

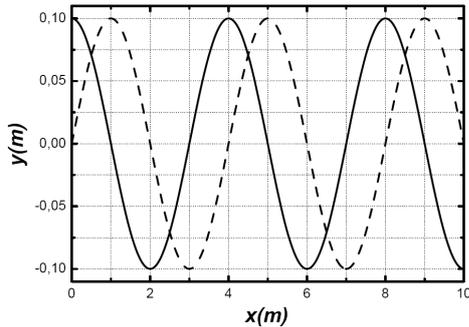
Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Física para Engenharia II - 4320196 Lista de exercícios 1 - 2014

1. Tsunami! Em 26 de dezembro de 2004, um forte terremoto ocorreu na costa da Sumatra e provocou ondas imensas que mataram cerca de 200 mil pessoas. Os satélites que observavam essas ondas do espaço mediram 800 km de uma crista de onda para a seguinte, e um período entre ondas de 1h. Qual era a velocidade dessas ondas em m/s e km/h? A sua resposta ajuda você a entender por que as ondas causaram tamanha devastação?

R: 220m/s = 800km/h.

2. (Poli 2007) A figura abaixo mostra duas fotografias tiradas em instantes de tempo diferentes de uma corda na qual se propaga, no sentido positivo do eixo x , uma onda harmônica transversal $y(x, t)$. A primeira fotografia (linha cheia) foi tirada no instante de tempo $t = 0$ e a segunda fotografia (linha tracejada) no instante de tempo $t = 0,50$ s.



- Determine a velocidade v de propagação da onda na corda;
- Determine a amplitude, o número de onda, a frequência angular a constante de fase e escreva a equação do perfil de onda $y(x, t)$;
- Determine a velocidade transversal máxima, V_m , de um ponto da corda.

R: (a) $v = 2$ m/s, (b) $A = 0,1$ m, $k = 0,5\pi$ m⁻¹, $\omega = \pi$ s⁻¹, $\delta = 0$, $y(x, t) = 0,1 \cos(\frac{\pi}{2}x - \pi t)$ m e (c) $V_m = 0,1\pi$ m/s.

3. Mostrar explicitamente que as seguintes funções são soluções da equação de onda:

- $y(x, t) = k(x + vt)$;

- $y(x, t) = Ae^{ik(x-vt)}$, onde A e k são constantes e $i = \sqrt{-1}$;

- $y(x, t) = \ln[k(x - vt)]$.

4. A função de onda de uma onda harmônica numa corda é

$$y(x, t) = 0,001 \text{ sen}[62,8x + 314t]$$

onde as unidades utilizadas são o metro e o segundo.

- Em que direção a onda avança e qual a sua velocidade?
- Calcular o comprimento de onda, a frequência e o período da onda.
- Qual a aceleração máxima de um ponto da corda.

R: (a) A onda avança no sentido negativo do eixo x com velocidade $v = 5$ m/s, (b) $\lambda = 10$ cm, $T = 0,02$ s e $f = 50$ Hz e (c) $a_{max} = 98,6$ m/s².

5. (Poli 2010) O perfil de uma onda transversal progressiva em uma corda muito longa é dado, em unidades do sistema internacional por:

$$y(x, t) = 2,0 \times 10^{-2} \cos(2\pi(0,5x + 10t))$$

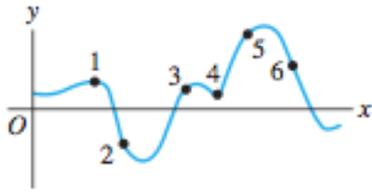
Sabendo que a tensão aplicada na corda é de 100 N, determine:

- a amplitude de vibração desta corda;
- o comprimento de onda e a frequência (em Hz);
- o sentido e a velocidade de propagação da onda;
- a distância, ao longo da corda, entre dois pontos cuja diferença de fase é $\pi/6$;

R: (a) $A = 2,0 \times 10^{-2}$ m, (b) $f = 10$ Hz, (c) $v = 20$ m/s no sentido negativo do eixo x . (d) $x_2 - x_1 = \frac{1}{6} = 0,17$ m

6. Uma onda não senoidal. A forma de uma onda em uma corda em um instante específico é mostrada na figura. A onda está se deslocando para a direita, no sentido $+x$.

- Determine o sentido da velocidade transversal dos seis pontos assinalados sobre a curva. Quando a velocidade for nula, mencione este fato. Explique seu raciocínio.



- (b) Determine o sentido da aceleração transversal dos seis pontos assinalados sobre a curva. Explique seu raciocínio.
- (c) Como suas respostas deveriam ser alteradas se a onda está se deslocando para a esquerda, no sentido $-x$?

R: (a) 1, 0; 2, +; 3, -; 4, 0; 5, -; 6, +, (b) 1, -; 2, +; 3, -; 4, +; 5, -; 6, 0 e (c) (a): as respostas teriam o sinal contrário; (b): não haveria alteração.

7. (Poli 2006) Uma corda uniforme, de 20 m de comprimento e massa de 2 kg, está esticada sob uma tensão de 10 N. Faz-se oscilar transversalmente uma extremidade da corda, com amplitude de 3 cm e frequência de 5 oscilações por segundo. O deslocamento inicial da extremidade é de 1,5 cm para cima.

- (a) Ache a velocidade de propagação v e o comprimento de onda λ da onda progressiva gerada na corda.
- (b) Escreva, como função do tempo, o deslocamento transversal y de um ponto da corda situado à distância x da extremidade que se faz oscilar, após ser atingido pela onda e antes que ela chegue à outra extremidade.
- (c) Calcule a intensidade I da onda progressiva gerada.

R: (a) $v = 10$ m/s, $\lambda = 2,0$ m, (b) $y(x, t) = 0,03 \cos(\pi x - 10\pi t + \frac{\pi}{3})$ m e (c) $I = \frac{9\pi^2}{200}$ W.

8. Determine a amplitude da onda resultante da combinação de duas ondas senoidais que se propagam no mesmo sentido, possuem mesma frequência, têm amplitudes de 3,0 cm e 4,0 cm, e a onda de maior amplitude está com a fase adiantada de $\frac{\pi}{2}$ rad.

R: $y(x, t) = 5,0 \sin(kx - \omega t + 0,93)$ cm.

9. Uma onda estacionária resulta da soma de duas ondas transversais progressivas dadas por:

$$y_1 = 0,05 \cos(\pi x - 4\pi t),$$

$$y_2 = 0,05 \cos(\pi x + 4\pi t),$$

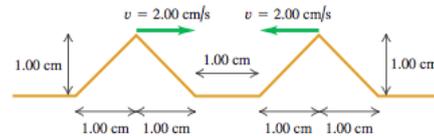
onde x , y_1 e y_2 estão em metros e t em segundos.

- (a) Qual é o menor valor positivo de x que corresponde a um nó?

- (b) Em quais instantes no intervalo $0 \leq t \leq 0,5$ a partícula em $x = 0$ terá velocidade zero?

R: (a) $x = 0,5$ m e (b) $t = 0$ s, $0,25$ s e $0,5$ s.

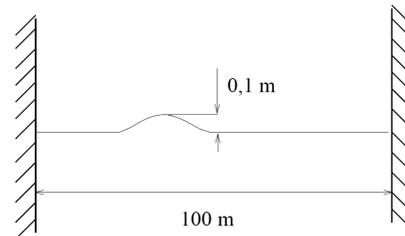
10. Dois pulsos ondulatorios triangulares estão se aproximando em uma corda esticada, como indicado na figura. Os dois pulsos são idênticos e se deslocam com velocidade igual a 2,0 cm/s. A distância entre as extremidades dianteiras dos pulsos é igual a 1,0 cm para $t = 0$. Desenhe a forma da corda para $t = 0,250$ s, $t = 0,750$ s, $t = 1,000$ s e $t = 1,250$ s.



11. (Poli 2007) A figura mostra um pulso em uma corda de comprimento 100 m com as extremidades fixas. O pulso está se deslocando com velocidade de 40 m/s e é descrito pela seguinte função

$$y(x, t) = 0,1e^{-4(x-vt)^2},$$

onde x é dado em metros e t em segundos.

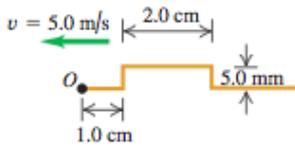


- (a) Qual o valor de x , para o qual a velocidade transversal da corda é máxima, em $t = 0$?
- (b) Qual a função que representa o pulso refletido, em um instante t logo após sua primeira reflexão?
- (c) Se a massa da corda é 2 kg, qual a tensão T nesta?
- (d) Escreva uma equação $y(x, t)$ que descreve numericamente uma onda senoidal, com $\lambda = 5$ m e mesma amplitude da onda anterior, se deslocando na direção negativa de x em uma corda muito longa, feita do mesmo material, com a mesma tensão acima, e tal que $y(0, 0) = 0$.

R: (a) $x = \frac{1}{2\sqrt{2}}$ m, (b) $y_R(x, t) = -0,1e^{-4(x+vt-200)^2}$ m ($\approx -0,1e^{-4(x+vt)^2}$ m), (c) $T = 32$ N e (d) $y(x, t) = 0,1 \sin(\frac{2\pi}{5}x + 16\pi t)$ m.

12. Reflexão. Um pulso ondulatorio deslocando-se sobre uma corda para $t = 0$ possui as dimensões indicadas na figura. A velocidade da onda é igual a 5,0 m/s.

- (a) Se o ponto O for uma extremidade fixa, desenhe a onda total sobre a corda para $t = 1,0$ ms, $2,0$ ms, $3,0$ ms, $4,0$ ms, $5,0$ ms, $6,0$ ms e $7,0$ ms;



- (b) Repita o item (a) quando o ponto O for uma extremidade livre.

13. (Poli 2010) Uma corda de comprimento L presa nas extremidades $x = 0$ e $x = L$, submetida a uma tensão de 96 N, oscila no terceiro harmônico de uma onda estacionária. O deslocamento transversal da corda é dado por

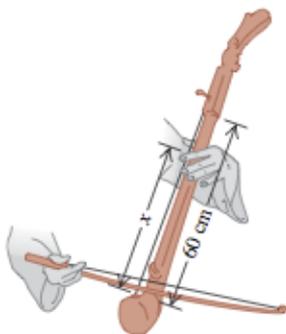
$$y(x, t) = 5 \text{ sen} \left(\frac{\pi}{2} x \right) \text{ sen} (6\pi t)$$

onde x e y são dados em metros e t em segundos.

- (a) Qual é o comprimento L da corda?
 (b) Qual é a massa da corda?
 (c) Calcule a velocidade transversal máxima de um ponto situado sobre um ventre da onda.
 (d) Se a corda oscilar no quinto harmônico, qual será o período de oscilação?

R: (a) $L = 6$ m, (b) $m = 4,0$ kg, (c) $v_y^{max} = 30\pi$ m/s, (d) $T_5 = 0,2$ m.

14. O segmento de uma corda de certo instrumento entre a ponte de apoio das cordas e a extremidade superior (a parte que vibra livremente) possui comprimento igual a $60,0$ cm e massa igual a $2,0$ g. Quando tocada, a corda emite um nota A_4 (440 Hz).



- (a) Em que ponto o violoncelista deve colocar o dedo (ou seja, qual é a distância x entre o ponto e a ponte de

apoio das cordas) para produzir uma nota D_5 (587 Hz)? Nas duas notas A_4 e D_5 a corda vibra no modo fundamental.

- (b) Sem afinar novamente, é possível produzir uma nota G_4 (392 Hz) nessa corda? Justifique sua resposta.

R: (a) 45 cm, (b) não.

15. Uma corda sob tensão T_i oscila no terceiro harmônico com uma frequência f_3 , e as ondas na corda tem comprimento de onda λ_3 . Se aumentarmos a tensão da corda para $T_f = 4T_i$ de forma que a corda continue a oscilar no terceiro harmônico, qual será:

- (a) a frequência de oscilação em termos de f_3 ;
 (b) o comprimento da onda em termos de λ_3 ?

R: (a) $f = 2f_3$ e (b) $\lambda = \lambda_3$.

16. Uma corda, submetida a uma tensão de 200 N e presa em ambas as extremidades, oscila no segundo harmônico de uma onda estacionária. O deslocamento da corda é dado por:

$$y(x, t) = \frac{1}{10} \text{ sen} \left(\frac{\pi x}{2} \right) \text{ sen}(12\pi t)$$

onde $x = 0$ numa das extremidades da corda, x é dado em metros e t em segundos.

- (a) Qual é o comprimento da corda?
 (b) Qual é a velocidade escalar das ondas na corda?
 (c) Qual é a massa da corda?
 (d) Se a corda oscilar num padrão de onda referente ao terceiro harmônico, qual será o período de oscilação?

R: (a) $L = 4$ m, (b) $v = 24$ m/s, (c) $m = 1,39$ kg e (d) $T = 0,111$ s.

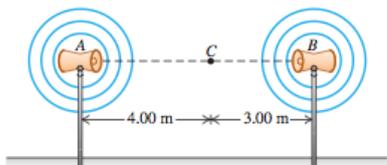
17. **Desafinada.** A corda B de uma guitarra feita de aço (densidade igual a 7800 kg/m³) possui comprimento igual a $63,5$ cm e diâmetro igual a $0,406$ mm. A frequência fundamental é $f = 247$ Hz.

- (a) Ache a tensão na corda.
 (b) Quando a tensão F varia de uma pequena quantidade ΔF , a frequência f varia de uma pequena quantidade Δf . Mostre que

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{1}{2} \frac{\Delta F}{F}$$

R: (a) $99,4$ N

18. Dois alto-falantes, A e B , emitem sons uniformemente no ar, em todas as direções, a 20°C . A potência acústica emitida por A é igual a 8×10^{-4} W, e a potência de B é igual a 6×10^{-5} W. Os dois alto-falantes estão vibrando em fase com frequência igual a 172 Hz.



- Determine a diferença de fase entre os dois sinais em um ponto C ao longo da reta que une A e B , a 3 m de B e 4 de A .
- Determine a intensidade e o nível da intensidade sonora no ponto C devido ao alto-falante A quando o alto falante B é desligado, bem com a intensidade e o nível da intensidade sonora devido ao alto-falante B quando o alto-falante A é desligado.
- Quando os dois alto-falantes estão ligados, calcule a intensidade e o nível da intensidade sonora no ponto C .

19. [HMN] Uma experiência de demonstração divertida consiste em mudar a tonalidade da voz enchendo a boca de gás hélio: uma voz grave transforma-se em aguda (cuidado: não procure fazer isso por sua conta! ? inalar hélio é perigoso, podendo levar à sufocação). Para explicar o efeito, admita que os comprimentos de onda associados à voz são cavidades ressonantes, de modo que a variação de tonalidade seria devida unicamente à variação da velocidade do som (embora isto não seja bem correto).

- Calcule a velocidade do som no hélio a 20°C . É um gás monoatômico, de massa atômica ≈ 4 g/mol, com $\gamma \approx 1,66$. A constante universal dos gases R equivale $8,314$ J/mol K.
- Explique o efeito, calculando a razão entre as frequências do som no hélio e no ar ara o mesmo comprimento de onda.

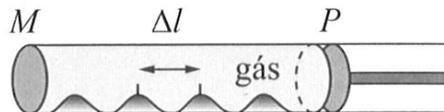
R: (a) $v=1.005$ m/s; (b) $\nu_{He}/\nu_{ar} \approx 2,93$

20. [HMN] Que comprimento deve ter um tubo de órgão aberto num extremo e fechado no outro para produzir, como tom fundamental, a nota dó da escala média, $\nu = 262$ Hz, a 15°C , quando a velocidade do som no ar é de 341 m/s? Qual a variação da frequência $\Delta\nu$ quando a frequência sobe para 25°C ?

R: $\ell = 32,5$ cm; $\Delta\nu = 4,5$ Hz

21. [HMN] O tubo de Kundt que costumava ser empregado para medir a velocidade do som em gases, é um tubo de vidro que contém o gás, fechado numa extremidade por uma tampa M que se faz vibrar com uma frequência ν conhecida (por exemplo, acoplando-a a um alto falante) e na outra por um

pistão P que se faz deslizar, variando o comprimento do tubo. O tubo contém um pó fino (serragem, por exemplo). Ajusta-se o comprimento do tubo com o auxílio do pistão até que ele entre em ressonância com a frequência ν , o que se nota pelo reforço da intensidade sonora emitida.

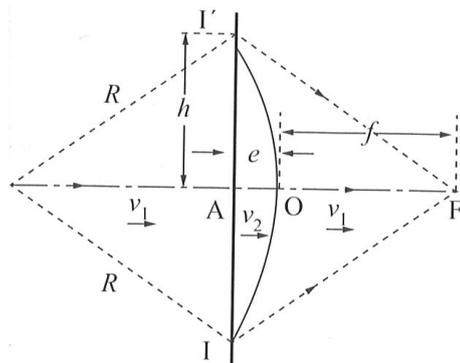


Observa-se então que o pó fica acumulado em montículos igualmente espaçados, de espaçamento $\Delta\ell$, que se pode medir.

- A que correspondem as posições dos topos dos montículos?
- Qual é a relação entre $\Delta\ell$, ν e a velocidade do som no gás?
- Com o tubo cheio de CO_2 a 20°C e $\nu = 880$ Hz, o espaçamento médio medido é de $15,2$ cm. Qual é a velocidade do som no CO_2 a 20°C ?

R: (b) $v = 2\nu\Delta\ell$; (c) $267,5$ m/s

22. [HMN] Uma lente esférica plano-convexa delgada é formada por um meio onde o som se propaga com a velocidade v_2 , limitado por uma face plana e outra esférica de raio de curvatura R ; o raio $h = \overline{I'A}$ da face plana é suposto $\ll R$. No meio externo à lente, o som se propaga com velocidade v_1 , com $v_2 = v_1/n$, onde n é o índice de refração relativo. Supomos $n > 1$. Nestas condições, uma onda plana incidente perpendicularmente sobre a face plana é focalizada pela lente em seu foco F . A distância $f = \overline{OF}$ do foco à face curva chama-se distância focal, e $\overline{AO} = e$ é a espessura da lente.



- Mostre que, para $h \ll R$, tem-se $e \approx h^2/(2R)$. Para isso, você poderá utilizar a aproximação: $\sqrt{1 \pm \varepsilon} \approx 1 \pm \frac{1}{2}\varepsilon$, válida para $|\varepsilon| \ll 1$.
- Com o auxílio do Princípio de Huygens, mostre que $f = R/(n - 1)$. Sugestão: Partindo

da frente de onda plana incidente II' ?, iguale o tempo que as frentes de onda secundárias levam para convergir no foco passando pela periferia da lente (caminhos $I'F$, IF) e pelo centro (caminho $\overline{AO} + \overline{OF}$) e use o resultado da parte anterior.

23. [HMN] Dois trens viajam em sentidos opostos, sobre trilhos, com velocidades da mesma magnitude. Um deles vem apitando. A frequência do apito percebida por um passageiro do outro trem varia entre os valores de 348 Hz, quando estão se aproximando, e 249 Hz quando estão se afastando. A velocidade de som no ar é de 340 m/s.

- (a) Qual é a velocidade dos trens (em km/h)?
- (b) Qual é a frequência do apito?

R: (a) 90 km/h, (b) 300 Hz

24. [HMN] Uma fonte sonora fixa emite som de frequência ν_0 . O som é refletido por um objeto que se aproxima da fonte com velocidade u . O eco refletido volta para a fonte, onde interfere com as ondas que estão sendo emitidas, dando origem a batimentos, com frequência $\Delta\nu$. Mostre que é possível determinar a magnitude $|u|$ da velocidade do objeto móvel em função de $\Delta\nu$, ν_0 e da velocidade do som v . O mesmo princípio é utilizado (com ondas eletromagnéticas em lugar de ondas sonoras) na detecção do excesso de velocidade nas estradas, com auxílio do radar.

R: $|u| = \frac{v\Delta\nu}{2\nu_0 + \Delta\nu}$

25. Medicina com ultra-som. Uma onda sonora de 2 MHz se propaga ao longo do ventre de uma mulher grávida, sendo refletida pela parede do coração do feto. A parede do coração se move no sentido do receptor do som quando o coração bate. O som refletido é a seguir misturado com o som transmitido, e 85 batimentos por segundo são detectados. A velocidade do som nos tecidos do corpo é 1500 m/s. Calcule a velocidade da parede do coração do feto no instante em que essa medida é realizada.

26. [HMN] Um avião a jato supersônico está voando a Mach 2 (o dobro da velocidade do som).

- (a) Qual é o ângulo de abertura do cone de Mach?
- (b) 2,5 s depois de o avião ter passado diretamente acima de uma casa, a onda de choque causada pela sua passagem atinge a casa, provocando um estrondo sônico. A velocidade do som no ar é de 340 m/s. Qual é a altitude do avião em relação à casa?

R: (a) 30°; (b) 981 m.