

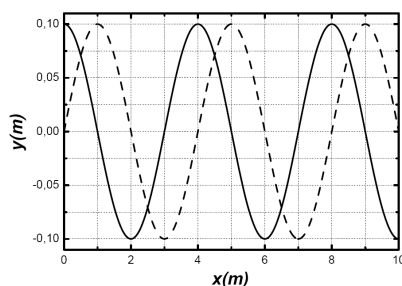
Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Física para Engenharia II - 4320196 Lista de exercícios 2 - 2013

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.

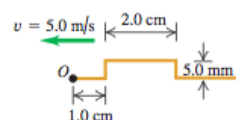


- Determine a velocidade v de propagação da onda na corda;
- Determine a amplitude, o número de onda, a frequência angular a constante de fase e escreva a equação do perfil de onda $y(x, t)$;
- Determine a velocidade transversal máxima, V_m , de um ponto da corda.

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.

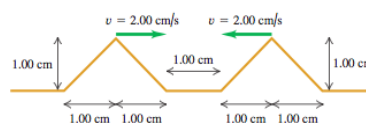
3. Reflexão. Um pulso ondulatório deslocando-se sobre uma corda para $t = 0$ possui as dimensões indicadas na figura. A velocidade da onda é igual a 5,0 m/s.

- 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;



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

4. Dois pulsos ondulatórios 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.



5. 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.

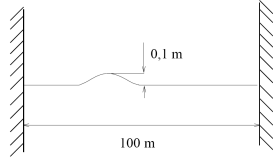
- Em que direção a onda avança e qual a sua velocidade?
- Calcular o comprimento de onda, a frequência e o período da onda.
- Qual a aceleração máxima de um ponto da corda.

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.

6. (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) $y(x, t) = 0,1 \text{ sen}\left(\frac{2\pi}{5}x + 16\pi t\right)$ m.

7. (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) a amplitude de vibração desta corda;
- (b) o comprimento de onda e a frequência (em Hz);
- (c) o sentido e a velocidade de propagação da onda;
- (d) 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

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: $y(x, t) = 5,0 \text{ sen}(kx - \omega t + 0,93)$ 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. (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.

11. Uma corda oscila de acordo com a equação

$$y(x, t) = \frac{1}{2} \text{ sen}\left(\frac{\pi}{3}x\right) \cos(40\pi t),$$

onde as unidades utilizadas são o centímetro e o segundo.

- (a) Quais são a amplitude e a velocidade escalar das ondas cuja superposição dá essa oscilação?
- (b) Qual é a distância entre os nós?
- (c) Qual é a velocidade escalar de uma partícula da corda na posição $x = 1,5$ cm quando $t = \frac{9}{8}$ s?

R: (a) $A = 0,25$ cm e $v = 120$ cm/s, (b) $D = 3$ cm e (c) $\frac{\partial y}{\partial t} = 0$.

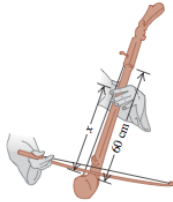
12. (Poli 2006) Uma corda uniforme, de 20 m de comprimento e massa de 2 kg, está esticada sob uma tensão de 10 N. Faz-se oscilar transversalmente uma extremidade da corda, com amplitude de 3 cm e frequência de 5 oscilações por segundo. O deslocamento inicial da extremidade é de 1,5 cm para cima.

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

13. 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 $60,0 \text{ cm}$ e massa igual a $2,0 \text{ g}$. 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.

14. (Poli 2007) A corda de um violino tem uma densidade linear de massa de $0,5 \text{ g/m}$ e está sujeita a uma tensão de 80 N , afinada para uma frequência $\nu = 660 \text{ Hz}$ no primeiro harmônico.

(a) Qual a velocidade de propagação de onda nessa corda?

(b) Qual o comprimento da corda?

(c) Para tocar a nota "lá", cuja frequência é 880 Hz , prende-se a corda com um dedo, de forma a utilizar apenas uma fração f de seu comprimento. Qual o valor de f ?

R: (a) $v = 400 \text{ m/s}$, (b) $L = \frac{10}{33} \text{ m}$ e (c) $f = \frac{3}{4}$.

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 de 120 cm de comprimento é esticada entre suportes fixos. Quais são os três comprimentos de

onda mais longos para ondas estacionárias nesta corda? Esboce as ondas estacionárias correspondentes. O que muda em relação aos três comprimentos de onda mais longos se esta mesma corda estiver fixa em apenas um suporte, de forma que a outra extremidade é presa em um anel sem peso que pode deslizar ao longo de uma haste sem atrito?

R: Corda fixa nas duas extremidades: $\lambda_1 = 2,40 \text{ m}$, $\lambda_2 = 1,20 \text{ m}$ e $\lambda_3 = 0,80 \text{ m}$. Corda presa em uma extremidade: $\lambda_1 = 4,80 \text{ m}$, $\lambda_2 = 1,60 \text{ m}$ e $\lambda_3 = 0,96 \text{ m}$.

17. 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) $L = 4 \text{ m}$, (b) $v = 24 \text{ m/s}$, (c) $m = 1,39 \text{ kg}$ e (d) $T = 0,111 \text{ s}$.

18. Duas ondas transversais de mesma frequência $\nu = 100 \text{ s}^{-1}$ são produzidas num fio de aço de 1 mm de diâmetro e densidade 8 g/cm^3 , submetido a uma tensão $T = 500 \text{ N}$. As ondas são dadas por

$$y_1(x, t) = A \cos\left(kx - \omega t + \frac{\pi}{6}\right)$$

$$y_2(x, t) = 2A \text{ sen}(\omega t - kx)$$

onde $A = 2 \text{ mm}$.

(a) Escreva a expressão da onda harmônica progressiva resultante da superposição dessas duas ondas.

(b) Calcule a intensidade da onda resultante.

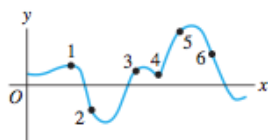
(c) Se fizermos variar a diferença de fase entre as duas ondas, qual é a razão entre os valores máximo e mínimo possíveis da intensidade da onda resultante?

R: (a) $y(x, t) = 5,29 \times 10^{-3} \cos(2,23x - 628t + 1,24)$, (b) $I = 9,8 \text{ W}$ e (c) $\frac{I_{max}}{I_{min}} = 9$.

19. Formiga sem peso. Uma formiga de massa m está tranquilamente em repouso sobre uma corda esticada horizontalmente. A corda possui densidade linear μ e está sob tensão F . Sem avisar, Tobias produz uma onda transversal senoidal com um comprimento de onda

λ que se propaga na corda. O movimento da corda está contido em um plano vertical. Qual é a amplitude mínima da onda que faz a formiga ficar repentinamente com um peso aparentemente igual a zero? Suponha que a massa m seja tão pequena que a presença da formiga não altere a propagação da onda.

20. 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 $+x$.



- (a) 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.

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

- (a) $y(x, t) = k(x + vt)$;
- (b) $y(x, t) = Ae^{ik(x-vt)}$, onde A e k são constantes e $i = \sqrt{-1}$;
- (c) $y(x, t) = \ln[k(x - vt)]$.

22. Ondas com formas arbitrárias.

- (a) Explique a razão pela qual qualquer onda descrita por uma função da forma $y(x, t) = f(x - vt)$ se desloca no sentido $+x$ com velocidade v .
- (b) Mostre que $y(x, t) = f(x - vt)$ satisfaz a equação de onda qualquer que seja a forma da função f . Para fazer isso, escreva $y(x, t) = f(u)$, onde $u = x - vt$. A seguir, para obter as derivadas parciais de $y(x, t)$, use a regra da cadeia:

$$\frac{\partial y(x, t)}{\partial t} = \frac{df(u)}{du} \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{df(u)}{du} (-v)$$

$$\frac{\partial y(x, t)}{\partial x} = \frac{df(u)}{du} \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{df(u)}{du}$$

- (c) Um pulso ondulatório é dado por $y(x, t) = De^{(Bx - Ct)^2}$, onde B , C e D são constantes positivas. Qual é a velocidade dessa onda?

R: (c) C/B .

23. Onda longitudinal em uma mola. Molas muito compridas, tais como uma mola longa de brinquedo e as molas usadas em demonstrações de laboratório, podem servir para visualizar a propagação de uma onda longitudinal.

- (a) Mostre que, se a constante da mola for k' , a massa for m e o comprimento for igual a L , a velocidade de uma onda longitudinal na mola é dada por $v = L\sqrt{k'/m}$.
- (b) Determine v para uma mola com $m = 0,250$ kg, $L = 2,0$ m e $k' = 1,5$ N/m.

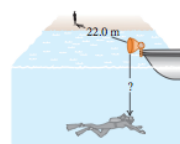
24. Desafinada. A corda B de uma guitarra feita de aço (densidade igual a 7800 kg/m³) possui comprimento igual a $63,5$ cm e diâmetro igual a $0,406$ mm. A frequência fundamental é $f = 247$ Hz.

- (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

25. Uma mergulhadora transportando uma scuba, que contém ar comprimido para a respiração, escuta um som proveniente da buzina de um barco que está diretamente sobre ela na superfície de um lago. No mesmo instante, um amigo que está nas margens do lago a uma distância de $22,0$ m da buzina também ouve o som da buzina. A buzina está $1,2$ m acima da superfície da água. Calcule a distância (indicada por "?") entre a buzina e a mergulhadora. A temperatura do ar e da água é de 20°C .



R: $90,8$ m

26. Ondas sonoras estacionárias são produzidas em um tubo de comprimento igual a $1,20$ m. Para o modo fundamental e os dois primeiros sobretons, determine a posição ao longo do tubo (medida a partir da extremidade da esquerda) dos nós de deslocamento e dos nós de pressão supondo que

- (a) O tubo possui as duas extremidades abertas.
- (b) A extremidade esquerda do tubo está fechada e a extremidade direita do tubo está aberta.

R: (a) *fundamental*: nó de deslocamento a 0,60 m, nós de pressão a 0 e 1,20 m; primeiro sobreton: nós de deslocamento a 0,30m e 0,90m, nós de pressão a 0, 0,60 m e 1,20 m; segundo sobreton: nós de deslocamento a 0,20 m, 0,60 m e 1,00 m, nós de pressão a 0, 0,40 m, 0,80 m e 1,20 m (b) *fundamental*: nó de deslocamento a 0, nó de pressão a 1,20 m; primeiro sobreton: nós de deslocamento a 0,80 m, nós de pressão a 0,40 m e 1,20 m e segundo sobreton: nós de deslocamento a 0, 0,48m e 0,96 m, nós de pressão a 0,24m, 0,72m, 1,20m

27. Você aproxima um tubo fechado de comprimento ajustável de um fio esticado de 85 cm de comprimento e de massa igual a 7,25 g sob uma tensão de 4110 N. Você quer ajustar o comprimento do tubo de modo que, quando ele produzir som em sua frequência fundamental, esse som faça o fio vibrar em seu segundo *sobreton* com uma amplitude bastante grande. Que comprimento deve ter o tubo?

28. Dois alto-falantes, *A* e *B*, são alimentados por um mesmo amplificador e emitem ondas senoidais em fase. A frequência das ondas emitidas por cada um dos alto-falantes é de 172 Hz. Você está a 8 m do alto-falante *A*. Qual é a menor distância de *B* em que você deve ficar para estar em um ponto de interferência destrutiva?

29. Dois tubos de órgão, abertos em uma extremidade e fechados na outra, medem cada um 1,14 m de comprimento. Um desses tubos é encurtado em 2 cm. Calcule a frequência do batimento que eles produzem quando tocam juntos em sua frequência fundamental.

R: 1,3 Hz

30. No planeta Arrakis, um pássaro macho voa no sentido da fêmea com velocidade de 25 m/s enquanto canta com uma frequência de 1200 Hz. A fêmea está em repouso e ouve um tom com frequência de 1240 Hz; qual é a velocidade do som na atmosfera do planeta Arrakis?

R: 780 m/s

31. Em um teste, um jato subsônico voa a uma altitude de 100 m. A intensidade do som no solo quando o jato passa exatamente acima de um detector é de 150 dB. A que altitude o jato precisa voar para que o ruído no solo não ultrapasse 120 dB, o limite da sensação dolorosa?
Sugestão: Ignore o tempo necessário para o som alcançar o chão.

R: 3,16 km.

32. Um avião voa a $\frac{5}{4}$ da velocidade do som. A onda de choque alcança um homem no solo exatamente $\frac{1}{4}$ minuto depois de o avião ter passado sobre sua cabeça. Qual a

altitude do avião? Considere a velocidade do som como sendo 330 m/s.

R: 8,25 km.

33. O cone das ondas de choque criado pelo ônibus espacial em um instante durante a sua reentrada na atmosfera forma um ângulo de 58 com a direção de seu movimento. A velocidade do som nessa altitude é 331 m/s.

- (a) Qual é o número de Mach do ônibus espacial neste instante?
- (b) Com que velocidade ela está se deslocando com relação à atmosfera?
- (c) Qual seria o seu número de Mach e o ângulo do cone das ondas de choque se ela viajasse na mesma velocidade, mas em altitudes baixas, onde a velocidade do som é 344 m/s?

34. Um tipo de aço possui densidade igual a $7,8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, e uma tensão de ruptura igual a $7,0 \times 10^8 \text{ N/m}^2$. Uma corda cilíndrica de uma guitarra deve ser fabricada usando-se 4 g desse aço. Qual deve ser o comprimento e o raio da corda mais grossa e da corda mais fina para suportar uma tensão de 900 N sem se romper? Qual é a frequência fundamental mais elevada que essa corda pode ter?

35. 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.

36. Um avião sobrevoa uma cidade a uma altitude de 3 km e a uma velocidade *v* igual a 1,35 vezes a velocidade do som. A temperatura do ar é de 303 K e o vento está num sentido oposto ao do avião e com velocidade de 10 m/s.

- (a) Qual é a velocidade do avião?
- (b) Para um observador no solo, qual é o tempo decorrido entre ver o avião passar sobre sua cabeça e ouvi-lo?

Sugestão: Considere que a velocidade do som no ar é dada por $\sqrt{\frac{kRT}{M}}$, onde $k = 1,40$ é uma constante, $R = 8,314 \text{ J/(mol.K)}$ é a constante universal dos gases e $M = 29 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$ é a massa molecular do ar.

R: (a) 471 m/s e (b) 5,92 s.

37. (Poli 2007) Um trem-bala move-se com velocidade de 60 m/s para leste. O apito do trem emite um som

com frequência 400 Hz. Considere a velocidade do som no referencial de repouso da atmosfera como 340 m/s.

- Determine a frequência do som do apito que uma pessoa na estação ouve ao observar o trem partir.
- Considere agora a presença de vento soprando para oeste com velocidade 10 m/s. Determine a frequência que a pessoa na estação irá detectar.
- Considere agora que o trem move-se em uma trajetória circular. Qual a frequência do som percebida por alguém no centro da circunferência descrita pelo trem?

R: (a) $f_S = 340$ Hz, (b) $f_P = 341$ Hz e (c) $f_c = 400$ Hz.

38. Dois diapasões idênticos podem oscilar a 440 Hz. Um indivíduo está localizado em algum lugar na linha entre os dois diapasões. Considerando que a velocidade do som no referencial de repouso da atmosfera é 330 m/s calcule a frequência de batimentos captada por esse indivíduo se:

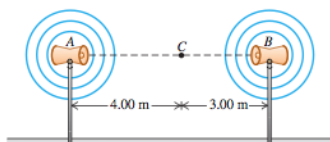
- ele permanece parado e os diapasões se movem para a direita com velocidade de 30 m/s, e
- os diapasões estiverem parados e o indivíduo se movendo para a direita com velocidade de 30 m/s.

R: (a) 80,7 Hz e (b) 80,0 Hz.

39. Um morcego voa dentro de uma caverna, orientando-se efetivamente por meio de bips ultra-sônicos (emissões curtas de alta frequência com duração de um milissegundo). Suponha que a frequência da emissão do som pelo morcego seja de 39,2 kHz. Durante uma arremetida veloz, diretamente contra a superfície plana de uma parede o morcego desloca-se a 8,58 m/s. Considerando que a velocidade do som no referencial de repouso da atmosfera é 330 m/s calcule a frequência do som, refletido pela parede, que chega aos ouvidos do pobre morcego.

R: 41,3 kHz.

40. 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 $8 \times 10^{-4}\text{W}$, e a potência de B é igual a $6 \times 10^{-5}\text{W}$. 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 .

41. (Poli 2010) Um submarino (Sub A), navegando a uma velocidade $V_A = 30$ m/s, envia um sinal de sonar (onda sonora na água) com frequência $f_A = 980$ Hz. O sinal é refletido pelo casco de um submarino inimigo (Sub B) que viaja com velocidade V_B na direção oposta (vide figura). Considere a velocidade do som na água como sendo $v_s = 1500$ m/s e despreze quaisquer efeitos de interferência.



- Se a frequência do sinal medido pelo submarino B é $f_B = 1020\text{Hz}$, qual a velocidade V_B ?
- Qual a frequência f_A^r do sinal refletido, medida pelo submarino A?

Considere que o submarino B seja dotado de um sistema de contra-medidas que (1) suprime completamente a reflexão do sinal enviado pelo Sub A, (2) altera a velocidade do submarino para $V_B' = 15\text{m/s}$, e (3) envia um outro sinal de sonar (sinal "falso") com frequência $f_B' = 1000$ Hz, com o intuito de confundir o inimigo.

- Nesse caso, qual será a frequência do sinal "falso" f_A' medida pelo Submarino A?
- Se os engenheiros do submarino A forem de fato enganados e pensarem que esse sinal é a reflexão do sinal original, que valor obterão para a velocidade (e direção) do submarino B?