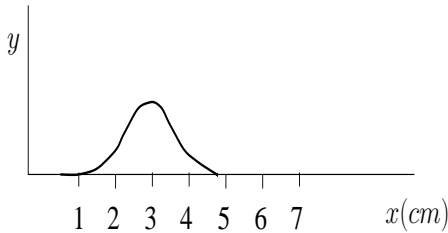
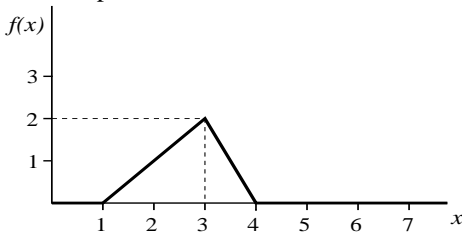


1. Admita que o pulso que aparece na corda da figura abaixo desloca-se para a direita, sem alterar a sua forma. No instante mostrado, quais segmentos da corda estão em movimento para cima? Quais estão se deslocando para baixo? Algum segmento está, instantaneamente, em repouso? Sugestão: Desenhe o pulso em dois instantes, um ligeiramente anterior e outro ligeiramente posterior ao que é mostrado na figura.



2. Sabemos que $f(x - vt)$, onde f é qualquer função, representa uma onda progressiva deslocando-se no sentido positivo de x . Para ilustrar isto, considere a função mostrada na figura abaixo. (a) Quais os valores de $f(0)$, $f(1)$, $f(2)$, $f(3)$, $f(4)$ e $f(5)$? (b) Trace $f(x - 5t)$ como função de x para $0 < x < 20$ e $t = 0$. Aqui x está em centímetros e t em segundos. (c) Repita (b) para $t = 1s$ e $t = 2s$. (d) De acordo com os seus gráficos, qual a velocidade da onda? (e) Trace $f(x - 5t)$ em função de t para $0 < t < 2s$ para $x = 10cm$.



3. Um fio de aço, com $5g$ e $1m$, é tensionado por uma força de $968N$. Calcular: (a) a velocidade de propagação das ondas transversais; (b) o comprimento de onda e a frequência do modo fundamental; (c) a frequência do terceiro harmônico; (d) escreva a função de onda que representa o terceiro harmônico, em função de uma amplitude y_0 desconhecida.

4. A função de onda de uma certa onda estacionária, numa corda fixa nas duas extremidades, é:

$$y(x, t) = 0.5 \text{sen} \left(\frac{x}{40} \right) \cos(300t)$$

onde y e x estão em centímetros e t em segundos. (a) Calcular a velocidade e a amplitude das duas ondas progressivas que produzem a onda estacionária. (b) Qual é a distância entre nós sucessivos dessa corda? (c) Desenhe a forma da onda nos instantes $t = 0, T/4, T/2, 3T/4$, onde T é o período. (d) Quando a corda está na horizontal, o que aconteceu com a energia da onda?

5. Uma corda de $5m$ de comprimento está fixa numa extremidade apenas e vibrando no seu quinto harmônico, com frequência de $400Hz$. O deslocamento máximo da posição de equilíbrio de qualquer segmento da corda é de $3cm$. (a) Qual é o

comprimento de onda? Qual o número de onda k ? (b) Qual a frequência angular? (c) Escreva a função de onda desta onda estacionária.

6. Um diapasão, acoplado a um fio metálico tensionado, vibra a $440Hz$, com amplitude de oscilação igual a $0.5mm$. O fio tem densidade linear de massa igual a $0.01kg/m$ e está submetido à tensão de $1kN$. (a) Calcular o período e a frequência das ondas no fio. (b) Qual é a velocidade das ondas? (c) Quais são o comprimento de onda e o número de onda? (d) Escrever a função de onda apropriada para as ondas no fio. (e) Calcular a velocidade máxima e a aceleração máxima de um ponto no fio. (f) Qual deve ser a taxa média de fornecimento de energia ao diapasão para mantê-lo oscilando com amplitude constante?

7. Ao remar um barco, um menino produz ondas na superfície da água de um lago anteriormente plácido. Observa, então, que o barco oscila 12 vezes em 20s, cada oscilação produzindo uma elevação máxima de $15cm$ na superfície da água. Além disso, nota que uma crista de onda qualquer alcança a margem, distante $12m$, em $6s$. Quais são: (a) o período; (b) a velocidade; (c) o comprimento de onda e (d) a amplitude da onda?

8. Uma onda progressiva numa corda é descrita por:

$$y = 2 \text{sen} \left[2\pi \left(\frac{t}{0.4} + \frac{x}{80} \right) \right]$$

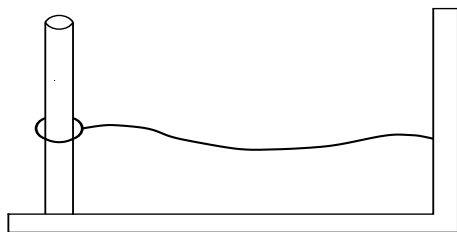
com x e y expressos em cm e t em s . (a) Para $t = 0$, trace y como função de x para $0 < x < 160cm$. (b) Repita a tarefa para $t = 0.05s$ e $t = 0.1s$. (c) Segundo seus gráficos, qual é a velocidade da onda e em que sentido ($+x$ ou $-x$) a onda está se deslocando?

9. Três ondas senoidais de mesma frequência viajam ao longo de uma corda na direção positiva do eixo x . Suas amplitudes são $y_0, y_0/2$ e $y_0/3$, e suas constantes de fase são $0, \pi/2$ e π , respectivamente. Calcule (a) a amplitude e (b) a constante de fase da onda resultante.

10. Uma onda harmônica longitudinal percorre uma mola a partir de um oscilador mecânico a ela acoplado. A frequência do oscilador é $25Hz$ e a distância entre sucessivas rarefações na mola é $24cm$. (a) Ache a velocidade da onda. (b) Se o deslocamento longitudinal máximo de um partícula da mola for $0.3cm$ e a onda se deslocar no sentido $-x$, obtenha a função da onda. Considere a fonte localizada em $x = 0$, e o deslocamento neste ponto em $t = 0$ como nulo.

11. Uma corda de violão, com densidade linear de massa igual a $7.2g/m$, está sob tensão de $150N$. Os suportes fixos distam $90cm$. A corda vibra no modo três. Calcule: (a) a velocidade, (b) o comprimento de onda, (c) a frequência das ondas cuja superposição causa esta vibração.

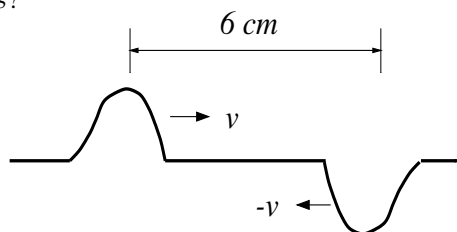
12. A extremidade de uma corda de $120cm$ é mantida fixa enquanto a outra pode deslizar sem atrito ao longo de uma haste conforme mostra a figura abaixo. Quais os três maiores comprimentos de onda possíveis nesta corda? Esboce as ondas estacionárias correspondentes.



13. Uma corda de comprimento L é suspensa verticalmente a partir do teto. Na extremidade inferior, um pulso é emitido para cima. Mostre que o tempo necessário para este atingir a extremidade superior é $2\sqrt{L/g}$.

14. Uma corda de 75cm é esticada entre suportes fixos. Ao vibrá-la, são observadas ressonâncias apenas em 420 e 315Hz . (a) Qual a frequência de ressonância mais baixa para esta corda? (b) Qual a velocidade da onda para esta corda?

15. Dois pulsos propagam-se ao longo de uma corda em sentidos opostos como na figura abaixo. Se a velocidade de cada pulso é 2m/s e eles estão separados por uma distância de 6cm , faça o desenho da configuração da interferência dos dois após 10 , 15 e 20ms . (b) O que aconteceu com a energia no instante $t = 15\text{ms}$?



16. Calcule a velocidade das ondas sonoras no hélio a $T = 300\text{K}$ (tomando $M/n = 4\text{g/mol}$ e $\gamma = 1.67$).

17. O ouvido humano é sensível a frequências de som no domínio de 20 até 20.000Hz . (a) Quais são os comprimentos de onda, no ar, correspondentes a estas frequências? (b) E na água?

18. Os tubos mais curtos usados em órgãos têm cerca de 7.5cm de comprimento. (a) Qual é a frequência fundamental de um tubo com este comprimento, se for aberto nas duas extremidades? (b) Qual é o harmônico mais alto dentro do domínio de audição (veja o exercício anterior)?

19. Qual o nível de intensidade, em decibéis, de uma onda sonora com intensidade igual a (a) 10^{-10}W/m^2 e (b) 10^{-2}W/m^2 ?

20. Qual a fração da potência acústica de um ruído, que deveria ser eliminada para que o nível da intensidade sonora fosse reduzido de 90 para 70dB ?

21. Uma regra prática para se calcular a distância de queda de um raio, é contar os segundos desde quando se percebe o raio até se ouvir o trovão. Este tempo, em segundos, é dividido por 3 para se ter, então, a distância em quilômetros. (a) Por que esta regra se justifica? (b) Tem importância a correção do tempo necessário para a luz atingir o observador? (A velocidade da luz é cerca de $3 \times 10^8\text{m/s}$.)

22. Um método para medir a velocidade do som usando um relógio comum (com um mostrador de segundos) é ficar a uma certa distância de uma parede bem grande e bater palmas ritmicamente, de modo que o eco do som seja ouvido intermediando

cada duas palmas sucessivas. (a) Mostrar que a velocidade do som é dada por $v = 4LN$, onde L é a distância à parede e N é o número de palmas por unidade de tempo. (b) Qual o valor razoável para L a fim de que esta experiência seja factível? Note que a resolução temporal de nosso ouvido é de aproximadamente $1/20\text{s}$. Se você tiver acesso a uma parede plana externa, experimente o método e compare o resultado com o valor padrão.

23. Três fontes de ruído produzem níveis de intensidade de 70 , 73 e 80dB numa certa posição do espaço, quando emitem isoladamente. Não há interferência entre as amplitudes das diferentes fontes em virtude de que as diferenças de fase relativas modificam-se ao acaso. (a) Calcule o nível de intensidade sonora em decibéis quando as três fontes atuam simultaneamente. (b) Discuta a utilidade de eliminar as duas fontes menos intensas, a fim de reduzir a intensidade do ruído.

24. Duas ondas, que se deslocam no mesmo sentido ao longo de uma corda, têm a mesma frequência de 100Hz , comprimento de onda de 2cm e amplitude igual a 0.02m . As duas mantêm uma diferença de fase entre si de 60° com o decorrer do tempo. Qual a amplitude da onda resultante?

25. Dois alto-falantes são separados por uma distância de 6m e um ouvinte senta-se diretamente na frente de um deles, a 8m de distância, de modo que os dois alto-falantes e o ouvinte formam um triângulo retângulo. Calcule as duas frequências mais baixas para as quais a diferença de caminho é um número ímpar de meios comprimentos de onda.

26. Dois alto-falantes são excitados em fase por um amplificador de áudio na frequência de 600Hz . A velocidade do som é 340m/s . Use um sistema de coordenadas em que os alto-falantes estão sobre o eixo y , um em $y = +1\text{m}$ e o outro em $y = -1\text{m}$. Um ouvinte principia em $y = 0$ e desloca-se ao longo de uma reta paralela ao eixo y , a uma distância muito grande x . (a) Mostre que $\Delta L = 2 \sin \theta$ quando x é muito grande. (b) Sob que ângulo θ (entre a reta que passa pela origem do sistema de coordenadas e pelo ouvinte, e o eixo x), o ouvinte ouvirá pela primeira vez um som com intensidade mínima? (c) Sob que ângulo ouvirá o primeiro máximo (depois de $\theta = 0$)? (d) Quantos máximos o ouvinte poderá possivelmente ouvir se mantiver se deslocando na mesma direção e sentido?

27. Quando uma das cordas de um violino vibra solta (isto é, sem ser pressionada com o braço do instrumento), ao mesmo tempo que um diapasão de 440Hz , ouvem-se três batimentos por segundo. Quando a tensão da corda aumenta ligeiramente, a frequência de batimentos diminui. Qual é a frequência inicial da corda do violino?

28. Dois diapasões são excitados simultaneamente, e ouvem-se quatro batimentos por segundo. A frequência de um deles é 500Hz . (a) Quais são os valores possíveis para a frequência do outro diapasão? (b) Cola-se um pequeno pedaço de cera num desses diapasões, a fim de baixar ligeiramente a sua frequência de emissão. Explique como a medição da nova frequência de batimentos pode ser usada para determinar qual das respostas da parte (a) é a correta.

29. Um radar de vigilância de tráfego irradia microondas de 2GHz . Quando as ondas são refletidas por um carro em movimento na direção do radar, a frequência de batimento detectada

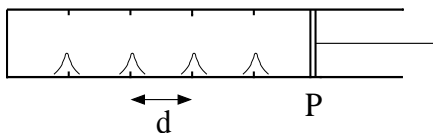
é de 293 batimentos por segundo. a) Calcule a velocidade do carro. b) Calcule a velocidade do carro usando as equações não relativísticas do efeito Doppler e compare com o ítem anterior.

30. (a) Um alto-falante cônico tem um diâmetro de 15cm . Em que frequência o comprimento de onda do som que emite, no ar, será igual ao seu diâmetro? Será dez vezes o seu diâmetro? Será um décimo do seu diâmetro? (b) Refaça os cálculos para um alto-falante de 30cm de diâmetro. (Observação: se o comprimento de onda for grande em comparação com o diâmetro do alto-falante, as ondas sonoras se espalharão quase que uniformemente, em todas as direções; mas quando o comprimento de onda for pequeno em comparação com o diâmetro do alto-falante, a energia da onda será propagada, em sua maior parte, nas direções frontais).

31. Duas ondas sonoras, de duas fontes diferentes mas com a mesma frequência de 550Hz , propagam-se com velocidade de 330m/s . Qual é a diferença de fase destas ondas num ponto distante 4.4m de uma delas e 4m da outra, se as fontes emitem em fase? As ondas se propagam na mesma direção.

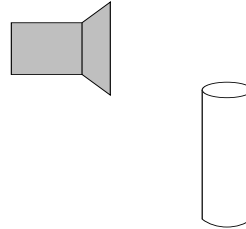
32. Um determinado alto-falante (suponha como sendo uma fonte puntual) emite uma potência sonora de 30W . Um pequeno microfone, cuja área da secção transversal efetiva é igual a 0.75cm^2 , está localizado a 200m do alto-falante. Calcule a intensidade do som no microfone e a potência incidente no microfone.

33. Um tubo de vidro, com pó de cortiça espalhado no interior, possui um pistão móvel na extremidade. Provocamos vibrações longitudinais e alteramos a posição do pistão até que o pó de cortiça forme um padrão de nodos e antinodos (o pó forma montículos bem definidos nos nodos de pressão). Se conhecemos a frequência f das vibrações longitudinais do bastão e a medida da distância média d entre dois antinodos sucessivos, podemos determinar a velocidade do som v no gás do tubo. Mostre que ela é dada por $v = 2fd$. Este procedimento constitui o Método de Kundt para determinar a velocidade do som em gases.



34. Na figura abaixo temos um pequeno alto-falante e um tubo

metálico cilíndrico de 45cm de comprimento, aberto em ambas as extremidades. (a) Se a velocidade do som no ar é de 333m/s à temperatura ambiente, para que frequência(s) haverá ressonância quando a frequência emitida pelo alto-falante variar entre 1000 e 2000Hz ? (b) Faça um esquema dos nodos de deslocamento de cada uma. Despreze os efeitos das extremidades.



35. Uma corda de violino de 30cm , com densidade linear de 0.65g/m , é colocada próximo a um alto-falante alimentado por um oscilador de áudio de frequência variável. Verificamos que quando a frequência do oscilador varia continuamente numa faixa de 500 a 1500Hz , a corda oscila apenas nas frequências de 880 e 1320Hz . Qual a tensão da corda?

36. Uma pessoa num carro sopra um apito (soando a 440Hz). O carro está se movendo em direção a uma parede com 20m/s . Calcule: (a) a frequência do som recebido na parede; (b) a frequência do som, refletido pela parede, ao retornar à fonte.

37. Um morcego voa dentro de uma caverna, orientando-se mediante a utilização de *bips* ultra-sônicos (emissões curtas de duração um milissegundo ou menos, repetidas diversas vezes por segundo). Suponha que a emissão da frequência do som do morcego seja 39000Hz . Durante uma arremetida veloz diretamente contra a superfície plana de uma parede, o morcego desloca-se a $1/40$ da velocidade do som no ar. Calcule a frequência em que o morcego ouve a onda refletida pela parede.

38. Planando dentro de um poço do inferno, um diabo observa um estudante despencar no poço com velocidade terminal (portanto constante). Ele escuta a frequência dos gritos da pessoa mudar de 842 para 800Hz , quando esta passa por ele. (a) Calcular a velocidade da queda. (b) O grito gera batimentos quando superposto ao eco proveniente do fundo do poço. Calcular o número de batimentos por segundo que a própria pessoa ouve durante a queda. (c) Calcular o número de batimentos por segundo ouvidos pelo diabo depois que o estudante passar por ele.

RESPOSTAS: **1.** - **2.** - **3.** a) 440m/s b) 2m , 220Hz c) 660Hz d) $y = 2y_0 \sin(3\pi x) \cos(1320\pi t)$ **4.** a) 120m/s , 0.25cm b) 1.25m **5.** a) 4m , $0.5\pi\text{m}^{-1}$ b) $800\pi\text{rad/s}$ c) $y = 0.03 \sin(0.5\pi x) \cos(800\pi t)$ **6.** a) $2.27 \times 10^{-3}\text{s}$, 440Hz b) 316.2m/s c) 0.719m , 8.74m^{-1} d) $y = 0.510^{-3} \sin(8.74x - 880\pi t)$ e) 1.382m/s , 3820m/s^2 f) 3.02W **7.** a) 1.67s b) 2m/s c) 3.33m d) 15cm **8.** - **9.** a) $5y_0/6$ b) 37° **10.** a) 6m/s b) $0.3 \sin(\pi x/12 + 50\pi t)$ **11.** a) 144.3m/s b) 60cm c) 240.5Hz **12.** 4.8m , 1.6m , 0.96m **13.** - **14.** a) 105Hz b) 157.5m/s **15.** - **16.** 1019m/s **17.** a) 17m , 17mm b) 70.7m , 0.07m **18.** a) 2267Hz b) 8 **19.** a) 20dB b) 100dB **20.** 100 **21.** - **22.** - **23.** a) 81.1dB **24.** 3.46cm **25.** 85Hz , 255Hz **26.** b) 0.14rad c) 0.28rad d) 3 **27.** 437Hz **28.** a) 496Hz , 504Hz **29.** 22m/s **30.** a) 2267Hz b) 1133Hz **31.** $4\pi/3$ **32.** a) $5.97 \times 10^{-5}\text{W/m}^2$ b) $4.48 \times 10^{-9}\text{W}$ **33.** - **34.** - **35.** 45.3N **36.** a) 467.5Hz b) 495Hz **37.** 41000Hz **38.** a) 8.7m/s b) 43Hz c) 42Hz