



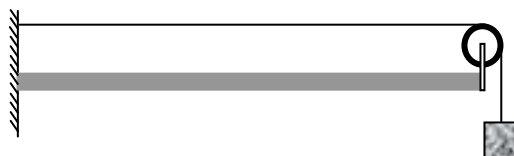
Mecânica e Campo Electromagnético

Problemas

Capítulo 4 – Fenómenos ondulatórios e óptica

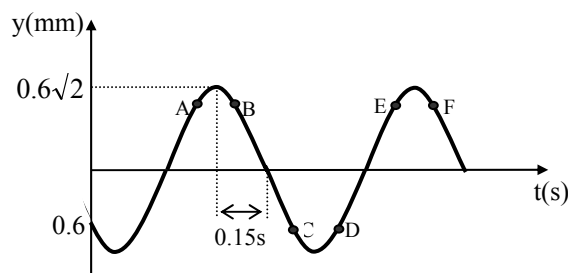
2007-08

1. A tensão numa corda provém de um corpo de 3 kg, pendurado numa das extremidades, como se vê no esquema. A densidade linear da corda é $0,02 \text{ kg m}^{-1}$. Qual é a velocidade das ondas nesta corda?



- *2.* Uma corda de piano tem 0,70 m de comprimento e 5,0 g de massa. A tracção na corda tem o valor de 500 N.
 - a) Qual é a velocidade das ondas transversais na corda?
 - b) Para reduzir a metade a velocidade da onda sem alterar a tracção, qual a massa de fio de cobre que deveria ser enrolada em torno do fio de aço?
3. Um fio de aço, com 7,0 m de comprimento, tem a massa de 100 g. O fio está sob tensão de 900 N. Qual é a velocidade de um impulso ondulatório transversal neste fio?
4.
 - a) A nota dó, na escala central do piano, tem a frequência de 262 Hz. Sabendo que a velocidade do som no ar é de 340 m s^{-1} , calcule o comprimento de onda desta nota.
 - b) A frequência do dó, uma oitava acima deste, é igual ao dobro da frequência do dó central. Qual é o comprimento de onda no ar, desta outra nota?
5. O ouvido é sensível às frequências do som na zona que vai de 20 até 20000 Hz.
 - a) Quais os comprimentos de onda, no ar, correspondentes a estas frequências?
 - b) Quais os comprimentos de onda na água?
(Nota: A velocidade do som na água é 1500 m s^{-1}).
6. A equação $v = \frac{\lambda}{T}$ aplica-se a qualquer tipo de onda, inclusive às ondas luminosas no vazio, que se propagam a $3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$. O domínio de comprimentos de onda da luz, para o qual o olho humano é sensível, situa-se entre 4×10^{-7} e $7 \times 10^{-7} \text{ m}$. Quais são as frequências correspondentes a estas ondas luminosas?
- *7.* A função $y(x,t) = 10^{-3} \sin(62,8x + 314t)$ caracteriza uma onda a propagar-se numa corda, onde y e x estão expressos em metro e t em segundo.
 - a) Em que direcção se desloca esta onda e com que velocidade?
 - b) Calcule o comprimento de onda, a frequência e o período desta onda.
 - c) Qual é o deslocamento máximo de qualquer segmento da corda?

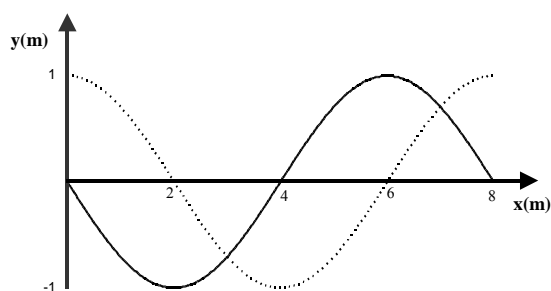
8. É possível ouvir um comboio a aproximar-se colocando o ouvido sobre os carris. Sabendo que $\rho_{aço} = 7,8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ e $E = 2,0 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$, determine o tempo que a onda demora a propagar-se nos carris, supondo que o comboio se encontra afastado de 1 km.
- *9.* Um movimento vibratório simples propaga-se ao longo de uma corda com uma extremidade fixa. Um ponto da corda, situado a 50 cm da extremidade livre, começa a vibrar no sentido positivo 5,0 segundos depois de esta ter entrado em vibração (instante inicial), atingindo a elongação máxima, igual a 20 cm, 2,0 segundos mais tarde.
Qual é, neste instante, a elongação de um ponto da corda situado a 60 cm da referida extremidade?
- *10.* A figura seguinte representa os vários estados de vibração de uma dada partícula (na origem). Este movimento de vibratório propaga-se ao longo de uma corda, com velocidade de 1,0 m/s.
- Escreva a equação da elongação da referida partícula.
 - Escreva a equação da elongação para qualquer partícula da corda.
 - Dos pontos representados na figura, indique:
 - Dois que correspondam a uma mesma fase de vibração.
 - Dois que correspondam a fases opostas de vibração.



11. A velocidade de propagação do movimento ondulatório transversal ao longo de uma corda é igual a 20 m.s^{-1} . No instante $t = 0$, uma extremidade da corda inicia um movimento vibratório sinusoidal com amplitude 1 cm e frequência 10 Hz (Durante o primeiro meio período, a elongação supõe-se positiva).
- Calcule o comprimento de onda.
 - Qual a forma da corda no instante $t = 0,2 \text{ s}$?
 - Qual a posição dos pontos para os quais a equação da elongação pode ser escrita por $y(x,t) = 1,0 \text{ sen}[2\pi(0,5 - 10t)]\text{cm}$?
12. Uma onda transversal, cuja função é $y(x,t) = 0,48 \text{ sen}(5,6x + 84t)$, propaga-se numa corda (x em metro e t em segundo). Determine:
- O comprimento de onda.
 - A frequência.
 - A velocidade (intensidade e sentido).

13. Uma fonte de vibração está na extremidade de uma corda esticada cujo deslocamento é dado pela equação $y(t) = 0,1 \text{ sen}(6t)$, onde y está em metro e t em segundo. A tensão na corda é de 4 N e a massa por unidade de comprimento é de 10^{-2} kgm^{-1} . Considere uma onda que se desloca no sentido positivo de x .
- Qual é a velocidade da onda na corda?
 - Qual é a frequência da onda?
 - Qual é o comprimento de onda?
 - Qual é a equação do deslocamento no ponto a 1 m da fonte? E a 3 m?
 - Faça um gráfico de y em função do tempo no ponto $x = 3 \text{ m}$.
 - Faça um gráfico de y em função de x no instante $t = \pi/12 \text{ s}$.

- *14.* A figura representa uma onda a propagar-se numa corda ao longo do eixo dos xx . A curva a cheio representa a forma da corda no instante $t_1=0.3\text{s}$ e a curva a pontilhado representa a forma da mesma corda no instante $t_2=0.5\text{s}$.
- Qual é o comprimento de onda?
 - Qual é o período?
 - Determine a velocidade de propagação da onda.
 - Determine a fase inicial e a função de onda.



15. Duas ondas que se deslocam numa corda no mesmo sentido têm a frequência de 100 Hz comprimento de onda de 2 cm e amplitude de 0,02 cm. As duas têm uma diferença de fase de 60° . Qual a amplitude da onda resultante?
16. Duas fontes sonoras oscilam em fase com a mesma amplitude. As duas fontes estão separadas no espaço por $\lambda/3$. Qual é a amplitude da onda resultante das duas fontes num ponto sobre a recta que passa pelas duas fontes se a amplitude devida a cada fonte separadamente é A ? (Admita que o ponto não está entre as fontes).

- 17.** Dois altifalantes estão separados por uma distância de 6 m. Um ouvinte senta-se directamente em frente de um deles a 8 m de distância de tal modo que os dois altifalantes e o ouvinte formam um triângulo rectângulo. Calcule as duas frequências mais baixas para as quais a diferença de caminho é um número ímpar de meios comprimentos de ondas. Porque é que estas frequências podem ser ouvidas mesmo se os altifalantes forem excitados em fase pelo mesmo amplificador? (Use $v=340\text{ m/s}$ para a velocidade do som).
- 18.** A nota dó na escala temperada usada pelos modernos fabricantes de instrumentos tem a frequência 261,63 Hz. Se esta for a frequência fundamental de uma corda de piano de 7,0 g e 80 cm de comprimento qual deverá ser a tensão aplicada à corda ?
- *19.*** Uma corda de 3,0 m de comprimento está fixa pelas duas extremidades. A corda ressoa no segundo harmónico com a frequência de 60 Hz. Qual é a velocidade das ondas transversais na corda?
- 20.** Uma corda de 3,0 m de comprimento está fixa nas duas extremidades e vibrando no seu terceiro harmónico. O deslocamento máximo de qualquer ponto da corda é 4 mm. A velocidade das ondas transversais nesta corda é 50 m/s.
a) Quais são o comprimento de onda e a frequência da onda?
b) Escreva a função de onda.
- *21.*** A função de onda estacionária numa corda fixa nas duas extremidade é dada por $y(x,t) = 0,5 \sin(0,025x) \cos(500t)$, onde y e x estão em cm e t em s.
a) Calcule a velocidade e a amplitude das duas ondas progressivas que provocam a onda estacionária.
b) Qual a distância entre os nós sucessivos na corda?
c) Qual é o menor comprimento possível da corda?
- 22.** Uma corda de 160 g e 4,0 m de comprimento está fixa numa extremidade e presa a um fio fino na outra. A tracção aplicada é de 400 N.
a) Quais são os comprimentos de onda da fundamental e dos dois primeiros harmónicos?
b) Quais são as frequências destas ondas estacionárias?
- 23.** Uma corda de 5,0 m de comprimento está fixa numa extremidade apenas e vibrando no seu quinto harmónico com a frequência de 400 Hz. O deslocamento máximo de qualquer segmento da corda é 3 cm.
a) Qual é o comprimento de onda desta ondas?
b) Qual o número de onda, k ?
c) Qual a frequência angular?
d) Escreva a função de onda desta onda estacionária.
- *24.*** Um diapasão emite sons de frequência 200 Hz afasta-se de um observador em repouso com uma velocidade de 50 km/h em direcção a uma parede que reflecte as ondas sonoras. Determine a frequência medida pelo observador em relação às ondas sonoras:
a) provenientes directamente do diapasão.
b) que chegam ao observador depois de serem reflectidas na parede.

25. Uma fonte emitindo sons de frequência 200 Hz desloca-se a 80 m/s em relação ao ar no sentido de um ouvinte estacionário.
- Calcule o comprimento de onda do som entre a fonte e o ouvinte.
 - Calcule a frequência recebida pelo ouvinte.
 - Resolva as duas alíneas anteriores supondo agora que a fonte se está a afastar do ouvinte a 80 m/s.
26. Sabe-se que as baleias são capazes de comunicar entre si a grandes distâncias. A velocidade máxima de deslocação das baleias é 8 m/s e a velocidade do som na água do mar é 1400m/s. Se uma das baleias (fonte) emitir um som de frequência 100Hz quais serão as frequências extremas (máxima e mínima) detectadas pelas outras baleias?
27. Um observador parado à beira duma estrada detecta o som do motor proveniente de um automóvel que se aproxima dele. Depois de passar pelo observador, o automóvel afasta-se e a frequência do som que o observador passa a detectar é $\frac{7}{8}$ da frequência anterior. O som propaga-se no ar com velocidade de 340m/s.
- Calcule a velocidade do carro.
28. Um golfinho A parado detecta sons provenientes de outro golfinho B que se afasta do primeiro com uma velocidade $v_b = 30$ m/s emitindo sons de frequência $f = 100$ Hz. Este último (golfinho B), nada ao encontro de um cardume de peixes que se aproxima dele com uma velocidade $v_c = 10$ m/s. Sabendo que a velocidade do som na água do mar é 1400m/s, determine a frequência dos sons detectada pelo golfinho A parado nos seguintes casos:
- Os sons provêm directamente do golfinho B em movimento.
 - Os sons são detectados após terem sido reflectidos pelo cardume de peixes
29. Mostre que se o comprimento de uma onda electromagnética for dado em nanometro a energia do fóton em electrão-volt é dada por $E \approx 1240/\lambda$.
30. Luz de uma certa cor tem uma frequência de $6 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$. Qual é a sua velocidade e comprimento de onda no vazio? E num vidro de $n = 1,5$?
31. Calcule a velocidade de propagação e o comprimento de onda da luz amarela num vidro de índice de refração 1,52, sabendo que $\lambda = 5890 \text{ \AA}$ no vácuo.
32. O índice de refração de um dado material depende da frequência da radiação incidente (dispersão). No caso do vidro, o seu índice de refração para a luz amarela é 1,51 e para a luz azul é 1,54. Se o ângulo de incidência do feixe amarelo e do feixe azul sobre a superfície do vidro for 60° , calcule o ângulo de refração para cada um dos feixes.
33. Um raio de luz que faz um ângulo de 30° com a normal à superfície entra numa placa de vidro de faces paralelas com 4 cm de espessura e índice de refração 1,50. Calcule a distância que o raio percorre no vidro antes de sair da placa. Qual o ângulo que o raio emergente faz com a normal?

34. De quantos centímetros parece aproximar-se um objecto quando observado perpendicularmente através de um vidro de janela de espessura igual a 3 mm e de índice de refração $\frac{3}{2}$?
- *35.* Uma fonte de luz está colocada 10 cm abaixo de uma superfície de separação entre a água e o ar. Determine os ângulos de refração para os raios incidentes que fazem ângulos de 10° , 30° e 40° com a normal à superfície. Calcule o ângulo crítico.
36. O índice de refração da água é de 1,33. Qual é o seu ângulo crítico de reflexão interna total?
37. O ângulo crítico da reflexão interna total no diamante é cerca de 24° . Qual o índice de refração do diamante?
- *38.* Um espelho plano de 10 cm de altura, colocado verticalmente a 25 cm de um observador, fica completamente cheio pela imagem de um edifício colocado a 100 m do espelho. Calcule a altura do edifício.
39. Um edifício de 60 m de altura está a 300 m de um espelho esférico côncavo de raio de curvatura de 1 m. Determine a localização da imagem e o seu tamanho.
40. Um espelho esférico côncavo tem uma distância focal de 10 cm. Onde deve ser colocado um objecto de modo que o tamanho da imagem formada seja metade da do objecto?
41. Um homem para se barbear encontra-se a 45 cm de um espelho esférico côncavo. Se a ampliação desejada for 3, qual deverá ser o raio de curvatura do espelho? Qual é a natureza da imagem?
- *42.* A que distância de um espelho esférico côncavo de distância focal de 30 cm deve ser colocado um objecto de modo a obter-se:
 a) uma imagem real;
 b) uma imagem virtual.
 Ambas as imagens têm uma ampliação de 2.
43. Um objecto com 5 cm de altura está colocado a 20 cm de um espelho esférico resultando uma imagem virtual de 10 cm de altura. Determine a distância focal do espelho e a posição da imagem. Que tipo de espelho se trata?
- *44.* Um objecto, de 2 cm de altura, está a 10 cm de um espelho esférico convexo que tem um raio de curvatura de 10 cm. Localize a imagem e calcule a sua altura.
45. Que tipo de espelho esférico deve ser usado, e qual deve ser o seu raio, para fornecer uma imagem direita de $\frac{1}{5}$ do tamanho de um objecto colocado a 15 cm do espelho?
46. A 40 cm em frente de um espelho esférico côncavo e normalmente ao seu eixo, encontra-se um espelho plano. A meia distância entre os dois espelhos encontra-se um objecto. Determine o raio de curvatura do espelho esférico, sabendo que

se forma no plano do objecto a sua imagem, dada por duas reflexões, sendo a primeira no espelho esférico.

- *47.*** Dois espelhos esféricos côncavos têm as suas superfícies reflectoras frente a frente e estão colocados de modo a que os seus eixos coincidam. A distância que os separa é 1,20 m e o raio de curvatura de qualquer deles é 1 m. Supondo um objecto localizado a meia distância dos dois espelhos, determine a posição, natureza e ampliação linear da imagem, que se forma após duas reflexões.
- 48.** Um tanque cheio de água ($n = 4/3$) tem dois metros de profundidade.
- Qual a profundidade aparente do tanque para um observador que recebe raios centrais?
 - Se um peixe parece estar 1 m abaixo da superfície da água a que profundidade se encontra realmente?
- *49.*** Um objecto de 1 cm de altura está colocado a uma distância de 0,80 m de uma lente biconvexa de distância focal de 0,2 m. Calcule a posição e o tamanho da imagem formada.
- 50.** Um écran está colocado a uma distância de 1m de uma lente convergente de distância focal 0,25 m. Calcule a posição e o tamanho do objecto se a imagem formada no écran tiver 4 cm de altura.
- 51.** Duas lentes biconvexas, cada uma com uma distância focal de +20 cm estão separadas de uma distância de 30 cm. Um objecto com 4 cm de altura é colocado em frente a uma delas, a uma distância de 50 cm. Calcule a posição e natureza da imagem.
- 52.** Considere um objecto com 4 cm de altura colocado a uma distância de 30 cm de uma lente convexa de distância focal de 20 cm. No outro lado da lente está colocado, a 100 cm desta, um espelho de distância focal de +30 cm. Calcule a posição, natureza e tamanho da imagem formada após reflexão no espelho.
- 53.** Determine a distância focal de uma lente biconvexa feita de um vidro de índice de refração 1,5 quando usada no ar. O raio de curvatura das superfícies são 10 cm e 15 cm respectivamente.
- *54.*** Uma lente convergente com 5 dioptrias forma, sobre um alvo a 40 cm da lente, uma imagem nítida de um objecto rectilíneo colocado perpendicularmente ao eixo. Para obter no alvo uma imagem três vezes maior que a anterior coloca-se a 30cm da lente convergente e centrada no mesmo eixo, uma lente divergente. Determine a distância focal desta e o deslocamento a dar ao alvo.
- 55** Uma máquina fotográfica produz uma imagem clara de uma paisagem distante, quando as lentes estão a 8 cm do filme. Que ajuste é necessário para obter uma boa fotografia de um mapa que dista 72 cm da objectiva?
- 56** Uma pessoa míope não pode ver distintamente objectos situados além de 80 cm dos seus olhos. Qual é a convergência, em dioptrias, das lentes dos seus óculos necessária para que esta pessoa possa ver claramente objectos muito distantes?

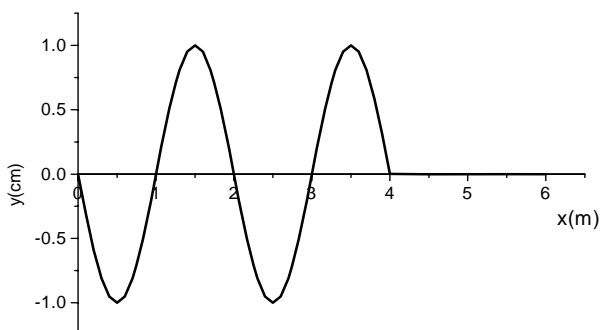
- 57** A distância focal da ocular de um microscópio é de 2,5cm, a da objectiva 1,5cm e a distância entre as duas lentes é de 20cm. Para uma visão cómoda pretende-se que a imagem final de um dado objecto se forme no infinito. Determine:
- A distância a que o objecto se encontra da objectiva.
 - A ampliação linear da objectiva?
- 58** As distâncias focais da objectiva e da ocular divergente de um pequeno óculo são 10 cm e 2 cm, respectivamente.
- Determine a posição da imagem dada pelo óculo de um objecto muito distante sabendo que a distância entre a ocular e a objectiva é 7,4 cm.
 - Trace o diagrama de raios.
- *59.*** Duas fontes sonoras excitadas em fase por um mesmo amplificador estão sobre o eixo dos yy , separadas por 2 m. Num ponto a grande distância das fontes percebe-se uma interferência construtiva sob o ângulo $\theta_1 = 8^\circ$ e a seguinte sob o ângulo $\theta_2 = 16^\circ 10'$ em relação ao eixo dos xx . Considerando a velocidade do som igual a 340 m/s:
- Qual é o comprimento de onda das ondas acústicas proveniente das duas fontes?
 - Qual é a frequência das fontes?
 - Sob que outros ângulos se percebe interferência construtiva?
 - Qual é o menor ângulo para o qual as ondas se cancelam mutuamente?
- 60.** Considere a experiência de Young. A separação entre duas fendas é de 3,3mm e utiliza-se uma luz monocromática de comprimento de onda $\lambda = 0,55\mu\text{m}$. Determine a separação entre as franjas de interferência, sabendo que a distância das fendas ao alvo é de 3,0m.
- *61.*** Duas fendas estreitas são iluminadas pela luz amarela do Sódio ($\lambda = 589\text{nm}$). A 1m de distância formam-se riscas num écran espaçadas de 1,0cm.
- Qual a distância entre as duas fendas?
 - Qual o espaçamento entre as riscas formadas no écran se as mesmas fendas forem iluminadas com luz vermelha de comprimento de onda $\lambda = 650\text{nm}$?
- 62.** Uma fenda com 400nm de largura é iluminada com luz de 400nm de comprimento de onda; o padrão resultante da difracção projecta-se num alvo.
- Qual a posição angular do primeiro mínimo de difracção?
 - Repita a alínea a) supondo uma fenda dez vezes mais larga, 4000nm.
 - Como poderá ser obtido um padrão de difracção igual ao da alínea a) se a largura da fenda for de 4000nm.
- 63.** Um feixe colimado de microondas incide num alvo metálico com uma fenda horizontal de 20cm de largura. Um detector, movendo-se paralelamente ao alvo, detecta o primeiro mínimo de intensidade segundo um ângulo de 36.87° acima do eixo central. Determine o comprimento de onda da radiação.

- 64.** A distância entre os planos atômicos adjacentes na calcite (mineral CaCO_3) é de $3,0 \times 10^{-8} \text{ cm}$. Se um feixe de raios X de $\lambda = 0,30 \text{ \AA}$ incidir sobre o cristal, qual o ângulo mínimo em relação aos planos do cristal para o qual existe interferência construtiva?
- 65.** Luz monocromática proveniente de um laser hélio-néon ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$) incide perpendicularmente num CD. A sua superfície funciona como uma rede de difracção contendo 6000 linhas por centímetro. Determine os ângulos para os quais máximos de interferência de 1ª ordem, de 2ª ordem e de 3ª ordem são observados.

Soluções

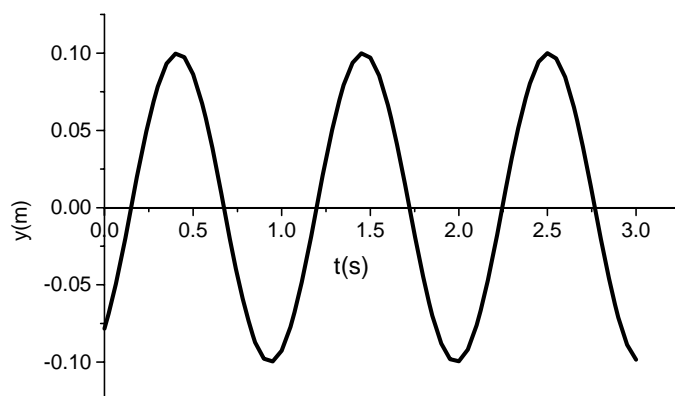
1. $v = 38 \text{ m.s}^{-1}$.
2. **a)** $v = 2,6 \times 10^2 \text{ ms}^{-1}$; **b)** $m = 15 \text{ g}$.
3. $v = 2,5 \times 10^2 \text{ ms}^{-1}$.
4. **a)** $\lambda = 1,30 \text{ m}$; **b)** $\lambda' = 0,649 \text{ m}$.
5. **a)** $\lambda_{20} = 17 \text{ m}$; $\lambda_{20\,000} = 0,017 \text{ m}$; **b)** $\lambda_{\text{água}} = 75 \text{ m}$; $\lambda'_{\text{água}} = 0,075 \text{ m}$.
6. $f = 7,5 \times 10^{14} \text{ Hz}$; $f' = 4,29 \times 10^{14} \text{ Hz}$.
7. **a)** $v = -5,00 \text{ ms}^{-1}$; **b)** $\lambda = 0,100 \text{ m}$; $f = 50,0 \text{ Hz}$; $T = 0,02 \text{ s}$; **c)** $y_{\text{máx}} = x \times 10^{-3} \text{ m}$.
8. $t = 0,2 \text{ s}$.
9. $y(60, 7) \approx +14,1 \text{ cm}$.
10. **a)** $y(t) = 0,6\sqrt{2} \times 10^{-3} \cos\left(\frac{\pi t}{0,3} + \frac{3\pi}{4}\right) \text{ m}$.
b) $y(x, t) = 0,6\sqrt{2} \times 10^{-3} \text{ sen}\left[2\pi\left(\frac{x}{0,6} - \frac{t}{0,6}\right) + \frac{7\pi}{4}\right] \text{ m}$.
c) 1 - B e F ou A e E; 2 - B e D ou A e C ou D e F ou C e E
11. **a)** $2,0 \text{ m}$.

b)

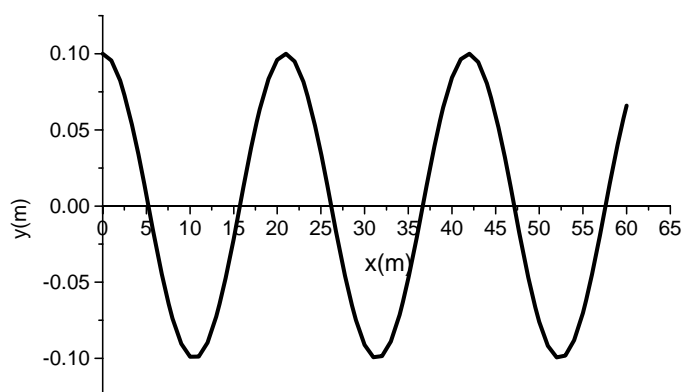


- c)** $x = n\lambda$, com $n \geq 0$.
12. **a)** $\lambda = 1,12 \text{ m}$; **b)** $f = 13,4 \text{ Hz}$; **c)** $v \approx 15 \text{ ms}^{-1}$; sentido negativo do eixo dos xx' .
 13. **a)** 20 m/s ; **b)** $f = 3/\pi \text{ s}^{-1}$; **c)** $\lambda = 20,9 \text{ m}$;
d) $y(1, t) = 0,1 \text{ sen}(0,3 - 6t + \pi)(\text{m})$; $y(3, t) = 0,1 \text{ sen}(0,9 - 6t + \pi)(\text{m})$.

e)



f)



14. **a)** $\lambda = 8 \text{ m}$; **b)** $T = 0.8 \text{ s}$; **c)** $v = 10 \text{ m/s}$ **d)** $y(x, t) = \text{sen}[2\pi(x/8 - t/0.8) + 7\pi/4]$.
15. $A = 0,035 \text{ cm}$.
16. $A' = A$.
17. $f = 85,0 \text{ Hz}$; $f = 255,0 \text{ Hz}$; Porque são as frequências correspondentes ao máximo da amplitude (ou energia sonora).
18. $T = 1,53 \times 10^3 \text{ N}$
19. $v = 1,8 \times 10^2 \text{ m/s}$
20. **a)** $\lambda = 2,0 \text{ m}$; $f = 25 \text{ Hz}$; **b)** $y = 4 \times 10^{-3} \text{ sen}(\pi x) \cos(50\pi t) \text{ (m)}$.
21. **a)** $v = 200 \text{ m/s}$; $A = 0,25 \text{ cm}$; **b)** distância entre nós = $1,26 \text{ m}$;
c) Menor comprimento = $1,26 \text{ m}$.
22. **a)** Comprimentos de onda: Fundamental 16 m ; 3º Harmónico $5,3 \text{ m}$; 5º Harmónico $3,2 \text{ m}$.
b) Frequência: Fundamental $6,25 \text{ Hz}$; 3º Harmónico $18,75 \text{ Hz}$; 5º Harmónico $31,25 \text{ Hz}$.
23. **a)** $\lambda = 4,0 \text{ m}$; **b)** $k = 1,57 \text{ m}^{-1}$ **c)** $\omega = 800\pi \text{ rad/s}$ **d)** $y = 0,03 \text{ sen}(\pi x/2) \cos(800\pi t)$.
24. **a)** $f = 192 \text{ Hz}$; **b)** $f = 209 \text{ Hz}$

25. **a)** $\lambda = 1,3\text{m}$; **b)** $f = 261,5\text{ Hz}$; **c)** $\lambda = 2,1\text{m}$; $f = 161,9\text{ Hz}$
26. $f_{\text{máx}} = 101\text{ Hz}$; $f_{\text{min}} = 99\text{ Hz}$
27. $v = 22.7\text{ m/s}$
28. **a)** $f = 98\text{ Hz}$; **b)** $f = 104\text{ Hz}$
30. $v = c = 3 \times 10^8\text{ m.s}^{-1}$; $\lambda_0 = 5000\text{ Å}$; $v = 2 \times 10^8\text{ m.s}^{-1}$; $\lambda = 3333,3\text{ Å}$.
31. $v = 1,97 \times 10^8\text{ m.s}^{-1}$; $\lambda = 3875\text{ Å}$.
32. $\theta_{\text{amarelo}} = 35,0^\circ$; $\theta_{\text{azul}} = 34,2^\circ$.
33. Distância percorrida $= 4,24 \times 10^{-2}\text{ m}$.
34. Aproximação aparente $= 1\text{ mm}$.
35. $\theta_{10} = 13,4^\circ$; $\theta_{30} = 41,7^\circ$; $\theta_{40} = 58,7^\circ$; $\theta_c = 48,8^\circ$.
36. $\theta_c = 48^\circ$.
37. $n_D = 2,46$.
38. $h' = 40,1\text{ m}$.
39. $s' = 0,5\text{ m}$; $h' = -0,1\text{ m}$.
40. $s = 3f = 30\text{ cm}$.
41. $R = 2f = 135\text{ cm}$, imagem direita e virtual.
42. **a)** $s = 45\text{ cm}$; **b)** $s = 15\text{ cm}$.
43. $f = 40\text{ cm}$; $s' = -40\text{ cm}$, côncavo.
44. $s' = -10/3\text{ cm}$; $h' = 2/3\text{ cm}$.
45. $R = -7,5\text{ cm}$; convexo.
46. $R = 30\text{ cm}$.
47. $s'_2 = 9/23\text{ m}$ (do vértice do segundo espelho); $h'_2 = (-25/23) h_1$, real e invertida.
48. **a)** $s' = -1,5\text{ m}$ (3/2 da profundidade real); **b)** $s = 4/3\text{ m}$ (1,33 m sob a superfície da água).
49. **a)** $s' = 0,267\text{ m}$; **b)** $h = -1/3\text{ cm}$.
50. $s = 1/3\text{ m}$; $h = -4/3\text{ cm}$.
51. $s'_2 = 2,85\text{ cm}$; $h'_2 = 2,28\text{ cm}$; imagem real, invertida e menor que o objecto.
52. $s'_2 = 120\text{ cm}$ do espelho; $h'_2 = 24\text{ cm}$, imagem real direita e maior que o objecto.
53. $f = 60\text{ cm}$.
54. $f = -15\text{ cm}$; deslocamento $= 20\text{ cm}$.
55. $s' = f + 1\text{ cm}$ (Objectiva e filme separados por 9 cm)
56. $P = 1/f = -1,25$.
57. **a)** $s_{\text{obj}} = 1,64\text{ cm}$; **b)** $m_{\text{obj}} = -10,67$.

58. a) $s'_{oc} = -8,67 \text{ cm}$
59. a) $\lambda = 0,278 \text{ m}$; b) $f = 1,22 \text{ kHz}$; c) Ângulos: $24,6^\circ$; $33,8^\circ$; 44° ; $56,5^\circ$; $76,7^\circ$; d) 4° .
60. a) $0,5 \text{ mm}$.
61. a) $58,9 \mu\text{m}$ b) $1,1 \text{ cm}$
62. a) $\theta = 30^\circ$ b) $\theta = 2,86^\circ$ c) usando radiação com comprimento de onda dez vezes maior.
63. $\lambda = 12 \text{ cm}$.
64. $2,9^\circ$.
65. $\theta_1 = 22,3^\circ$, $\theta_2 = 49,4^\circ$.

Formulário

$$\omega = 2\pi/T; f = 1/T; E_c = (1/2)mv^2; y(t) = A \cos(\omega t + \delta);$$

$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho_{lin}}}; y(x, t) = A \sin \left[2\pi \left(\frac{x}{\lambda} \pm \frac{t}{T} \right) + \delta \right] = A \sin(kx \pm \omega t + \delta); f' = f \frac{1 \pm \frac{v_o}{v_s}}{1 \mp \frac{v_f}{v_s}};$$

$$y(x, t) = \left(2A \cos \frac{\varphi}{2} \right) \sin \left(kx - \omega t + \frac{\varphi}{2} \right); y(t) = 2A \cos \left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t \right) \sin \left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t \right);$$

$$y(x, t) = (2A \sin kx) \cos \omega t; \quad n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r; \quad m = \frac{h'}{h} = -\frac{s'}{s}; \quad \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{r} = \frac{1}{f};$$

$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = \frac{n_2 - n_1}{r}; \quad \frac{1}{f} = \frac{(n_2 - n_1)}{n_1} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right); a \sin \theta = n\lambda; a \sin \theta = (2n+1) \frac{\lambda}{2}$$

$$\vec{r}' = \vec{r} - \vec{v}t; \quad \vec{V}' = \vec{V} - \vec{v}; \quad \vec{a}' = \vec{a};$$

$$x' = \frac{(x - vt)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; t' = \frac{\left(t - \frac{v}{c^2}x \right)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad v'_x = \frac{v_x - v}{1 - \frac{v_x v}{c^2}} \quad t = \frac{t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad l = l' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$E = mc^2; E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2; p = mv; m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$E = hf - W; \lambda' - \lambda_0 = \frac{h}{mc} (1 - \cos \theta); E_n = -\frac{mk^2 Z^2 e^4}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2}; \lambda = \frac{h}{p};$$

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar; \Delta E \Delta t \geq \hbar; \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + V \right) \psi = E \psi; E = \frac{\hbar^2 k^2}{2m} = \frac{h^2}{2m\lambda^2}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}; a = \left| \frac{dN}{dt} \right| = N_0 \lambda e^{-\lambda t} = a_0 e^{-\lambda t}; T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Constantes:

$h = 6,626 \times 10^{-34}$ Js; $c = 2,998 \times 10^8$ m/s; $e = 1,602 \times 10^{-19}$ C
 massa electrão = $9,109 \times 10^{-31}$ kg
 massa próton = $1,673 \times 10^{-27}$ kg; massa neutrão = $1,675 \times 10^{-27}$ kg
 $N_A = 6,022 \times 10^{23}$ mol⁻¹; u.m.a. = $1,6605 \times 10^{-27}$ kg