26
LARGURA DO MÁXIMO CENTRAL (E)	27
INTENSIDADE NA FENDA SIMPLES	28
DIFRAÇÃO EM MÚLTIPLAS FENDAS E REDE DE DIFRAÇÃO	29
CASOS ESPECIAIS	31
REDE DE DIFRAÇÃO	33
Modelo de questões	35



Lista de questões	41
Nível 1	41
Nível 2	42
Nível 3	54
Resolução das questões	69
Nível 1	69
Nível 2	71
Nível 3	88
Considerações finais	119



Apresentação do Professor

Querido aluno(a), seja bem-vindo(a) à nossa primeira aula!

Sou o professor Vinícius Fulconi, tenho vinte e seis anos e estou cursando Engenharia Aeroespacial no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Irei contar um pouco sobre minha trajetória pessoal, passando pelo mundo dos vestibulares com minhas principais aprovações, até fazer parte da equipe de física do Estratégia Militares.

No ensino médio, eu me comportava como um aluno mediano. No final do segundo ano do ensino médio, um professor me desafiou com a seguinte declaração: *Você nunca vai passar no ITA!* Essa fala do professor poderia ter sido internalizada como algo desestimulador e, assim como muitos, eu poderia ter me apegado apenas ao que negritei anteriormente. Muitos desistiram! Entretanto, eu preferi negritar e gravar “*Você vai passar no ITA!*”

Querido aluno(a), a primeira lição que desejo te mostrar não é nenhum conteúdo de física. Quero que transforme seu sonho em vontade de vencer. Transforme seus medos e incapacidades em desafios a serem vencidos. Haverá muitos que duvidarão de você. O mais importante é você acreditar! Nós do Estratégia Militares acreditamos no seu potencial e ajudaremos você a realizar seu sonho!



Após alguns anos estudando para o ITA, usando muitos livros estrangeiros, estudando sem planejamento e frequentando diversos cursinhos do segmento, realizei meu sonho e entrei em uma das melhores faculdades de engenharia do mundo. 😊 Além de passar no ITA, ao longo da minha preparação, fui aprovado no IME, UNICAMP, Medicina (pelo ENEM) e fui medalhista na Olimpíada Brasileira de Física.

Minha resiliência e grande experiência em física, que obtive estudando por diversas plataformas e livros, fez com que eu me tornasse professor de física do Estratégia Militares. Tenho muito orgulho em fazer parte da família Estratégia e hoje, se você está lendo esse texto, também já é parte dela. Como professor, irei te guiar por toda física, alertando sobre os erros que cometi na minha preparação, mostrando os pontos em que obtive êxito e, assim, conseguirei identificar quais são seus pontos fortes e fracos, maximizando seu rendimento e te guiando até à faculdade dos seus sonhos.

Você deve estar se perguntando: O que é necessário para começar esse curso?



ALERTA!

Esse curso exige do candidato apenas **dedicação, perseverança e vontade de vencer.**



1. INTERFERÊNCIA E DEFINIÇÕES

Neste tópico, iremos apresentar as discussões sobre a ocorrência da interferência e as condições em que ela ocorre.

DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA E INTERFERÊNCIA

Na aula anterior, vimos o que acontece quando duas ondas se propagam no mesmo meio. Quando isso ocorre, a onda total, em qualquer ponto e momento do tempo, é governada pelo princípio da superposição.

Se uma única fonte de luz estiver presente no meio, a distribuição de energia é uniforme. No entanto, se houver dois fornecedores adjacentes exatamente semelhantes, a distribuição não permanecerá mais uniforme. Em alguns lugares, a energia é máxima, enquanto em outros lugares a energia é mínima; é claro que a energia total do sistema permanece a mesma.

Esta modificação na distribuição de energia devido à presença de duas ou mais fontes, exatamente semelhantes, é um caso específico da superposição de onda e é conhecido como interferência.

CONDIÇÕES DE INTERFERÊNCIA

Para obter um padrão de interferência sustentado (permanente ou estável) e observável, as seguintes condições devem ser cumpridas.

FONTES DEVEM SER COERENTES

A fim de produzir um padrão de interferência estável, as ondas individuais devem manter uma relação de fase constante umas com as outras, isto é, as duas fontes interferentes devem emitir ondas com uma diferença de fase constante entre elas.

Se a diferença de fase entre duas fontes não permanecer constante, os locais dos máximos e mínimos mudarão. No caso de ondas mecânicas, é possível manter uma relação de fase constante entre duas fontes diferentes. Mas, no caso da luz, duas fontes de luz diferentes não podem ser coerentes. Isso ocorre pela maneira como a luz é emitida.

Em fontes de luz comuns, os átomos ganham excesso de energia por agitação térmica ou por impacto com elétrons acelerados. Um átomo "excitado" de tal maneira começa a irradiar energia contínua até perder toda a energia que pode, normalmente em um tempo da ordem de 10^{-10} s.

Os inúmeros átomos de uma fonte irradiam normalmente em uma coordenação de fase aleatória e não sincronizada, e a luz emitida de duas fontes não tem uma coordenação de fase definida. Portanto, para obter uma interferência estável na luz, uma única fonte é dividida em duas fontes coerentes. Qualquer mudança de fase aleatória na fonte afeta essas fontes secundárias igualmente e não altera sua fase relativa. A luz do laser é muito mais coerente que a luz comum, por exemplo.



MESMA FREQUÊNCIA OU COMPRIMENTO DE ONDA

A coordenação de fase entre duas ondas pode ser mantida constante apenas quando suas frequências são iguais. Assim, podemos dizer que duas fontes coerentes devem ter a mesma frequência.

IGUALDADE DE AMPLITUDES

As amplitudes de duas ondas que se interferem devem ser iguais ou aproximadamente iguais. Caso contrário, a diferença entre as intensidades de máximos e mínimos será muito pequena e o contraste será baixo. O contraste máximo é, no entanto, obtido quando $A_1 = A_2$, porque a intensidade mínima será zero.

PRINCÍPIO DE HUYGENS

A teoria ondulatória escrita por Huygens se baseia em construções geométricas que permitem prever onde estará uma dada frente de onda em algum instante de tempo se conhecermos a sua posição atual. Essas construções se norteiam pelo princípio de Huygens, que diz:

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.

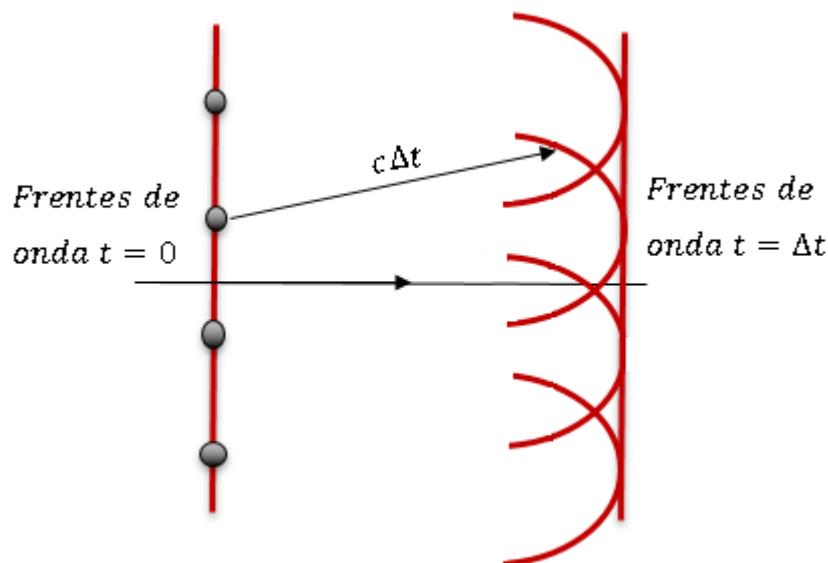


Figura 1: A propagação de uma onda plana, de acordo com Huygens.

A figura acima mostra que os pontos em cinza da primeira reta vertical se comportaram como fontes pontuais. Esse fenômeno é exatamente o proposto por Huygens. Cada ponto da frente de onda se comportando como um novo irradiador ondulatório.



TÓPICOS IMPORTANTES DA INTERFERÊNCIA

PROPRIEDADE 1

Considere duas fontes coerentes S_1 e S_2 . As fontes emitem ondas que se superpõem no ponto P. A diferença de fase em P é Φ (que é constante). Se a amplitude das ondas individuais em P são A_1 e A_2 , a amplitude resultante em P será:

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_2A_1\cos\Phi}$$

Deste modo, a intensidade resultante em P é dada por:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_2I_1}\cos\Phi$$

Se a fontes fossem incoerentes, a intensidade resultante em P seria:

$$I = I_1 + I_2$$

PROPRIEDADE 2

Uma única fonte é dividida em duas fontes coerentes para obter interferência consistente da luz. Isso pode ser feito de diferentes maneiras:

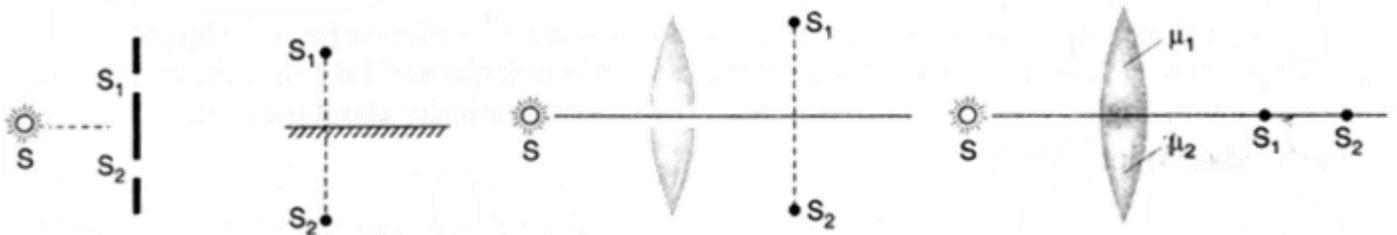


Figura 2: Maneiras de se obter fontes coerentes.

Assim, podemos ter fontes coerentes com:

- Fenda dupla.
- Espelho plano.
- Lentes esféricas.



2. DIFERENÇA DE CAMINHO ÓPTICO

Do estudo de ondulatória e da óptica geométrica, descobrimos que o comprimento de uma onda progressiva depende da velocidade e que a velocidade da luz em um meio depende do índice de refração. Isto quer dizer que o comprimento de onda depende do índice de refração.

Considere que uma luz monocromática tem um comprimento de onda λ e uma velocidade c no vácuo. A mesma luz monocromática tem comprimento λ_n e uma velocidade v em um meio de índice de refração n . A frequência da luz em ambos os meios deve ser a mesma.

$$f = f_n$$

$$\frac{c}{\lambda} = \frac{v}{\lambda_n} \Rightarrow \lambda_n = \lambda \cdot \frac{v}{c}$$

O índice de refração do material é dado por $n = \frac{c}{v}$, então:

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$$

A equação acima relaciona o comprimento de onda no vácuo com o comprimento de onda em um meio de índice de refração n .

O fato de o comprimento de onda mudar com o índice de refração faz com que se possa ter interferência de ondas devido a uma diferença de caminho óptico seguido pela luz.

Considere ondas de luz que se propagam no ar. O comprimento de onda das ondas luminosas no ar vale λ . As ondas de luz encontram dois meios diferentes. Parte dessas ondas atravessa o meio 1, de índice de refração n_1 e comprimento L e a outra parte dessas ondas atravessa o meio 2, de índice de refração n_2 e comprimento L . Veja a figura abaixo.

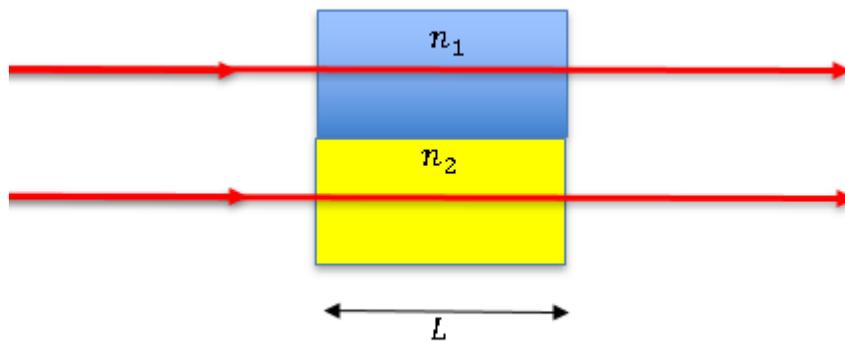


Figura 3: Raios de onda atravessam meios diferentes.

Após as ondas deixarem os meios (1 e 2), elas voltam a ter o mesmo comprimento de onda λ no ar. Entretanto, ao passarem pelos meios 1 e 2, os comprimentos de onda eram diferentes e, portanto, as ondas não podem mais estar em fase.

A diferença de fase entre duas ondas luminosas pode ser alterada se elas atravessarem meios com índices de refração diferentes.



DIFERENÇA DE CAMINHO Δx

Para calcular a diferença de caminho é preciso definir uma grandeza chamada número de comprimentos de onda N . Essa grandeza é a razão entre o tamanho do meio (no caso da figura 3 seria L) e o comprimento de onda da luz daquele meio.

$$N_n = \frac{L}{\lambda_n}$$

N_n é a quantidade numérica de comprimentos de onda que estão contidos (“cabem”) naquele meio. Para os meios 1 e 2, da Figura 3, calcularemos os valores de N_1 e N_2 .

$$N_1 = \frac{L}{\lambda_1} = \frac{L}{\frac{\lambda}{n_1}} = \frac{L \cdot n_1}{\lambda}$$

$$N_2 = \frac{L}{\lambda_2} = \frac{L}{\frac{\lambda}{n_2}} = \frac{L \cdot n_2}{\lambda}$$

Deste modo, a diferença de caminho é definida como:

$$\Delta x = |N_1 - N_2| \cdot \lambda$$

Considerando $n_2 > n_1$:

$$\Delta x = L(n_2 - n_1)$$

2.2. DIFERENÇA DE FASE $\Delta\Phi$

Para toda diferença de caminho podemos associar uma diferença de fase. Utilizando a formula anterior, podemos calcular a diferença de fase entre os raios emergentes dos meios 1 e 2.

$$\frac{\Delta\Phi}{2\pi} = \frac{\Delta x}{\lambda} = \frac{L(n_2 - n_1)}{\lambda}$$

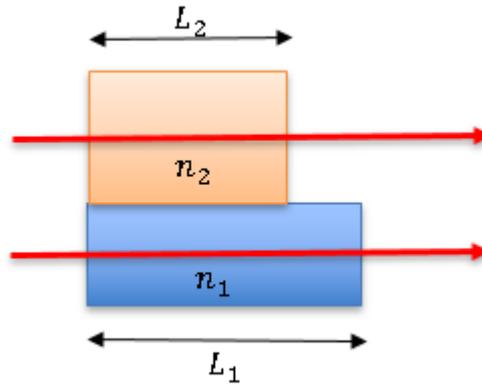
$$\Delta\Phi = \frac{2\pi L(n_2 - n_1)}{\lambda}$$

ATENÇÃO
DECORE!



Exemplo:

Duas ondas luminosas no ar, de comprimento de onda 600 nm, estão inicialmente em fase. As ondas passam por camadas de plástico como na figura abaixo. $L_1 = 4,00 \mu m$, $L_2 = 3,50 \mu m$, $n_1 = 1,4$ e $n_2 = 1,6$.



Qual é a diferença de fase quando as ondas saem dos dois blocos?

Comentário:

Primeiramente, iremos encontrar o número de comprimentos de onda no plástico superior.

$$N_2 = \frac{L_2 \cdot n_2}{\lambda} = \frac{3,5 \cdot 10^{-6} \cdot 1,6}{600 \cdot 10^{-9}} = 9,3 \text{ comprimentos de onda}$$

Agora, iremos encontrar o número de comprimentos de onda contidos na distância $L_1 - L_2$.

$$N_{Ar} = \frac{L}{\lambda} = \frac{L_1 - L_2}{\lambda} = \frac{0,5 \cdot 10^{-6}}{600 \cdot 10^{-9}} = 0,83 \text{ comprimentos de onda}$$

Assim, para o raio superior temos uma total de:

$$N_{superior} \cong 10,17 \text{ comprimentos de onda}$$

Para o plástico inferior:

$$N_1 = \frac{L_1 \cdot n_1}{\lambda} = \frac{4,5 \cdot 10^{-6} \cdot 1,4}{600 \cdot 10^{-9}} = 10,5 \text{ comprimentos de onda}$$

Assim, para o raio inferior temos uma total de:

$$N_{inferior} = N_1 = 10,5 \text{ comprimentos de onda}$$

Para encontrarmos a diferença de caminho, fazemos:

$$\Delta x = L \cdot |(N_{superior} - N_{inferior})|$$

$$\Delta x = L_1 \cdot |(N_{superior} - N_{inferior})|$$

$$\Delta x = 3,5 \cdot 10^{-6} \cdot |(10,17 - 10,5)|$$

$$\Delta x = 1,32 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Para calcular a diferença de fase fazemos:

$$\frac{\Delta x}{\lambda} = \frac{\Delta \Phi}{2\pi}$$

$$\Delta \Phi = 4,4\pi \text{ rad}$$



3. EXPERIÊNCIA DE YOUNG

PRINCÍPIO DA EXPERIÊNCIA DE YOUNG

A luz monocromática (comprimento de onda único) de uma fenda vertical estreita S cai sobre duas outras fendas estreitas S_1 e S_2 , muito próximas umas das outras e paralelas a S . S_1 e S_2 , atuam como duas fontes coerentes (ambas derivadas de S). Se S , S_1 e S_2 , forem todas muito estreitas, a difração (curvatura da luz em aberturas cuja largura é da ordem da onda de luz) faz com que os feixes emergentes se espalhem para a região além das fendas.

A superposição ocorre na área sombreada, onde os feixes difratados se sobrepõem. Faixas verticais brilhantes e escuras alternadas igualmente espaçadas (franjas de interferência) podem ser observadas em uma tela posicionada a alguma distância das fendas. Se S_1 ou S_2 , for coberta, as franjas desaparecerão.

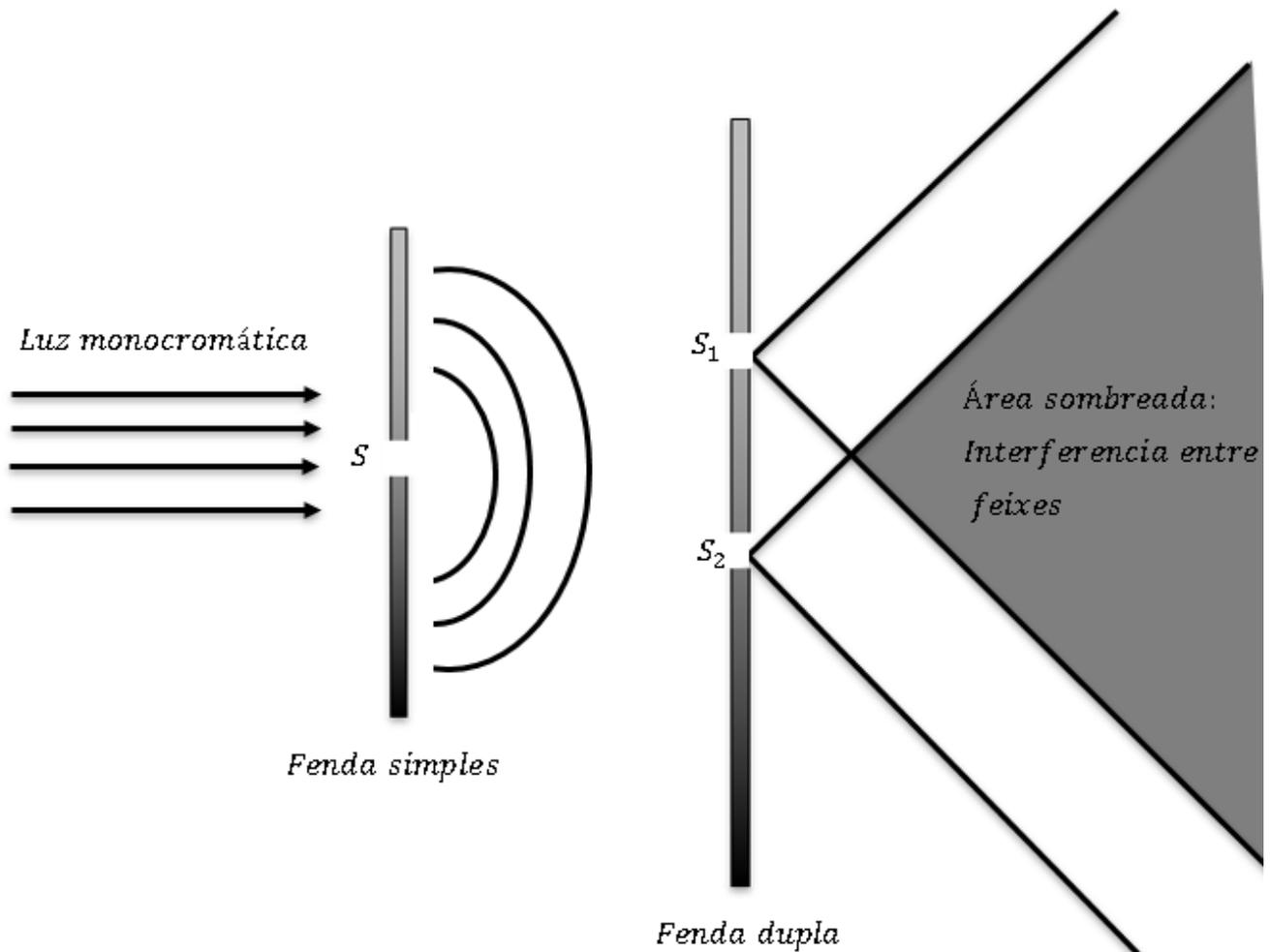


Figura 4: Ilustração do experimento de Young.



ANÁLISE TEÓRICA

Iremos determinar uma expressão para a separação de duas franjas brilhantes (ou escuras).

A figura abaixo mostra as ondas de luz que atravessam S_1 e S_2 , e se encontram em um ponto arbitrário P no anteparo. A distância entre as fendas é d e elas estão separadas por uma distância D do anteparo. Iremos analisar a interferência em um P que dista y da reta mediatriz ao segmento S_2S_1 .

Os raios de luz vermelho e azul se encontram no P se interferindo. Entre as fendas e o anteparo há uma diferença de caminho óptico. Essa diferença é produzida pela diferença nos comprimentos percorridos pelos raios. Note que o raio azul percorre uma distância maior que o raio vermelho.

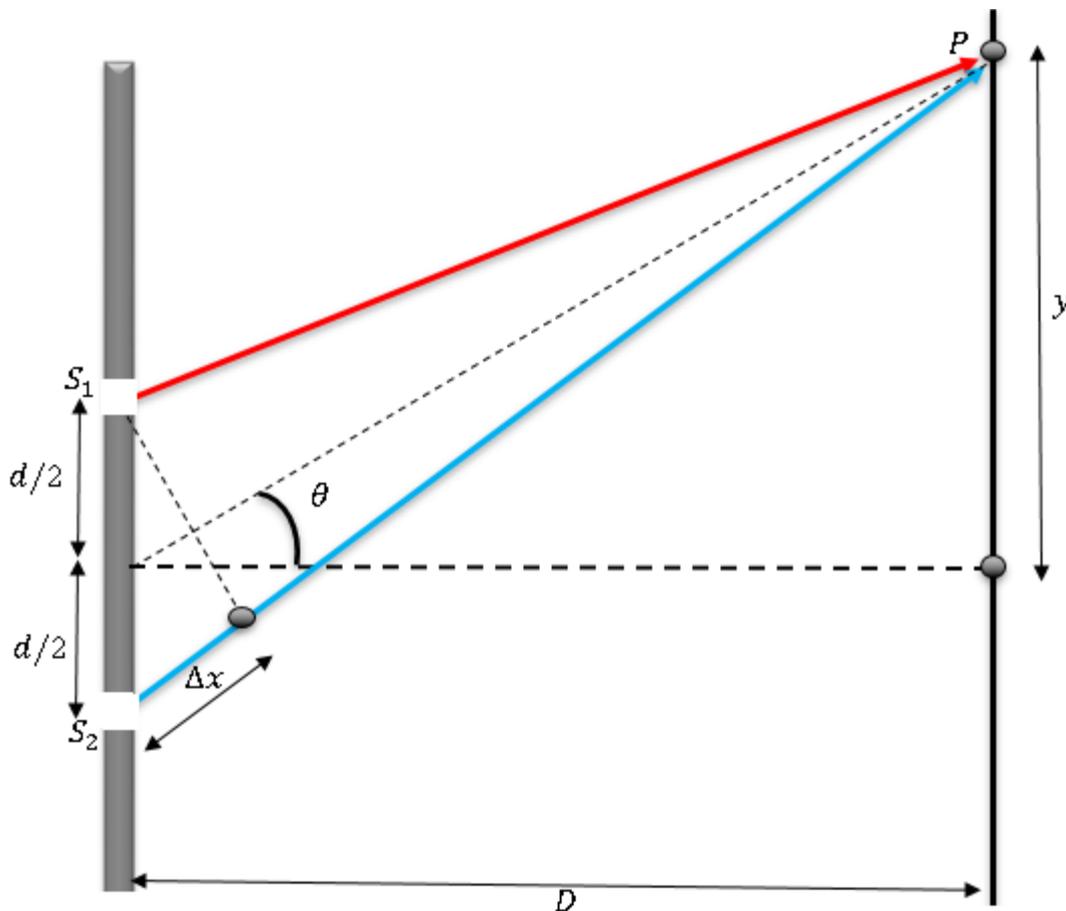


Figura 5: Desenho esquemático dos elementos no experimento de Young.

A diferença de caminho entre os raios é dada por Δx . Essa diferença é dada por:

$$\Delta x = S_2P - S_1P$$

Se considerarmos que $D \gg d$, que é de fato uma boa aproximação, temos os raios azul e vermelho sendo praticamente paralelos. Deste fato, decorre que:

$$S_2P - S_1P = d \cdot \text{sen}\theta$$

Desta maneira, temos:

$$\Delta x = d \cdot \text{sen}\theta$$



ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA

Uma diferença de caminho óptico produzida por uma diferença de caminho leva a formação de um padrão de interferência.

Se a diferença de caminho for um número inteiro teremos sempre uma interferência construtiva.

Se a diferença de caminho for um número não inteiro teremos uma interferência destrutiva.

Podemos traduzir essas frases em expressões matemáticas.

INTERFERÊNCIA CONSTRUTIVA

Para a interferência construtiva temos:

$$d \cdot \text{sen}\theta = K \cdot \lambda, \quad K \in \{0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\}$$

Na interferência construtiva temos a formação das franjas claras. Isso quer dizer que a há máxima de intensidade luminosa em P para uma interferência construtiva.

INTERFERÊNCIA DESTRUTIVA

Para a interferência construtiva temos:

$$d \cdot \text{sen}\theta = \left(K + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda, \quad K \in \{0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\}$$

Na interferência destrutiva temos a formação das franjas escuras. Isso quer dizer que a há mínimo de intensidade luminosa em P para uma interferência destrutiva.

POSIÇÃO DAS FRANJAS

Para determinar a posição vertical y das franjas, utilizaremos novamente a aproximação $D \gg d$. Neste caso, temos:

$$\text{sen}\theta \approx \text{tg}\theta = \frac{y}{D}$$

- **Interferência construtiva:**

$$d \text{sen}\theta = K \cdot \lambda$$

$$d \frac{y}{D} = K \cdot \lambda$$

$$y_{\text{franjas-claras}} = \frac{K \cdot \lambda \cdot D}{d}, \quad k \in \{0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\}$$

- **Interferência destrutiva:**

$$y_{\text{franjas-escuras}} = \frac{\left(K + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda \cdot D}{d}, \quad k \in \{0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\}$$



NOMENCLATURA E POSIÇÃO NO ANTEPARO

As posições que as franjas ocupam no anteparo recebem uma nomenclatura própria.

- Máximo central: é o ponto em que não diferença de caminho entre os raios que chegam ao anteparo. Normalmente, representamos esse ponto por O.
- Primeira franja clara, primeiro máximo ou máximo de ordem 1: são os pontos em que a diferença de caminho entre os raios que chegam ao anteparo vale exatamente λ .
- N-ésima franja clara, n-ésimo máximo ou máximo de ordem n: são os pontos em que a diferença de caminho entre os raios que chegam ao anteparo vale exatamente $(n \cdot \lambda)$.
- Primeira franja escura, primeiro mínimo ou mínimo de ordem 1: são os pontos em que a diferença de caminho entre os raios que chegam ao anteparo vale exatamente $0,5\lambda$.
- N-ésima franja escura, n-ésimo mínimo ou mínimo de ordem n: são os pontos em que a diferença de caminho entre os raios que chegam ao anteparo vale exatamente $\left([n - 1] + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$.

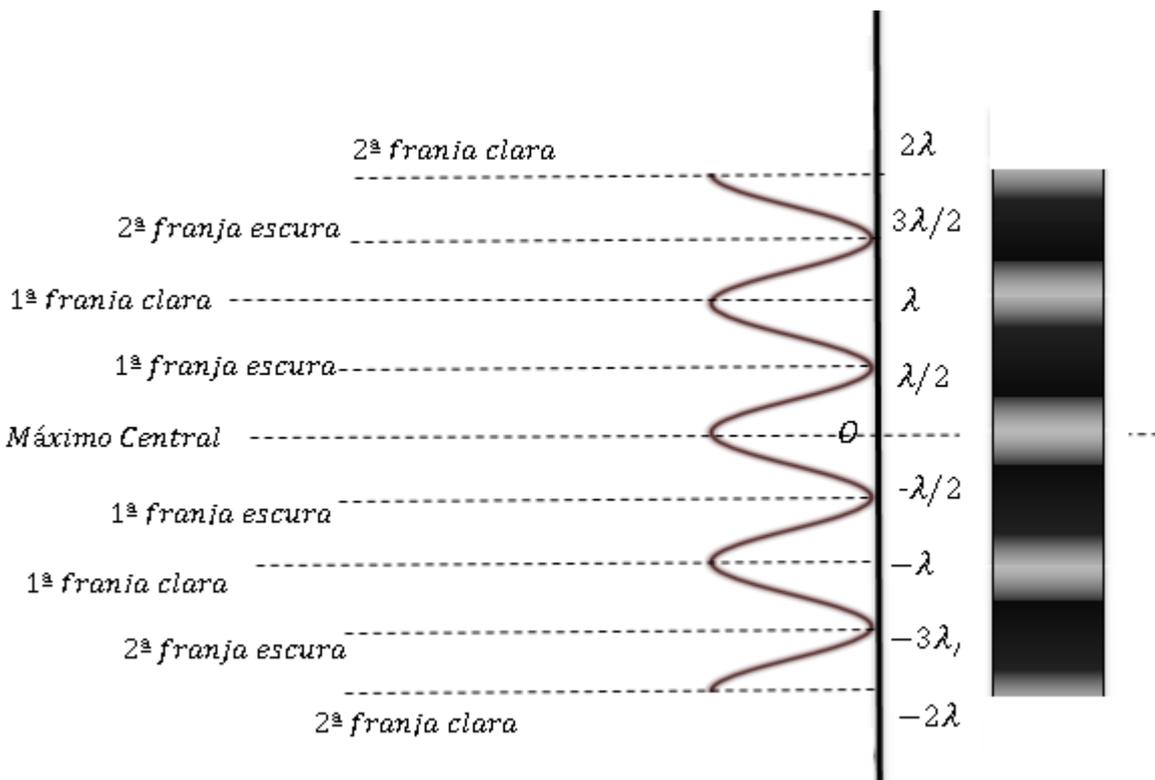


Figura 6: Padrão de interferência para algumas ordens.



INTERFRANJA

Interfranja é a distância entre duas franjas consecutivas claras ou escuras. Para o experimento de Young a interfranja para franjas claras ou escuras é a mesma e vale w . Matematicamente:

$$y_K - y_{K-1} = \frac{(K - (K - 1)) \cdot \lambda \cdot D}{d} = w$$

$$w = \frac{\lambda \cdot D}{d}$$

Percebe-se que $w \propto \lambda$, deste modo:

- Se o experimento de Young for imerso em um líquido de índice de refração n , então o comprimento de onda diminuirá por um fator $1/n$. Logo, a interfranja também diminuirá.

DIFERENÇA DE FASE Φ

A diferença de caminho entre os raios produz uma diferença de caminho é dada por:

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

Para os dois tipos de interferências, temos:

- **Interferência construtiva:**

$$\Phi = \frac{2\pi \cdot (K \cdot \lambda)}{\lambda}$$

$$\Phi = 2\pi K, K \in \{0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\}$$

- **Interferência destrutiva:**

$$\Phi = \frac{2\pi \left(K + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda}{\lambda}$$

$$\Phi = 2\pi \left(K + \frac{1}{2}\right), K \in \{0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\}$$

PADRÃO DE INTENSIDADE

Iremos analisar a intensidade da onda no anteparo. Para isso, consideraremos que as fontes são coerentes e geram a mesma intensidade I_0 . Assim, a intensidade resultante em um ponto qualquer P é:

$$I = I_0 + I_0 + 2\sqrt{I_0 I_0} \cos \Phi$$

Em que Φ é a diferença de fase. Desta maneira, temos:



$$I = 4I_0 \cdot \cos^2\left(\frac{\Phi}{2}\right)$$

- **Interferência construtiva:**

$$\Phi = 2\pi K, K \in \{0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\}$$

$$I = 4I_0 \cdot \cos^2(\pi K), K \in \{0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\}$$

Podemos notar que as intensidades são máximas e valem sempre $4I_0$ para qualquer valor de ordem para uma franja clara.

- **Interferência destrutiva:**

$$\Phi = 2\pi\left(K + \frac{1}{2}\right), K \in \{0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\}$$

$$I = 4I_0 \cdot \cos^2\left(\pi\left(K + \frac{1}{2}\right)\right), K \in \{0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\}$$

Podemos notar que as intensidades são nulas para qualquer valor de ordem para uma franja escura.

Desta maneira, podemos montar o seguinte diagrama para as intensidades em um experimento de Young.

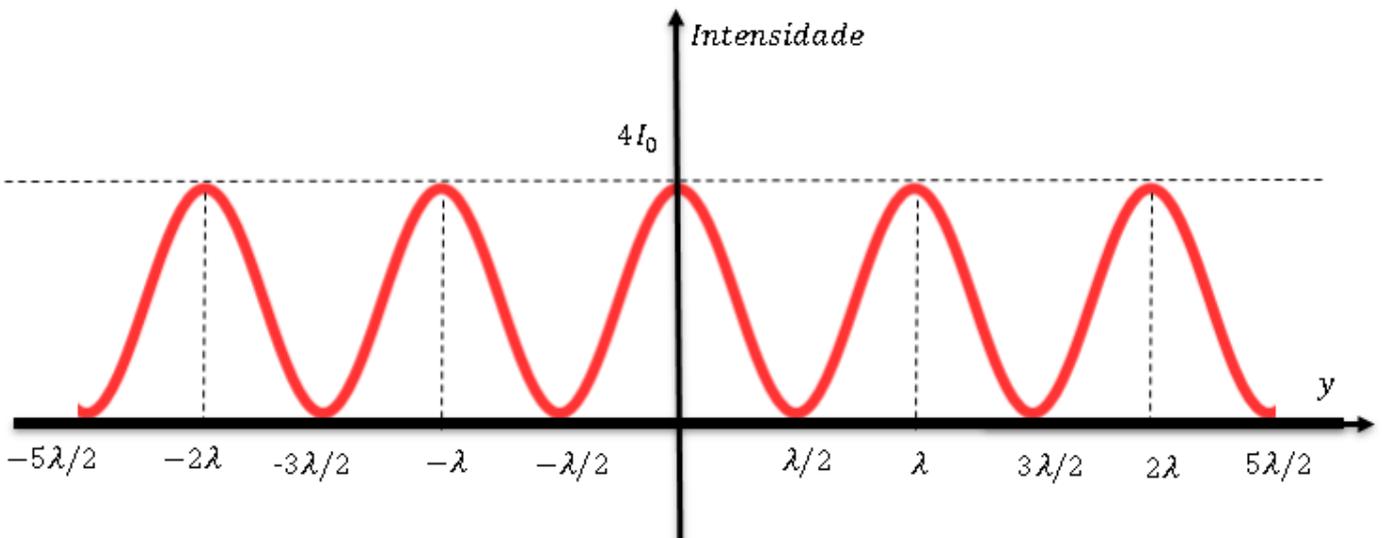


Figura 7: Padrão de intensidade no experimento de Young.

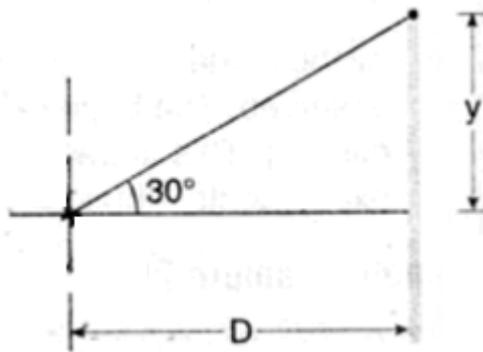
ATENÇÃO
DECORE!





Exemplo:

Duas fendas estão separadas por uma distância 0,32 mm. Um feixe de luz de comprimento de onda 500 nm incide sobre as fendas, produzindo um padrão de interferência em um anteparo. Determine o número de máximos observados no intervalo $-30^\circ < \theta < 30^\circ$.



Comentários:

O valor da interfranja vale:

$$w = \frac{\lambda D}{d}$$

E temos também:

$$y = \frac{D}{\sqrt{3}}$$

Assim, o número de máximos para uma distância y é dado por:

$$n = \frac{y}{w} = \frac{\frac{D}{\sqrt{3}}}{\frac{\lambda D}{d}}$$

$$n = \frac{d}{\lambda \sqrt{3}} \Rightarrow n = \frac{0,32 \cdot 10^{-3}}{500 \cdot 10^{-9} \cdot \sqrt{3}} = 369,5$$

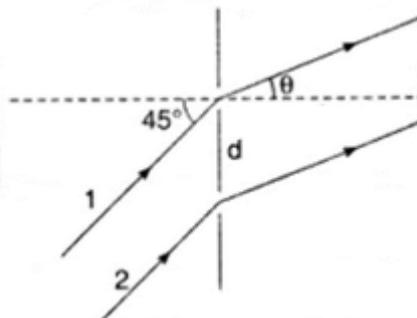
Dessa maneira, o número de máximos obtidos (incluindo o central) é:

$$N = 2 \cdot 369 + 1$$

$$\boxed{N = 739}$$

Exemplo:

A distância entre duas fendas no experimento de Young é dada por $d = 20\lambda$, em que λ é o comprimento de onda da luz usada no experimento. Encontre o valor de θ para que o terceiro máximo ser obtido.



Comentários:

Os raios inicialmente não estão em fase. Assim, há uma diferença de caminho inicial entre os raios (1) e (2).



Antes de atingir as fendas o raio (1) percorre maior distância. Entretanto, após passarem sobre as fendas, o raio (2) percorre maior distância. Não podemos dizer que diferença de caminho é maior que a outra, dessa forma usaremos o módulo.

$$|d\text{sen}\theta - d\text{sen}45^\circ| = 3\lambda$$

(I) Para $d\text{sen}\theta - d\text{sen}45 > 0 \rightarrow 45^\circ < \theta < 90^\circ$:

$$\begin{aligned} d\text{sen}\theta - d\text{sen}45 &= 3\lambda \\ 20\lambda\text{sen}\theta - 20\lambda\text{sen}45 &= 3\lambda \\ \text{sen}\theta &= \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{3}{20} \\ \theta &= 59^\circ \end{aligned}$$

É um valor condizente.

(II) Para $d\text{sen}\theta - d\text{sen}45 < 0 \rightarrow 0 < \theta < 45^\circ$:

$$\begin{aligned} d\text{sen}\theta - d\text{sen}45 &= -3\lambda \\ 20\lambda\text{sen}\theta - 20\lambda\text{sen}45 &= -3\lambda \\ \text{sen}\theta &= \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{3}{20} \\ \theta &= 34^\circ \end{aligned}$$

Também é um valor condizente. Dessa maneira, para esses dois valores de θ temos um máximo.



4. INTERFERÊNCIA EM FILMES FINOS

As cores de uma bolha de sabão ou de uma mancha de óleo são causadas pela interferência das ondas luminosas refletidas pelas superfícies anterior e posterior de um filme fino. Para que ocorra a interferência, a espessura do filme deve ser da mesma ordem que o comprimento de onda da luz incidente.

Considere um filme fino de índice de refração n de espessura e . O filme está entre dois meios de índices de refração n_1 e n_2 , conforme a figura abaixo. Um raio de luz de comprimento de onda λ (no ar) incide sobre o filme.

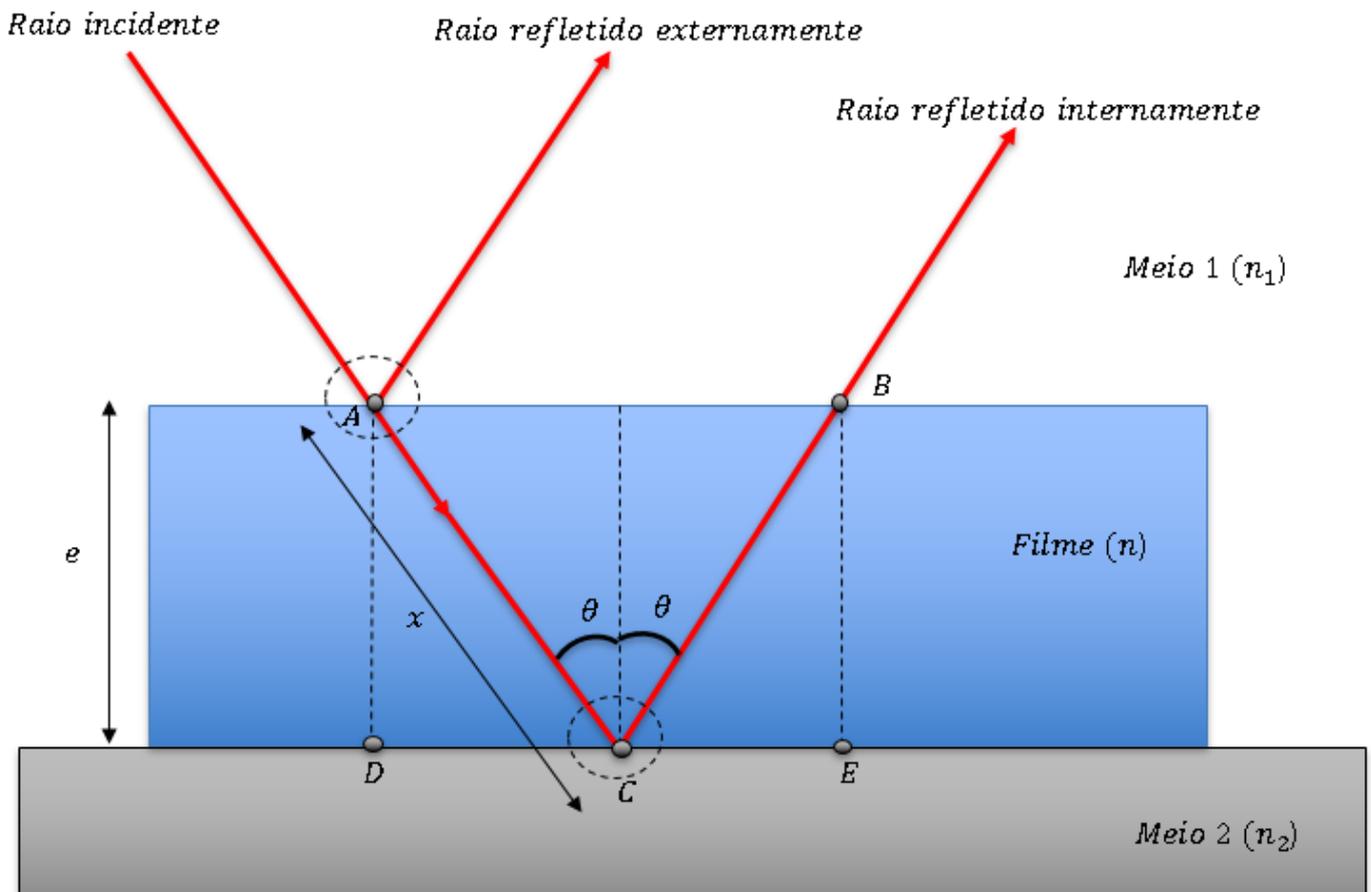


Figura 8: Representação do filme fino.

Antes de começarmos nosso estudo quantitativo em relação aos filmes finos, faremos algumas considerações:

- Os raios incidentes, refletido externamente e refletido internamente são paralelos. A imagem acima é uma representação que facilita a análise do sistema, entretanto, o ângulo de incidência é praticamente zero ($\theta \cong 0^\circ$) e, portanto, a representação correta seria a da figura 9.

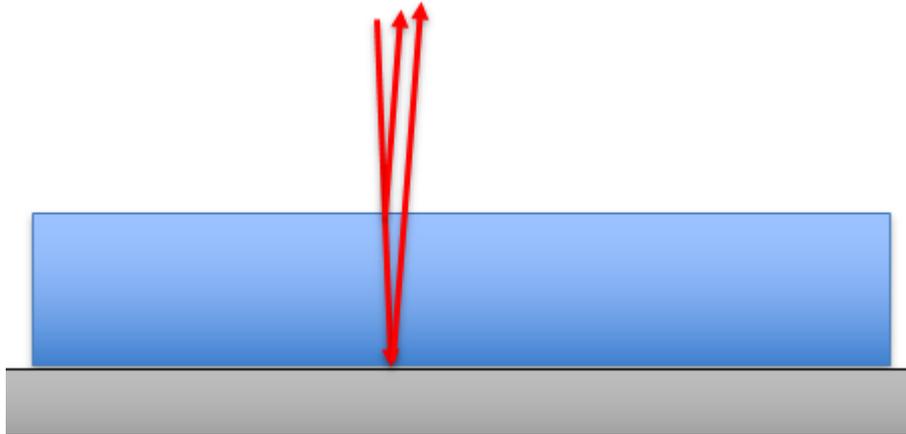


Figura 9: Raios luminosos são praticamente perpendiculares ao filme.

- Como os raios são praticamente paralelos, não há refração nos pontos A e C.

A interferência nos filmes finos ocorre entre o raio refletido externamente e o raio refletido internamente.

DIFERENÇA DE CAMINHO

A diferença de caminho existente entre o raio refletido externamente e o raio refletido internamente é dada pela geometria do ΔABC . Como os raios são praticamente paralelos, o valor de x se aproxima do valor da espessura do filme e

Desta maneira, a diferença de caminho entre os raios é $2e$.

$$\Delta x = 2e$$

INVERSÃO DE FASE

Sabemos que ao atingir uma interface entre dois meios um raio de luz refrata e reflete. A refração não causa inversão de fase no raio luminoso. Entretanto, a reflexão pode causar a inversão de fase.

Dado um raio de luz se propagando um meio de índice de refração n_1 , em direção a um meio de índice de refração n_2 . A reflexão na interface entre o meio 1 e o meio 2:

- Inverte fase $\Delta\Phi = 180^\circ = \pi \leftrightarrow n_1 < n_2$
- Não inverte fase $\Delta\Phi = 0 \leftrightarrow n_1 > n_2$

PRODUÇÃO DA INTERFERÊNCIA

A diferença de caminho entre os raios refletidos internamente e externamente é produzida no interior do filme. Dessa maneira, não podemos esquecer de usar o comprimento de onda do filme para a interferência.

Para encontrar o padrão construtivo ou destrutivo devemos saber se há ou não inversão de fase. Para isso, faremos a tabela abaixo referente a figura 8.



Relação entre os índices de refração	Inversão de fase	Interferência construtiva	Interferência destrutiva
$n_1 < n_2$ e $n_2 < n_3$	<p>Ocorre inversão de fase nos pontos A e C. Desta maneira, há inversão de fase:</p> $\Delta\Phi = 2\pi = 0$ <p>Portanto, como se não houvesse inversão de fase.</p>	$2e = K \cdot \frac{\lambda}{n}$ $K \in \{0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\}$	$2e = \left(K + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda}{n}$ $K \in \{0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\}$
$n_1 < n_2$ e $n_2 > n_3$	<p>Ocorre inversão de fase apenas no ponto A. Desta maneira, há inversão de fase:</p> $\Delta\Phi = \pi$	$2e = \left(K + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda}{n}$ $K \in \{0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\}$	$2e = K \cdot \frac{\lambda}{n}$ $K \in \{0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\}$
$n_1 > n_2$ e $n_2 < n_3$	<p>Ocorre inversão de fase apenas no ponto C. Desta maneira, há inversão de fase:</p> $\Delta\Phi = \pi$	$2e = \left(K + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda}{n}$ $K \in \{0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\}$	$2e = K \cdot \frac{\lambda}{n}$ $K \in \{0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\}$
$n_1 > n_2$ e $n_2 > n_3$	<p>Não ocorre nenhuma inversão de fase:</p> $\Delta\Phi = 0$	$2e = K \cdot \frac{\lambda}{n}$ $K \in \{0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\}$	$2e = \left(K + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda}{n}$ $K \in \{0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\}$

A tabela acima mostra todas as combinações possíveis para o filme fino que está entre dois meios diferentes. Note que a análise principal está sobre os índices de refração e, conseqüentemente, sobre as inversões de fase.



5. ANÉIS DE NEWTON

Os anéis de Newton são um padrão de interferência cujas franjas são circulares de (raio r) e concêntricas. Esse padrão de interferência é produzido por um filme de ar localizado entre uma lâmina e uma lente plano-convexa de raio R e centro O .

Raios luminosos (*comprimento de onda λ no ar*) incidem primeiramente na lente, uma parte refrata e a outra parte reflete. Os primeiros raios refletidos são chamados de raios refletidos superiormente.

Agora, o raio que refratou reflete na lâmina e, posteriormente, segue seu caminho até o olho do observador. Os raios que refletiram na lâmina e seguiram até o observador são chamados de raios refletidos inferiormente.

Note que a diferença de caminho entre os raios refletidos superiormente e os raios refletidos inferiormente é justamente a diferença de caminho produzida por um filme fino de ar. Considerando que a espessura desse filme seja e , iremos encontrá-la.

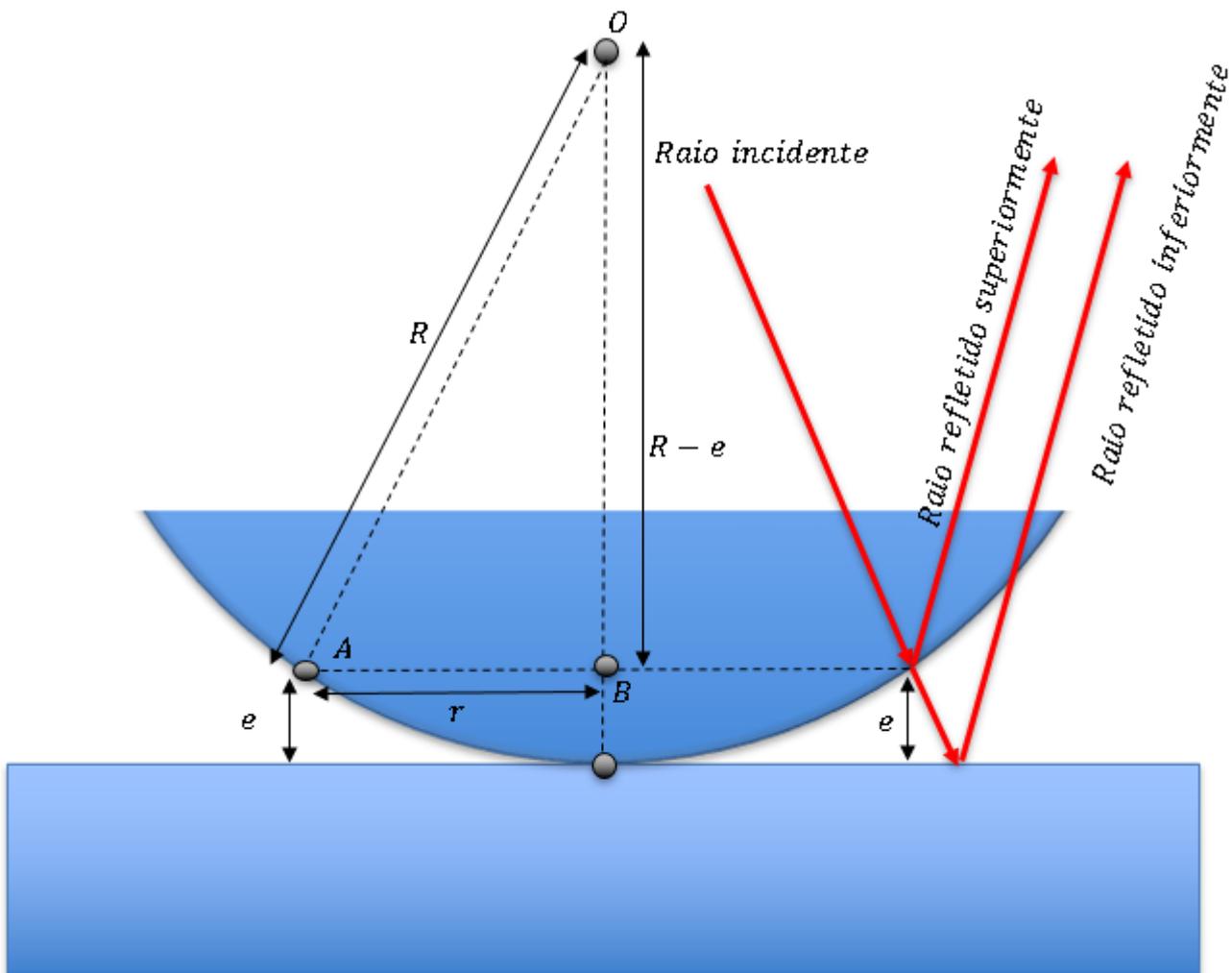


Figura 10: Representação do experimento que produz os Anéis de Newton.

Utilizando a figura 10, temos o triângulo retângulo AOB . Podemos aplicar o Teorema de Pitágora nesse triângulo:

$$R^2 = r^2 + (R - e)^2$$



$$r^2 + e^2 = 2Re$$

Considera-se que o raio do anel (r) é muito maior que a espessura do filme fino (e). Portanto, temos:

$$r^2 + e^2 \approx r^2$$

$$r^2 = 2Re$$

$$\boxed{2e = \frac{r^2}{R}}$$

Deste modo, encontramos a diferença de caminho entre o raio refletido superiormente e o raio refletido inferiormente. Considerando que a lâmina e a lente são feitas de materiais mais refringente que o ar, temos inversão de fase apenas na reflexão do raio refletido inferiormente.

Portanto, a inversão de fase é:

$$\Delta\Phi = \pi$$

Assim, os padrões de interferência são:

- **Interferência construtiva: formam anéis claros.**

$$2e = \left(K + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda = \frac{r^2}{R}$$

$$\boxed{r_{anel,claro} = \sqrt{\left(K + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda \cdot R}}$$

- **Interferência destrutiva: formam anéis escuros.**

$$2e = K \cdot \lambda = \frac{r^2}{R}$$

$$\boxed{r_{anel,escuro} = \sqrt{K \cdot \lambda \cdot R}}$$

A Figura 11, abaixo representada, mostra os anéis formados pelo experimento da figura 9. Note que o ponto central é uma interferência destrutiva.



Figura 11: Representação dos Anéis de Newton.



6. DIFRAÇÃO

Quando as ondas de luz passam através de uma pequena abertura, em vez de um ponto nítido de luz, um padrão de interferência é observado. Esse comportamento indica que a luz, depois de passar pela abertura, se espalha para além do caminho estreito definido pela abertura para regiões que ficarão na sombra, se a luz viajar em linha reta.

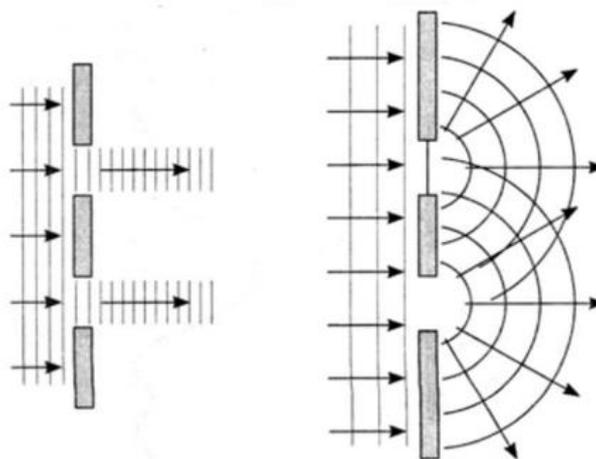


Figura 12: A esquerda não há difração. Já à direita há difração nas fendas.

Na figura 12, o desenho da esquerda mostra o que aconteceria se a onda não difratasse. O desenho da direita mostra a difração nas fendas.

Outras ondas, como ondas sonoras e ondas de água, também têm essa propriedade de se espalhar ao passar por aberturas ou por bordas afiadas. O fenômeno, conhecido como difração, pode ser descrito apenas com um modelo de onda para a luz.

Em geral, a difração ocorre quando as ondas passam por pequenas aberturas, em torno de obstáculos, ou passam por arestas vivas, como mostrado na figura 12. Quando um objeto opaco é colocado entre uma região sombreada e uma região iluminada. A região iluminada acima da sombra do objeto contém franjas claras e escuras alternadas. Tal exibição é chamada de padrão de difração.

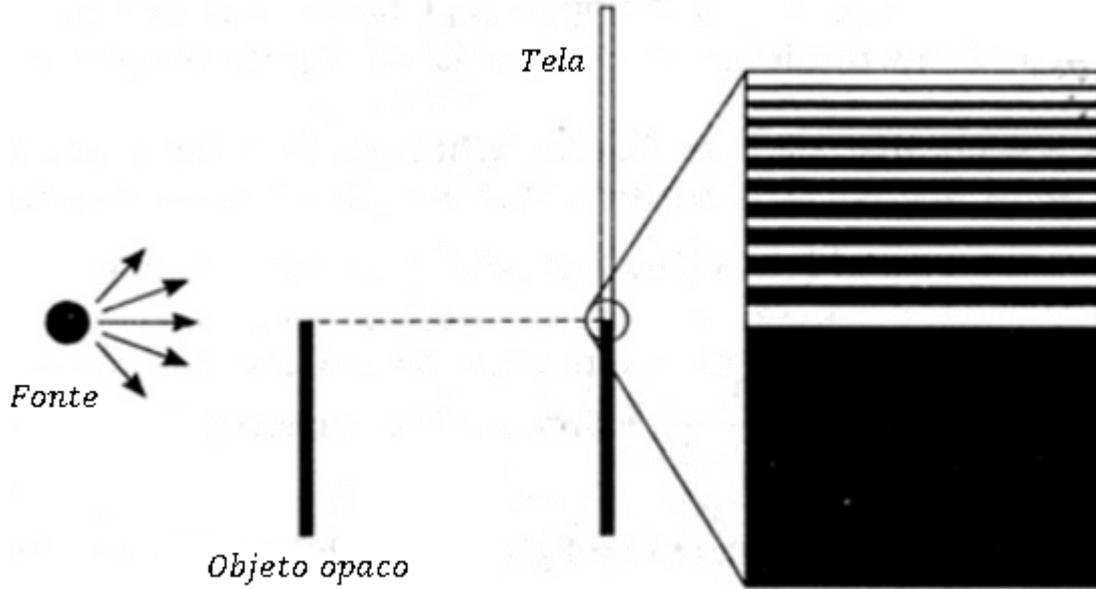


Figura 13: Padrão de interferência devido ao objeto opaco.

Neste tópico, restringiremos nossa atenção à difração de Fraunhofer, que ocorre, por exemplo, quando todos os raios que passam por uma fenda estreita são aproximadamente paralelos uns aos outros. Isso pode ser alcançado experimentalmente, colocando a tela longe da abertura usada para criar a difração ou usando uma lente convergente para focalizar os raios depois que eles passam pela abertura, como mostrado na figura 13.

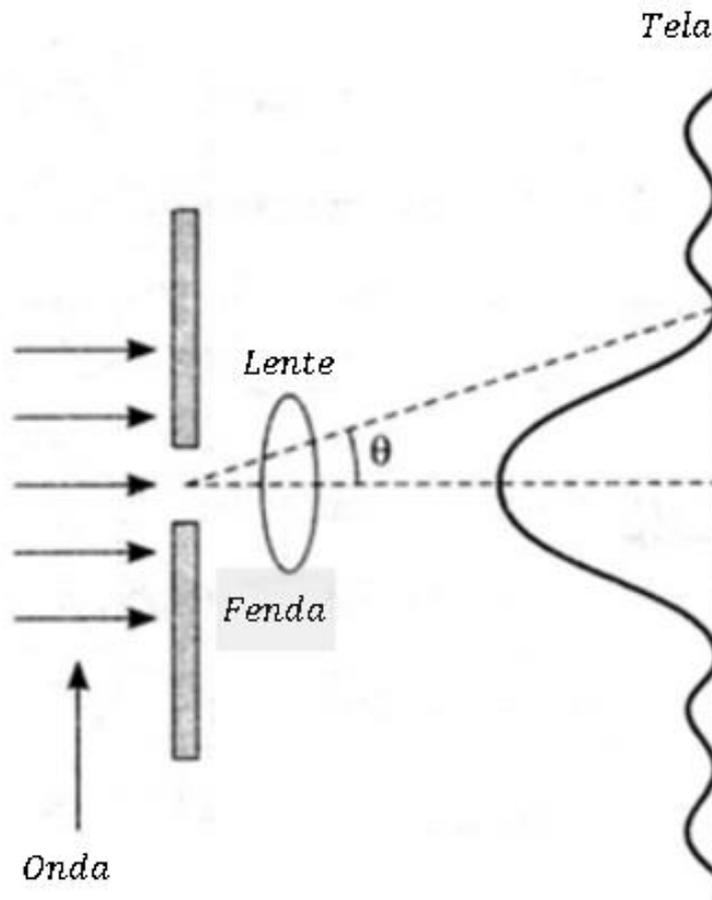


Figura 14: Difração de Fraunhofer na fenda simples.



DIFRAÇÃO EM FENDAS SIMPLES

Até agora, assumimos que as fendas são fontes pontuais de luz. Nesta seção, abandonamos essa suposição e vemos como a largura finita das fendas é a base para entender a difração de Fraunhofer.

Podemos deduzir algumas características importantes desse fenômeno examinando as ondas provenientes de várias partes da fenda, como mostra a figura 15. De acordo com o princípio de Huygens, cada parte da fenda atua como fonte de ondas de luz. Portanto, a luz de uma porção da fenda pode interferir com a luz de outra porção, e a intensidade da luz resultante na tela depende da direção θ .

Para analisar o padrão de difração, é conveniente dividir a fenda em duas metades, como mostra a figura 15. Tendo em mente que todas as ondas estão em fase quando saem da fenda, considere os raios 1 e 3. Enquanto esses dois raios viajam em direção a tela (à direita da figura 15), o raio 1 viaja mais longe que o raio 3 em uma quantidade igual à diferença de caminho $\frac{a}{2} \cdot \text{sen}\theta$, em que a é a largura da fenda.

Da mesma forma, a diferença de caminho entre os raios 2 e 4 também é $\frac{a}{2} \cdot \text{sen}\theta$. Se essa diferença de caminho é exatamente metade de um comprimento de onda (correspondente a uma diferença de fase de 180°), as duas ondas se cancelam e resultam em interferência destrutiva. Isso é verdade para quaisquer dois raios que se originam em pontos separados pela metade da largura da fenda, pois a diferença de fase entre dois desses pontos é de 180° .

Portanto, as ondas da metade superior da fenda interferem destrutivamente com as ondas da metade inferior quando:

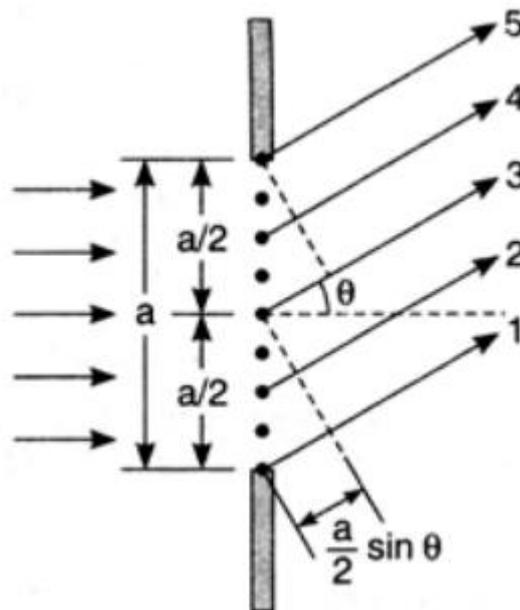


Figura 15: Fenda simples e raios luminosos.

$$\frac{a}{2} \cdot \text{sen}\theta = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow a \cdot \text{sen}\theta = \lambda$$



Se nos dividíssemos a fenda em quatro partes e usássemos um raciocínio análogo, teríamos:

$$a \cdot \text{sen}\theta = 2\lambda$$

Se nos dividíssemos a fenda em seis partes, teríamos:

$$a \cdot \text{sen}\theta = 3\lambda$$

Desta maneira, a condição geral para descrever os mínimos (interferência destrutiva) é:

$$a \cdot \text{sen}\theta = K \cdot \lambda, \quad K \in \{0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\}$$

Esta equação fornece os valores de θ para os quais o padrão de difração tem intensidade de luz zero, isto é, quando uma franja escura é formada. No entanto, nada nos diz sobre a variação na intensidade da luz ao longo da tela.

As características gerais da distribuição de intensidade são mostradas na figura 16. É observada uma ampla franja central brilhante; essa franja é acompanhada por franjas brilhantes muito mais fracas, alternadas com franjas escuras.

As várias franjas escuras ocorrem nos valores de θ que satisfazem a equação acima. Cada pico de franja brilhante fica aproximadamente a meio caminho entre seus mínimos marginais escuros. Observe que o máximo central brilhante é duas vezes maior que o máximo secundário.

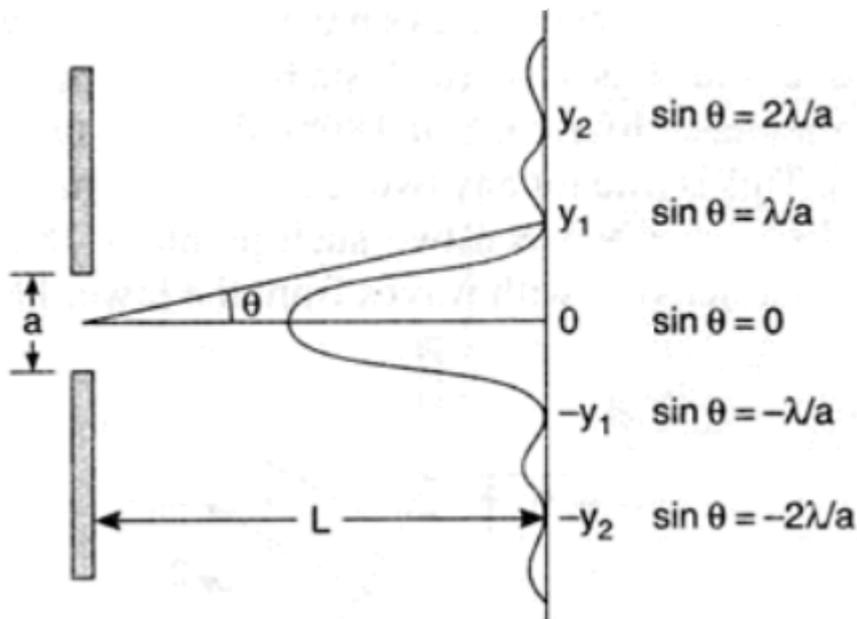


Figura 16: Padrão de intensidade da fenda simples

LARGURA DO MÁXIMO CENTRAL (E)

O máximo central tem largura corresponde ao dobro do primeiro mínimo:

$$e = 2 \cdot y_1$$

$$e = \frac{2 \cdot L \cdot \lambda}{a}$$



INTENSIDADE NA FENDA SIMPLES

Utilizando o conceito de fasores podemos determinar a distribuição de intensidade de difração para uma fenda simples. A intensidade varia da seguinte maneira:

$$I = I_0 \cdot \left(\frac{\text{sen} \left(\frac{\beta}{2} \right)}{\frac{\beta}{2}} \right)^2$$

$$\frac{\beta}{2} = \frac{\pi \cdot a \cdot \text{sen} \theta}{\lambda}$$

Deste modo, temos:

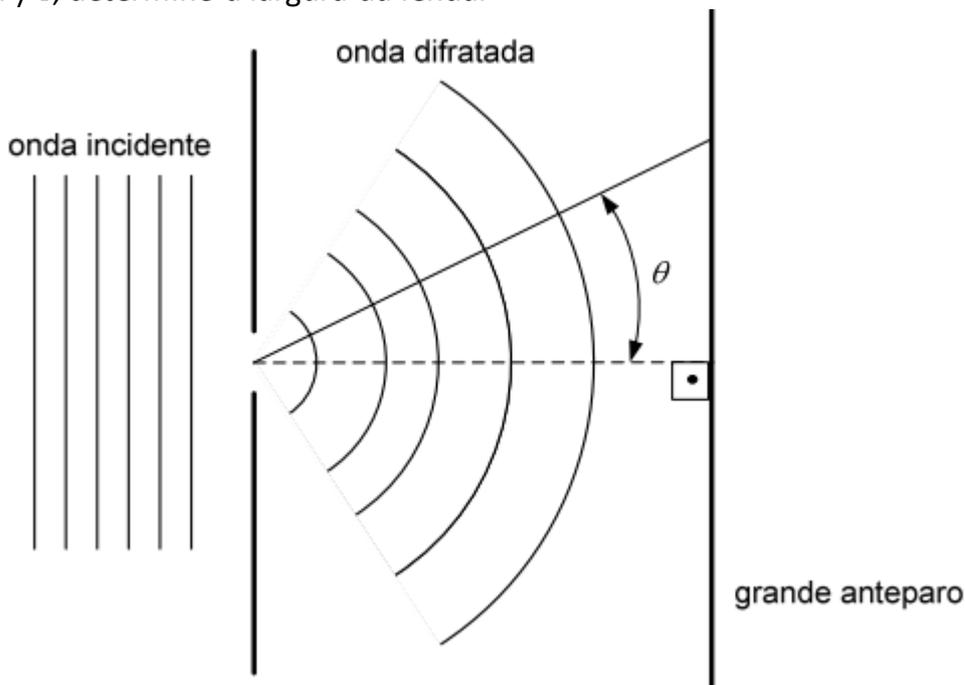
$$I = I_0 \cdot \left(\frac{\text{sen} \left(\frac{\pi \cdot a \cdot \text{sen} \theta}{\lambda} \right)}{\frac{\pi \cdot a \cdot \text{sen} \theta}{\lambda}} \right)^2$$

ATENÇÃO
DECORE!



Exemplo:

(IME-2016) Uma fenda é iluminada com luz monocromática cujo comprimento de onda é igual a 510 nm. Em um grande anteparo, capaz de refletir toda a luz que atravessa a fenda, são observados apenas cinco mínimos de intensidade de cada lado do máximo central. Sabendo que um dos mínimos se encontra em θ , tal que $\text{sen} \theta = \frac{3}{4}$ e $\text{cos} \theta = \frac{\sqrt{7}}{4}$, determine a largura da fenda.





Comentários:

Para os mínimos na difração, temos:

$$d \cdot \text{sen}\theta = m \cdot \lambda \Rightarrow \text{sen}\theta = \frac{m \cdot \lambda}{d}$$

Perceba que os senos de θ estão em progressão aritmética de razão $r = \frac{\lambda}{d}$.

$$\text{sen}\theta_1 = r$$

$$\text{sen}\theta_2 = 2r$$

$$\text{sen}\theta_3 = 3r$$

$$\text{sen}\theta_4 = 4r$$

$$\text{sen}\theta_5 = 5r$$

Como são observados apenas cinco mínimos, $5r < 1$ e $6r > 1$. Desta maneira, apenas $\text{sen}\theta_4 = 4r = \frac{3}{4}$ satisfaz as desigualdades acima e, portanto, temos que θ corresponde ao quatro mínimo.

Dessa forma, temos:

$$d \cdot \frac{3}{4} = 4 \cdot 510 \text{ nm} \Rightarrow \boxed{d = 2,72 \cdot 10^{-6}}$$

DIFRAÇÃO EM MÚLTIPLAS FENDAS E REDE DE DIFRAÇÃO

No tópico anterior estudamos como a difração ocorre em uma única fenda. Na experiência de Young estudamos como a difração ocorre em fendas duplas e gera um padrão de interferência. Nesse módulo estudaremos como a difração ocorre para múltiplas fendas, chegando até o caso limite quando esse número tende ao infinito, quando estudamos as redes de difração.

É bom salientar que, mesmo em um experimento com múltiplas fendas, o padrão de difração em fenda única continuará a ocorrer. Abaixo podemos ver os gráficos da difração em fenda pura em fenda simples, da interferência pura em fenda dupla (Experimento de Young), e da interferência com difração em fenda dupla:

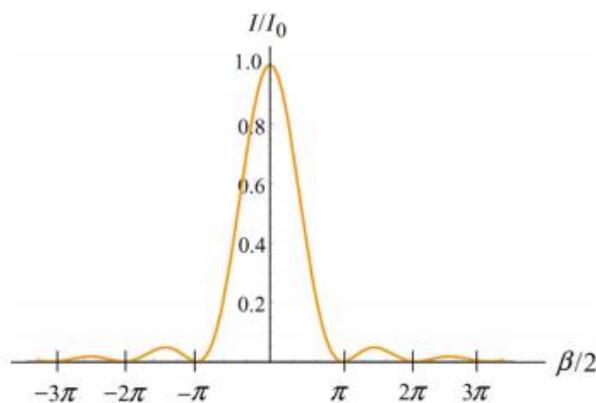


Figura 17. Difração pura em fenda simples

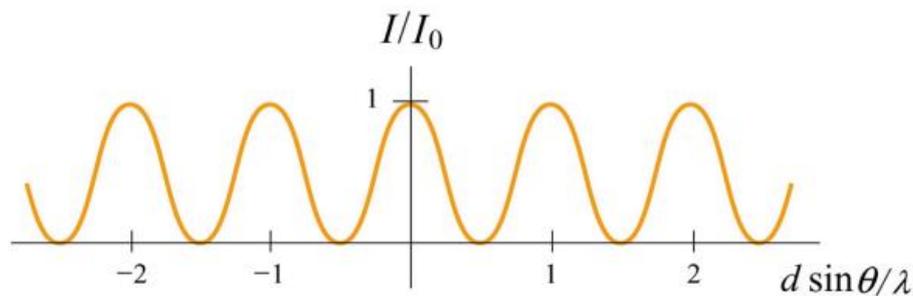


Figura 18. Interferência pura em fenda dupla

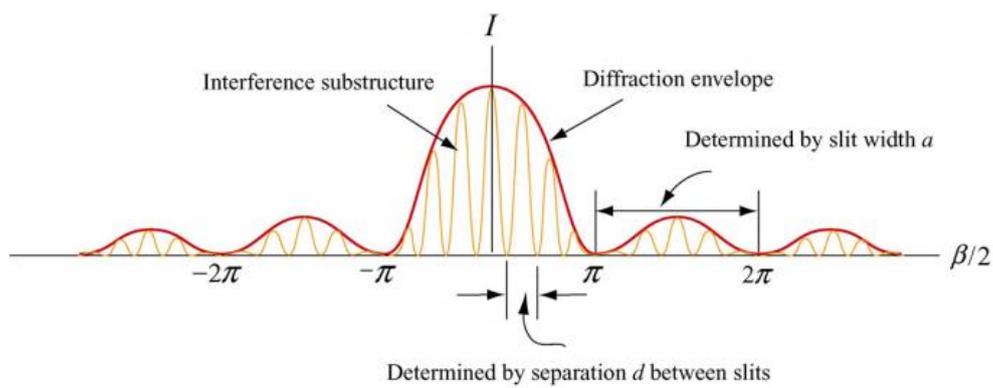


Figura 19. Interferência com Difração em fenda dupla

É importante notar que nesses gráficos o I_0 é a intensidade total do feixe antes da divisão em fendas (o I_0 que utilizamos é a intensidade de cada fenda).

Veja que, considerando x como a distância vertical no anteparo:

$$\frac{x}{L} = \tan \theta \approx \sin \theta$$

Para difração em fenda simples os mínimos se dão em:

$$a \sin \theta = k\lambda \rightarrow x = \frac{k\lambda L}{a}$$

Para interferência em fenda dupla os máximos se dão em:

$$d \sin \theta = k\lambda \rightarrow x = \frac{k\lambda L}{d}$$

Como $d > a$ o padrão de interferência é mais estreito que o padrão de difração, conforme podemos ver na Figura 19. O padrão de difração envolve o padrão de interferência.

Vamos considerar agora a interferência pura em fenda múltipla. A diferença de fase a cada fenda a uma distância vertical x da franja central é:

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



A magnitude do campo elétrico resultante de todas as fendas é:

$$E_{res}(t) = E_0 \sin(\omega t) + E_0 \sin(\omega t + \Delta\phi) + E_0 \sin(\omega t + 2\Delta\phi) + \dots + E_0 \sin(\omega t + (n-1)\Delta\phi)$$

$$E_{res}(t) = E_0 (\sin(\omega t) + \sin(\omega t + \Delta\phi) + \dots + \sin(\omega t + (n-1)\Delta\phi))$$

Isso é uma PA de senos! A soma vale:

$$E_{res}(t) = \frac{E_0 \sin\left(\frac{n\Delta\phi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right)} \sin\left(\omega t + \frac{(n-1)\Delta\phi}{2}\right)$$

A amplitude desse campo é:

$$E_{res} = \frac{E_0 \sin\left(\frac{n\Delta\phi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right)}$$

A intensidade da onda é diretamente proporcional ao quadrado da magnitude do campo, considerando a intensidade que passa por cada fenda como I_0 :

$$I_{res} = I_0 \left(\frac{\sin\left(\frac{n\Delta\phi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right)} \right)^2$$

Semelhante à fórmula de difração em fenda simples (basta substituir a distância entre as fendas pela largura da fenda).

CASOS ESPECIAIS

- **No caso de interferência em fenda dupla:**

$$I_{res} = I_0 \left(\frac{\sin\left(2\frac{\Delta\phi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right)} \right)^2 = I_0 \left(\frac{2 \sin\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) \cos\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right)} \right)^2 = \boxed{4I_0 \cos^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right)}$$

Temos interferência construtiva com $I_{res} = 4I_0$ quando $\cos^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) = 1$, ou seja:

$$\boxed{\Delta\phi = 2k\pi}$$

Temos interferência destrutiva com $I_{res} = 0$ quando $\cos\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) = 0$, ou seja:

$$\boxed{\Delta\phi = (2k+1)\pi}$$

- **No caso de interferência em fenda tripla:**

$$I_{res} = I_0 \left(\frac{\sin\left(3\frac{\Delta\phi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right)} \right)^2 = I_0 \left(\frac{-4 \sin^3\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) + 3 \sin\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right)} \right)^2 = I_0 \left(-4 \sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) + 3 \right)^2$$



$$= I_0 \left(4 \cos^2 \left(\frac{\Delta\phi}{2} \right) - 1 \right)^2 = \boxed{I_0 (2 \cos(\Delta\phi) + 1)^2}$$

Temos interferência construtiva máxima com $I_{res} = 9I_0$ quando $\cos(\Delta\phi) = 1$, ou seja:

$$\boxed{\Delta\phi = 2k\pi}$$

Derivando a equação e igualando a zero descobrimos que temos interferência construtiva secundária com $I_{res} = I_0$ em $\cos(\Delta\phi) = -1$, ou seja:

$$\boxed{\Delta\phi = (2k + 1)\pi}$$

Temos interferência destrutiva com $I_{res} = 0$ quando $\cos(\Delta\phi) = -\frac{1}{2}$, ou seja:

$$\boxed{\Delta\phi = \frac{2(3k \pm 1)\pi}{3}}$$

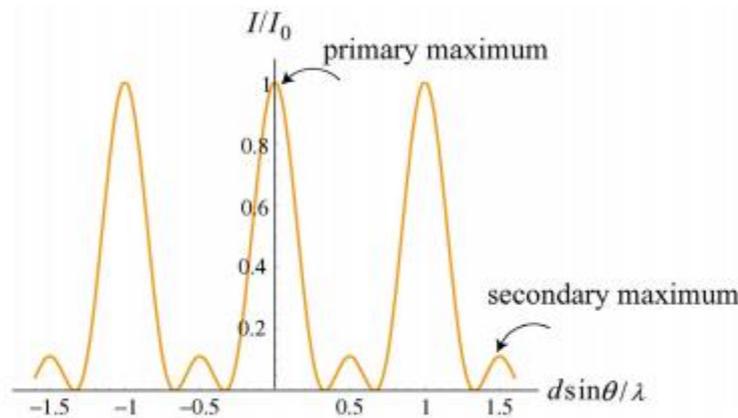


Figura 20. Interferência pura em fenda tripla

- No caso geral:

$$I_{res} = I_0 \left(\frac{\sin \left(\frac{n\Delta\phi}{2} \right)}{\sin \left(\frac{\Delta\phi}{2} \right)} \right)^2$$

Teremos uma interferência destrutiva com $I_{res} = 0$ quando $\sin \left(\frac{n\Delta\phi}{2} \right) = 0$ e $\sin \left(\frac{\Delta\phi}{2} \right) \neq 0$, ou seja, quando:

$$\Delta\phi = 2 \left(\frac{k}{n} \right) \pi, \text{ para } \left(\frac{k}{n} \right) \in \mathbb{Q} \setminus \mathbb{Z}$$

No caso de $\Delta\phi = 2k\pi$, por L'Hopital, temos interferência construtiva máxima com $I_{res} = n^2 I_0$

Teremos interferências construtivas menores aproximadamente entre duas interferências destrutivas adjacentes.



REDE DE DIFRAÇÃO

Abaixo você pode ver figuras de difração e interferência em vários tipos de fenda. A figura superior exibe um padrão em luz monocromática e a inferior em luz branca:

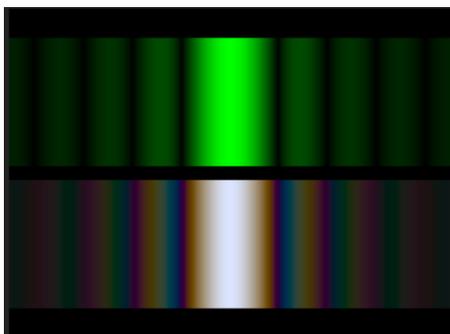


Figura 21. Difração em fenda simples

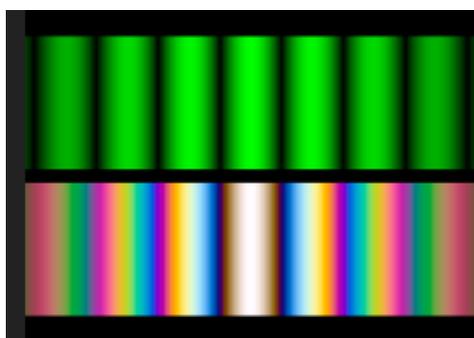


Figura 22. Interferência e difração em fenda dupla

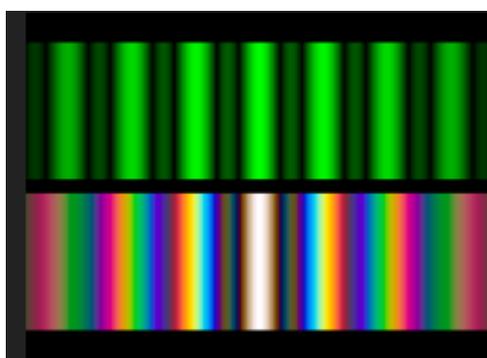


Figura 23. Interferência e difração em fenda tripla

Se você reparou bem, quanto mais fendas, mais estreita as bandas construtivas e mais fácil de visualizar. Abaixo segue o padrão de interferência em anteparo para 7 fendas:

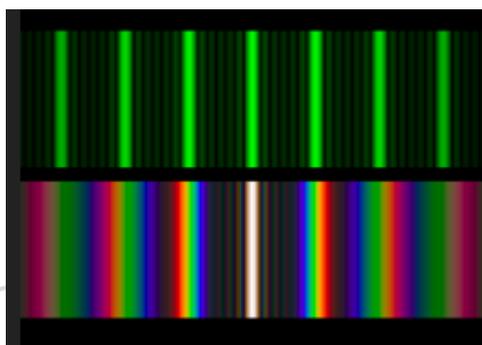




Figura 23. Interferência e difração em 7 fendas

No caso em que $n \rightarrow \infty$ temos o que chamamos de rede de difração, que tem diversas aplicações em monocromadores, espectrômetros e holografia. Um CD possui uma estrutura similar a uma rede de difração, com vacâncias igualmente espaçadas. Em uma rede de difração as interferências construtivas seguem a mesma regra da interferência em múltiplas fendas, entretanto só conseguimos visualizar as bandas com interferência construtiva máxima, pois as interferências construtivas parciais serão terão uma intensidade tão baixa quando $n \rightarrow \infty$ que não são visíveis. Dessa forma observamos pontos brilhantes bem estreitos e fortes separados por um grande espaço escuro. O limite para n é o tamanho da seção transversal do raio coerente usado e a distância entre as fendas. Por exemplo, de um raio laser de 1 mm de diâmetro for utilizado em uma rede de difração de 100 fendas por mm, $n=100$. As interferências construtivas máximas se encontram em:

$$\Delta\phi = 2k\pi$$

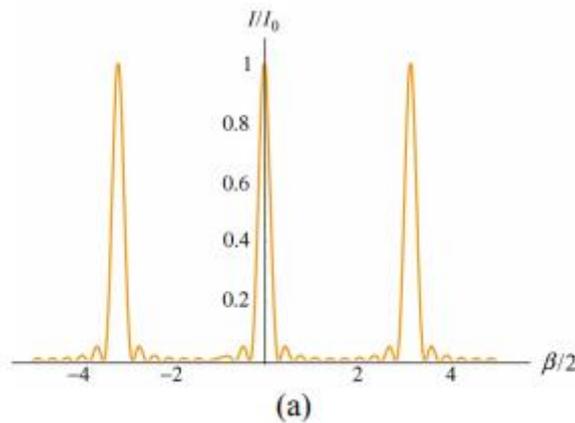


Figura 24. Interferência pura para 10 fendas

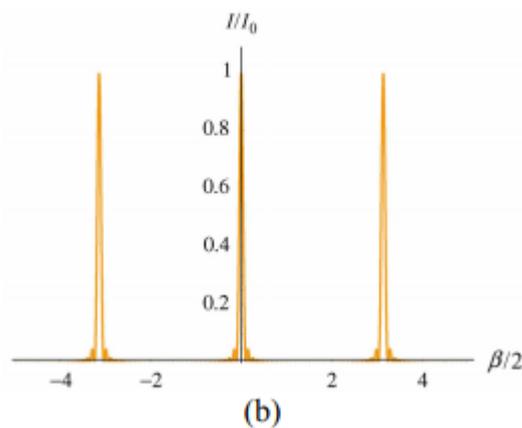


Figura 25. Interferência pura para 30 fendas



Modelo de questões

Modelo 1 - Deslocamento de franja

Uma lâmina de vidro ($\mu = 1,5$) é colocada na fenda superior no experimento de Young. O máximo central é deslocado para a 5ª franja clara. Se $\lambda = 5000 \text{ nm}$, determine a espessura da lâmina.

Comentários:

$$\Delta x = 5\lambda$$

$$\Delta x = e(\mu - 1)$$

Assim, temos:

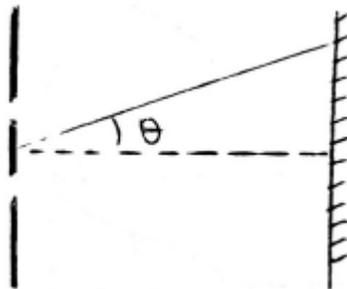
$$e(\mu - 1) = 5\lambda$$

$$e(1,5 - 1) = 5 \cdot 5000 \cdot 10^{-9}$$

$$\boxed{e = 50 \text{ A}}$$

Modelo 2 - Quantidade de franjas

Duas fendas separadas de $0,32 \text{ mm}$ recebem uma luz de $\lambda = 500 \text{ nm}$. Determine o número de máximos entre $-30^\circ < \theta < 30^\circ$



Comentários:

Da geometria, temos:

$$\text{tg}30^\circ = y/D$$

$$y = \frac{D\sqrt{3}}{3}$$

Para o experimento de Young, temos:

$$y = \frac{k \cdot D \cdot \lambda}{d}$$

$$\frac{D\sqrt{3}}{3} = \frac{k \cdot D \cdot 500 \cdot 10^{-9}}{0,32 \cdot 10^{-3}}$$



$$k = 369,5$$

Portanto, temos:

$$N = 2 \cdot 369 + 1 = 739$$

Modelo 3 - Quantidade de franjas deslocadas

Uma lâmina de vidro ($\mu = 1,5$) é colocada em uma das fendas no Young. Sabendo que foram deslocadas 30 franjas, determine a espessura da lâmina. Dado: $\lambda = 6 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$

Comentários:

Da lâmina, temos:

$$\Delta x = e(\mu - 1)$$

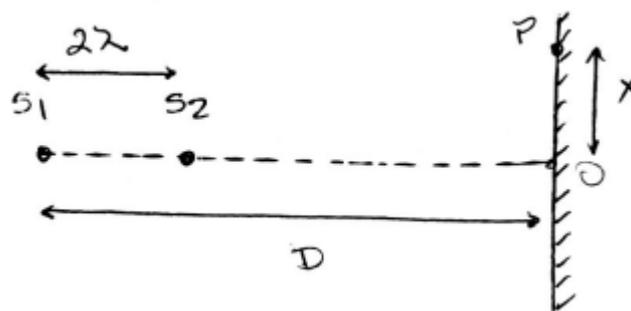
Número de comprimentos de onda:

$$N = \frac{e(\mu - 1)}{\lambda} = 30 = \frac{e(1,5 - 1)}{6 \cdot 10^{-7}}$$

$$e = 3,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

Modelo 4 - Young horizontal

Duas fontes coerentes emitem λ na mesma fase. Qual o valor (menor possível) de x para a intensidade em P ser a mesma em O. Considere $D \gg \lambda$.



Comentários:

Em O, temos:

$$\Delta x = 2\lambda$$

O próximo máximo será em:

$$\Delta x = \lambda$$



$$2\lambda \cos\theta = \lambda$$

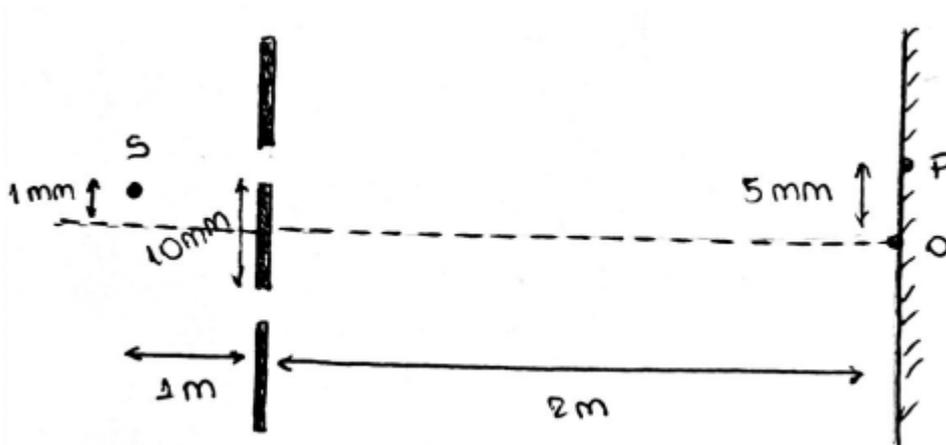
$$\cos\theta = \frac{1}{2} \rightarrow \theta = 60^\circ$$

$$\text{tg}60^\circ = \frac{x}{D}$$

$$\boxed{x = D\sqrt{3}}$$

Modelo 5 - Fonte deslocada

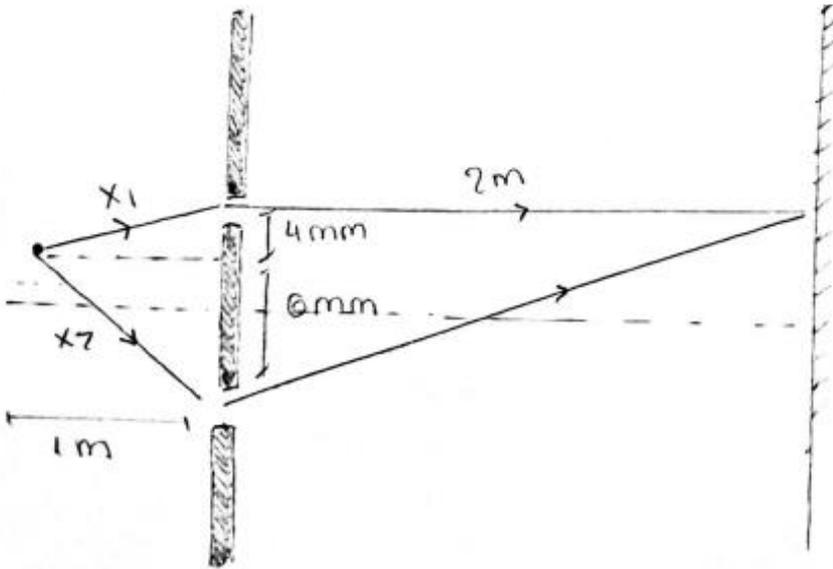
Em um experimento de Young usa-se $\lambda = 5000 \text{ \AA}$.



- Qual a ordem de interferência em P?
- Qual a ordem de interferência em O?
- Onde deve ser colocada uma lâmina ($\mu = 1,5$) e qual sua espessura para que em O se tenha um máximo central?

Comentários:

Esquemmatizando, temos:



- Diferença inicial:

$$\begin{cases} x_1^2 = 1 + 16 \cdot 10^{-6} \\ x_2^2 = 1 + 36 \cdot 10^{-6} \end{cases}$$

$$x_1 = 1 + 8 \cdot 10^{-6}$$

$$x_2 = 1 + 18 \cdot 10^{-6}$$

$$x_2 - x_1 = 10 \cdot 10^{-6}$$

- Diferença depois:

$$x'_1 = 2 \text{ m}$$

$$x'_2 = 2 \sqrt{1 + \frac{100}{4} \cdot 10^{-6}}$$

$$x'_2 - x'_1 = 25 \cdot 10^{-6}$$

A)

$$\Delta x_{total} = 35 \cdot 10^{-6} = k \cdot \lambda = k \cdot 5 \cdot 10^{-7}$$

$$k = 70^\circ$$

B) Só haverá a primeira diferença de caminho:

$$x_2 - x_1 = 10 \cdot 10^{-6} = k \cdot 5 \cdot 10^{-7}$$

$$k = 20^\circ$$

C) Coloca-se em cima:

Antes de chegar

$$\Delta x = 10 \cdot 10^{-6} = e(\mu - 1)$$

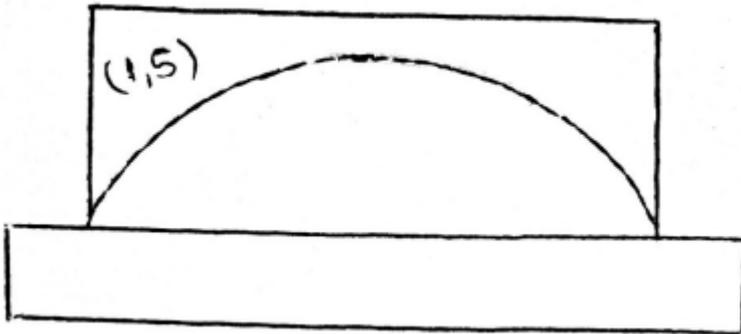


$$10 \cdot 10^{-6} = e \cdot 0,5$$

$$e = 20 \mu m$$

Modelo 6 - Cunha invertida

A lente é iluminada com $\lambda = 589 \text{ nm}$. Aparece um ponto escuro central circundado por anéis, dos quais 50 são escuros, inclusive o mais externo deles. Calcule a espessura da camada de ar.



Comentários:

Ocorre uma inversão de fase.

Para a interferência destrutiva, temos:

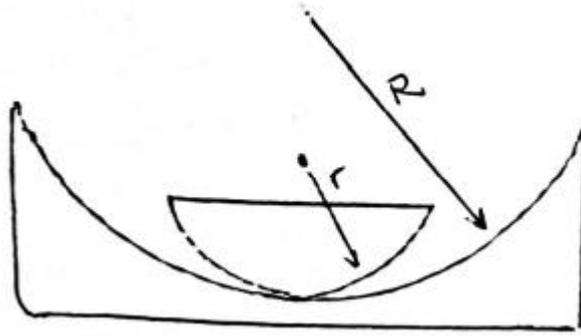
$$2e = k \cdot \lambda$$

$$2e = 50 \cdot 589 \cdot 10^{-9}$$

$$e = 14,7 \mu m$$

Modelo 7 - Cunhas sobrepostas

Uma lente plano-convexa com raio de curvatura $r = 4,00 \text{ m}$ está colocada em uma superfície de vidro convexa cujo raio de curvatura é $R = 12,00 \text{ m}$ como mostra a figura. Supondo que uma luz de 500 nm incida perpendicularmente na superfície plana, determine o raio de curvatura do 100° anel claro.



Comentários:

Espessura da camada:

$$2e = \lambda \cdot \left(k + \frac{1}{2}\right)$$

$$2e = 500 \cdot 10^{-9} \cdot \left(99 + \frac{1}{2}\right)$$

$$e = 24,875 \mu\text{m}$$

Raio do anel (a):

$$\begin{cases} a^2 = 2 \cdot R \cdot e_1 \\ a^2 = 2 \cdot r \cdot e_2 \end{cases} \rightarrow e_2 - e_1 = e$$

$$e = \frac{a^2}{2r} - \frac{a^2}{2R}$$

Substituindo os valores, temos:

$$a \cong 17,27 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$



Lista de questões

Nível 1

Questão 1.

Realiza-se a experiência de Young com um dispositivo em que os anteparos estão separados por 4,0 m e as fendas por 2,0 mm. A distância entre cada duas faixas claras consecutivas é 1,6 mm. Determine:

- o comprimento de onda da luz monocromática utilizada;
- a frequência da luz, cuja velocidade no meio em questão é $3,0 \times 10^8$ m/s.

Questão 2.

(Mackenzie-SP) A experiência de Young, relativa aos fenômenos de interferência luminosa, veio mostrar que:

- a interferência só é explicada satisfatoriamente através da teoria ondulatória da luz.
- a interferência só pode ser explicada com base na teoria corpuscular de Newton.
- tanto a teoria corpuscular quanto a ondulatória explicam satisfatoriamente esse fenômeno.
- a interferência pode ser explicada independentemente da estrutura íntima da luz.

Questão 3.

Determine a mínima espessura de uma película transparente de índice de refração 1,38 para que se apresente brilhante por luz refletida e escura por luz transmitida, ao ser iluminada por luz monocromática de comprimento de onda 5520Å no ar.

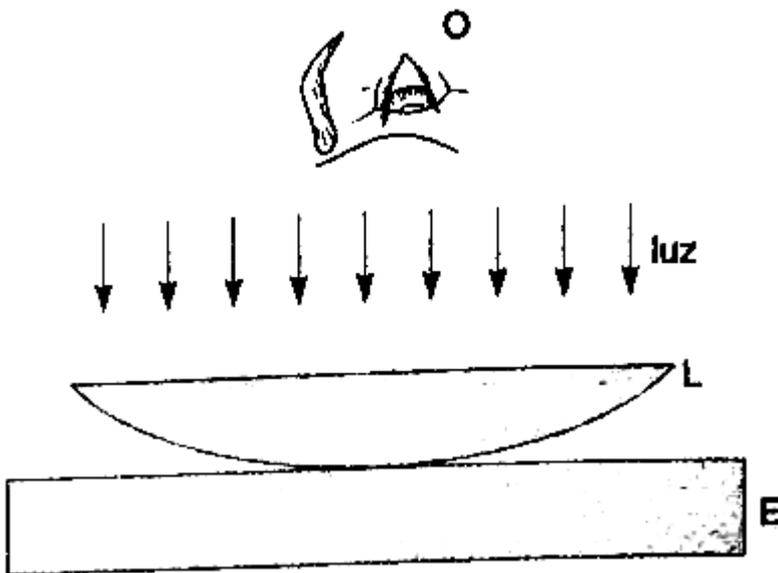
Dado: $1\text{Å} = 10^{-10}$ m

Questão 4.

No esquema ao lado, o observador O vê no sistema de uma lente delgada L (planoconvexa), em repouso sobre a superfície espelhada plana E iluminada por luz branca, uma série de franjas



circulares coloridas (anéis de Newton). A que é devido esse fenômeno?



- a) Difração na camada de ar.
- b) Polarização por reflexão.
- c) Interferência de raios refletidos em superfície diferentes.
- d) Refração da luz.
- e) Reflexão total da luz.

Questão 5.

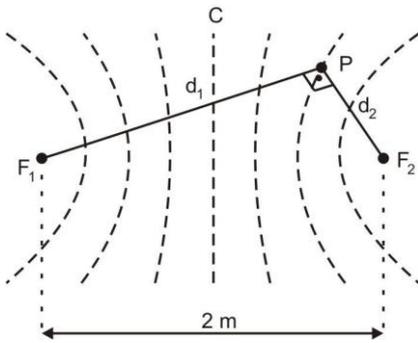
O fenômeno ilustrado pelos anéis de Newton é um exemplo de:

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

Nível 2

Questão 1.

(AFA-2020) Considere duas fontes pontuais F_1 e F_2 produzindo perturbações, de mesma frequência e amplitude, na superfície de um líquido homogêneo e ideal. A configuração de interferência gerada por essas fontes é apresentada na figura abaixo.



Sabe-se que a linha de interferência (C) que passa pela metade da distância de dois metros que separa as duas fontes é uma linha nodal. O ponto P encontra-se a uma distância d_1 da fonte F_1 e d_2 , da fonte F_2 , e localiza-se na primeira linha nodal após a linha central.

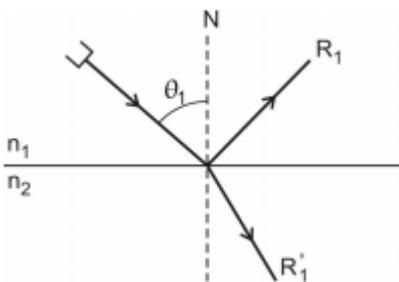
Considere que a onda estacionária que se forma entre as fontes possua cinco nós e que dois destes estejam posicionados sobre as fontes.

Nessas condições, o produto ($d_1 \cdot d_2$) entre as distâncias que separam as fontes do ponto P é

- a) $\frac{1}{2}$
- b) $\frac{3}{2}$
- c) $\frac{5}{4}$
- d) $\frac{7}{4}$

Questão 2.

(AFA-2019 - ADAPTADA) Um feixe de luz monocromática incide em uma interface perfeitamente plana formada por dois índices de refração absolutos n_1 e n_2 , com $n_2 > n_1$, conforme figura abaixo.



Esse feixe dá origem a dois outros feixes, o refletido R_1 e o refratado R_1' , com intensidades I_1 e I_1' , respectivamente.

O ângulo de incidência $\theta_1 < \frac{\pi}{3}$, medido em relação à normal N, pode ser alterado para um valor θ_2 com $\theta_1 < \theta_2 < \frac{\pi}{3}$, originando dois novos feixes, o refletido R_2 e o refratado R_2' , de intensidades, respectivamente I_2 e I_2' .

Considere que os meios sejam perfeitamente homogêneos, transparentes e isotrópicos, que não haja dissipação da energia incidente, nem absorção de luz na interface.



Nessas condições, são feitas as seguintes afirmativas sobre as intensidades dos raios refletidos e refratados.

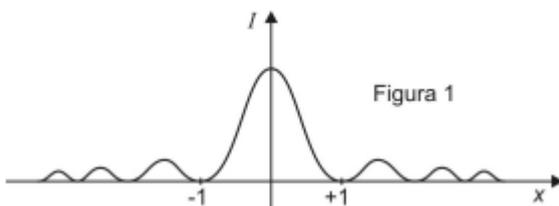
- I. $I_1 > I'_1$ e $I_2 < I'_2$
- II. $I_1 > I_2$ e $I'_1 > I'_2$
- III. $I_1 < I'_1$ e $I_2 > I'_2$
- IV. $I_1 < I_2$ e $I'_1 > I'_2$
- V. $I_1 < I'_1$ e $I_2 < I'_2$

Assim, são corretas as afirmativas

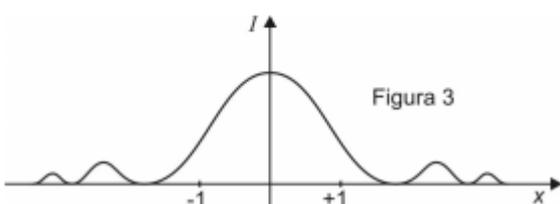
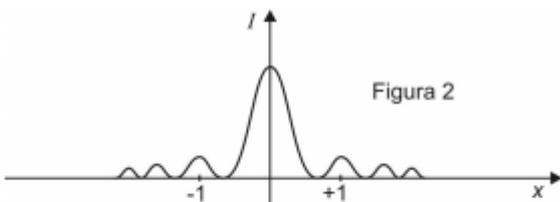
- a) I e II
- b) III e IV
- c) IV e V
- d) II e III

Questão 3.

(AFA-2016) Uma figura de difração é obtida em um experimento de difração por fenda simples quando luz monocromática de comprimento de onda λ_1 passa por uma fenda de largura d_1 . O gráfico da intensidade luminosa I em função da posição x ao longo do anteparo onde essa figura de difração é projetada, está apresentado na figura 1 abaixo.



Alterando-se neste experimento apenas o comprimento de onda da luz monocromática para um valor λ_2 , obtém-se o gráfico apresentado na figura 2. E alterando-se apenas o valor da largura da fenda para um valor d_2 , obtém-se o gráfico da figura 3.



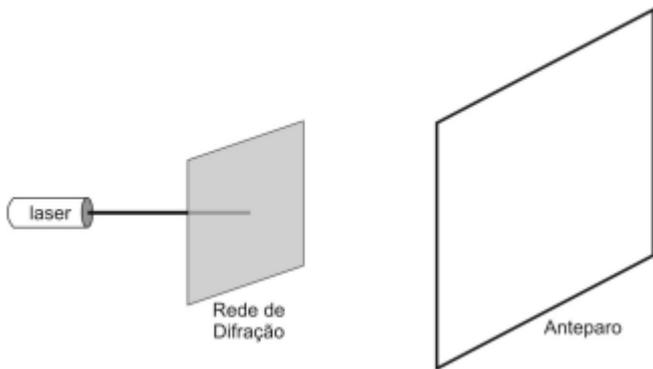
Nessas condições, é correto afirmar que



- a) $\lambda_2 > \lambda_1$ e $d_2 > d_1$
- b) $\lambda_2 > \lambda_1$ e $d_2 < d_1$
- c) $\lambda_2 < \lambda_1$ e $d_2 > d_1$
- d) $\lambda_2 < \lambda_1$ e $d_2 < d_1$

Questão 4.

(AFA-2014) Um estudante montou um experimento com uma rede de difração de 1000 linhas por milímetro, um laser que emite um feixe cilíndrico de luz monocromática de comprimento de onda igual a $4.10^{-7}m$ e um anteparo, conforme figura abaixo.

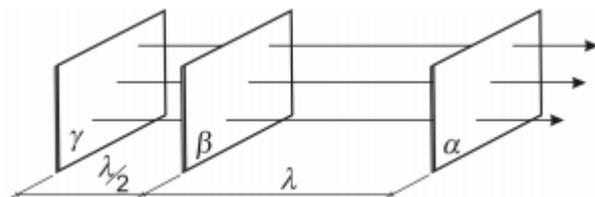


O espectro de difração, observado no anteparo pelo estudante, foi registrado por uma câmera digital e os picos de intensidade apareceram como pequenos pontos brilhantes na imagem. Nessas condições, a opção que melhor representa a imagem do espectro de difração obtida pelo estudante é:

- a) ● ● ●
- b) ● ● ● ●
- c) ● ● ● ● ●
- d) ● ● ● ● ● ● ●

Questão 5.

(AFA-2013) A figura abaixo apresenta a configuração instantânea de uma onda plana longitudinal em um meio ideal. Nela, estão representadas apenas três superfícies de onda α , β e γ , separadas respectivamente por λ e $\lambda/2$, onde λ é o comprimento de onda da onda.





Em relação aos pontos que compõem essas superfícies de onda, pode-se fazer as seguintes afirmativas:

- I - estão todos mutuamente em oposição de fase;
- II - estão em fase os pontos das superfícies α e γ ;
- III - estão em fase apenas os pontos das superfícies α e β ;
- IV - estão em oposição de fase apenas os pontos das superfícies γ e β .

Nessas condições, é (são) verdadeira(s)

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

Questão 6.

(AFA-2012) Uma fonte de luz monocromática ilumina um obstáculo, contendo duas fendas separadas por uma distância d , e produz em um anteparo distante D das fendas, tal que $D \gg d$, uma configuração de interferência com franjas claras e escuras igualmente espaçadas, como mostra a figura abaixo.



Considere que a distância entre os centros geométricos de uma franja clara e da franja escura, adjacente a ela, seja x . Nessas condições, são feitas as seguintes afirmativas.

- I - O comprimento de onda da luz monocromática que ilumina o obstáculo é obtido como $\frac{2xd}{D}$
- II - A distância entre o máximo central e o segundo máximo secundário é $3x$
- III - A diferença de caminhos percorridos pela luz que atravessa as fendas do anteparo e chegam no primeiro mínimo de intensidade é dado por $\frac{xd}{2D}$

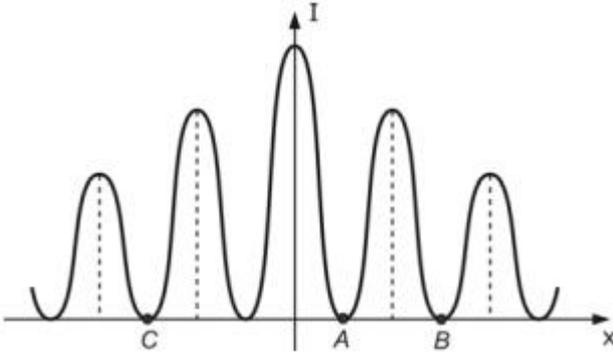
É (São) correta(s) apenas

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



Questão 7.

(AFA-2010) A figura abaixo representa a variação da intensidade luminosa I das franjas de interferência, em função da posição x , resultado da montagem experimental, conhecida como Experiência de Young

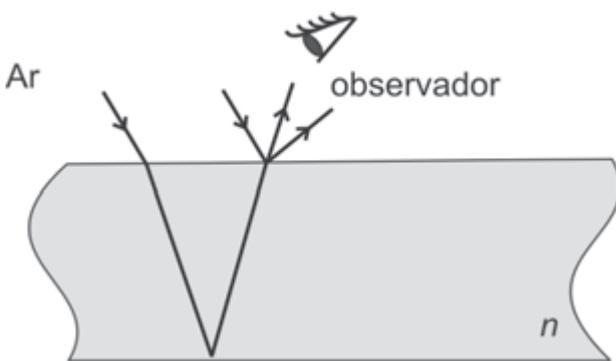


A razão entre as distâncias \overline{AB} e \overline{BC} é

- a) 2
- b) $\frac{1}{3}$
- c) $\frac{1}{2}$
- d) 3

Questão 8.

(AFA-2007) Considere uma película transparente de faces paralelas com índice de refração n iluminada por luz monocromática de comprimento de onda no ar igual a λ , como mostra a figura abaixo



Sendo a incidência de luz pouco inclinada, a mínima espessura de película para que um observador a veja brilhante por luz refletida é

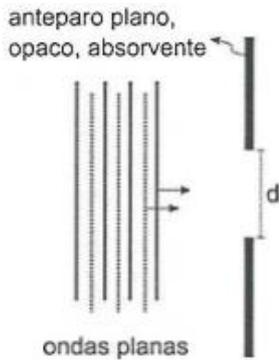
- a) $\frac{\lambda}{n}$
- b) $\frac{\lambda}{2n}$
- c) $\frac{\lambda}{4n}$



d) $\frac{\lambda}{5n}$

Questão 9.

(EN-2018) Analise a figura abaixo.

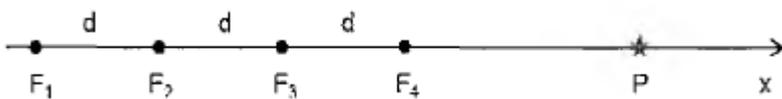


Considere duas ondas planas, uma de luz visível e outra de som audível, oscilando com comprimento de onda iguais a $\lambda_L = 10^{-4} \text{ cm}$ e $\lambda_S = 1,7 \text{ cm}$, respectivamente. No mesmo instante, ambas incidem perpendicularmente sobre um mesmo lado do anteparo plano, opaco e bom absorvente acústico mostrado na figura acima. Atravessando o orifício circular de diâmetro d pode-se afirmar que, na região do outro lado do anteparo:

- a) apenas a onda sonora pode ser detectada se $d \ll 1,7 \text{ cm}$, devido à difração.
- b) apenas a onda luminosa pode ser detectada se $d \ll 1,7 \text{ cm}$, devido à refração.
- c) a propagação das duas ondas é aproximadamente retilínea se $d \gg 1,7 \text{ cm}$
- d) a propagação das duas ondas é aproximadamente esférica se $d \gg 1,7 \text{ cm}$.
- e) nenhuma das ondas pode ser plana.

Questão 10.

(EN-2017) Analise a figura abaixo.



A figura acima ilustra quatro fontes sonoras pontuais ($F_1, F_2, F_3,$ e F_4). isotrópicas, uniformemente espaçadas de $d = 0,2 \text{ m}$, ao longo do eixo x . Um ponto P também é mostrado sobre o eixo x . As fontes estão em fase e emitem ondas sonoras na frequência de 825 Hz , com mesma amplitude A e mesma velocidade de propagação, 330 m/s . Suponha que, quando as ondas se propagam até P , suas amplitudes se mantêm praticamente constantes. Sendo assim a amplitude da onda resultante no ponto P é

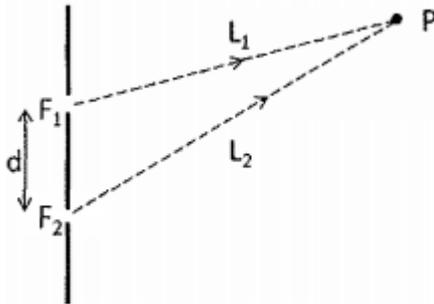
- a) zero
- b) $A/4$
- c) $A/2$



- d) A
- e) 2A

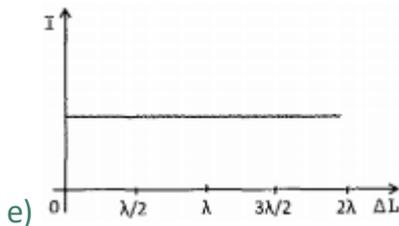
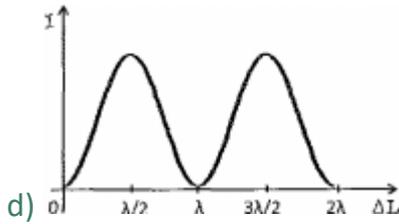
Questão 11.

(EN-2013) Analise a figura a seguir.



Considere duas fontes sonoras puntiformes, F_1 e F_2 , que estão separadas por uma pequena distância d , conforme mostra a figura acima. As fontes estão inicialmente em fase e produzem ondas de comprimento de onda λ . As ondas provenientes das fontes F_1 e F_2 percorrem, respectivamente, os caminhos L_1 e L_2 até o ponto afastado P , onde há superposição das ondas. Sabendo que $\Delta L = |L_1 - L_2|$ é a diferença de caminho entre as fontes e o ponto P , o gráfico que pode representar a variação da intensidade da onda resultante das duas fontes, I , em função da diferença de caminho ΔL é

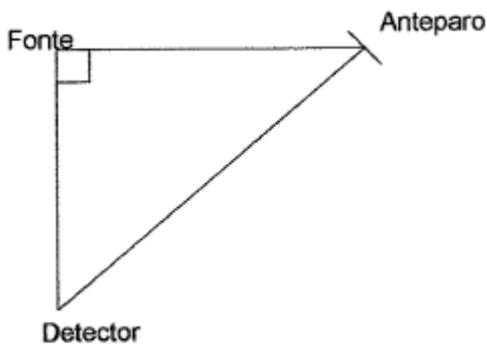
- a)
- b)
- c)



Questão 12.

(EN-2006) Uma fonte emite sinal sonoro que se propaga à velocidade de 340 m/s no ar. Considere o ar em repouso. Parte do sinal segue diretamente até o detector situado a $80,0\text{ m}$ da fonte enquanto outra parte segue até um anteparo situado a $60,0\text{ m}$, sofrendo então uma mudança de direção e seguindo para o detector, havendo assim interferência.

- Calcule a menor frequência audível do som para que o sinal sonoro tenha intensidade máxima no detector. (5 pontos)
- Considere agora somente a fonte e o anteparo, com a fonte continuando em repouso e o anteparo se deslocando para direita com velocidade de 108 km/h , calcule a variação relativa de frequência $\left(\frac{\Delta f}{f}\right)$ do sinal sonoro que chega no anteparo. A frequência detectada no anteparo seria maior ou menor do que a da fonte? (Justifique) (5 pontos)

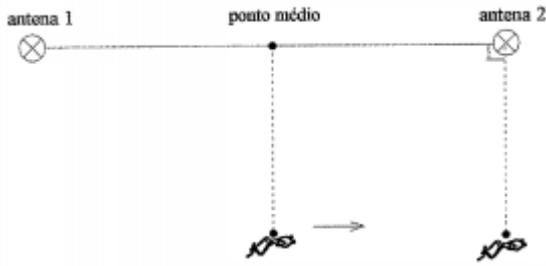


Questão 13.

(EN-2005) Na terra firme existem duas antenas separadas por uma distância de 30λ , onde λ é o comprimento de onda. As antenas emitem ondas eletromagnéticas com a mesma amplitude, em fase e frequência de 100 MHz , que se propagam com velocidade constante de $3,00 \cdot 10^8\text{ m/s}$. No mar, um mergulhador, portando um detector dessas ondas, observa que ao nadar paralelamente à reta que une as duas antenas, indo do ponto médio até uma delas, de acordo com a figura abaixo, o sinal recebido varia continuamente de um máximo, no ponto médio, a um mínimo, na



outra posição. Calcule a distância do mergulhador a cada uma das antenas, quando estiver na posição onde o sinal é mínimo. Considere $n_{\text{agua}} = \frac{4}{3}$.



Questão 14.

(EFOMM-2020) Um papel com um pequeno orifício é colocado no trajeto de um feixe de laser. O resultado que se observa no anteparo sobre o qual a luz incide após passar pelo orifício mostra um padrão de máximos e mínimos de intensidade luminosa. O fenômeno responsável por esse padrão é chamado de

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

Questão 15.

(EFOMM-2012) Sinais sonoros idênticos são emitidos em fase por duas fontes pontuais idênticas separadas por uma distância igual a 3,00 metros. Um receptor distante 4,00 metros de uma das fontes e 5,00 metros da outra perceberá, devido à interferência destrutiva total, um sinal de intensidade sonora mínima em determinadas frequências. Uma dessas frequências, em kHz, é:

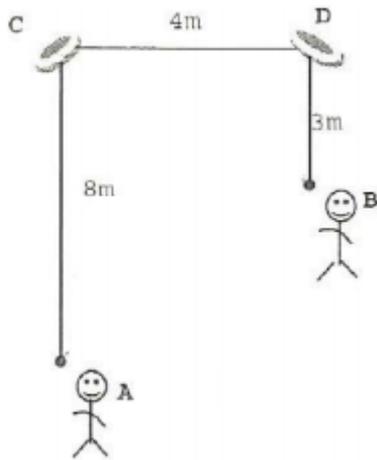
Dado: velocidade do som, $V_S=340$ m/s

- a) 1,36
- b) 1,70
- c) 2,21
- d) 5,10
- e) 5,44



Questão 16.

(EFOMM-2011) Observe a figura a seguir.



Dois ouvintes A e B estão em frente a dois alto-falantes C e D vibrando em fase, conforme indica a figura acima. Sabendo que os dois alto-falantes emitem sons de mesma intensidade e frequência igual a 171,5Hz e que as direções AC e BD são perpendiculares a CD, é correto afirmar que

Dado: velocidade do som igual a 343m/s.

- a) tanto A quanto B ouvem som de máxima intensidade.
- b) A ouve som de máxima intensidade e B não ouve praticamente som algum.
- c) B ouve som de máxima intensidade e A não ouve praticamente som algum.
- d) tanto A quanto B não ouvem praticamente som algum.
- e) tanto A quanto B ouvem som de média intensidade.

Questão 17.

(EFOMM-2007) Correlacione os conceitos às suas definições e assinale a seguir a alternativa correta.

CONCEITOS	GRANDEZA OU FENÔMENO FÍSICO
I É a mudança de direção dos raios luminosos quando da passagem de um meio para outro.	<input type="checkbox"/> difração
II É a mudança de direção em um mesmo meio.	<input type="checkbox"/> comprimento de onda
III É a distância entre dois picos positivos consecutivos de uma onda senoidal.	<input type="checkbox"/> refração
IV É o inverso do período de uma onda.	<input type="checkbox"/> onda eletromagnética

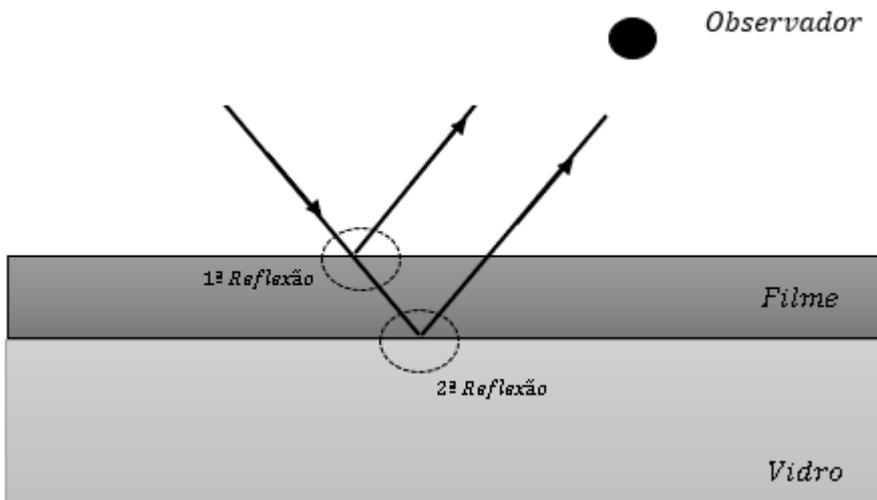


- V Não depende de meio material para sua () frequência propagação.
- () onda sonora

- a) (I) (IV) (-) (III) (II) (V)
 b) (II) (-) (I) (IV) (III) (V)
 c) (V) (I) (II) (IV) (-) (III)
 d) (II) (III) (I) (V) (IV) (-)
 e) (II) (III) (-) (I) (IV) (V)

Questão 18.

Considere o filme fino mostrado abaixo. Sabe-se que há inversão nas duas reflexões. Se o comprimento da luz no ar vale λ_{ar} e o índice de refração do filme vale n , determine a menor espessura do filme para que a intensidade da luz que chega no observador seja mínima.



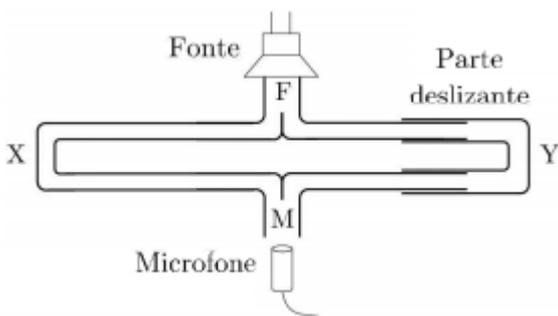
- a) $\frac{\lambda_{ar}}{n}$
 b) $\frac{\lambda_{ar}}{2n}$
 c) $\frac{\lambda_{ar}}{4n}$
 d) $\frac{\lambda_{ar}}{8n}$
 e) $\frac{\lambda_{ar}}{16n}$



Nível 3

Questão 1.

(ITA-2020 – 1ª) O som produzido pelo alto-falante F (fonte) ilustrado na figura tem frequência de 10 kHz e chega a um microfone M através de dois caminhos diferentes. As ondas sonoras viajam simultaneamente pelo tubo esquerdo FXM, de comprimento fixo, e pelo tubo direito FYM, cujo comprimento pode ser alterado movendo-se a seção deslizante (tal qual um trombone). As ondas sonoras que viajam pelos dois caminhos interferem-se em M. Quando a seção deslizante do caminho FYM é puxada para fora por 0,025 m, a intensidade sonora detectada pelo microfone passa de um máximo para um mínimo. Assinale o módulo da velocidade do som no interior do tubo.



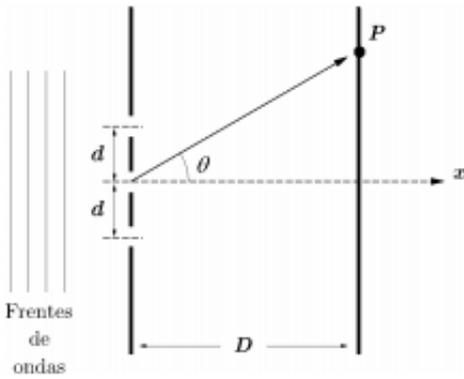
- a) $5,0 \times 10^2 \text{ m/s}$
- b) $2,5 \times 10^2 \text{ m/s}$
- c) $1,0 \times 10^3 \text{ m/s}$
- d) $2,0 \times 10^3 \text{ m/s}$
- e) $3,4 \times 10^2 \text{ m/s}$

Questão 2.

(ITA-2020 – 2ª) Frentes de ondas planas de luz, de comprimento de onda λ , incidem num conjunto de três fendas, com a do centro situando-se a uma distância d das demais, conforme ilustra a figura. A uma distância $D \gg d$, um anteparo registra o padrão de interferência gerado pela difração da onda devido às fendas. Calcule:

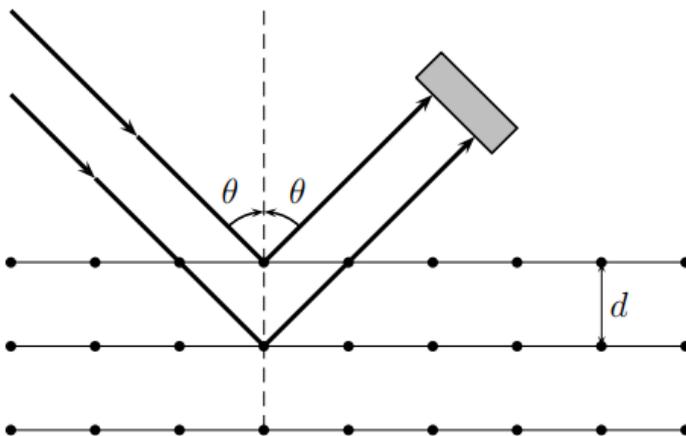
A razão entre a intensidade da franja clara central e a das franjas claras vizinhas

Os ângulos θ_n para os quais ocorrem franjas escuras.



Questão 3.

(ITA-2018) Com um certo material, cujas camadas atômicas interdistam de uma distância d , interage um feixe de radiação que é detectado em um ângulo θ conforme a figura. Tal experimento é realizado em duas situações



- (I) O feixe de raios X monocromáticos, com sua intensidade de radiação medida por um detector, resultando numa distribuição de intensidade em função de θ , com valor máximo para $\theta = \alpha$, e
- (II) o feixe é composto por elétrons monoenergéticos, com a contagem do número de elétrons por segundo para cada ângulo medido, resultando no seu valor máximo para $\theta = \beta$.

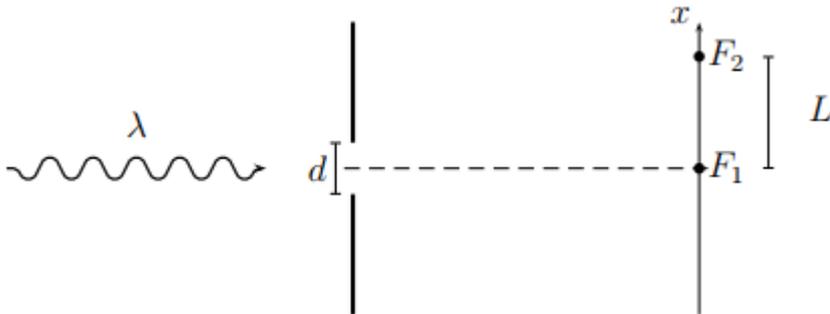
Assinale a opção com possíveis mudanças que implicam a alteração simultânea dos ângulos α e β medidos.

- a) Aumenta-se a intensidade do feixe de raio X e diminui-se a velocidade dos elétrons.
- b) Aumenta-se a frequência dos raios X e triplica-se o número de elétrons no feixe.
- c) Aumenta-se o comprimento de onda dos raios X e a energia cinética dos elétrons.
- d) Dobram-se a distância entre as camadas d (pela escolha de outro material) e o comprimento de onda dos raios X. Além disso, diminui-se a velocidade dos elétrons pela metade.
- e) Diminui-se a intensidade dos raios X e aumenta-se a energia dos elétrons.

Questão 4.



(ITA-2017) A figura mostra dois anteparos opacos à radiação, sendo um com fenda de tamanho variável d , com centro na posição $x = 0$, e o outro com dois fotodetectores de intensidade de radiação, tal que F_1 se situa em $x = 0$ e F_2 , em $x = L > 4d$. No sistema incide radiação eletromagnética de comprimento de onda λ constante.



Num primeiro experimento, a relação entre d e λ é tal que $d \gg \lambda$ e são feitas as seguintes afirmativas:

- (I) Só F_1 detecta radiação.
- (II) F_1 e F_2 detectam radiação.
- (III) F_1 não detecta e F_2 detecta radiação.

Num segundo experimento, d é reduzido até a ordem do comprimento de λ e, neste caso, são feitas estas afirmativas:

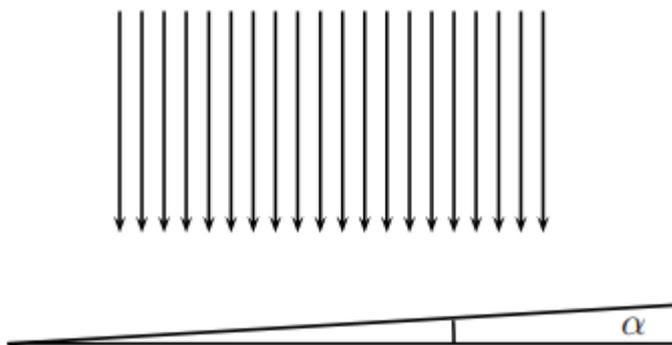
- (IV) F_2 detecta radiação de menor intensidade que a detectada em F_1 .
- (V) Só F_1 detecta radiação.
- (VI) Só F_2 detecta radiação.

Assinale as afirmativas possíveis para a detecção da radiação em ambos os experimentos.

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

Questão 5.

(ITA-2015) Luz que pode ser decomposta em componentes de comprimento de onda com 480 nm e 600 nm, incide verticalmente em uma cunha de vidro com ângulo de abertura $\alpha = 3,00^\circ$ e índice de refração de 1,5, conforme a figura, formando linhas de interferência destrutivas. Qual é a distância entre essas linhas?

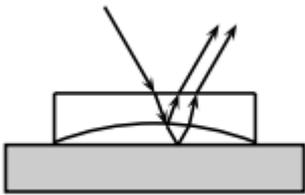




- a) $11,5 \mu\text{m}$
- b) $12,8 \mu\text{m}$
- c) $16,0 \mu\text{m}$
- d) $22,9 \mu\text{m}$
- e) $32,0 \mu\text{m}$

Questão 6.

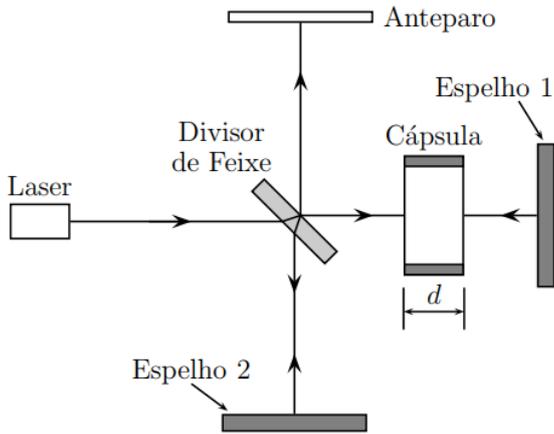
(ITA-2014) Sobre uma placa de vidro plana é colocada uma lente plano-côncava, com 1,5 de índice de refração e concavidade de 8,00 m de raio voltada para baixo. Com a lente iluminada perpendicularmente de cima por uma luz de comprimento de onda 589 nm (no ar), aparece um padrão de interferência com um ponto escuro central circundado por anéis, dos quais 50 são escuros, inclusive o mais externo na borda da lente. Este padrão de interferência aparece devido ao filme de ar entre a lente e a placa de vidro (como esquematizado na figura). A espessura da camada de ar no centro do padrão de interferência e a distância focal da lente são, respectivamente,



- a) $14,7 \mu\text{m}$ e $-10,0\text{m}$
- b) $14,7 \mu\text{m}$ e $-16,0\text{m}$
- c) $238,0 \mu\text{m}$ e $-8,0\text{m}$
- d) $35,2 \mu\text{m}$ e $16,0\text{m}$
- e) $29,4 \mu\text{m}$ e $-16,0\text{m}$

Questão 7.

(ITA-2014)



A figura mostra um interferômetro de Michelson adaptado para determinar o índice de refração do ar. As características do padrão de interferência dos dois feixes incidentes no anteparo dependem da diferença de fase entre eles, neste caso, influenciada pela cápsula contendo ar. Reduzindo a pressão na cápsula de 1 atm até zero (vácuo), nota-se que a ordem das franjas de interferência sofre um deslocamento de N , ou seja, a franja de ordem 0 passa a ocupar o lugar da de ordem N , a franja de ordem 1 ocupa o lugar da de ordem $N+1$, e assim sucessivamente. Sendo d a espessura da cápsula e λ o comprimento de onda da luz no vácuo, o índice de refração do ar é igual a:

- a) $N\lambda/d$
- b) $N\lambda/2d$
- c) $1 + N\lambda/d$
- d) $1 + N\lambda/2d$
- e) $1 - N\lambda/d$

Questão 8.

(ITA-2014) Uma luz monocromática incide perpendicularmente num plano com três pequenos orifícios circulares formando um triângulo equilátero, acarretando um padrão de interferência em um anteparo paralelo ao triângulo, com o máximo de intensidade num ponto P equidistante dos orifícios. Assinale as respectivas reduções da intensidade luminosa em P com um e com dois orifícios tampados.

- a) 4/9 e 1/9
- b) 2/3 e 1/3
- c) 8/27 e 1/27
- d) 1/2 e 1/3
- e) 1/4 e 1/9

Questão 9.

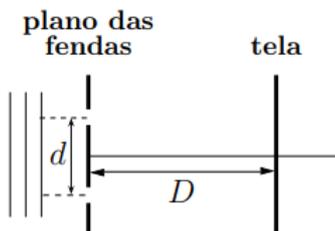
(ITA-2014) Em uma experiência de Young, uma luz magenta, constituída por uma mistura de luz vermelha ($\lambda = 660 \text{ nm}$) e luz azul ($\lambda = 440 \text{ nm}$) de mesma intensidade da luz vermelha, incide perpendicularmente num plano onde atravessa duas fendas paralelas separadas de $22 \mu\text{m}$ e alcança um anteparo paralelo ao plano, a 5,00 m de distância. Neste, há um semieixo Oy perpendicular à direção das fendas, cuja origem também está a 5,00 m de distância do ponto médio entre estas. Obtenha o primeiro valor de $y > 0$ onde há um máximo de luz magenta



(intensidades máximas de vermelho e azul no mesmo local). Se necessário, utilize $\tan\theta \cong \text{sen}\theta$, para $\theta \ll 1 \text{ rad}$.

Questão 10.

(ITA-2013) Num experimento clássico de Young, d representa a distância entre as fendas e D a distância entre o plano destas fendas e a tela de projeção das franjas de interferência, como ilustrado na figura. Num primeiro experimento, no ar, utiliza-se luz de comprimento de onda λ_1 e, num segundo experimento, na água, utiliza-se luz cujo comprimento de onda no ar é λ_2 . As franjas de interferência dos experimentos são registradas numa mesma tela. Sendo o índice de refração da água igual a n , assinale a expressão para a distância entre as franjas de interferência construtiva de ordem m para o primeiro experimento e as de ordem M para o segundo experimento.



- a) $\left| \frac{D(M\lambda_2 - mn\lambda_1)}{nd} \right|$ b) $\left| \frac{D(M\lambda_2 - m\lambda_1)}{nd} \right|$ c) $\left| \frac{D(M\lambda_2 - mn\lambda_1)}{d} \right|$
 d) $\left| \frac{D(M\lambda_2 - m\lambda_1)}{d} \right|$ e) $\left| \frac{D(Mn\lambda_2 - m\lambda_1)}{d} \right|$

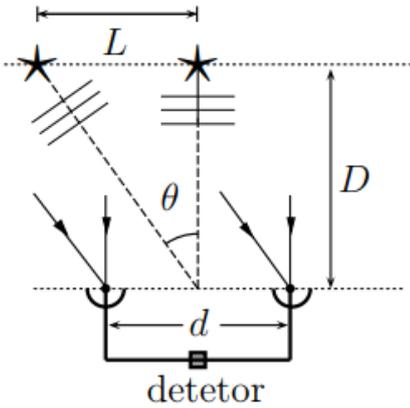
Questão 11.

(ITA-2013) Um prato de plástico com índice de refração 1,5 é colocado no interior de um forno de micro-ondas que opera a uma frequência de $2,5 \cdot 10^9 \text{ Hz}$. Supondo que as micro-ondas incidam perpendicularmente ao prato, pode-se afirmar que a mínima espessura deste em que ocorre o máximo de reflexão das micro-ondas é de:

- a) 1,0 cm
 b) 2,0 cm
 c) 3,0 cm
 d) 4,0 cm
 e) 5,0 cm

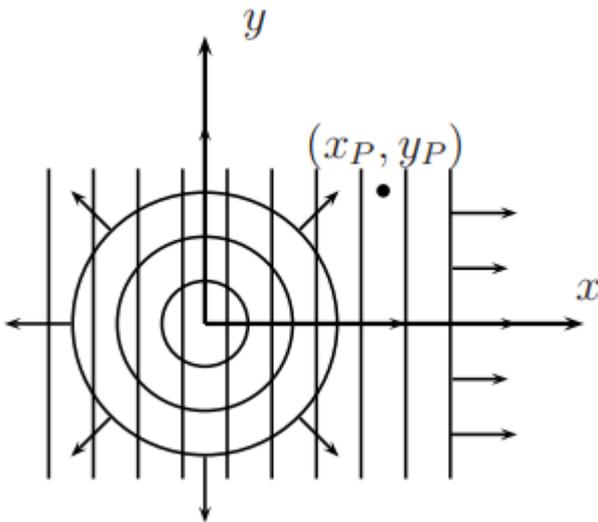
Questão 12.

(ITA-2013) Dois radiotelescópios num mesmo plano com duas estrelas operam com um interferômetro na frequência de 2,1 GHz. As estrelas são interdistantes de $L = 5,0 \text{ anos - luz}$ e situam-se a uma distância $D = 2,5 \cdot 10^7 \text{ anos - luz}$ da Terra. Ver figura. Calcule a separação mínima d , entre os dois radiotelescópios necessária para distinguir as estrelas. Se necessário, utilize $\tan\theta \cong \text{sen}\theta$, para $\theta \ll 1 \text{ rad}$.



Questão 12.

(ITA-2012) Em uma superfície líquida, na origem de um sistema de coordenadas encontra-se um emissor de ondas circulares transversais. Bem distante dessa origem, elas têm a forma aproximada dada por $h_1(x, y, t) = h_0 \text{sen} \left(2\pi \left(\frac{r}{\lambda} - ft \right) \right)$, em que λ é o comprimento de onda, f é a frequência e r , a distância de um ponto da onda até a origem. Uma onda plana transversal com a forma $h_2(x, y, t) = h_0 \text{sen} \left(2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - ft \right) \right)$ superpõe-se à primeira, conforme a figura. Na situação descrita, podemos afirmar, sendo \mathbb{Z} o conjunto dos números inteiros, que



- a) nas posições $\left(\frac{y_p^2}{2n\lambda} - \frac{n\lambda}{8}, y_p \right)$ as duas ondas estão em fase se $n \in \mathbb{Z}$.
- b) nas posições $\left(\frac{y_p^2}{2n\lambda} - \frac{n\lambda}{2}, y_p \right)$ as duas ondas estão em oposição de fase se $n \in \mathbb{Z}$ e $n \neq 0$.
- c) nas posições $\left(\frac{y_p^2}{2n\lambda} - \frac{(n+\frac{1}{2})\lambda}{2}, y_p \right)$ as duas ondas estão em oposição de fase se $n \in \mathbb{Z}$ e $n \neq 0$.
- d) nas posições $\left(\frac{y_p^2}{(2n+1)\lambda} - \frac{(n+\frac{1}{2})\lambda}{2}, y_p \right)$ as duas ondas estão em oposição de fase se $n \in \mathbb{Z}$.
- e) na posição $\left(\frac{2y_p^2}{\lambda} - \frac{\lambda}{8}, y_p \right)$ a diferença de fase entre as ondas é de 45° .



Questão 13.

(ITA-2011) Um filme fino de sabão é sustentado verticalmente no ar por uma argola. A parte superior do filme aparece escura quando é observada por meio de luz branca refletida. Abaixo da parte escura aparecem bandas coloridas. A primeira banda tem cor vermelha ou azul? Justifique sua resposta.

Questão 14.

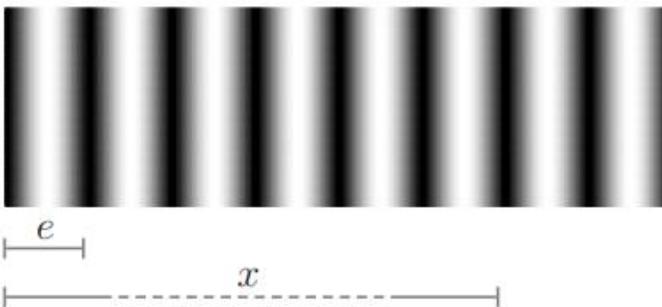
(ITA-2010) Um feixe luminoso vertical, de 500 nm de comprimento de onda, incide sobre uma lente plano-convexa apoiada numa lâmina horizontal de vidro, como mostra a figura. Devido à variação da espessura da camada de ar existente entre a lente e a lâmina, torna-se visível sobre a lente uma sucessão de anéis claros e escuros, chamados de anéis de Newton. Sabendo-se que o diâmetro do menor anel escuro mede 2 mm, a superfície convexa da lente deve ter um raio de



- a) 1,0 m
- b) 1,6 m
- c) 2,0 m
- d) 4,0 m
- e) 8,0 m

Questão 15.

(ITA-2009) Uma lâmina de vidro com índice de refração n em forma de cunha é iluminada perpendicularmente por uma luz monocromática de comprimento de onda λ . Os raios refletidos pela superfície superior e pela inferior apresentam uma série de franjas escuras com espaçamento e entre elas, sendo que a m -ésima encontra-se a uma distância x do vértice. Assinale o ângulo θ , em radianos, que as superfícies da cunha formam entre si.



a) $\theta = \lambda / 2ne$



$$b) \theta = \lambda / 4ne$$

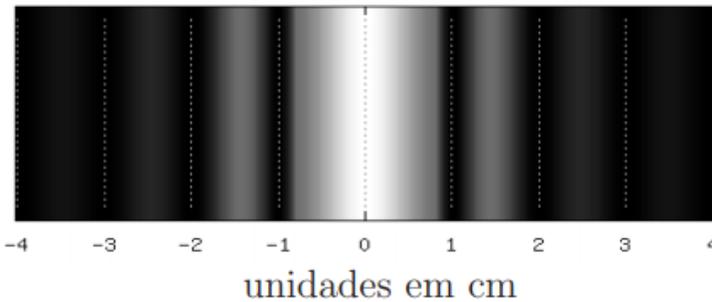
$$c) \theta = (m + 1)\lambda / 2nme$$

$$d) \theta = (2m + 1)\lambda / 4nme$$

$$e) \theta = (2m - 1)\lambda / 4nme$$

Questão 16.

(ITA-2010) Luz monocromática, com 500 nm de comprimento de onda, incide numa fenda retangular em uma placa, ocasionando a dada figura de difração sobre um anteparo a 10 cm de distância. Então, a largura da fenda é



a) $1,25 \mu m$

b) $2,5 \mu m$

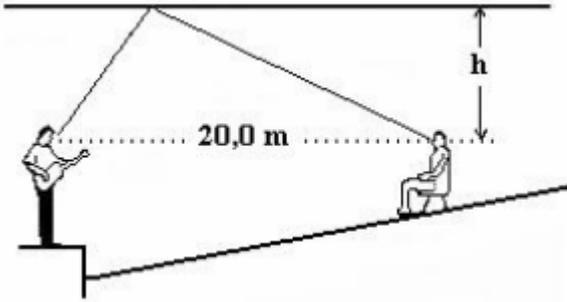
c) $5,0 \mu m$

d) $12,5 \mu m$

e) $25,0 \mu m$

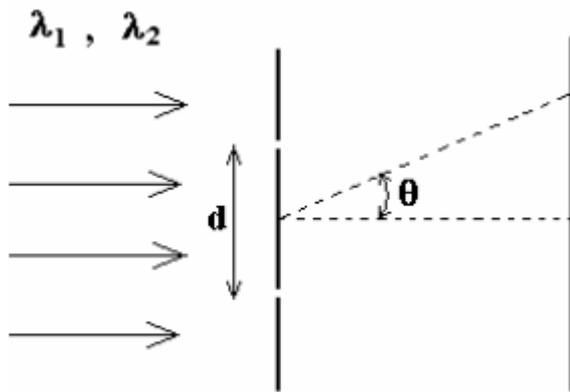
Questão 17.

(ITA-2008) Um apreciador de música ao vivo vai a um teatro, que não dispõe de amplificação eletrônica, para assistir a um show de seu artista predileto. Sendo detalhista, ele toma todas as informações sobre as dimensões do auditório, cujo teto é plano e nivelado. Estudos comparativos em auditórios indicam preferência para aqueles em que seja de 30 ms a diferença de tempo entre o som direto e aquele que primeiro chega após uma reflexão. Portanto, ele conclui que deve se sentar a 20 m do artista, na posição indicada na figura. Admitindo a velocidade do som no ar de 340 m/s, a que altura h deve estar o teto com a relação à sua cabeça?



Questão 18.

(ITA-2008) Um feixe de luz é composto de luzes de comprimentos de ondas λ_1 e λ_2 , sendo λ_1 15% maior que λ_2 . Esse feixe de luz incide perpendicularmente num anteparo com dois pequenos orifícios, separados entre si por uma distância d . A luz que sai dos orifícios é projetada num segundo anteparo, onde se observa uma figura de interferência. Pode-se afirmar então, que:



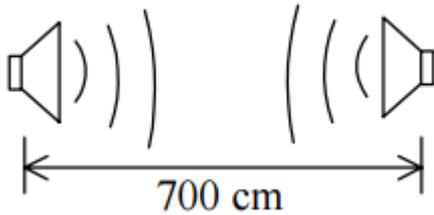
- a) o ângulo de $\arcsen\left(\frac{5\lambda_1}{d}\right)$ corresponde à posição onde somente a luz de comprimento de onda λ_1 é observada.
- b) o ângulo de $\arcsen\left(\frac{10\lambda_1}{d}\right)$ corresponde à posição onde somente a luz de comprimento de onda λ_1 é observada.
- c) o ângulo de $\arcsen\left(\frac{15\lambda_1}{d}\right)$ corresponde à posição onde somente a luz de comprimento de onda λ_1 é observada.
- d) o ângulo de $\arcsen\left(\frac{10\lambda_2}{d}\right)$ corresponde à posição onde somente a luz de comprimento de onda λ_2 é observada.
- e) o ângulo de $\arcsen\left(\frac{15\lambda_2}{d}\right)$ corresponde à posição onde somente a luz de comprimento de onda λ_2 é observada.

Questão 19.

(ITA-2007) A figura mostra dois alto-falantes alinhados em fase por um amplificador de áudio na frequência de 170 Hz. Considere que seja desprezível a variação da intensidade do som de cada



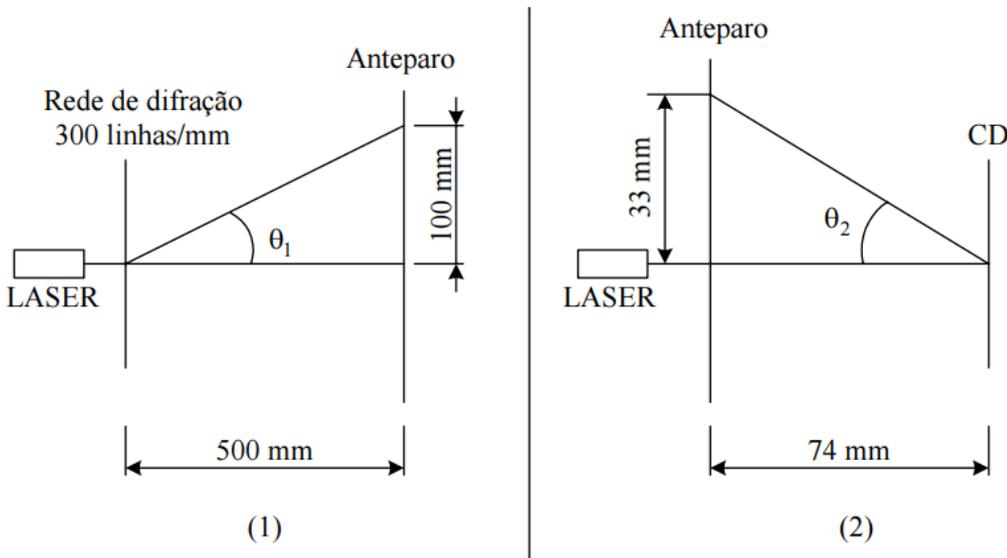
um dos alto-falantes com a distância e que a velocidade do som é de 340 m/s. A maior distância entre dois máximos de intensidade da onda sonora formada entre os alto-falantes é igual a



- a) 2 m
- b) 3 m
- c) 4 m
- d) 5 m
- e) 6 m

Questão 20.

(ITA-2006) Para se determinar o espaçamento entre duas trilhas adjacentes de um CD, forma montados dois arranjos:



1. O arranjo da figura (1), usando uma rede de difração de 300 linhas por mm, um LASER e um anteparo. Neste arranjo, mediu-se a distância do máximo de ordem 0 ao máximo de ordem 1 da figura de interferência formada no anteparo.

2. O arranjo da figura (2), usando o mesmo LASER, o CD e um anteparo com um orifício para a passagem do feixe de luz. Neste arranjo, mediu-se também a distância no máximo de ordem 0 ao máximo de ordem 1 da figura de interferência. Considerando nas duas situações θ_1 e θ_2 ângulos pequenos, a distância entre duas trilhas adjacentes do CD é de:

- a) $2,7 \cdot 10^{-7} \text{ m}$
- b) $3 \cdot 10^{-7} \text{ m}$
- c) $7,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}$



d) $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

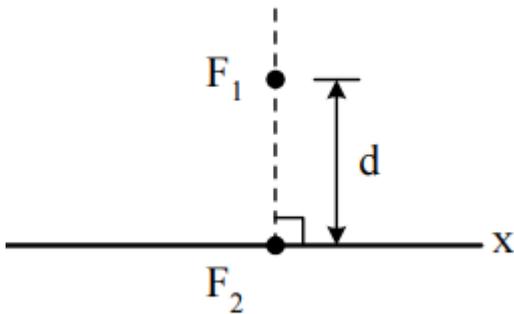
e) $3,7 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

Questão 21.

(ITA-2005) Uma fina película de fluoreto de magnésio recobre o espelho retrovisor de um carro a fim de reduzir a reflexão luminosa. Determine a menor espessura da película para que produza a reflexão mínima no centro do espectro visível. Considere que o comprimento de onda $\lambda = 5500 \text{ \AA}$, o índice de refração do vidro $n_v = 1,5$ e, o da película, $n_p = 1,3$. Admita a incidência luminosa como quase perpendicular ao espelho.

Questão 22.

(ITA-2004) Na figura F1 e F2 são fontes sonoras idênticas que emitem, em fase, ondas de frequência f e comprimento de onda λ . A distância d entre as fontes é igual a 3λ . Pode-se então afirmar que a menor distância não nula, tomada a partir de F2, ao longo do eixo x , para a qual ocorre interferência construtiva, é igual a



a) $4\lambda/5$

b) $5\lambda/4$

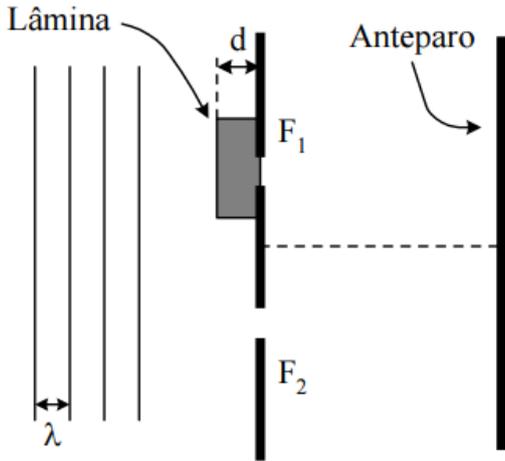
c) $3\lambda/2$

d) 2λ

e) 4λ

Questão 23.

(ITA-2004) Num experimento de duas fendas de Young, com luz monocromática de comprimento de onda λ , coloca-se uma lâmina delgada de vidro ($n_v = 1,6$) sobre uma das fendas. Isto produz um deslocamento das franjas na figura de interferência. Considere que o efeito da lâmina é alterar a fase da onda. Nestas circunstâncias, pode-se afirmar que a espessura d da lâmina, que provoca o deslocamento da franja central brilhante (ordem zero) para a posição que era ocupada pela franja brilhante de primeira ordem, é igual a:



- a) $0,38\lambda$ b) $0,60\lambda$ c) λ d) $1,2\lambda$ e) $1,7\lambda$

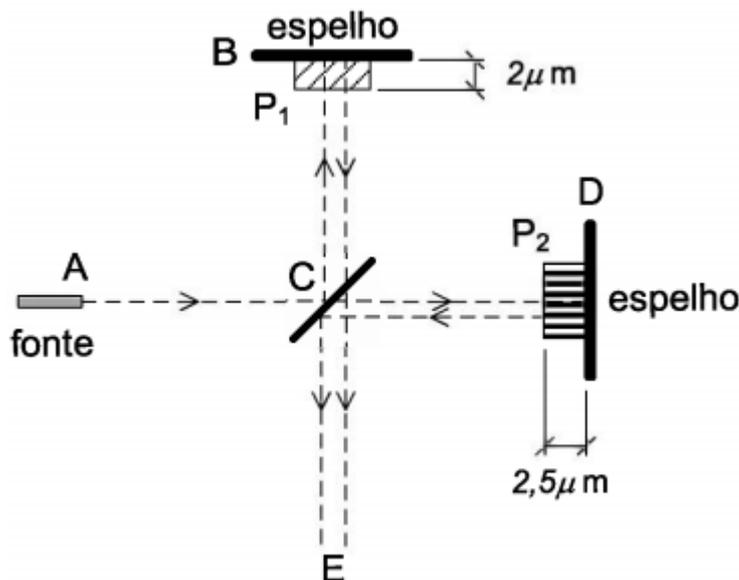
Questão 24.

(ITA-2000) Uma lente de vidro de índice de refração 1,6 é recoberta com um filme fino, de índice de refração 1,3, para minimizar a reflexão de certa luz incidente. Sendo o comprimento de onda da luz incidente no ar $\lambda_{AR} = 500 \text{ nm}$, então a espessura mínima do filme é

- a) 78 nm
b) 96 nm
c) 162 nm
d) 200 nm
e) 250 nm

Questão 25.

(IME-2020 – 1ª Fase)



Uma fonte luminosa A emite uma luz com comprimento de onda $\lambda = 500 \text{ nm}$, no vácuo, na direção de um anteparo localizado em C. Em frente ao espelho localizado em B, encontra-se a película P_1



com índice de refração $n_1 = 1,25$ e, em frente ao espelho localizado em D, encontra-se uma película P_2 com índice de refração n_2 .

Observações:

os espelhos equidistam do centro do anteparo C;

após ser emitido do ponto A, o feixe de luz reflete em direção a B e refrata em direção a D;

após refletir em B, o feixe refrata diretamente em direção a E; e

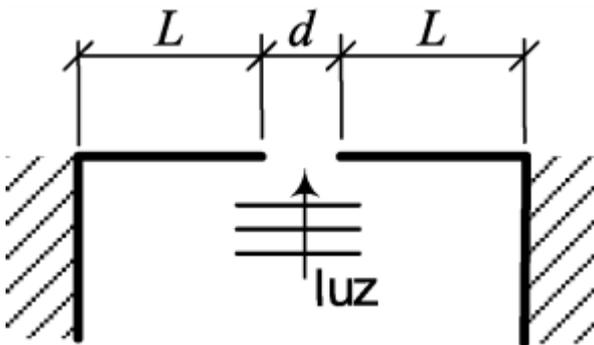
após refletir em D, o feixe volta a refletir totalmente em C em direção a E.

O menor índice de refração n_2 para que ocorra interferência totalmente destrutiva para um observador localizado em E, é

- a) 1,00
- b) 1,05
- c) 1,15
- d) 1,20
- e) 1,25

Questão 26.

(IME-2020 – 2ª Fase)



A figura mostra um sistema usado em um laboratório de física para demonstrar a difração de luz por uma fenda. A luz de um laser de comprimento de onda λ passa por uma fenda de largura d , formada pelo espaço entre as extremidades de duas barras de comprimento L . A outra extremidade de cada barra é mantida fixa. Depois de passar pela fenda, a luz incide em uma tela distante, na qual é observado um padrão de difração formado por regiões claras e escuras.

a) Dado que na tela são observados exatamente 3 mínimos de intensidade luminosa em cada lado do máximo central de intensidade, determine o intervalo de valores da largura d da fenda que são compatíveis com essa observação.

b) A temperatura do laboratório normalmente é mantida em $24,0$ oC por um aparelho de ar condicionado. Em um dia no qual o experimento foi realizado com o aparelho de ar condicionado desligado, observou-se na tela apenas 1 mínimo de intensidade luminosa em cada lado do máximo central de intensidade, o que foi atribuído à dilatação térmica das barras. Sabendo que o coeficiente de dilatação linear das barras é α , determine o intervalo de temperaturas do



laboratório, no dia em que o aparelho de ar condicionado foi desligado, que são compatíveis com essa observação.

Dados:

comprimento de onda do laser: $\lambda = 532 \text{ nm}$;

comprimento de cada barra a $24,0 \text{ }^\circ\text{C}$: $L = 50 \text{ cm}$;

coeficiente de dilatação linear de cada barra: $\alpha = 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Questão 27.

Duas fontes pontuais coerentes estão separadas de $2,0 \text{ metros}$ e emitem em fase $\lambda = 0,25 \text{ m}$. Se um detector se move em um circuito muito grande, com centro no ponto médio das fontes. Quantos máximos ele detectará?



Resolução das questões

Nível 1

Questão 1.

Realiza-se a experiência de Young com um dispositivo em que os anteparos estão separados por 4,0 m e as fendas por 2,0 mm. A distância entre cada duas faixas claras consecutivas é 1,6 mm.

Determine:

- o comprimento de onda da luz monocromática utilizada;
- a frequência da luz, cuja velocidade no meio em questão é $3,0 \times 10^8$ m/s.

Comentários:

Como as faixas são equidistantes, podemos considerar as duas primeiras faixas claras: a central e a seguinte. Teremos $m = 1,6$ mm e $N = 2$. A distância entre as fendas é $a = 2,0$ mm e entre os anteparos é $\ell = 4,0$ m = $4,0 \cdot 10^3$ mm.

Aplicando a fórmula que nos dá o comprimento de onda, vem:

$$\lambda = \frac{2am}{N\ell} \quad \lambda = \frac{2 \cdot 2,0 \cdot 1,6}{2 \cdot 4,0 \cdot 10^3} \quad \lambda = 0,80 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$\lambda = 8,0 \times 10^{-7} \text{ m}$$

b) Sendo a velocidade dessa luz no meio considerado $v = 3,0 \times 10^8$ m/s, obtemos para sua frequência:

$$f = \frac{v}{\lambda} \quad f = \frac{3,0 \times 10^8}{8,0 \times 10^{-7}} \quad f = 3,75 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

Questão 2.

(Mackenzie-SP) A experiência de Young, relativa aos fenômenos de interferência luminosa, veio mostrar que:

- a interferência só é explicada satisfatoriamente através da teoria ondulatória da luz.
- a interferência só pode ser explicada com base na teoria corpuscular de Newton.
- tanto a teoria corpuscular quanto a ondulatória explicam satisfatoriamente esse fenômeno.
- a interferência pode ser explicada independentemente da estrutura íntima da luz.

Comentários:

A interferência no experimento de Young mostrou o caráter ondulatório das partículas, como é o caso dos elétrons.

Gabarito: A

Questão 3.



Determine a mínima espessura de uma película transparente de índice de refração 1,38 para que se apresente brilhante por luz refletida e escura por luz transmitida, ao ser iluminada por luz monocromática de comprimento de onda 5520Å no ar.

Dado: $1\text{Å} = 10^{-10}\text{ m}$.

Comentários:

A condição de interferência é $2e = N\frac{\lambda}{2}$.

Para aparecer brilhante por luz refletida, N deve ser ímpar. Como se pede a mínima espessura: $N = 1$.

Dados:

$$n = 1,38$$

$$\lambda_{\text{ar}} = 5520\text{Å} = 5520 \cdot 10^{-10}\text{ m} = 5,52 \cdot 10^{-7}\text{ m}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda = \frac{\lambda_{\text{ar}}}{n} = \frac{5,52 \cdot 10^{-7}}{1,38} \\ \lambda = 4,00 \cdot 10^{-7}\text{ m} \end{array} \right.$$

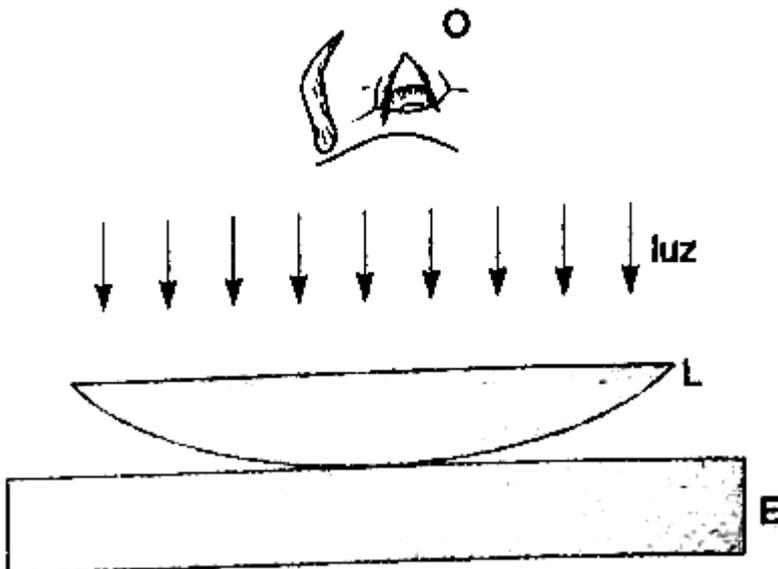
$$2e = 1 \frac{4,00 \cdot 10^{-7}}{2}$$

$$e = 1,0 \cdot 10^{-7}\text{ m}$$

Obviamente, se por luz refletida, a face aparecerá brilhante, por luz transmitida ela aparecerá escura.

Questão 4.

No esquema ao lado, o observador O vê no sistema de uma lente delgada L (planoconvexa), em repouso sobre a superfície espelhada plana E iluminada por luz branca, uma série de franjas circulares coloridas (anéis de Newton). A que é devido esse fenômeno?



- a) Difração na camada de ar.
- b) Polarização por reflexão.
- c) Interferência de raios refletidos em superfície diferentes.



- d) Refração da luz.
- e) Reflexão total da luz.

Comentários:

Esse fenômeno é causado pela interferência entre os raios refletidos na superfície externa e interna da camada de ar.

Gabarito: C

Questão 5.

O fenômeno ilustrado pelos anéis de Newton é um exemplo de:

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

Comentários:

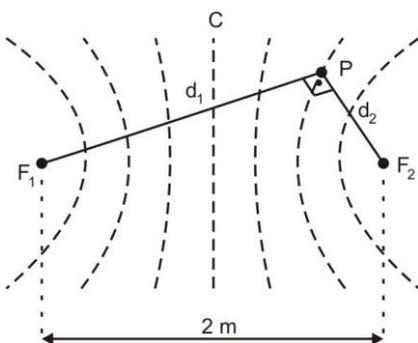
O fenômeno nos anéis de Newton é formado pela interferência.

Gabarito: A

Nível 2

Questão 1.

(AFA-2020) Considere duas fontes pontuais F_1 e F_2 produzindo perturbações, de mesma frequência e amplitude, na superfície de um líquido homogêneo e ideal. A configuração de interferência gerada por essas fontes é apresentada na figura abaixo.



Sabe-se que a linha de interferência (C) que passa pela metade da distância de dois metros que separa as duas fontes é uma linha nodal. O ponto P encontra-se a uma distância d_1 da fonte F_1 e d_2 , da fonte F_2 , e localiza-se na primeira linha nodal após a linha central.

Considere que a onda estacionária que se forma entre as fontes possua cinco nós e que dois destes estejam posicionados sobre as fontes.

Nessas condições, o produto ($d_1 \cdot d_2$) entre as distâncias que separam as fontes do ponto P é



- a) $\frac{1}{2}$
- b) $\frac{3}{2}$
- c) $\frac{5}{4}$
- d) $\frac{7}{4}$

Comentários:

Questão muito legal.

Lembre-se que nós são interferências destrutivas e ventres interferências construtivas.

De acordo com a figura, a distância entre uma linha nodal e uma linha ventral adjacente, contada na reta que une as fontes é 0,25m. No caso da primeira linha nodal após a linha central, temos uma diferença absoluta de caminho de $(6 - 2) \cdot 0,25 = 1m$.

Dessa forma, no ponto P:

$$d_1 - d_2 = 1$$

$$d_1^2 + d_2^2 = 2^2$$

Elevando a primeira equação ao quadrado:

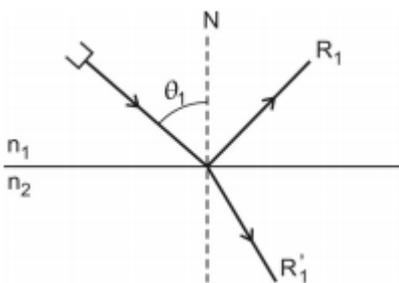
$$d_1^2 + d_2^2 - 2d_1d_2 = 1$$

$$4 - 2d_1d_2 = 1 \rightarrow d_1d_2 = \frac{3}{2}$$

Gabarito: B

Questão 2.

(AFA-2019 - ADAPTADA) Um feixe de luz monocromática incide em uma interface perfeitamente plana formada por dois índices de refração absolutos n_1 e n_2 , com $n_2 > n_1$, conforme figura abaixo.



Esse feixe dá origem a dois outros feixes, o refletido R_1 e o refratado R_1' , com intensidades I_1 e I_1' , respectivamente.

O ângulo de incidência $\theta_1 < \frac{\pi}{3}$, medido em relação à normal N, pode ser alterado para um valor θ_2 com $\theta_1 < \theta_2 < \frac{\pi}{3}$, originando dois novos feixes, o refletido R_2 e o refratado R_2' , de intensidades, respectivamente I_2 e I_2' .

Considere que os meios sejam perfeitamente homogêneos, transparentes e isotrópicos, que não haja dissipação da energia incidente, nem absorção de luz na interface.



Nessas condições, são feitas as seguintes afirmativas sobre as intensidades dos raios refletidos e refratados.

- I. $I_1 > I'_1$ e $I_2 < I'_2$
- II. $I_1 > I_2$ e $I'_1 > I'_2$
- III. $I_1 < I'_1$ e $I_2 > I'_2$
- IV. $I_1 < I_2$ e $I'_1 > I'_2$
- V. $I_1 < I'_1$ e $I_2 < I'_2$

Assim, são corretas as afirmativas

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

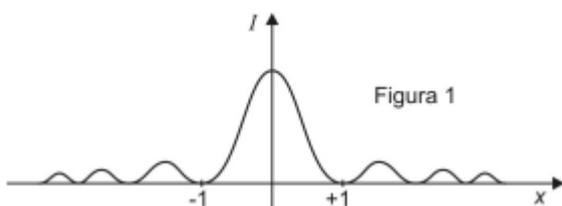
Comentários:

O máximo que podemos tirar desse exercício é que o ângulo de Brewster é maior que 45° pois $\arctan\left(\frac{n_2}{n_1}\right) > \arctan 1$. Mais nada pode ser dito, nem mesmo sobre o primeiro feixe, conforme alguns cursinhos fizeram. Veja que, se utilizarmos as equações de Fresnel para a radiação paralela, para $\frac{n_2}{n_1} > (\sqrt{2} + 1)^2$ e $\theta_1 \approx 0^\circ$, temos $I_1 > I'_1$. Logo não é verdade que $I_1 < I'_1$, isso só vale para $\frac{n_2}{n_1} < (\sqrt{2} + 1)^2$.

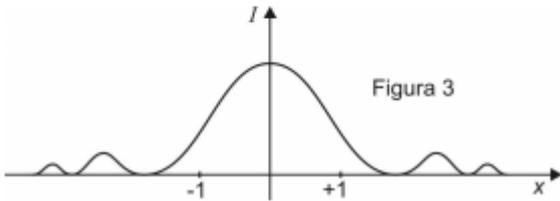
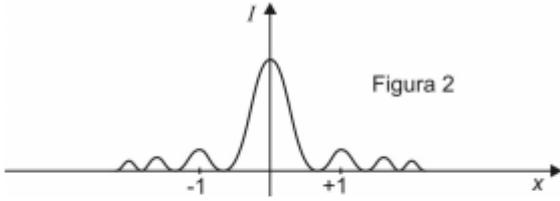
Gabarito: S/A

Questão 3.

(AFA-2016) Uma figura de difração é obtida em um experimento de difração por fenda simples quando luz monocromática de comprimento de onda λ_1 passa por uma fenda de largura d_1 . O gráfico da intensidade luminosa I em função da posição x ao longo do anteparo onde essa figura de difração é projetada, está apresentado na figura 1 abaixo.



Alterando-se neste experimento apenas o comprimento de onda da luz monocromática para um valor λ_2 , obtém-se o gráfico apresentado na figura 2. E alterando-se apenas o valor da largura da fenda para um valor d_2 , obtém-se o gráfico da figura 3.



Nessas condições, é correto afirmar que

- a) $\lambda_2 > \lambda_1$ e $d_2 > d_1$
- b) $\lambda_2 > \lambda_1$ e $d_2 < d_1$
- c) $\lambda_2 < \lambda_1$ e $d_2 > d_1$
- d) $\lambda_2 < \lambda_1$ e $d_2 < d_1$

Comentários:

Na difração por fenda simples, o primeiro mínimo ocorre em:

$$\frac{d}{2} \text{sen} \theta_{\text{mín}} = \frac{\lambda}{2} \rightarrow \text{sen} \theta_{\text{mín}} = \frac{\lambda}{d}$$

Logo a posição no anteparo do primeiro mínimo ocorre em:

$$x_{\text{mín}} = L \tan \theta \sim L \text{sen} \theta = \frac{L\lambda}{d}$$

Pela figura 2, vemos que o primeiro mínimo ocorre antes:

$$\begin{aligned} x_{\text{mín},2} &< x_{\text{mín},1} \\ \frac{L\lambda_2}{d} &< \frac{L\lambda_1}{d} \\ \lambda_2 &< \lambda_1 \end{aligned}$$

Pela figura 3, vemos que o primeiro mínimo aparece depois:

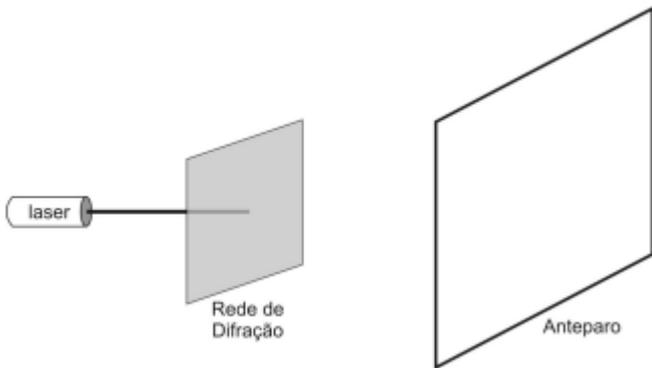
$$\begin{aligned} y_{\text{mín},2} &> y_{\text{mín},1} \\ \frac{L\lambda}{d_2} &> \frac{L\lambda}{d_1} \\ d_2 &< d_1 \end{aligned}$$

Gabarito: D

Questão 4.



(AFA-2014) Um estudante montou um experimento com uma rede de difração de 1000 linhas por milímetro, um laser que emite um feixe cilíndrico de luz monocromática de comprimento de onda igual a $4 \cdot 10^{-7} m$ e um anteparo, conforme figura abaixo.



O espectro de difração, observado no anteparo pelo estudante, foi registrado por uma câmera digital e os picos de intensidade apareceram como pequenos pontos brilhantes na imagem. Nessas condições, a opção que melhor representa a imagem do espectro de difração obtida pelo estudante é:

- a) ● ● ●
- b) ● ● ● ●
- c) ● ● ● ● ●
- d) ● ● ● ● ● ● ●

Comentários:

A distância entre fendas é:

$$d = \frac{10^{-3}}{1000} = 10^{-6} m$$

Dessa forma, para uma interferência construtiva:

$$d \sin \theta = k\lambda$$

$$\sin \theta = \frac{k\lambda}{d} = 0,4k$$

Como o valor máximo para o seno é 1:

$$0,4k < 1 \rightarrow k < 2,5$$

Temos interferência construtiva em:

$$k = 0, 1, 2$$

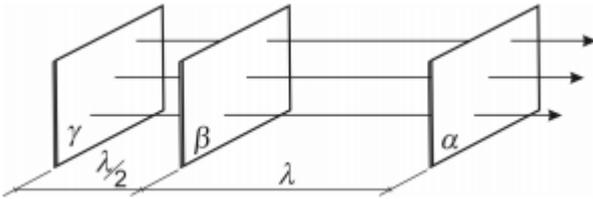
Portanto são 3 pontos brilhantes.

Gabarito: A

Questão 5.



(AFA-2013) A figura abaixo apresenta a configuração instantânea de uma onda plana longitudinal em um meio ideal. Nela, estão representadas apenas três superfícies de onda α , β e γ , separadas respectivamente por λ e $\lambda/2$, onde λ é o comprimento de onda da onda.



Em relação aos pontos que compõem essas superfícies de onda, pode-se fazer as seguintes afirmativas:

- I - estão todos mutuamente em oposição de fase;
- II - estão em fase os pontos das superfícies α e γ ;
- III - estão em fase apenas os pontos das superfícies α e β ;
- IV - estão em oposição de fase apenas os pontos das superfícies γ e β .

Nessas condições, é (são) verdadeira(s)

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

Comentários:

Como α e β estão separadas de um comprimento de onda, as superfícies estão em fase. Como γ e β estão separadas de meio comprimento de onda, as duas superfícies estão em oposição de fase. Como α está em fase com β , α também está em oposição de fase com γ .

Gabarito: C

Questão 6.

(AFA-2012) Uma fonte de luz monocromática ilumina um obstáculo, contendo duas fendas separadas por uma distância d , e produz em um anteparo distante D das fendas, tal que $D \gg d$, uma configuração de interferência com franjas claras e escuras igualmente espaçadas, como mostra a figura abaixo.



Considere que a distância entre os centros geométricos de uma franja clara e da franja escura, adjacente a ela, seja x . Nessas condições, são feitas as seguintes afirmativas.

- I - O comprimento de onda da luz monocromática que ilumina o obstáculo é obtido como $\frac{2xd}{D}$



II - A distância entre o máximo central e o segundo máximo secundário é $3x$

III - A diferença de caminhos percorridos pela luz que atravessa as fendas do anteparo e chegam no primeiro mínimo de intensidade é dado por $\frac{xd}{2D}$

É (São) correta(s) apenas

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

Comentários:

A. Verdadeira. A diferença de caminho ótico vale:

$$\delta = d \sin \theta \approx \frac{dy}{D}$$

No caso de uma franja clara e uma franja escura adjacente, a diferença de caminho ótico deve ser $\frac{\lambda}{2}$, logo:

$$\frac{dx}{D} = \frac{\lambda}{2} \rightarrow \lambda = \frac{2dx}{D}$$

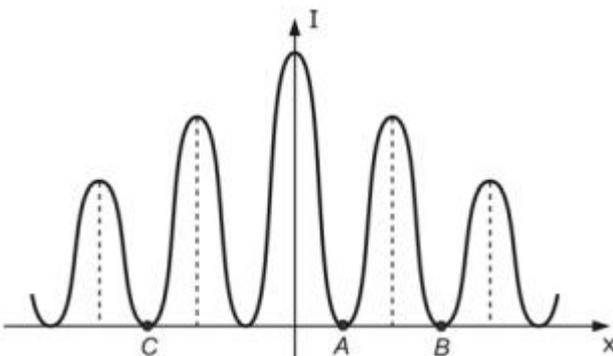
B. Falsa. A distância entre o máximo central e o secundário vale 2 vezes a distância entre um máximo e um mínimo, ou seja, $2x$

C. Falsa. Conforme visto na letra a, a diferença de caminho ótico vale $\frac{dx}{D}$

Gabarito: A

Questão 7.

(AFA-2010) A figura abaixo representa a variação da intensidade luminosa I das franjas de interferência, em função da posição x , resultado da montagem experimental, conhecida como Experiência de Young



A razão entre as distâncias \overline{AB} e \overline{BC} é

- a) 2



- b) $\frac{1}{3}$
- c) $\frac{1}{2}$
- d) 3

Comentários:

Sabemos que na experiência de Young o gráfico é igualmente espaçado, logo:

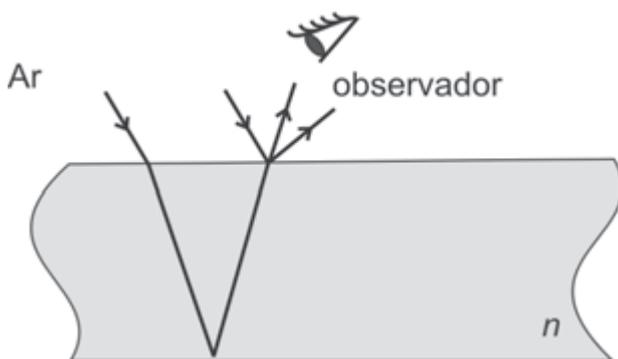
$$\frac{AB}{BC} = \frac{1}{3}$$

Isso não aconteceria para fendas triplas por exemplo.

Gabarito: B

Questão 8.

(AFA-2007) Considere uma película transparente de faces paralelas com índice de refração n iluminada por luz monocromática de comprimento de onda no ar igual a λ , como mostra a figura abaixo



Sendo a incidência de luz pouco inclinada, a mínima espessura de película para que um observador a veja brilhante por luz refletida é

- a) $\frac{\lambda}{n}$
- b) $\frac{\lambda}{2n}$
- c) $\frac{\lambda}{4n}$
- d) $\frac{\lambda}{5n}$

Comentários:

A interferência deve ser construtiva. Para resolver esse exercício é fundamental saber qual o material que se encontra abaixo da película. Se tiver um índice de refração maior que a película ocorrerá inversão de fase, mas se não tiver não ocorrerá. Vamos considerar que o material abaixo é ar. Conseqüentemente não ocorre inversão de fase no raio que viaja pela película, mas ocorre inversão de fase no raio de reflete na mesma. Além disso, iremos considerar que o raio atingiu a película perpendicular:



$$\Delta\phi = \frac{2d \cdot 2\pi}{\lambda'} + \pi$$

Onde:

$$\lambda' = \frac{\lambda}{n}$$

A primeira interferência construtiva ocorre em:

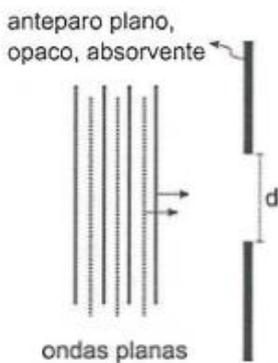
$$\Delta\phi = 2\pi$$

$$\frac{4\pi dn}{\lambda} + \pi = 2\pi \rightarrow d = \frac{\lambda}{4n}$$

Gabarito: C

Questão 9.

(EN-2018) Analise a figura abaixo.



Considere duas ondas planas, uma de luz visível e outra de som audível, oscilando com comprimento de onda iguais a $\lambda_L = 10^{-4} \text{ cm}$ e $\lambda_S = 1,7 \text{ cm}$, respectivamente. No mesmo instante, ambas incidem perpendicularmente sobre um mesmo lado do anteparo plano, opaco e bom absorvente acústico mostrado na figura acima. Atravessando o orifício circular de diâmetro d pode-se afirmar que, na região do outro lado do anteparo:

- a) apenas a onda sonora pode ser detectada se $d \ll 1,7 \text{ cm}$, devido à difração.
- b) apenas a onda luminosa pode ser detectada se $d \ll 1,7 \text{ cm}$, devido à refração.
- c) a propagação das duas ondas é aproximadamente retilínea se $d \gg 1,7 \text{ cm}$
- d) a propagação das duas ondas é aproximadamente esférica se $d \gg 1,7 \text{ cm}$.
- e) nenhuma das ondas pode ser plana.

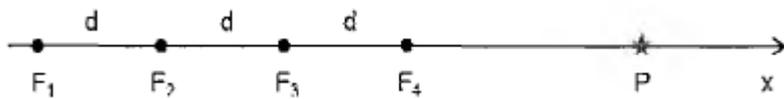
Comentários:

Sabemos que se o comprimento da fenda é muito maior que o da onda, a difração é quase inexistente, o que leva a alternativa C.

Gabarito: C

Questão 10.

(EN-2017) Analise a figura abaixo.



A figura acima ilustra quatro fontes sonoras pontuais (F_1, F_2, F_3 , e F_4). isotrópicas, uniformemente espaçadas de $d = 0,2 \text{ m}$, ao longo do eixo x . Um ponto P também é mostrado sobre o eixo x . As fontes estão em fase e emitem ondas sonoras na frequência de 825 Hz , com mesma amplitude A e mesma velocidade de propagação, 330 m/s . Suponha que, quando as ondas se propagam até P , suas amplitudes se mantêm praticamente constantes. Sendo assim a amplitude da onda resultante no ponto P é

- a) zero
- b) $A/4$
- c) $A/2$
- d) A
- e) $2A$

Comentários:

$$v = \lambda f$$

$$330 = \lambda \cdot 825$$

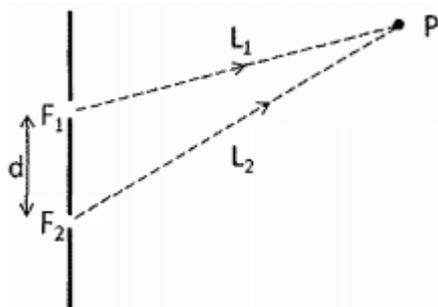
$$\lambda = 0,4 \text{ m}$$

Como a distância entre as fontes é de $0,2 \text{ m}$, fontes adjacentes interferem destrutivamente. Dessa forma a primeira interfere destrutivamente na segunda e a terceira destrutivamente na quarta.

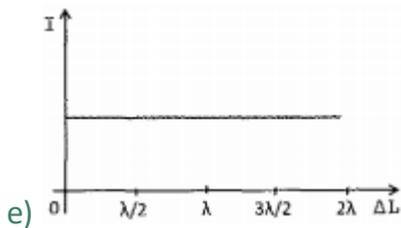
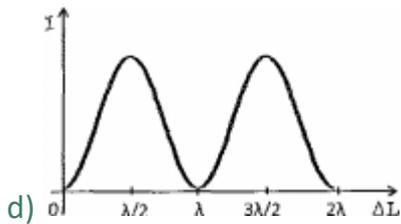
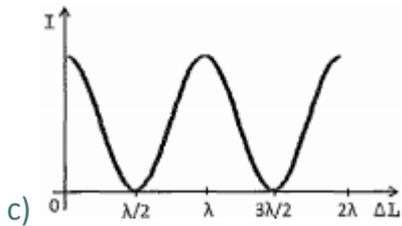
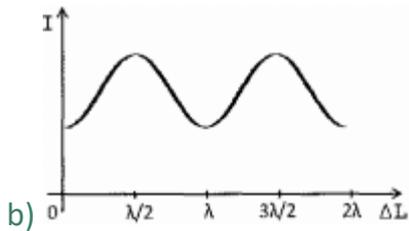
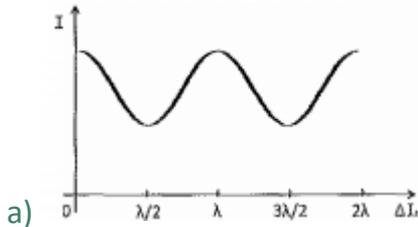
Gabarito: A

Questão 11.

(EN-2013) Analise a figura a seguir.



Considere duas fontes sonoras puntiformes, F_1 e F_2 , que estão separadas por uma pequena distância d , conforme mostra a figura acima. As fontes estão inicialmente em fase e produzem ondas de comprimento de onda λ . As ondas provenientes das fontes F_1 e F_2 percorrem, respectivamente, os caminhos L_1 e L_2 até o ponto afastado P , onde há superposição das ondas. Sabendo que $\Delta L = |L_1 - L_2|$ é a diferença de caminho entre as fontes e o ponto P , o gráfico que pode representar a variação da intensidade da onda resultante das duas fontes, I , em função da diferença de caminho ΔL é



Comentários:

$$\Delta\phi = \Delta x \cdot \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\phi$$

Fazendo $I_1 = I_2 = I_0$

$$I = 2I_0(1 + \cos \Delta\phi) = 4I_0 \cos^2 \frac{\pi \cdot \Delta x}{\lambda}$$

Para $\Delta x = 0 \rightarrow I = 4I_0$

Para $\Delta x = \frac{\lambda}{2} \rightarrow I = 0$

A alternativa D está correta, entretanto em nenhum momento foi dito que a intensidade das fontes eram idênticas, o que torna a alternativa B correta.

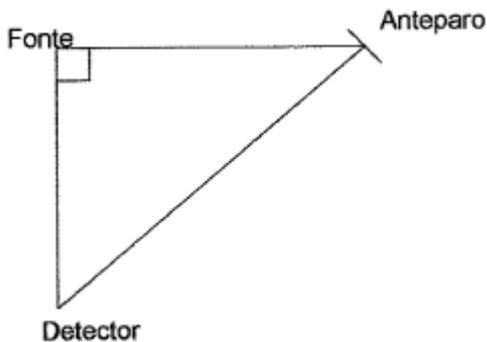
Gabarito: D ou B



Questão 12.

(EN-2006) Uma fonte emite sinal sonoro que se propaga à velocidade de 340m/s no ar. Considere o ar em repouso. Parte do sinal segue diretamente até o detector situado a $80,0\text{ m}$ da fonte enquanto outra parte segue até um anteparo situado a $60,0\text{ m}$, sofrendo então uma mudança de direção e seguindo para o detector, havendo assim interferência.

- a) Calcule a menor frequência audível do som para que o sinal sonoro tenha intensidade máxima no detector. (5 pontos)
- b) Considere agora somente a fonte e o anteparo, com a fonte continuando em repouso e o anteparo se deslocando para direita com velocidade de 108 km/h , calcule a variação relativa de frequência $\left(\frac{\Delta f}{f}\right)$ do sinal sonoro que chega no anteparo. A frequência detectada no anteparo seria maior ou menor do que a da fonte? (Justifique) (5 pontos)



Comentários:

Alternativa A.

O som que sai da fonte e chega diretamente ao detector percorre 80 m , enquanto que o som que reflete no anteparo percorre:

$$x = 60 + \sqrt{60^2 + 80^2} = 160\text{m}$$

A diferença de fase vale:

$$\Delta\phi = \pi + \frac{160 - 80}{\lambda} \cdot 2\pi$$

Para interferência construtiva:

$$\Delta\phi = 2k\pi$$

$$\lambda = \frac{160}{2k - 1}$$

$$v = \lambda f$$

$$340 = \left(\frac{160}{2k - 1}\right) f \rightarrow f = \frac{17(2k - 1)}{8}$$

Como a menor frequência audível é 20Hz :

$$f = 23,375\text{ Hz}$$

Alternativa B.



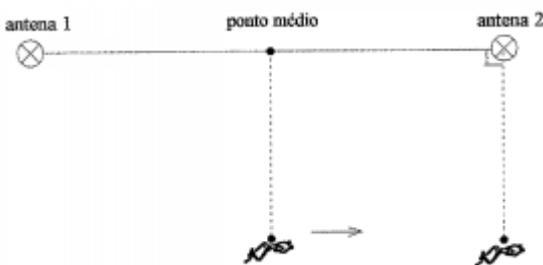
$$f = f_0 \cdot \frac{v_s - v_o}{v_s} \rightarrow \frac{\Delta f}{f_0} = -\frac{v_o}{v_s} = -\frac{40}{340} = -\frac{2}{17}$$

A frequência diminui porque o anteparo se afasta.

Gabarito: A. 23,375 HzB. -2/17

Questão 13.

(EN-2005) Na terra firme existem duas antenas separadas por uma distância de 30λ , onde λ é o comprimento de onda. As antenas emitem ondas eletromagnéticas com a mesma amplitude, em fase e frequência de 100MHz, que se propagam com velocidade constante de $3,00 \cdot 10^8$ m/s. No mar, um mergulhador, portando um detetor dessas ondas, observa que ao nadar paralelamente à reta que une as duas antenas, indo do ponto médio até uma delas, de acordo com a figura abaixo, o sinal recebido varia continuamente de um máximo, no ponto médio, a um mínimo, na outra posição. Calcule a distância do mergulhador a cada uma das antenas, quando estiver na posição onde o sinal é mínimo. Considere $n_{\text{agua}} = \frac{4}{3}$.



Comentários:

$$\Delta x = \sqrt{(30\lambda)^2 + d^2} - d$$

$$\Delta\phi = \frac{\Delta x}{\frac{\lambda}{n}} \cdot 2\pi = \pi$$

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2n} = \frac{3\lambda}{8}$$

$$\sqrt{(30\lambda)^2 + d^2} - d = \frac{3\lambda}{8}$$

$$d = 1200\lambda = 1200 \cdot 3 \cdot \frac{10^8}{10^8} = 3,6 \text{ km}$$

Gabarito: 3,6 km

Questão 14.

(EFOMM-2020) Um papel com um pequeno orifício é colocado no trajeto de um feixe de laser. O resultado que se observa no anteparo sobre o qual a luz incide após passar pelo orifício mostra um padrão de máximos e mínimos de intensidade luminosa. O fenômeno responsável por esse padrão é chamado de



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

Comentários:

Essa pergunta é extremamente confusa. O examinador adotou a linha em que se chama de difração os padrões de interferência gerados pelo mesmo feixe de luz, quando esse passa por uma fenda, e dispersa espacialmente pelo princípio de Huygens. E chamou de interferência quando os feixes são diferentes. Na verdade, os dois fenômenos estão acontecendo ao mesmo tempo e ambas as alternativas estão corretas. Para ilustrar melhor a questão exponho abaixo duas passagens dos dois livros mais consagrados de ondulatória:

“No one has ever been able to define the difference between interference and diffraction satisfactorily. It is just a quest of usage, and there is no specific, important physical difference between them. The best we can do is, roughly speaking, is to say that when there are only a few sources, say two interference sources, then the result is usually called interference, but if there is a large number of them, it seems that the word diffraction is more often used.”¹

“We should point out that there is not much of a difference between the phenomenon of interference and diffraction, indeed, interference corresponds to the situation when we consider the superposition of waves coming out from a number of point sources and diffraction corresponds to the situation when we consider waves coming out from an area sources like a circular or rectangular aperture or even a large number of rectangular apertures (like the diffraction grating)”²

Créditos: 1Feynman Lectures on Physics 2Optics-Ajoy Ghatak.

Gabarito: B ou D**Questão 15.**

(EFOMM-2012) Sinais sonoros idênticos são emitidos em fase por duas fontes pontuais idênticas separadas por uma distância igual a 3,00 metros. Um receptor distante 4,00 metros de uma das fontes e 5,00 metros da outra perceberá, devido à interferência destrutiva total, um sinal de intensidade sonora mínima em determinadas frequências. Uma dessas frequências, em kHz, é:

Dado: velocidade do som, $V_S=340$ m/s

- a) 1,36
- b) 1,70
- c) 2,21
- d) 5,10
- e) 5,44



Comentários:

A diferença de caminho ótico vale 1 metro, logo:

$$1 = \frac{(2k + 1)\lambda}{2} \rightarrow \lambda = \frac{2}{2k + 1}$$

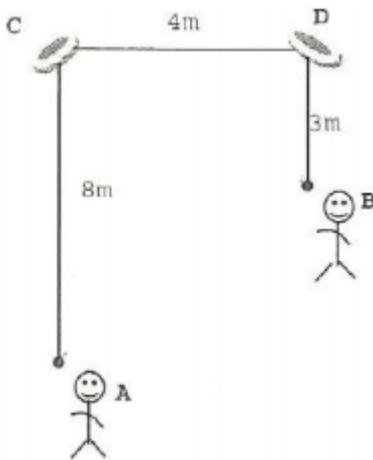
$$v = \lambda f \rightarrow f = \frac{(2k + 1)v}{2} = 0,17(2k + 1) \text{ kHz}$$

Das alternativas, a única que gera um k inteiro é a C.

Gabarito: C

Questão 16.

(EFOMM-2011) Observe a figura a seguir.



Dois ouvintes A e B estão em frente a dois alto-falantes C e D vibrando em fase, conforme indica a figura acima. Sabendo que os dois alto-falantes emitem sons de mesma intensidade e frequência igual a 171,5Hz e que as direções AC e BD são perpendiculares a CD, é correto afirmar que

Dado: velocidade do som igual a 343m/s.

- a) tanto A quanto B ouvem som de máxima intensidade.
- b) A ouve som de máxima intensidade e B não ouve praticamente som algum.
- c) B ouve som de máxima intensidade e A não ouve praticamente som algum.
- d) tanto A quanto B não ouvem praticamente som algum.
- e) tanto A quanto B ouvem som de média intensidade.

Comentários:

A diferença de caminho ótico do som que chega em A vale:

$$\Delta\delta = \sqrt{8^2 + 4^2} - 8 = 0,94m$$

A diferença de caminho ótico do som que chega em B vale:

$$\Delta\delta = \sqrt{4^2 + 3^2} - 3 = 2m$$

O comprimento de onda vale:



$$\lambda = \frac{v}{f} = 2m$$

Logo B ouve o som com interferência construtiva e A ouve o som com interferência quase 100% destrutiva.

Gabarito: C

Questão 17.

(EFOMM-2007) Correlacione os conceitos às suas definições e assinale a seguir a alternativa correta.

	CONCEITOS	GRANDEZA OU FENÔMENO FÍSICO
I	É a mudança de direção dos raios luminosos quando da passagem de um meio para outro.	<input type="checkbox"/> difração
II	É a mudança de direção em um mesmo meio.	<input type="checkbox"/> comprimento de onda
III	É a distância entre dois picos positivos consecutivos de uma onda senoidal.	<input type="checkbox"/> refração
IV	É o inverso do período de uma onda.	<input type="checkbox"/> onda eletromagnética
V	Não depende de meio material para sua propagação.	<input type="checkbox"/> frequência
		<input type="checkbox"/> onda sonora

- a) (I) (IV) (-) (III) (II) (V)
- b) (II) (-) (I) (IV) (III) (V)
- c) (V) (I) (II) (IV) (-) (III)
- d) (II) (III) (I) (V) (IV) (-)
- e) (II) (III) (-) (I) (IV) (V)

Comentários:

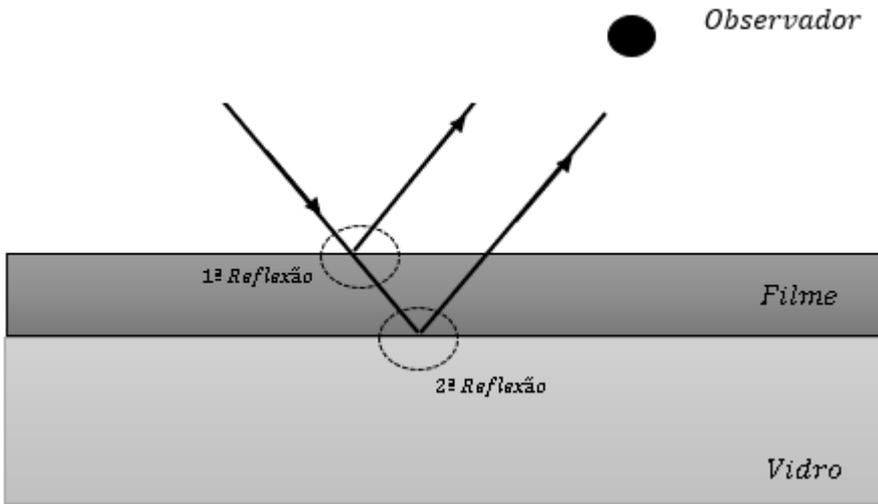
- I. Refração
- II. Difração (definição bem ruim)
- III. Comprimento de Onda
- IV. Frequência
- V. Onda eletromagnética

Gabarito: D

Questão 18.



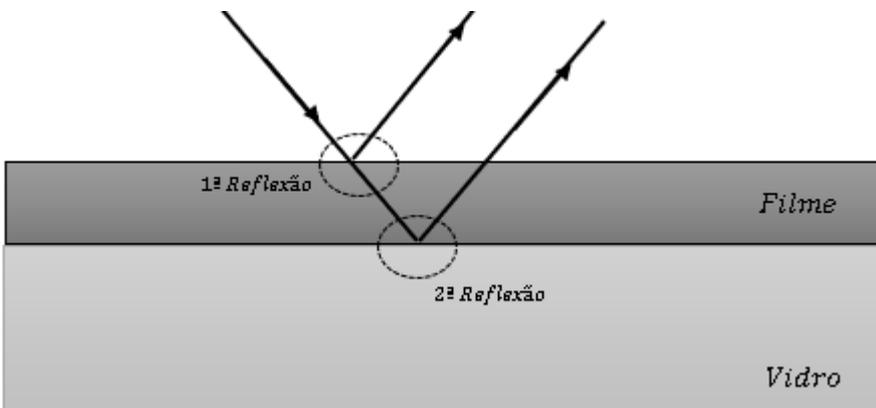
Considere o filme fino mostrado abaixo. Sabe-se que há inversão nas duas reflexões. Se o comprimento da luz no ar vale λ_{ar} e o índice de refração do filme vale n , determine a menor espessura do filme para que a intensidade da luz que chega no observador seja mínima.



- a) $\frac{\lambda_{ar}}{n}$
- b) $\frac{\lambda_{ar}}{2n}$
- c) $\frac{\lambda_{ar}}{4n}$
- d) $\frac{\lambda_{ar}}{8n}$
- e) $\frac{\lambda_{ar}}{16n}$

Comentários:

Para um filme fino, os raios terão uma diferença de caminho equivalente a duas vezes à espessura do filme.



Dependendo das relações entre os índices de refração, poderá ocorrer ou não inversão de fase nas reflexões:

Para o número de inversão sendo par, temos:

- l) Interferência construtiva – Número par de inversão – Intensidade máxima



$$2L = K \cdot \lambda_{filme} \rightarrow 2L = K \cdot \frac{\lambda_{ar}}{n} \quad K = 0,1,2,3,4, \dots$$

Assim, o menor valor de L para esse caso, diferente de zero é dada por $K = 1$:

$$L = \frac{\lambda_{ar}}{2n}$$

Para o número de inversão sendo ímpar, temos:

II) Interferência destrutiva – Número ímpar de inversão – Intensidade mínima

$$2L = \left(K + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda_{filme} \rightarrow 2L = \left(K + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda_{ar}}{n} \quad K = 0,1,2,3,4, \dots$$

Assim, o menor valor de L para esse caso, diferente de zero é dada por $K = 0$:

$$L = \frac{\lambda_{ar}}{4n}$$

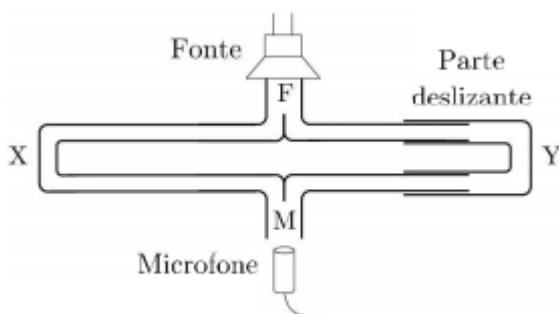
Assim, para ambas as hipóteses, temos que o menor valor de L é dado por:

$$L = \frac{\lambda_{ar}}{4n}$$

Nível 3

Questão 1.

(ITA-2020 – 1ª) O som produzido pelo alto-falante F (fonte) ilustrado na figura tem frequência de 10 kHz e chega a um microfone M através de dois caminhos diferentes. As ondas sonoras viajam simultaneamente pelo tubo esquerdo FXM, de comprimento fixo, e pelo tubo direito FYM, cujo comprimento pode ser alterado movendo-se a seção deslizante (tal qual um trombone). As ondas sonoras que viajam pelos dois caminhos interferem-se em M. Quando a seção deslizante do caminho FYM é puxada para fora por 0,025 m, a intensidade sonora detectada pelo microfone passa de um máximo para um mínimo. Assinale o módulo da velocidade do som no interior do tubo.



- a) $5,0 \times 10^2 \text{ m/s}$
- b) $2,5 \times 10^2 \text{ m/s}$



- c) $1,0 \times 10^3 \text{ m/s}$
- d) $2,0 \times 10^3 \text{ m/s}$
- e) $3,4 \times 10^2 \text{ m/s}$

Comentários:

A diferença de caminho do som é:

$$\Delta x = 2 \cdot 0,025 = 0,05\text{m}$$

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2} = \frac{V_{som}}{2f} \rightarrow V_{som} = 2f\Delta x = \frac{1000\text{m}}{\text{s}}$$

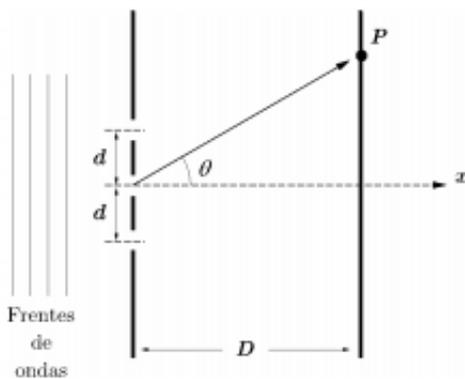
Gabarito: C

Questão 2.

(ITA-2020 – 2ª) Frentes de ondas planas de luz, de comprimento de onda λ , incidem num conjunto de três fendas, com a do centro situando-se a uma distância d das demais, conforme ilustra a figura. A uma distância $D \gg d$, um anteparo registra o padrão de interferência gerado pela difração da onda devido às fendas. Calcule:

A razão entre a intensidade da franja clara central e a das franjas claras vizinhas

Os ângulos θ_n para os quais ocorrem franjas escuras.



Comentários:

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

$$E_{res} = E_0 \cos(\omega t + \Delta\phi) + E_0 \cos(\omega t) + E_0 \cos(\omega t - \Delta\phi)$$

$$= E_0 (\cos(\omega t) \cos(\Delta\phi) - \sin(\omega t) \sin(\Delta\phi) + \cos(\omega t) + \cos(\omega t) \cos(\Delta\phi) + \sin(\omega t) \sin(\Delta\phi))$$

$$E_{res} = E_0 \cos(\omega t) (1 + 2 \cos(\Delta\phi))$$

A amplitude desse campo vale:

$$1 + 2 \cos(\Delta\phi)$$

Como a intensidade é proporcional ao quadrado da amplitude:

$$I = I_0 (1 + 2 \cos(\Delta\phi))^2$$



A franja clara central tem $\cos(\Delta\phi) = 1 \rightarrow I = 9I_0$, enquanto que as vizinhas tem $\cos(\Delta\phi) = -1 \rightarrow I = I_0$

1. Razão = 9

2. Para ocorrer uma franja escura:

$$\cos(\Delta\phi) = -\frac{1}{2}$$

Logo:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi (3n \pm 1)}{3}$$

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

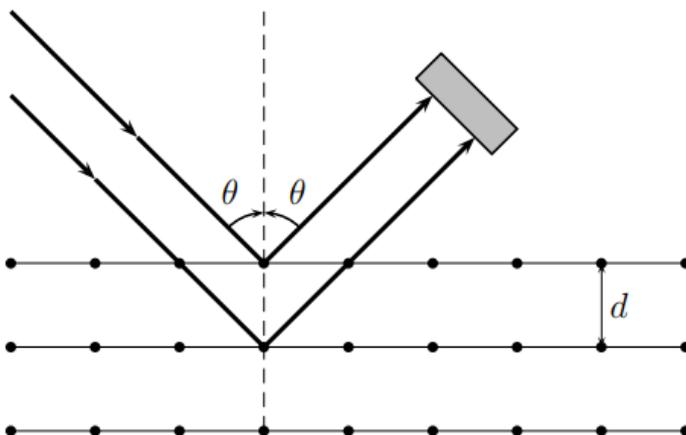
$$\sin \theta = \frac{\lambda \Delta\phi}{2\pi d}$$

$$\sin \theta = \frac{(3n \pm 1)\lambda}{3d} \rightarrow \theta_n = \arcsin\left(\frac{(3n \pm 1)\lambda}{3d}\right)$$

Gabarito: 1. 92. arcsin $\left(\frac{(3n \pm 1)\lambda}{3d}\right)$

Questão 3.

(ITA-2018) Com um certo material, cujas camadas atômicas interdistam de uma distância d , interage um feixe de radiação que é detectado em um ângulo θ conforme a figura. Tal experimento é realizado em duas situações



(I) O feixe de raios X monocromáticos, com sua intensidade de radiação medida por um detector, resultando numa distribuição de intensidade em função de θ , com valor máximo para $\theta = \alpha$, e

(II) o feixe é composto por elétrons monoenergéticos, com a contagem do número de elétrons por segundo para cada ângulo medido, resultando no seu valor máximo para $\theta = \beta$.

Assinale a opção com possíveis mudanças que implicam a alteração simultânea dos ângulos α e β medidos.

a) Aumenta-se a intensidade do feixe de raio-X e diminui-se a velocidade dos elétrons.



- b) Aumenta-se a frequência dos raios X e triplica-se o número de elétrons no feixe.
- c) Aumenta-se o comprimento de onda dos raios X e a energia cinética dos elétrons.
- d) Dobram-se a distância entre as camadas d (pela escolha de outro material) e o comprimento de onda dos raios X. Além disso, diminui-se a velocidade dos elétrons pela metade.
- e) Diminui-se a intensidade dos raios X e aumenta-se a energia dos elétrons.

Comentários:

O comprimento de onda comportamento ondulatório do elétron é de:

$$\lambda_1 = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v}$$

O comprimento de onda dos raios X é λ_2 . Assim, para interferência construtiva no primeiro máximo detectado:

$$\cos \alpha = \frac{\lambda_2}{2 \cdot d}$$

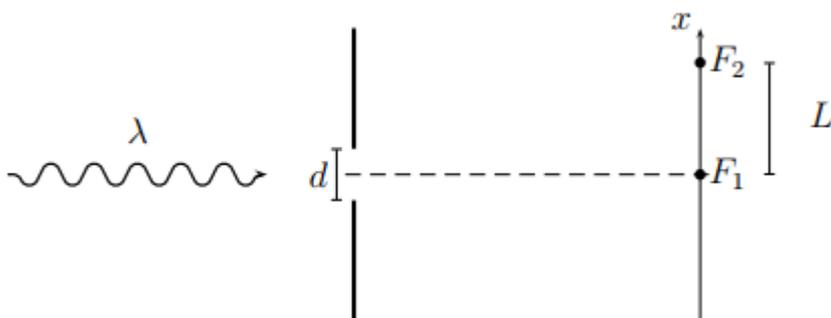
$$\cos \beta = \frac{\lambda_1}{2 \cdot d} = \frac{h}{2 \cdot m \cdot d \cdot v}$$

Ao aumentar-se o comprimento de onda dos raios X e a energia cinética dos elétrons ($\uparrow v \uparrow \lambda_2$), varia-se os ângulos α e β .

Gabarito: C

Questão 4.

(ITA-2017) A figura mostra dois anteparos opacos à radiação, sendo um com fenda de tamanho variável d , com centro na posição $x = 0$, e o outro com dois fotodetectores de intensidade de radiação, tal que F_1 se situa em $x = 0$ e F_2 , em $x = L > 4d$. No sistema incide radiação eletromagnética de comprimento de onda λ constante.



Num primeiro experimento, a relação entre d e λ é tal que $d \gg \lambda$ e são feitas as seguintes afirmativas:

- (I) Só F_1 detecta radiação.
- (II) F_1 e F_2 detectam radiação.
- (III) F_1 não detecta e F_2 detecta radiação.



Num segundo experimento, d é reduzido até a ordem do comprimento de λ e, neste caso, são feitas estas afirmativas:

(IV) F_2 detecta radiação de menor intensidade que a detectada em F_1 .

(V) Só F_1 detecta radiação.

(VI) Só F_2 detecta radiação.

Assinale as afirmativas possíveis para a detecção da radiação em ambos os experimentos.

a) I, II e IV b) I, IV e V c) II, IV e V d) III, V e IV e) I, IV e VI

Comentários:

No primeiro experimento, como $d \gg \lambda$, não ocorre difração da onda. (Para a difração $d \cong \lambda$). Portanto, somente F_1 detecta radiação considerando que a onda segue propagando-se reta.

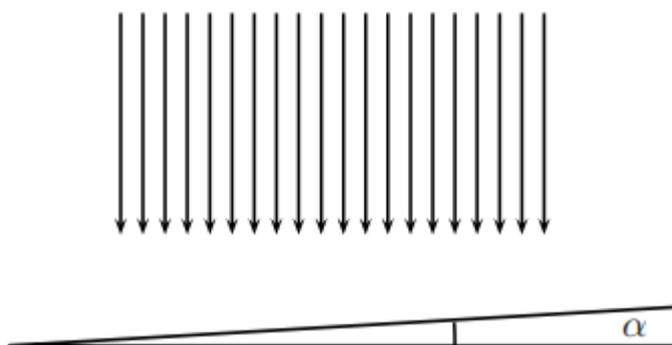
No segundo experimento, existe difração. Entretanto, devido à falta de informações acerca de L , d e as demais grandezas associadas ao problema, não tem como saber se F_2 é um ponto de mínimo, nesse caso F_2 não detectaria radiação. Caso não seja ponto de mínimo, será detectado radiação, entretanto, sua intensidade será menor.

Logo as alternativas corretas são: I, IV e V.

Gabarito: B

Questão 5.

(ITA-2015) Luz que pode ser decomposta em componentes de comprimento de onda com 480 nm e 600 nm, incide verticalmente em uma cunha de vidro com ângulo de abertura $\alpha = 3,00^\circ$ e índice de refração de 1,5, conforme a figura, formando linhas de interferência destrutivas. Qual é a distância entre essas linhas?



- a) $11,5 \mu m$
- b) $12,8 \mu m$
- c) $16,0 \mu m$
- d) $22,9 \mu m$
- e) $32,0 \mu m$

Comentários:



A interferência destrutiva é formada pela sobreposição de duas ondas. A primeira é a onda refletida na interface ar-cunha. Como a cunha apresenta um índice de refração maior, a onda refletida inverte sua fase. A segunda onda é a onda refletida na interface cunha-ar.

Como a cunha apresenta maior índice, não ocorre inversão de fase. Portanto, tem-se ondas em oposição de fase com interferência destrutiva. Isso implica que:

$$\Delta x = n \cdot \lambda \quad (n \text{ pertence aos inteiros})$$

A diferença de caminho foi de $2 \cdot e$ onde e é a espessura do prisma. Como a diferença de caminho ocorreu dentro do prisma, para a equação mostrada anteriormente deve utilizar-se o λ da cunha, ou seja:

$$2 \cdot e = n \cdot \lambda_v$$

Onde λ_v é o comprimento de onda no vidro.

$$e = n \cdot \frac{\lambda_v}{2}$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{e}{d} \Rightarrow e = d \cdot \text{tg } \alpha$$

Onde d é a distância até a aresta do prisma.

$$\frac{\lambda_v}{\lambda_{ar}} = \frac{n_{ar}}{n_v} \Rightarrow \lambda_v = \lambda_{ar} \cdot \frac{n_{ar}}{n_v}$$

Juntando as equações:

$$\frac{n}{2} \cdot \lambda_{ar} \cdot \frac{n_{ar}}{n_v} = d \cdot \text{tg } \alpha$$

Mas, $\alpha = 3^\circ$ é muito pequeno, portanto, utiliza-se a aproximação para pequenos ângulos:

$$\text{tg } \alpha \cong \alpha = \frac{\pi}{60}$$

Assim:

$$d = \frac{30 \cdot n \cdot \lambda_{ar} \cdot n_{ar}}{n_v \cdot \pi}$$

Esta é a distância medida a partir da aresta do prisma em que ocorre interferência destrutiva. Para que ocorra interferência para a luz de comprimento 480 nm :

$$d_{480} = n_1 \cdot 480 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{30 \cdot n_{ar}}{n_v \cdot \pi}$$

Para a luz de comprimento 600 nm :

$$d_{600} = n_2 \cdot 600 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{30 \cdot n_{ar}}{n_v \cdot \pi}$$

Assim, para que ocorra uma franja completamente escura:

$$d_{480} = d_{600}$$

Isto é, ocorre interferência destrutiva para ambas as ondas. Assim:

$$n_1 \cdot 480 = n_2 \cdot 600$$



$$n_1 = \frac{5}{4} \cdot n_2$$

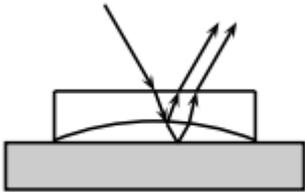
Portanto, para a franja escura $4k$ da onda de 600 nm , ocorre também a franja escura $5k$ da onda de 480 nm . Assim, a distância entre duas franjas escuras seguidas será a distância de 4 franjas escuras para a onda de 600 nm ou de 5 franjas para a onda de 480 nm . Assim:

$$D = 5 \cdot 480 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{30 \cdot n_{ar}}{n_v \cdot \pi} \cong 15,27 \mu\text{m}$$

Gabarito: C

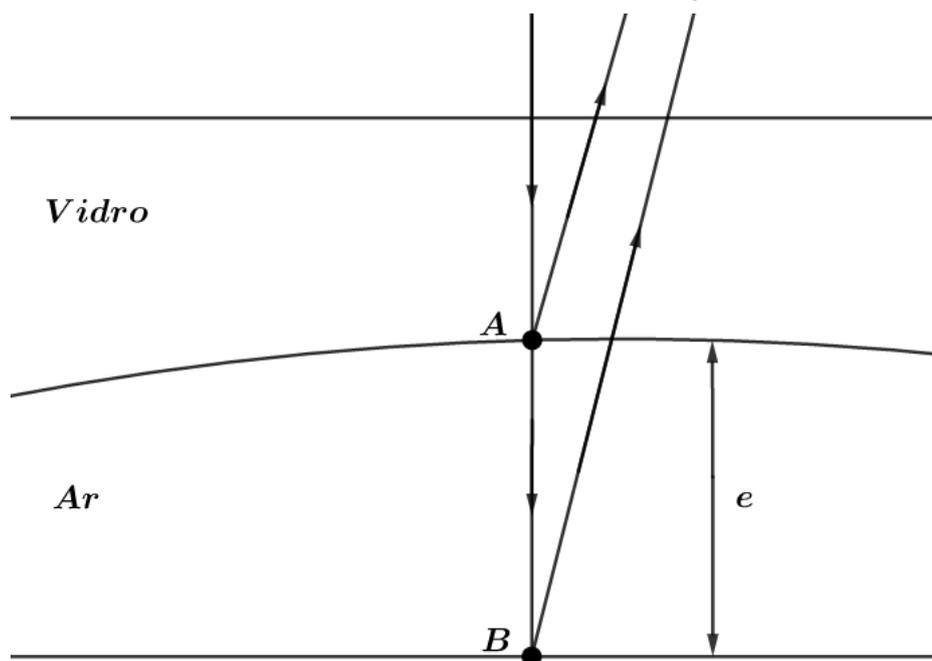
Questão 6.

(ITA-2014) Sobre uma placa de vidro plana é colocada uma lente plano-côncava, com 1,5 de índice de refração e concavidade de $8,00 \text{ m}$ de raio voltada para baixo. Com a lente iluminada perpendicularmente de cima por uma luz de comprimento de onda 589 nm (no ar), aparece um padrão de interferência com um ponto escuro central circundado por anéis, dos quais 50 são escuros, inclusive o mais externo na borda da lente. Este padrão de interferência aparece devido ao filme de ar entre a lente e a placa de vidro (como esquematizado na figura). A espessura da camada de ar no centro do padrão de interferência e a distância focal da lente são, respectivamente,



- a) $14,7 \mu\text{m}$ e $- 10,0\text{m}$
- b) $14,7 \mu\text{m}$ e $- 16,0\text{m}$
- c) $238,0 \mu\text{m}$ e $- 8,0\text{m}$
- d) $35,2 \mu\text{m}$ e $16,0\text{m}$
- e) $29,4 \mu\text{m}$ e $- 16,0\text{m}$

Comentários:



Vidro

Os raios refletidos foram desenhados com um ângulo apenas para diferenciá-los. Na realidade, voltam por onde vieram. Em *A* ocorre reflexão sem inversão de fase, enquanto em *B* ocorre reflexão com inversão de fase. Portanto, para que ocorra interferência destrutiva entre o raio refletido em *A* e o refletido em *B*, é necessário que haja uma diferença de percurso é de:

$$\Delta x = n \cdot \lambda$$

Como a diferença de percurso ocorre no ar, utiliza-se o comprimento da onda no ar. Sabe-se também que a diferença de caminho é de 2 vezes a espessura da camada de ar. Logo:

$$2 \cdot e = n \cdot \lambda$$

$$e = \frac{n}{2} \cdot \lambda$$

Para o escuro central, $n = 50$:

$$e_{\text{máx}} = \frac{50}{2} \cdot 589 \cdot 10^{-9} = 14,725 \mu\text{m}$$

Pela equação dos fabricantes de lente:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_{\text{lente}}}{n_{\text{meio}}} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{1,5}{1} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{-8} \right)$$

$$\frac{1}{f} = -\frac{1}{16}$$

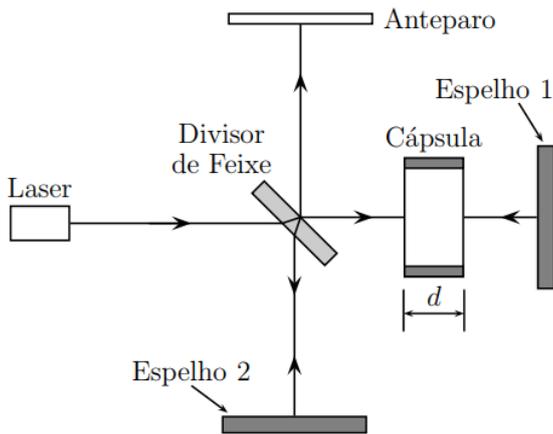
$$f = -16 \text{ cm}$$

Gabarito: B

Questão 7.



(ITA-2014)



A figura mostra um interferômetro de Michelson adaptado para determinar o índice de refração do ar. As características do padrão de interferência dos dois feixes incidentes no anteparo dependem da diferença de fase entre eles, neste caso, influenciada pela cápsula contendo ar. Reduzindo a pressão na cápsula de 1 atm até zero (vácuo), nota-se que a ordem das franjas de interferência sofre um deslocamento de N , ou seja, a franja de ordem 0 passa a ocupar o lugar da de ordem N , a franja de ordem 1 ocupa o lugar da de ordem $N+1$, e assim sucessivamente. Sendo d a espessura da cápsula e λ o comprimento de onda da luz no vácuo, o índice de refração do ar é igual a:

- a) $N\lambda/d$
- b) $N\lambda/2d$
- c) $1 + N\lambda/d$
- d) $1 + N\lambda/2d$
- e) $1 - N\lambda/d$

Comentários:

Para a cápsula com vácuo, a diferença de fase entre as ondas refletidas no espelho 1 e espelho 2 fica:

$$\Delta\phi = \frac{2 \cdot d}{\lambda_{ar}} \cdot 2 \cdot \pi - \frac{2 \cdot d}{\lambda_{vácuo}} \cdot 2 \cdot \pi$$

$$\Delta\phi = 4 \cdot \pi \cdot d \cdot \left(\frac{1}{\lambda_{ar}} - \frac{1}{\lambda_{vácuo}} \right)$$

Mas:

$$\frac{\lambda_{ar}}{\lambda_{vácuo}} = \frac{n_{vácuo}}{n_{ar}}$$

$$\lambda_{ar} = \lambda_{vácuo} \cdot \frac{n_{vácuo}}{n_{ar}}$$

$$\Delta\phi = \frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda_{vácuo}} \cdot \left(\frac{n_{ar}}{n_{vácuo}} - 1 \right)$$

Substituindo $n_{vácuo} = 1$ e $\lambda_{vácuo} = \lambda$:



$$\Delta\phi = \frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \cdot (n_{ar} - 1)$$

Para ordem N :

$$2 \cdot \pi \cdot N = \frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \cdot (n_{ar} - 1)$$

$$n_{ar} = 1 + \frac{N \cdot \lambda}{2 \cdot d}$$

Gabarito: D

Questão 8.

(ITA-2014) Uma luz monocromática incide perpendicularmente num plano com três pequenos orifícios circulares formando um triângulo equilátero, acarretando um padrão de interferência em um anteparo paralelo ao triângulo, com o máximo de intensidade num ponto P equidistante dos orifícios. Assinale as respectivas reduções da intensidade luminosa em P com um e com dois orifícios tampados.

- a) 4/9 e 1/9 b) 2/3 e 1/3 c) 8/27 e 1/27 d) 1/2 e 1/3 e) 1/4 e 1/9

Comentários:

Para n fontes coerentes e iguais (mesma frequência e potência), a intensidade resultante é:

$$I_n = n^2 \cdot I_1$$

Em que:

- I_n é a intensidade resultante de n fontes;
- I_1 é a intensidade de uma fonte.

Assim, para todos os orifícios destampados:

$$I_3 = 9 \cdot I_1$$

Para um orifício tampado:

$$I_2 = 4 \cdot I_1$$

Para dois orifícios tampados:

$$I_1 = I_1$$

A redução para um orifício tampado fica:

$$\frac{I_2}{I_3} = \frac{4}{9}$$

A redução para dois orifícios tampado fica:

$$\frac{I_1}{I_3} = \frac{1}{9}$$

Gabarito: A

Questão 9.



(ITA-2014) Em uma experiência de Young, uma luz magenta, constituída por uma mistura de luz vermelha ($\lambda = 660 \text{ nm}$) e luz azul ($\lambda = 440 \text{ nm}$) de mesma intensidade da luz vermelha, incide perpendicularmente num plano onde atravessa duas fendas paralelas separadas de $22 \mu\text{m}$ e alcança um anteparo paralelo ao plano, a $5,00 \text{ m}$ de distância. Neste, há um semieixo Oy perpendicular à direção das fendas, cuja origem também está a $5,00 \text{ m}$ de distância do ponto médio entre estas. Obtenha o primeiro valor de $y > 0$ onde há um máximo de luz magenta (intensidades máximas de vermelho e azul no mesmo local). Se necessário, utilize $\tan\theta \cong \sin\theta$, para $\theta \ll 1 \text{ rad}$.

Comentários:

Para um experimento de Young, a diferença de caminho vinda de cada orifício pode ser aproximada por:

$$\Delta x \cong a \cdot \frac{y}{D}$$

Em que:

- a é a distância entre os orifícios;
- y é a distância vertical medida a partir do centro do anteparo;
- D é a distância entre a placa de orifícios e o anteparo.

Para que ocorra interferência construtiva:

$$\begin{aligned} \Delta x &= n \cdot \lambda \\ n \cdot \lambda &= a \cdot \frac{y}{D} \\ n \cdot \lambda &= 22 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{y}{5} \end{aligned}$$

Para interferência construtiva da luz vermelha e azul:

$$\begin{aligned} n_{\text{azul}} \cdot \lambda_{\text{azul}} &= n_{\text{vermelho}} \cdot \lambda_{\text{vermelho}} \\ n_{\text{azul}} \cdot 440 &= n_{\text{vermelho}} \cdot 660 \\ n_{\text{azul}} &= \frac{3}{2} \cdot n_{\text{vermelho}} \end{aligned}$$

Como os n 's devem ser números inteiros, o primeiro máximo ocorre para o terceiro máximo do azul ou para o segundo máximo do vermelho. Substituindo na expressão anterior:

$$y = \frac{5 \cdot n_{\text{vermelho}} \cdot \lambda_{\text{vermelho}}}{22 \cdot 10^{-6}} = \frac{5 \cdot 2 \cdot 660 \cdot 10^{-9}}{22 \cdot 10^{-6}} = 0,3 \text{ m}$$

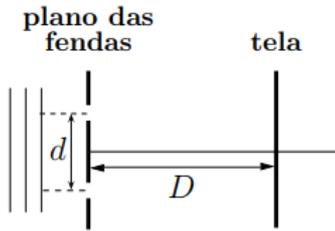
Gabarito: 30 cm

Questão 10.

(ITA-2013) Num experimento clássico de Young, d representa a distância entre as fendas e D a distância entre o plano destas fendas e a tela de projeção das franjas de interferência, como ilustrado na figura. Num primeiro experimento, no ar, utiliza-se luz de comprimento de onda λ_1 e, num segundo experimento, na água, utiliza-se luz cujo comprimento de onda no ar é λ_2 . As franjas de interferência dos experimentos são registradas numa mesma tela. Sendo o índice de



refração da água igual a n , assinale a expressão para a distância entre as franjas de interferência construtiva de ordem m para o primeiro experimento e as de ordem M para o segundo experimento.



- a) $\left| \frac{D(M\lambda_2 - mn\lambda_1)}{nd} \right|$ b) $\left| \frac{D(M\lambda_2 - m\lambda_1)}{nd} \right|$ c) $\left| \frac{D(M\lambda_2 - mn\lambda_1)}{d} \right|$
 d) $\left| \frac{D(M\lambda_2 - m\lambda_1)}{d} \right|$ e) $\left| \frac{D(Mn\lambda_2 - m\lambda_1)}{d} \right|$

Comentários:

Utilizando a fórmula da questão anterior, para interferências construtivas:

$$y = \frac{n \cdot \lambda \cdot D}{d}$$

Para a interferência de ordem m no ar:

$$y_1 = \frac{m \cdot \lambda_1 \cdot D}{d}$$

Para a interferência de ordem M na água:

$$y_2 = \frac{M \cdot \lambda_{\text{água}} \cdot D}{d}$$

E:

$$\frac{\lambda_{\text{água}}}{\lambda_{\text{ar}}} = \frac{n_{\text{ar}}}{n_{\text{água}}} \Rightarrow \lambda_{\text{água}} = \lambda_2 \cdot \frac{1}{n}$$

Assim:

$$y_2 = \frac{M \cdot \lambda_2 \cdot D}{n \cdot d}$$

A diferença entre os dois é dado por:

$$|y_1 - y_2| = \left| \frac{D(M \cdot \lambda_2 - m \cdot \lambda_1 \cdot n)}{n \cdot d} \right|$$

Gabarito: A

Questão 11.

(ITA-2013) Um prato de plástico com índice de refração 1,5 é colocado no interior de um forno de micro-ondas que opera a uma frequência de $2,5 \cdot 10^9$ Hz. Supondo que as micro-ondas incidam perpendicularmente ao prato, pode-se afirmar que a mínima espessura deste em que ocorre o máximo de reflexão das micro-ondas é de:

- a) 1,0 cm



- b) 2,0 cm
- c) 3,0 cm
- d) 4,0 cm
- e) 5,0 cm

Comentários:

O máximo de reflexão ocorre na interferência construtiva. A mínima espessura do prato é suficiente para que haja a primeira interferência construtiva. As ondas que interferem são: a que reflete na interface ar-prato (com inversão de fase) e a que reflete na “saída” do prato (sem inversão de fase).

Para que haja interferência construtiva de ondas com diferença de fase:

$$\Delta x = n_i \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Em que:

- Δx é a diferença de percurso;
- n_i é um número ímpar;
- λ é o comprimento de onda no meio.

Como a diferença de caminho ocorre no prato plástico:

$$\Delta x = \frac{\lambda_{plástico}}{2}$$

Mas:

$$\lambda_{plástico} = \frac{\lambda}{n_{plástico}} = \frac{\frac{c}{f}}{n_{plástico}} = \frac{3 \cdot 10^8}{2,5 \cdot 10^9 \cdot 1,5} = 0,08$$

A diferença de caminho é duas vezes a espessura do prato:

$$\Delta x = 2 \cdot e$$

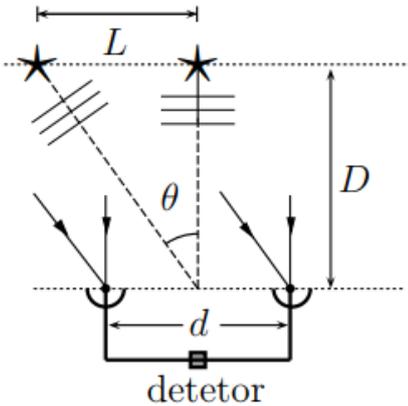
Logo:

$$e = \frac{\lambda_{plástico}}{4} = \frac{8}{4} \cdot 10^{-2} = 2 \text{ cm}$$

Gabarito: B

Questão 12.

(ITA-2013) Dois radiotelescópios num mesmo plano com duas estrelas operam com um interferômetro na frequência de 2,1 Ghz. As estrelas são interdistantes de $L = 5,0 \text{ anos} - \text{luz}$ e situam-se a uma distância $D = 2,5 \cdot 10^7 \text{ anos} - \text{luz}$ da Terra. Ver figura. Calcule a separação mínima d , entre os dois radiotelescópios necessária para distinguir as estrelas. Se necessário, utilize $\tan\theta \cong \sin\theta$, para $\theta \ll 1 \text{ rad}$.



Comentários:

Aproximando o sistema à um experimento de fenda dupla, dois pontos de máxima consecutivos distam de um valor y dado por:

$$y = \lambda \cdot \frac{D}{L}$$

E:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{2,1 \cdot 10^9} = \frac{1}{7} \text{ m}$$

$$y = \frac{1}{7} \cdot \frac{2,5 \cdot 10^7}{5} = \frac{1}{14} \cdot 10^7$$

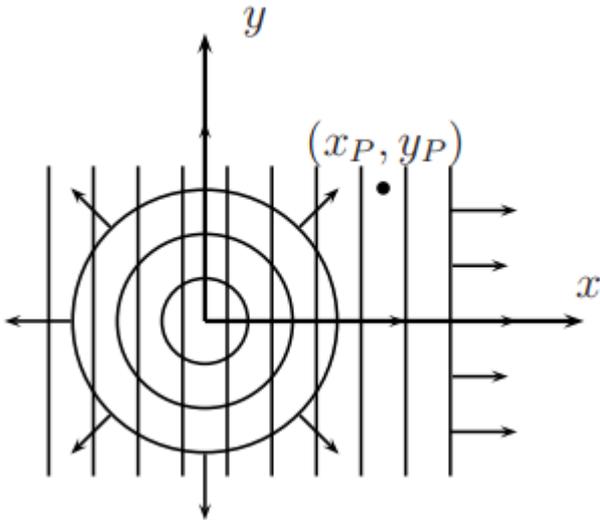
Para realizar a distinção, entretanto, é necessário que um radiotelescópio esteja sobre um ponto de máximo enquanto o outro está sobre um ponto de mínimo. Assim:

$$d = \frac{y}{2} = \frac{1}{28} \cdot 10^7 \cong 357 \text{ km}$$

Gabarito: 357 km

Questão 12.

(ITA-2012) Em uma superfície líquida, na origem de um sistema de coordenadas encontra-se um emissor de ondas circulares transversais. Bem distante dessa origem, elas têm a forma aproximada dada por $h_1(x, y, t) = h_0 \text{sen} \left(2\pi \left(\frac{r}{\lambda} - ft \right) \right)$, em que λ é o comprimento de onda, f é a frequência e r , a distância de um ponto da onda até a origem. Uma onda plana transversal com a forma $h_2(x, y, t) = h_0 \text{sen} \left(2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - ft \right) \right)$ superpõe-se à primeira, conforme a figura. Na situação descrita, podemos afirmar, sendo \mathbb{Z} o conjunto dos números inteiros, que



- a) nas posições $\left(\frac{y_p^2}{2n\lambda} - \frac{n\lambda}{8}, y_p\right)$ as duas ondas estão em fase se $n \in \mathbb{Z}$.
- b) nas posições $\left(\frac{y_p^2}{2n\lambda} - \frac{n\lambda}{2}, y_p\right)$ as duas ondas estão em oposição de fase se $n \in \mathbb{Z}$ e $n \neq 0$.
- c) nas posições $\left(\frac{y_p^2}{2n\lambda} - \frac{(n+\frac{1}{2})\lambda}{2}, y_p\right)$ as duas ondas estão em oposição de fase se $n \in \mathbb{Z}$ e $n \neq 0$.
- d) nas posições $\left(\frac{y_p^2}{(2n+1)\lambda} - \frac{(n+\frac{1}{2})\lambda}{2}, y_p\right)$ as duas ondas estão em oposição de fase se $n \in \mathbb{Z}$.
- e) na posição $\left(\frac{2y_p^2}{\lambda} - \frac{\lambda}{8}, y_p\right)$ a diferença de fase entre as ondas é de 45° .

Comentários:

Utilizando o princípio da superposição para ambas as ondas:

$$h(x, y, t) = h_1(x, y, t) + h_2(x, y, t)$$

$$h(x, y, t) = h_0 \cdot \left(\text{sen} \left(2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{r}{\lambda} - f \cdot t \right) \right) + \text{sen} \left(2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{x}{\lambda} - f \cdot t \right) \right) \right)$$

Com:

$$\text{sen } a + \text{sen } b = \text{sen} \frac{a+b}{2} \cdot \cos \frac{a-b}{2}$$

$$h(x, y, t) = h_0 \cdot \text{sen} \left(2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{r+x}{\lambda} - 2 \cdot f \cdot t \right) \right) \cdot \cos \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{r-x}{2 \cdot \lambda} \right)$$

O termo cossenoidal, independente do tempo, é o responsável por definir se as ondas estão em fase ou em oposição de fase. As ondas estarão em oposição de fase para um ponto $P = (x_p, y_p)$ quando:

$$\cos \left(\pi \cdot \frac{r-x_p}{\lambda} \right) = 0$$

$$\pi \cdot \frac{r-x_p}{\lambda} = \frac{\pi}{2} + k \cdot \pi$$



$$r - x_p = \lambda \cdot \left(\frac{1}{2} + k\right)$$

$$r = x_p + \lambda \cdot \left(\frac{1}{2} + k\right)$$

Mas:

$$r = \sqrt{x_p^2 + y_p^2}$$

Logo:

$$x_p^2 + y_p^2 = x_p^2 + x_p \cdot \lambda \cdot (1 + 2k) + \lambda^2 \cdot \frac{1}{4} \cdot (1 + 2k)^2$$

$$y_p^2 - \frac{\lambda^2}{4} \cdot (1 + 2k)^2 = x_p \cdot \lambda \cdot (1 + 2k)$$

$$x_p = \frac{y_p^2}{(2k + 1) \cdot \lambda} - \frac{\lambda}{4} \cdot (1 + 2k)$$

$$x_p = \frac{y_p^2}{(2k + 1) \cdot \lambda} - \frac{\lambda}{2} \cdot \left(k + \frac{1}{2}\right)$$

Assim, o ponto de interferência destrutiva é:

$$P(x_p, y_p) = \left(\frac{y_p^2}{(2k + 1) \cdot \lambda} - \frac{\lambda}{2} \cdot \left(k + \frac{1}{2}\right), y_p\right)$$

Gabarito: D

Questão 13.

(ITA-2011) Um filme fino de sabão é sustentado verticalmente no ar por uma argola. A parte superior do filme aparece escura quando é observada por meio de luz branca refletida. Abaixo da parte escura aparecem bandas coloridas. A primeira banda tem cor vermelha ou azul? Justifique sua resposta.

Comentários:

Ocorrem duas reflexões, uma na interface ar-sabão (com inversão de fase) e uma na interface sabão-ar (sem inversão de fase). Para que ocorra interferência construtiva entre ondas em oposição de fase:

$$\Delta x = n_i \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Em que:

- Δx é a diferença de percurso;
- n_i é um número ímpar;
- λ é o comprimento de onda no meio.

Como a diferença de caminho ocorre no prato plástico:



$$\Delta x = n_i \cdot \frac{\lambda_{sab\tilde{a}o}}{2}$$

E:

$$\Delta x = 2 \cdot d$$

Onde d é a espessura da película.

$$2 \cdot d = n_i \cdot \frac{\lambda_{sab\tilde{a}o}}{2}$$

$$\frac{4 \cdot d}{n_i} = \lambda_{sab\tilde{a}o}$$

Considerando que se analisa apenas para as primeiras interferências construtivas:

$$4 \cdot d = \lambda_{sab\tilde{a}o}$$

Como a espessura vai crescendo de cima para baixo, o comprimento de ondas com interferência construtiva vai crescendo. Portanto, a primeira cor visível será aquela com menor λ , ou seja, o azul.

Gabarito: Azul

Questão 14.

(ITA-2010) Um feixe luminoso vertical, de 500 nm de comprimento de onda, incide sobre uma lente plano-convexa apoiada numa lâmina horizontal de vidro, como mostra a figura. Devido à variação da espessura da camada de ar existente entre a lente e a lâmina, torna-se visível sobre a lente uma sucessão de anéis claros e escuros, chamados de anéis de Newton. Sabendo-se que o diâmetro do menor anel escuro mede 2 mm, a superfície convexa da lente deve ter um raio de



- a) 1,0 m
- b) 1,6 m
- c) 2,0 m
- d) 4,0 m
- e) 8,0 m

Comentários:

Para discos de Newton:

$$r = \sqrt{2 \cdot R \cdot d}$$

Em que:

- r é o raio do anel;
- R é o raio de curvatura da lente;
- d é a diferença de caminho.



Para interferência destrutiva:

$$2 \cdot d = n \cdot \lambda$$

Assim:

$$r = \sqrt{R \cdot n \cdot \lambda}$$

Logo, o diâmetro é dado por:

$$D = 2 \cdot \sqrt{R \cdot n \cdot \lambda}$$

Substituindo:

$$2 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot \sqrt{R \cdot 1 \cdot 500 \cdot 10^{-9}}$$

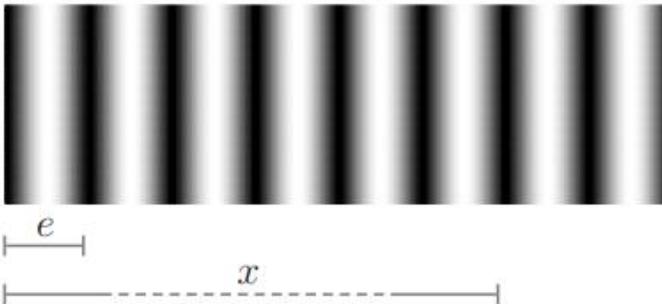
$$10^{-6} = R \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}$$

$$R = 2 \text{ m}$$

Gabarito: C

Questão 15.

(ITA-2009) Uma lâmina de vidro com índice de refração n em forma de cunha é iluminada perpendicularmente por uma luz monocromática de comprimento de onda λ . Os raios refletidos pela superfície superior e pela inferior apresentam uma série de franjas escuras com espaçamento e entre elas, sendo que a m -ésima encontra-se a uma distância x do vértice. Assinale o ângulo θ , em radianos, que as superfícies da cunha formam entre si.



- a) $\theta = \lambda / 2ne$
- b) $\theta = \lambda / 4ne$
- c) $\theta = (m + 1)\lambda / 2nme$
- d) $\theta = (2m + 1)\lambda / 4nme$
- e) $\theta = (2m - 1)\lambda / 4nme$

Comentários:

Ocorrem duas ondas refletidas. A primeira, com inversão de fase, ocorre na superfície superior, a segunda, sem inversão de fase, ocorre na superfície inferior. Para uma interferência destrutiva:

$$\Delta x = k \cdot \lambda$$



Em que:

- Δx é a diferença de caminho;
- k é um número inteiro;
- λ é o comprimento de onda no meio.

Logo:

$$\lambda_{cunha} = \frac{\lambda}{n}$$

E, a diferença de caminho Δx é dado por duas vezes a espessura da cunha.

$$\Delta x = 2 \cdot d$$

Mas, a espessura da cunha (d) é dado por:

$$d = l \cdot \text{sen } \theta$$

Onde l é a distância medida sobre a superfície superior da cunha até a aresta e $\theta \ll 1$, logo $\theta \cong \text{sen } \theta \cong \text{tg } \theta$. Juntando os resultados, para a m -ésima franja escura:

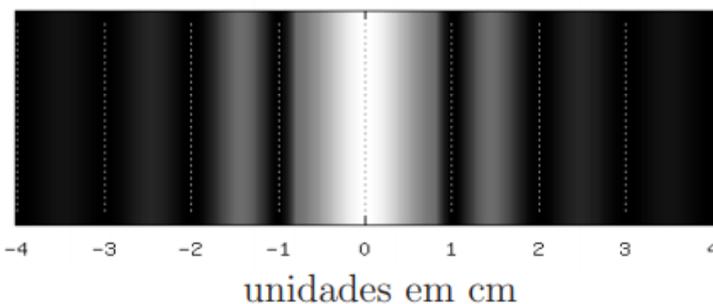
$$2 \cdot m \cdot e \cdot \theta = m \cdot \frac{\lambda}{n}$$

$$\theta = \frac{\lambda}{2 \cdot e \cdot n}$$

Gabarito: A

Questão 16.

(ITA-2010) Luz monocromática, com 500 nm de comprimento de onda, incide numa fenda retangular em uma placa, ocasionando a dada figura de difração sobre um anteparo a 10 cm de distância. Então, a largura da fenda é



- a) 1,25 μm
- b) 2,5 μm
- c) 5,0 μm
- d) 12,5 μm
- e) 25,0 μm

Comentários:

Para interferência destrutiva em fenda simples:



$$a \cdot \text{sen } \theta = n \cdot \lambda$$

E:

$$\text{sen } \theta \cong \text{tg } \theta = \frac{y}{D}$$

Assim:

$$a \cdot \frac{y}{D} = n \cdot \lambda$$

Em que:

- a é o tamanho da fenda;
- y é a distância ao centro do anteparo de um dado ponto;
- D é a distância do anteparo ao orifício;
- n é a ordem da franja;
- λ é o comprimento de onda.

Substituindo os dados da figura ($y = 1 \text{ cm}$ e $n = 1$):

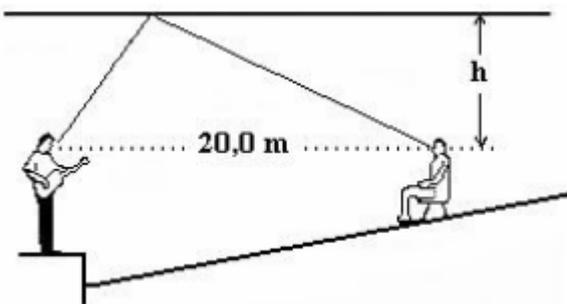
$$a \cdot \frac{10^{-2}}{10^{-1}} = 1 \cdot 5 \cdot 10^{-7}$$

$$a = 5 \cdot 10^{-6}$$

Gabarito: C

Questão 17.

(ITA-2008) Um apreciador de música ao vivo vai a um teatro, que não dispõe de amplificação eletrônica, para assistir a um show de seu artista predileto. Sendo detalhista, ele toma todas as informações sobre as dimensões do auditório, cujo teto é plano e nivelado. Estudos comparativos em auditórios indicam preferência para aqueles em que seja de 30 ms a diferença de tempo entre o som direto e aquele que primeiro chega após uma reflexão. Portanto, ele conclui que deve se sentar a 20 m do artista, na posição indicada na figura. Admitindo a velocidade do som no ar de 340 m/s, a que altura h deve estar o teto com a relação à sua cabeça?



Comentários:

O som que vai direto ao espectador leva um tempo T_1 :

$$T_1 = \frac{20}{340} = \frac{1}{17} \text{ s}$$



O som que reflete uma vez no teto leva um tempo T_2 :

$$T_2 = T_1 + 3 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

Mas:

$$T_2 \cdot v_s = 2 \cdot \sqrt{100 + h^2}$$

$$(T_1 + 3 \cdot 10^{-2}) \cdot 340 = 2 \cdot \sqrt{100 + h^2}$$

$$30,2 \cong 2 \cdot \sqrt{100 + h^2}$$

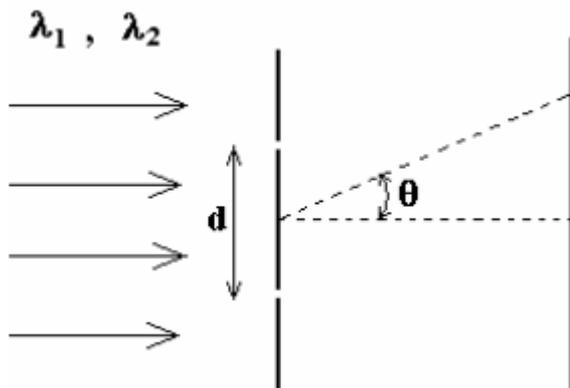
$$h^2 = 15,1^2 - 100$$

$$h \cong 11,31 \text{ m}$$

Gabarito: 11,3 m

Questão 18.

(ITA-2008) Um feixe de luz é composto de luzes de comprimentos de ondas λ_1 e λ_2 , sendo λ_1 15% maior que λ_2 . Esse feixe de luz incide perpendicularmente num anteparo com dois pequenos orifícios, separados entre si por uma distância d . A luz que sai dos orifícios é projetada num segundo anteparo, onde se observa uma figura de interferência. Pode-se afirmar então, que:



- a) o ângulo de $\arcsen\left(\frac{5\lambda_1}{d}\right)$ corresponde à posição onde somente a luz de comprimento de onda λ_1 é observada.
- b) o ângulo de $\arcsen\left(\frac{10\lambda_1}{d}\right)$ corresponde à posição onde somente a luz de comprimento de onda λ_1 é observada.
- c) o ângulo de $\arcsen\left(\frac{15\lambda_1}{d}\right)$ corresponde à posição onde somente a luz de comprimento de onda λ_1 é observada.
- d) o ângulo de $\arcsen\left(\frac{10\lambda_2}{d}\right)$ corresponde à posição onde somente a luz de comprimento de onda λ_2 é observada.
- e) o ângulo de $\arcsen\left(\frac{15\lambda_2}{d}\right)$ corresponde à posição onde somente a luz de comprimento de onda λ_2 é observada.

Comentários:

Para o experimento de Young, a interferência construtiva ocorre para:



$$d \cdot \text{sen } \theta = n \cdot \lambda$$

Para a onda 1:

$$\theta = \arcsen \left(\frac{n \cdot \lambda_1}{d} \right)$$

Para a onda 2:

$$\theta = \arcsen \left(\frac{n \cdot \lambda_2}{d} \right)$$

Os pontos de interferência destrutiva são dados por:

$$d \cdot \text{sen } \theta = n_i \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Onde n_i são números ímpares.

Para a onda 1:

$$\theta = \arcsen \left(\frac{n_i \cdot \lambda_1}{2 \cdot d} \right)$$

Para a onda 2:

$$\theta = \arcsen \left(\frac{n_i \cdot \lambda_2}{2 \cdot d} \right)$$

Para que somente a onda 1 seja visível, ocorre interferência construtiva para a onda 1 e destrutiva para a onda 2:

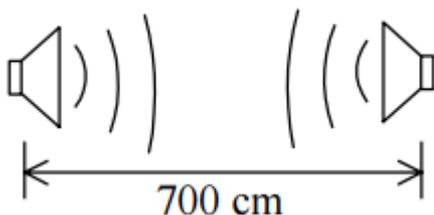
$$\begin{aligned} n \cdot \frac{\lambda_1}{d} &= n_i \cdot \frac{\lambda_2}{2 \cdot d} \\ 2 \cdot n \cdot 1,15 \cdot \lambda_2 &= n_i \cdot \lambda_2 \\ 2,3 \cdot n &= n_i \end{aligned}$$

Como n e n_i pertencem aos naturais, n deve ser múltiplo de 10. Portanto, se $n = 10k$, observa-se somente o comprimento de onda λ_1 . Assim, a letra B está correta.

Gabarito: B

Questão 19.

(ITA-2007) A figura mostra dois alto-falantes alinhados em fase por um amplificador de áudio na frequência de 170 Hz. Considere que seja desprezível a variação da intensidade do som de cada um dos alto-falantes com a distância e que a velocidade do som é de 340 m/s. A maior distância entre dois máximos de intensidade da onda sonora formada entre os alto-falantes é igual a





- a) 2 m
- b) 3 m
- c) 4 m
- d) 5 m
- e) 6 m

Comentários:

Para que ocorra um máximo de intensidade, a diferença de fase entre as ondas deve ser um número inteiro de comprimentos de onda. Assim:

$$\Delta x = n \cdot \lambda = n \cdot \frac{v}{f} = 2 \cdot n$$

Portanto, a diferença de caminho entre os máximos é de $2 \cdot n$ metros, onde n pertence aos naturais.

$$2 \cdot n \leq 7$$

$$n \leq 3,5$$

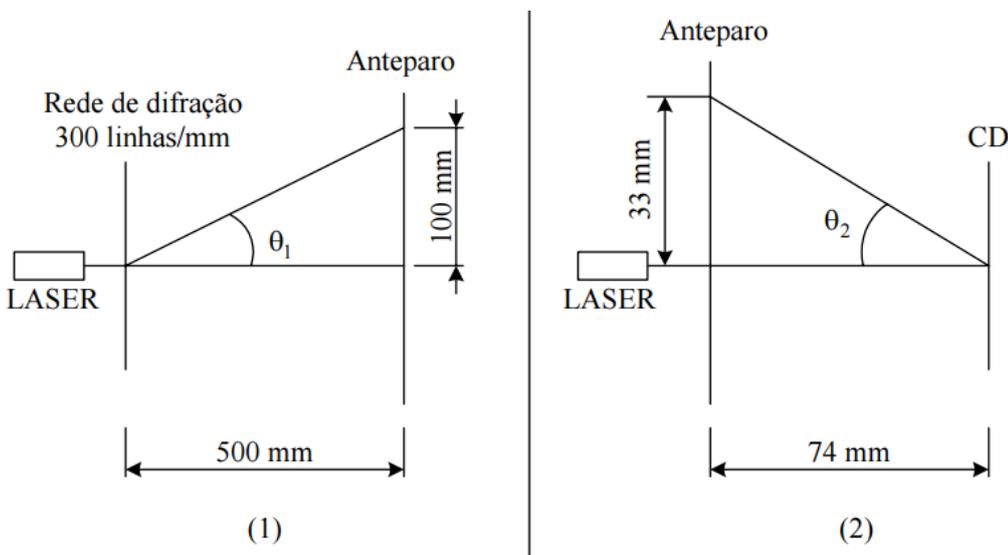
$$n = 3$$

$$\Delta x = 6 \text{ m}$$

Gabarito: E

Questão 20.

(ITA-2006) Para se determinar o espaçamento entre duas trilhas adjacentes de um CD, forma montados dois arranjos:



1. O arranjo da figura (1), usando uma rede de difração de 300 linhas por mm, um LASER e um anteparo. Neste arranjo, mediu-se a distância do máximo de ordem 0 ao máximo de ordem 1 da figura de interferência formada no anteparo.

2. O arranjo da figura (2), usando o mesmo LASER, o CD e um anteparo com um orifício para a passagem do feixe de luz. Neste arranjo, mediu-se também a distância no máximo de ordem 0 ao



máximo de ordem 1 da figura de interferência. Considerando nas duas situações θ_1 e θ_2 ângulos pequenos, a distância entre duas trilhas adjacentes do CD é de:

- a) $2,7 \cdot 10^{-7} \text{ m}$
- b) $3 \cdot 10^{-7} \text{ m}$
- c) $7,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- d) $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- e) $3,7 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

Comentários:

Para interferência construtiva em uma rede de difração:

$$d \cdot \text{sen } \theta = n \cdot \lambda$$

Em que:

- d é a distância entre dois orifícios;
- θ é o ângulo entre a direção do feixe e a horizontal;
- n é a ordem da franja;
- λ é o comprimento de onda.

Para a situação 1, utilizando-se $\text{sen } \theta_1 \cong \text{tg } \theta_1$:

$$\frac{1}{300} \cdot 10^{-3} \cdot \frac{100}{500} = 1 \cdot \lambda$$

$$\lambda = 6,67 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Portanto, descobriu-se o comprimento de onda do laser. Agora, analisar-se-á a situação 2.

Para interferência construtiva, mantém-se a relação $d \cdot \text{sen } \theta = n \cdot \lambda$. Assim, utilizando-se novamente a aproximação $\text{sen } \theta_2 \cong \text{tg } \theta_2$:

$$d \cdot \frac{33}{74} = 1 \cdot 6,67 \cdot 10^{-7}$$

$$d = 1,495 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Gabarito: D

Questão 21.

(ITA-2005) Uma fina película de fluoreto de magnésio recobre o espelho retrovisor de um carro a fim de reduzir a reflexão luminosa. Determine a menor espessura da película para que produza a reflexão mínima no centro do espectro visível. Considere que o comprimento de onda $\lambda = 5500 \text{ \AA}$, o índice de refração do vidro $n_v = 1,5$ e, o da película, $n_p = 1,3$. Admita a incidência luminosa como quase perpendicular ao espelho.

Comentários:

Ocorrem duas reflexões, sendo uma entre o ar e o fluoreto de magnésio e a outra entre o fluoreto de magnésio e o vidro. Ambas ocorrem com inversão de fase, portanto, ambas as ondas refletidas estão em fase. Para que ocorra interferência destrutiva:



$$\Delta x = n_i \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Para o fluoreto de magnésio:

$$\lambda = \frac{5500}{1,3} \text{ A}$$

E, a diferença de caminho é de:

$$\Delta x = 2 \cdot e$$

Logo:

$$2 \cdot e = n_i \cdot \frac{5500}{2,6}$$

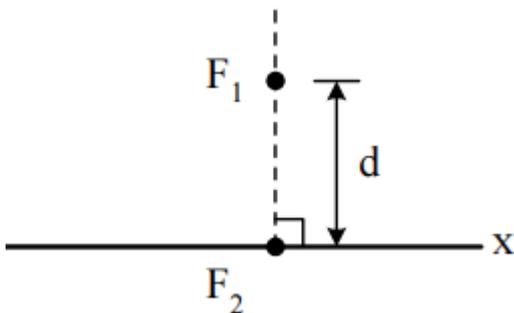
Para a espessura mínima, $n_i = 1$. Assim:

$$e = \frac{5500}{5,2} \cong 1057,7 \text{ A}$$

Gabarito: 1058 A

Questão 22.

(ITA-2004) Na figura F1 e F2 são fontes sonoras idênticas que emitem, em fase, ondas de frequência f e comprimento de onda λ . A distância d entre as fontes é igual a 3λ . Pode-se então afirmar que a menor distância não nula, tomada a partir de F2, ao longo do eixo x , para a qual ocorre interferência construtiva, é igual a



- a) $4\lambda/5$
- b) $5\lambda/4$
- c) $3\lambda/2$
- d) 2λ
- e) 4λ

Comentários:

Para que ocorra interferência construtiva, a diferença da distância percorrida deve ser um número inteiro de comprimentos de onda.

$$d_1 - d_2 = n \cdot \lambda$$

$$\sqrt{x^2 + d^2} - x = n \cdot \lambda$$



$$x^2 + d^2 = n^2 \cdot \lambda^2 + 2 \cdot x \cdot n \cdot \lambda + x^2$$

$$d^2 = n^2 \cdot \lambda^2 + 2 \cdot x \cdot n \cdot \lambda$$

Substituindo $d = 3 \cdot \lambda$ e rearranjando:

$$x = \frac{(9 - n^2) \cdot \lambda}{2 \cdot n}$$

$$n = 0 \rightarrow \text{impossível}$$

$$n = 1 \rightarrow x = 4 \cdot \lambda$$

$$n = 2 \rightarrow x = \frac{5}{4} \cdot \lambda$$

$$n = 3 \rightarrow x = 0$$

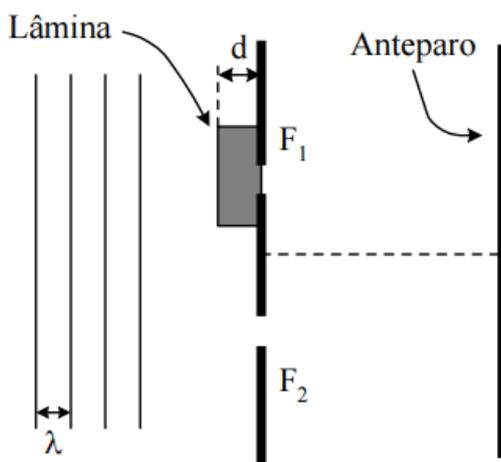
$$n \geq 4 \rightarrow x < 0 \text{ (não convém)}$$

Logo, a menor distância é $x = \frac{5}{4} \cdot \lambda$

Gabarito: B

Questão 23.

(ITA-2004) Num experimento de duas fendas de Young, com luz monocromática de comprimento de onda λ , coloca-se uma lâmina delgada de vidro ($n_v = 1,6$) sobre uma das fendas. Isto produz um deslocamento das franjas na figura de interferência. Considere que o efeito da lâmina é alterar a fase da onda. Nestas circunstâncias, pode-se afirmar que a espessura d da lâmina, que provoca o deslocamento da franja central brilhante (ordem zero) para a posição que era ocupada pela franja brilhante de primeira ordem, é igual a:



- a) $0,38\lambda$ b) $0,60\lambda$ c) λ d) $1,2\lambda$ e) $1,7\lambda$

Comentários:

Para deslocar-se a franja central, a lâmina de vidro deve gerar uma diferença de fase de $2 \cdot \pi$. A diferença de fase gerada pela lâmina é dada por:

$$\left| \frac{e}{\lambda_{ar}} - \frac{e}{\lambda_{vidro}} \right| \cdot 2 \cdot \pi = \Delta\phi$$



E:

$$\lambda_{\text{vidro}} = \lambda_{\text{ar}} \cdot \frac{n_{\text{ar}}}{n_{\text{vidro}}} = \lambda \cdot \frac{1}{1,6}$$

Assim:

$$\left| \frac{e}{\lambda} - \frac{e}{\lambda} \cdot 1,6 \right| \cdot 2 \cdot \pi = 2 \cdot \pi$$

$$\frac{e}{\lambda} \cdot 0,6 = 1 \Rightarrow e = \lambda \cdot 1,67$$

Gabarito: E

Questão 24.

(ITA-2000) Uma lente de vidro de índice de refração 1,6 é recoberta com um filme fino, de índice de refração 1,3, para minimizar a reflexão de certa luz incidente. Sendo o comprimento de onda da luz incidente no ar $\lambda_{AR} = 500 \text{ nm}$, então a espessura mínima do filme é

- a) 78 nm
- b) 96 nm
- c) 162 nm
- d) 200 nm
- e) 250 nm

Comentários:

Ocorrem duas reflexões, sendo uma entre o ar e o filme e a outra entre o filme e a lente. Ambas ocorrem com inversão de fase, portanto, ambas as ondas refletidas estão em fase. Para que ocorra interferência destrutiva:

$$\Delta x = n_i \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Para o filme:

$$\lambda = \frac{500}{1,3} \text{ A}$$

E, a diferença de caminho é de:

$$\Delta x = 2 \cdot e$$

Logo:

$$2 \cdot e = n_i \cdot \frac{500}{2,6}$$

Para a espessura mínima, $n_i = 1$. Assim:

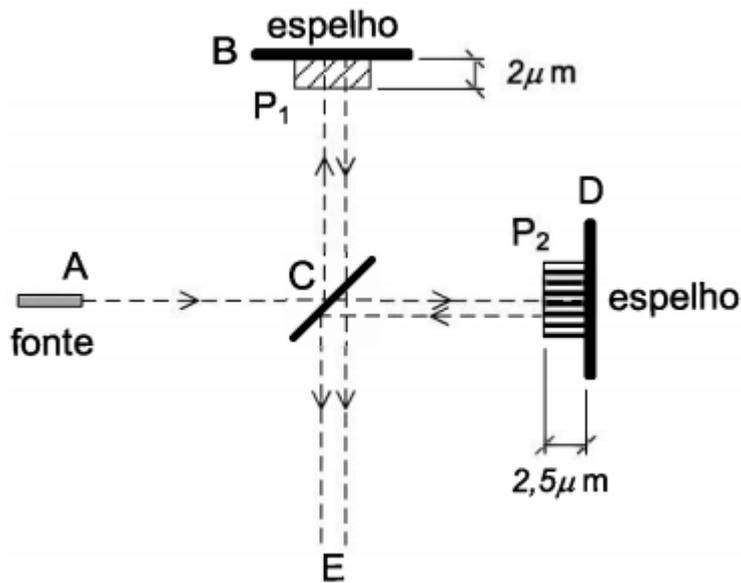
$$e = \frac{500}{5,2} \cong 96 \text{ nm}$$

Gabarito: B



Questão 25.

(IME-2020 – 1ª Fase)



Uma fonte luminosa A emite uma luz com comprimento de onda $\lambda = 500 \text{ nm}$, no vácuo, na direção de um anteparo localizado em C. Em frente ao espelho localizado em B, encontra-se a película P_1 com índice de refração $n_1 = 1,25$ e, em frente ao espelho localizado em D, encontra-se uma película P_2 com índice de refração n_2 .

Observações:

os espelhos equidistam do centro do anteparo C;

após ser emitido do ponto A, o feixe de luz reflete em direção a B e refrata em direção a D;

após refletir em B, o feixe refrata diretamente em direção a E; e

após refletir em D, o feixe volta a refletir totalmente em C em direção a E.

O menor índice de refração n_2 para que ocorra interferência totalmente destrutiva para um observador localizado em E, é

- a) 1,00
- b) 1,05
- c) 1,15
- d) 1,20
- e) 1,25

Comentários:

Como ambos os feixes refletem duas vezes, a diferença de fase vale:

$$\delta = \left| 2\pi \cdot \frac{2d_B}{\lambda_B} - 2\pi \cdot \frac{2d_D}{\lambda_D} \right| = \pi$$

Além disso:



$$\lambda' = \frac{\lambda}{n}$$

Dessa forma, a primeira equação pode ser simplificada para:

$$|d_B n_B - d_D n_D| = \frac{\lambda}{4}$$

Substituindo

$$|2000n_B - 2500n_D| = 125$$

De onde chegamos a duas soluções:

$$n_D = \frac{16n_B - 1}{20} = 0,95$$

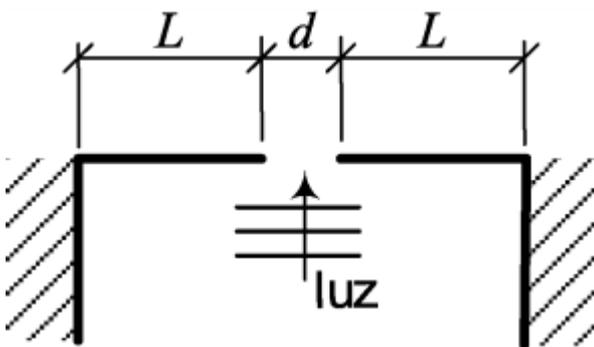
$$n_D = \frac{16n_B + 1}{20} = 1,05$$

Como não existe índice de refração menor que um, somente a segunda raiz é válida.

Gabarito: B

Questão 26.

(IME-2020 – 2ª Fase)



A figura mostra um sistema usado em um laboratório de física para demonstrar a difração de luz por uma fenda. A luz de um laser de comprimento de onda λ passa por uma fenda de largura d , formada pelo espaço entre as extremidades de duas barras de comprimento L . A outra extremidade de cada barra é mantida fixa. Depois de passar pela fenda, a luz incide em uma tela distante, na qual é observado um padrão de difração formado por regiões claras e escuras.

a) Dado que na tela são observados exatamente 3 mínimos de intensidade luminosa em cada lado do máximo central de intensidade, determine o intervalo de valores da largura d da fenda que são compatíveis com essa observação.

b) A temperatura do laboratório normalmente é mantida em 24,0 oC por um aparelho de ar condicionado. Em um dia no qual o experimento foi realizado com o aparelho de ar condicionado desligado, observou-se na tela apenas 1 mínimo de intensidade luminosa em cada lado do máximo central de intensidade, o que foi atribuído à dilatação térmica das barras. Sabendo que o coeficiente de dilatação linear das barras é α , determine o intervalo de temperaturas do



laboratório, no dia em que o aparelho de ar condicionado foi desligado, que são compatíveis com essa observação.

Dados:

comprimento de onda do laser: $\lambda = 532 \text{ nm}$;

comprimento de cada barra a $24,0 \text{ }^\circ\text{C}$: $L = 50 \text{ cm}$;

coeficiente de dilatação linear de cada barra: $\alpha = 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Comentários:

A. O terceiro mínimo ocorre em $2,5\lambda$ e o quarto em $3,5\lambda$, logo:

$$2,5\lambda < d \sin \theta < 3,5\lambda$$

No caso limite, o terceiro mínimo ocorre em $\theta = 90^\circ$ (caso contrário outros mínimos seriam observados).

$$2,5\lambda < d \sin \theta < 3,5\lambda$$

$$1,33\mu\text{m} < d < 1,86\mu\text{m}$$

B. O primeiro mínimo ocorre em $0,5\lambda$ e o segundo em $1,5\lambda$

$$0,5\lambda < d' < 1,5\lambda$$

Além disso:

$$d' = d - 2L\alpha\Delta T$$

$$0,5\lambda < d - 2L\alpha\Delta T < 1,5\lambda$$

$$d - 0,5\lambda > 2L\alpha\Delta T > d - 1,5\lambda$$

$$3,5\lambda - 0,5\lambda > d - 0,5\lambda > 2L\alpha\Delta T > d - 1,5\lambda > 2,5\lambda - 1,5\lambda$$

$$\frac{3\lambda}{2L\alpha} > \Delta T > \frac{\lambda}{2L\alpha}$$

$$15,96^\circ\text{C} > \Delta T > 5,32^\circ\text{C}$$

Gabarito: A. $1,33\mu\text{m} < d < 1,86\mu\text{m}$ B. $15,96^\circ\text{C} > \Delta T > 5,32^\circ\text{C}$

Questão 27.

Duas fontes pontuais coerentes estão separadas de $2,0$ metros e emitem em fase $\lambda = 0,25 \text{ m}$. Se um detector se move em um circuito muito grande, com centro no ponto médio das fontes. Quantos máximos ele detectará?

Comentários:

Considere F_1 e F_2 como sendo as fontes:

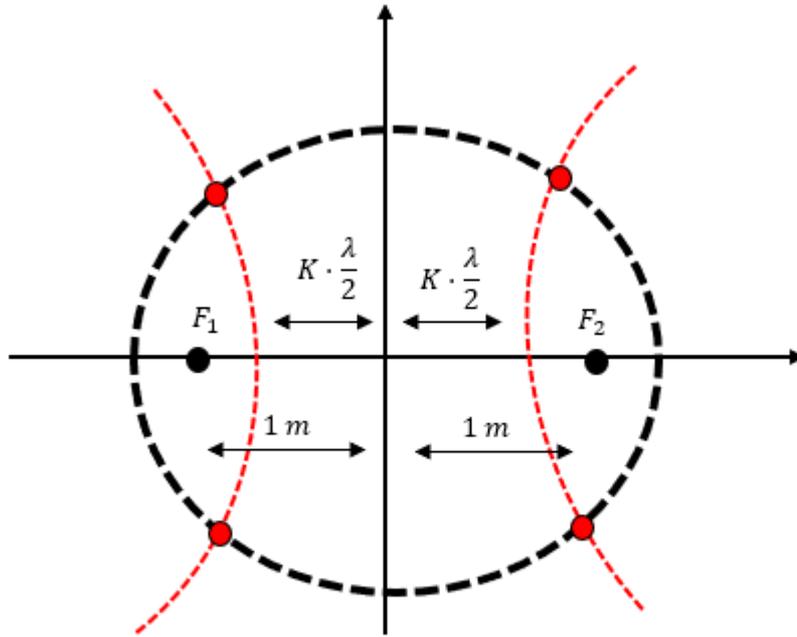
$$F_1P - F_2P = K \cdot \lambda$$

Essa diferença de caminho mostra a definição de lugar geométrico de uma hipérbole. Desta maneira, temos:

$$K \cdot \lambda = 2a$$



$$a = K \cdot \frac{\lambda}{2}$$



Temos que:

$$a \leq 1 \rightarrow K \cdot \frac{\lambda}{2} \leq 1$$

Desta maneira, temos:

$$K \cdot \frac{0,25}{2} \leq 1$$

$$K \leq 8$$

$$K = 0 \rightarrow \text{Duas intersecções}$$

$$K = 1,2,3,4,5,6,7 \rightarrow \text{Quatro intersecções}$$

$$K = 8 \rightarrow \text{Duas intersecções}$$

Desta maneira, temos:

$$N = 2 + 7 \cdot 4 + 2 = \boxed{32}$$

Gabarito: 32



Considerações finais

Querido aluno(a),

Se as dúvidas persistirem, não se esqueça de acessar o Fórum de Dúvidas! Responderei suas dúvidas o mais rápido possível!



Você também pode me encontrar nas redes sociais! 😊

Conte comigo,
Vinícius Fulconi



@viniciusfulconi



vinicius.fulconi