FRENTE: FÍSICA II

PROFESSOR(A): CARLOS EDUARDO

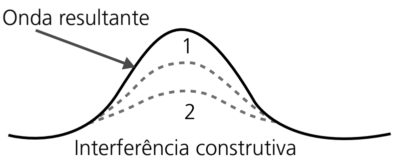
ASSUNTO: INTRODUÇÃO À ÒPTICA GEOMÉTRICA

Resumo Teórico

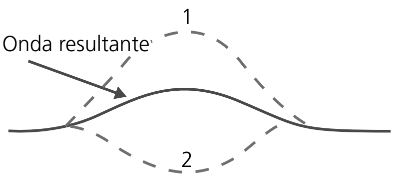
Interferência e Ondas estacionárias

Interferência

É o fenômeno que representa duas ou mais ondas se superpondo na mesma região de um meio. Na interferência construtiva, ocorre um reforço da onda, e a amplitude da onda resultante é maior do que a amplitude de cada uma das ondas que se superpõem. No caso da interferência destrutiva, ocorre um cancelamento da onda, sendo esse cancelamento total ou parcial, e a amplitude da onda resultante é menor do que pelo menos uma das amplitudes das ondas que se superpõem. Quando ocorre a interferência totalmente destrutiva, o meio não apresenta efeito das perturbações, permanecendo o ponto em equilíbrio, enquanto perdurar a superposição.

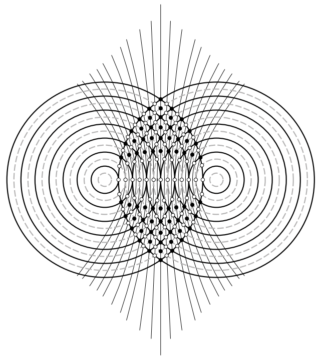


Interferência construtiva



Interferência destrutiva

Veja o padrão produzido com duas fontes pontuais na superfície de um líquido:



As linhas destacadas são hipérboles com os focos sobre as fontes.

Ondas se propagando no mesmo sentido e com mesma frequência

$$y_1(x,\ t) = A_1 \cdot \cos(\omega t - kx + \varphi_{0,1})$$

$$y_2(x,\ t) = A_2 \cdot \cos(\omega t - kx + \varphi_{0,2})$$

Utilizaremos o método de soma de fasores.

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos\left(\varphi_{0,2} - \varphi_{0,1}\right)$$

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2}\cos\left(\varphi_{0,2} - \varphi_{0,1}\right)$$

Temos assim, que:

- Se $\varphi_{0,2} - \varphi_{0,1} = 2\pi n$
  $I = \left(\sqrt{I_1} + \sqrt{I_2}\right)^2$, condição de máximos (**obs.:** para $I_1 = I_2 = I_0 \rightarrow I = 4I_0$)
- Se $\varphi_{0,2} - \varphi_{0,1} = (2n + 1)\pi$
  $I = \left(\sqrt{I_1} - \sqrt{I_2}\right)^2$, condição de mínimos (**obs.:** para $I_1 = I_2 = I_0 \rightarrow I = 0$)

Ondas estacionárias

Estas ondas, que serão de extrema importância nos assuntos posteriores, recebem esse nome pelo fato de que o fluxo de energia é nulo entre os nodos.

É um estado estacionário. Tais ondas são geradas pela superposição de uma onda progressiva e uma regressiva de mesmas amplitude e frequência.

$$y_1(x,t) = A \cdot \cos(\omega t - kx + \varphi_0)$$

$$y_2(x,t) = A \cdot \cos(\omega t + kx + \varphi_0)$$

Somando as elongações, obtemos:

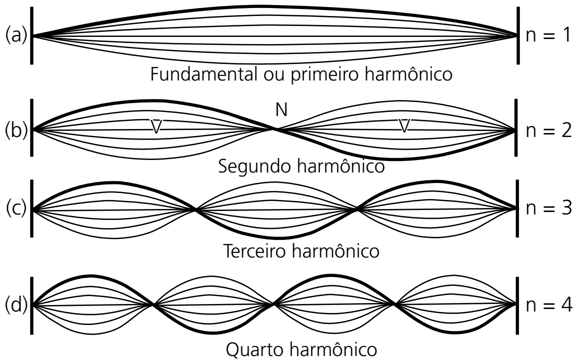
$$y(x,t) = 2A \cdot \cos(kx + \varphi_0)\ \text{sen}(\omega t)$$

Simplificando com $\varphi_0 = 0$:

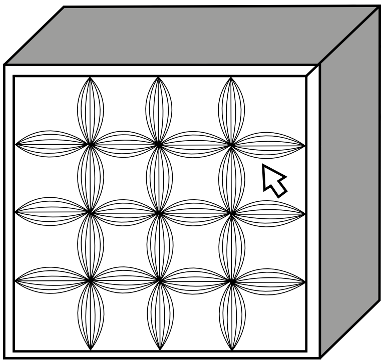
$$\boxed{y(x,\ t) = 2A \cdot \cos(kx)\ \text{sen}(\omega t)}$$

Essa é a equação de uma onda estacionária.

A formação de ondas estacionárias não é uma exclusividade para cordas ou ondas sonoras. O fenômeno ocorre com qualquer tipo de onda confinada, inclusive ondas eletromagnéticas. Num forno de micro-ondas, a câmara de cozimento é dimensionada de maneira que as suas paredes sempre coincidam com nós das micro-ondas, como vemos na figura abaixo.



A região representada por N são os nodos (pontos que possuem amplitude nula). As regiões representadas por V, chamamos de **ventres**.



Ondas estacionárias no interior de um forno de micro-ondas.

Assim, praticamente não haverá absorção de energia das ondas pelas paredes do forno, proporcionando reflexões próximas à condição ideal de formação de onda estacionária. O alimento é colocado sobre um prato giratório para garantir uma distribuição uniforme de energia, pois se o alimento permanecesse estático, teríamos pontos frios em locais que coincidissem com os nodos das ondas estacionárias.

A distância entre as paredes da câmara de cozimento deve, então, ser um múltiplo inteiro de meio comprimento de onda das micro-ondas utilizadas no processo. Como as micro-ondas utilizadas têm uma frequência de 2,45 GHz, as dimensões internas da câmara de cozimento deverão ser múltiplos inteiros de 6,12 cm.

Batimentos e velocidade de grupo

Tomemos agora ondas com frequências e comprimentos de ondas diferentes. Para simplificação, tomemos também a fase inicial das duas sendo zero.

$$y_1(x, t) = A \cdot \cos(\omega_1 t - k_1 x)$$

$$y_2(x, t) = A \cdot \cos(\omega_2 t - k_2 x)$$

Definimos, então:

$$\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1; \qquad \Delta k = k_2 - k_1$$

$$\bar{\omega} = \frac{\omega_2 + \omega_1}{2}; \qquad \bar{k} = \frac{k_2 + k_1}{2}$$

Assim, obtemos:

$$y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t)$$

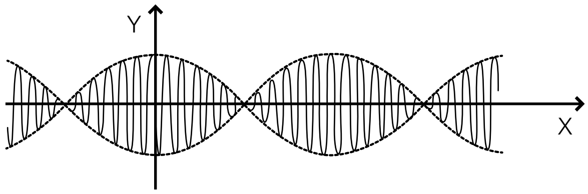
$$= 2A \cdot \cos\left(\frac{\Delta k}{2}x - \frac{\Delta\omega}{2}t\right) \cdot \cos\left(\bar{k}x - \bar{\omega}t\right)$$

Onde $2A \cdot \cos\left(\frac{\Delta k}{2}x - \frac{\Delta\omega}{2}t\right)$ é a amplitude modulada A(x, t).

Esta expressão descreve um movimento ondulatório com amplitude modulada. A velocidade de fase é dada por:

$$\boxed{v_f = \frac{\bar{\omega}}{\bar{k}}}$$

Esse movimento está representado, na figura abaixo, pela linha contínua.



Por outro lado, a amplitude modulada está representada pela linha pontilhada.

Pela expressão matemática de y(x, t), podemos ver que essa amplitude modulada corresponde a um movimento ondulatório que se propaga com uma velocidade chamada de velocidade de grupo, com módulo:

$$\boxed{v_g = \frac{\omega_2 - \omega_1}{k_2 - k_1} = \frac{d\omega}{dk}}$$

A frequência de batimento é dada pela diferença das frequências:

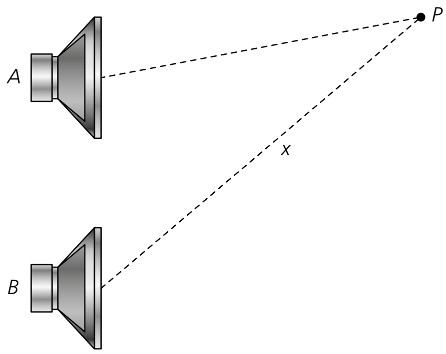
$$\boxed{f_{bat} = f_2 - f_1}$$

Voltaremos a estudar esse fenômeno em Acústica.

Exercícios

01. Um bom projeto de uma sala de cinema deve contemplar materiais em formas, no teto e nas paredes, de modo que o som seja
A) absorvido.
B) refletido.
C) amplificado.
D) difratado.
E) dispersado.

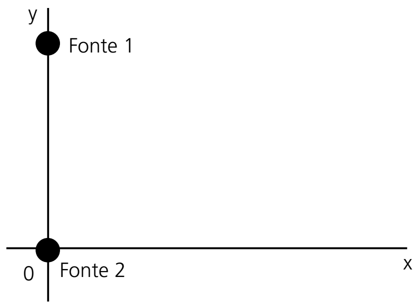
02. A figura mostra dois alto-falantes, A e B, separados por uma distância de 2,0 m. Os alto-falantes estão emitindo ondas sonoras em fase e de frequência 0,68 kHz. O ponto P mostrado na figura está a uma distância de 1,5 m do alto-falante A.



Supondo que a velocidade de propagação do som no ar seja 340 m/s, a distância **x** mínima do alto-falante B ao ponto P, para que esse ponto seja um ponto nodal, é:
A) 1,50 m
B) 1,75 m
C) 2,00 m
D) 2,50 m
E) 3,00 m

03. (MNPEF) Duas fontes sonoras pontuais e coerentes emitem em fase ondas com frequência de 3400 Hz no ar. A velocidade de propagação do som no ar vale 340 m/s. Uma das fontes está na origem do sistema de coordenadas e a outra se encontra sobre o eixo dos **y**, em y = 40,0 cm. Considere os seguintes pontos do plano **xy**:

P_1 (x = 35,6 cm ; y = 20,0 cm), P_2 (x = 0,0 cm ; y = 27,5 cm).



A alternativa que descreve corretamente o tipo de interferência que ocorre em cada um dos pontos é:
A) Em P_1 destrutiva, em P_2 destrutiva.
B) Em P_1 destrutiva, em P_2 construtiva.
C) Em P_1 construtiva, em P_2 construtiva.
D) Em P_1 construtiva, em P_2 destrutiva.

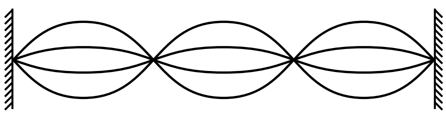
04. Dois pulsos na mesma corda são descritas pelas seguintes equações de onda:

$$y_1 = \frac{5}{(3x - 4t)^2 + 2}$$

$$y_2 = -\frac{5}{(3x + 4t - 6)^2 + 2}$$

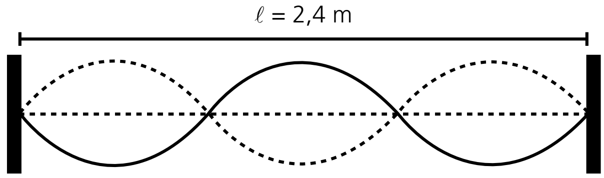
Assinale a alternativa incorreta.
A) Os pulsos y_1 e y_2 viajam com velocidades + v e –v sobre o eixo **x**, respectivamente.
B) Em t = 0,75 s, o deslocamento em todos os pontos da corda é zero.
C) Em x = 1 m, o deslocamento é igual a zero para qualquer instante de tempo.
D) A energia de corda é nula em t = 0,75 s.
E) A onda descrita acima não é senoidal.

05. Uma onda estacionária é estabelecida em uma corda, de modo a formar três ventres e quatro nós, como está esquematizado na figura.

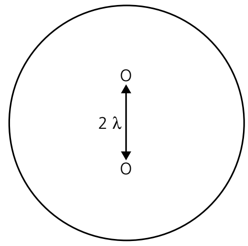


Sabendo que a distância entre os nós extremos é de 1,5 m e a velocidade da onda é de 10 m/s, determine a frequência dessa onda.

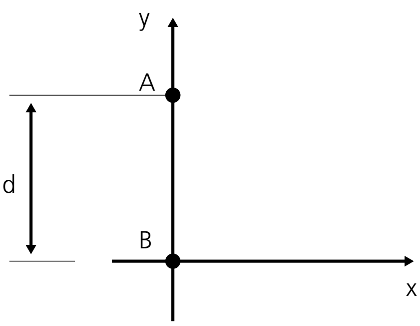
06. Uma corda de comprimento λ = 2,4 m vibra com frequência de 300 Hz no estado estacionário representado na figura. Qual a velocidade de propagação da onda na corda?



07. Na situação ao lado, existem duas fontes coerentes sobre o diâmetro de uma circunferência. A distância de cada uma ao centro vale λ. Calcule o número de interferências construtivas e destrutivas sobre as paredes da circunferência.

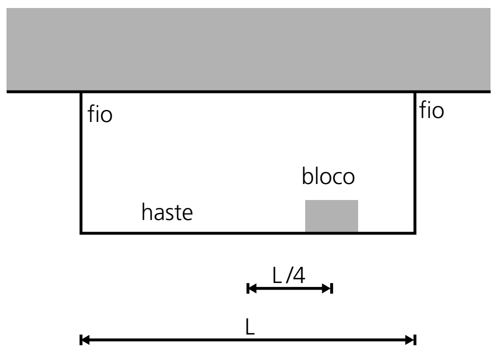


08. (IME) Duas fontes puntiformes idênticas estão localizadas nos pontos A e B. As fontes emitem ondas coerentes e em fase entre si. Se a distância **d** entre as fontes é igual a um múltiplo inteiro positivo N do comprimento de onda, o número de máximos de interferência que podem ser observados no eixo **x** à direita do ponto B é:



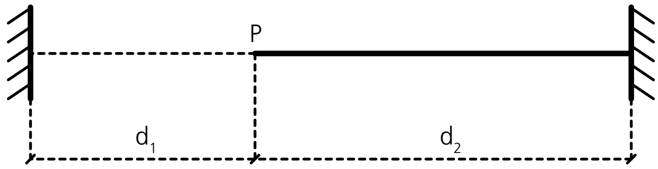
A) N –1
B) N
C) 2N–1
D) 2N
E) infinitos

09. Uma haste uniforme de 200 N e comprimento L está suspensa horizontalmente por dois fios idênticos, como mostra a figura.

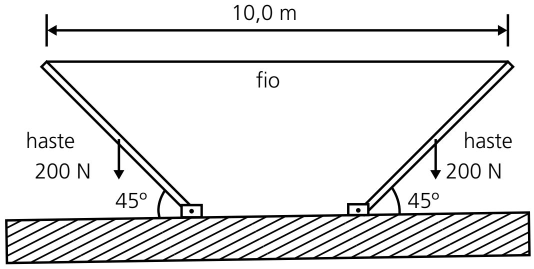


10. Um pequeno bloco de 4 N é colocado sobre a haste com o seu centro de massa posicionado conforme a figura. Cada fio mede 100 cm de comprimento e possui massa de 5 g. Determine a frequência de batimento produzida após os fios serem percorridos simultaneamente em seus centros, vibrando em suas frequências fundamentais.

11. Uma corda mista tensionada é formada por duas cordas de densidades lineares μ_1 e $\mu_2 = 4\,\mu_1$ e comprimentos d_1 e $d_2 = 5d_1/3$, respectivamente. As cordas estão ligadas por uma de suas extremidades no ponto P, enquanto as outras estão fixas, conforme mostra a figura abaixo. Para uma onda estacionária de frequência mínima, determine o número de nós que serão observados ao longo de toda a corda, incluindo os das extremidades, com a condição de que um dos nós esteja no ponto P.



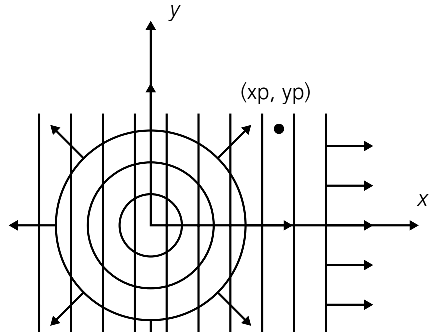
12. Um varal de roupas é constituído por um fio de comprimento 10,0 m e massa 2,5 kg, suspenso nas extremidades por duas hastes uniformes de 200 N de peso, com articulação nas bases, inclinadas de 45° em relação às bases e de iguais comprimentos. Um vento forte faz com que o fio vibre com pequena amplitude em seu quinto harmônico, sem alterar a posição das hastes. A frequência, em Hz, nesse fio é:



Observação:
- a vibração no fio não provoca vibração nas hastes.

A) 3
B) 5
C) 10
D) 20
E) 80

13. (ITA) 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 $h_1(x, y, t) = h_0 \operatorname{sen}\left(2\pi\left(\frac{r}{\lambda} - f\,t\right)\right)$, 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 $h_2(x, y, t) = h_0 \operatorname{sen}\left(2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - f\,t\right)\right)$ 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 $n \in \mathbb{Z}$.

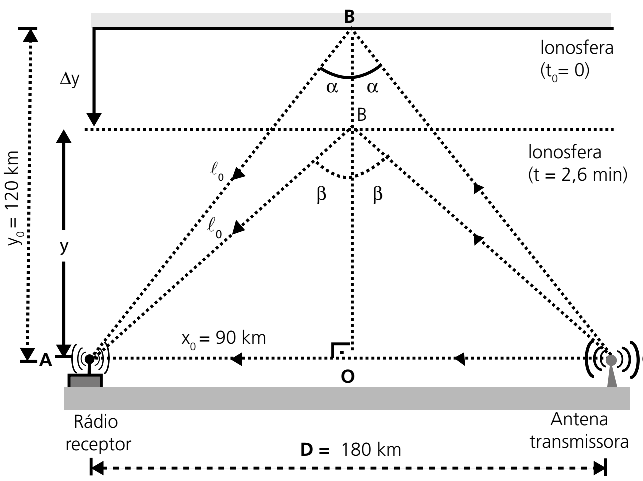
B) Nas posições $\left(\frac{y_p^2}{2n\lambda} - \frac{n\lambda}{2}, y_p\right)$, as duas ondas estão em oposição de fase se $n \in \mathbb{Z}$ e $n \neq 0$.

C) Nas posições $\left(\frac{y_p^2}{2n\lambda} - \frac{\left(n+\frac{1}{2}\right)\lambda}{2}, y_p\right)$, as duas ondas estão em oposição de fase se $n \in Z$ e $n \neq 0$.

D) Nas posições $\left(\frac{y_p^2}{(2n+1)\lambda} - \frac{\left(n+\frac{1}{2}\right)\lambda}{2}, y_p\right)$, as duas ondas estão em oposição de fase se $n \in \mathbb{Z}$.

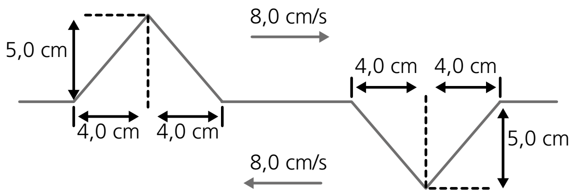
E) Na posição $\left(\frac{2y_p^2}{\lambda} - \frac{\lambda}{8}, y_p\right)$, a diferença de fase entre as ondas é de 45°.

14. Uma emissora de rádio AM opera com frequência de 600 kHz e sua antena transmissora está distante 180 km de um determinado aparelho receptor. Entre a antena e o receptor, o solo é praticamente plano e horizontal e não existem barreiras prejudicando a propagação das ondas de telecomunicações, que, no local, têm velocidade de intensidade $3{,}0 \cdot 10^8$ m/s. O sinal que atinge o receptor chega por dois caminhos: o direto e o via reflexão na ionosfera, admitida paralela à superfície terrestre e situada, em um instante $t_0 = 0$, a 120 km de altitude. Nesse instante, o receptor recebe um sinal resultante reforçado como consequência da interferência construtiva ocorrida entre os dois sinais que o atingem. Em seguida, o sinal captado torna-se mais fraco, voltando, pela primeira vez, a apresentar-se intensificado como antes no instante t = 2,6 min. Isso pode ser explicado pelo fato de a ionosfera ter-se aproximado do solo com uma velocidade escalar média do módulo **v**.



A) Calcule o comprimento de onda λ das ondas irradiadas pela emissora.
B) Determine o valor de **v**.

15. Dois pulsos triangulares, de mesma largura e amplitude, propagam-se em oposição de fase ao longo de uma corda elástica, não dispersiva e de densidade igual a 10 g/cm.



Suas velocidades são opostas, apresentando módulo de 8,0 cm/s. Sabendo que cada pulso transporta uma energia potencial elástica de $4{,}0 \cdot 10^{-4}$ J, calcule:

A) a energia cinética transportada por pulso antes de eles estarem superpostos.

B) a energia cinética total associada ao sistema no instante em que os pulsos estiverem superpostos.

Gabarito

01	02	03	04	05
A	B	D	D	*
06	**07**	**08**	**09**	**10**
*	*	A	–	*
11	**12**	**13**	**14**	**15**
*	B	D	*	*

*** 05:** 10 Hz

06: 480 m/s

07: 8 destrutivas e 8 construtivas.

10: 0,7 Hz

11: 14

14: A) 500 m B) 2,0 m/s

15: A) $4 \cdot 10^{-4}$ J B) $16 \cdot 10^{-4}$ J

– Demonstração.

Anotações

SUPERVISOR/DIRETOR: MARCELO PENA – AUTOR: CARLOS EDUARDO
DIG.: NAILTON – REV.: CAMILLA