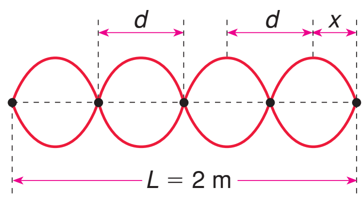
P.455 a) A distância entre dois ventres consecutivos é igual à distância entre dois nós consecutivos:



$$4d = L \Rightarrow d = \frac{L}{4} \Rightarrow d = \frac{2}{4} \Rightarrow \boxed{d = 0{,}5 \text{ m}}$$

b) $x = \frac{d}{2} \Rightarrow x = \frac{0{,}5}{2} \Rightarrow \boxed{x = 0{,}25 \text{ m}}$

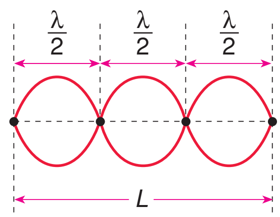
c) $d = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = 2d \Rightarrow \lambda = 2 \cdot 0{,}5 \Rightarrow \boxed{\lambda = 1 \text{ m}}$

d) Sendo $v = 0{,}5$ m/s, temos:

$$v = \lambda f \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{0{,}5}{1} \Rightarrow \boxed{f = 0{,}5 \text{ Hz}}$$

P.456 Observando a figura ao lado, podemos escrever:

$$L = 3\frac{\lambda}{2} \Rightarrow \frac{L}{\lambda} = \frac{3}{2} \Rightarrow \boxed{\frac{L}{\lambda} = 1{,}5}$$



P.457 a) A amplitude da onda estacionária é dada por:

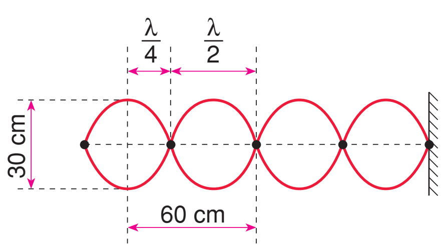
$$A = \frac{30}{2} \Rightarrow A = 15 \text{ cm}$$

Já a amplitude das ondas que se superpõem será:

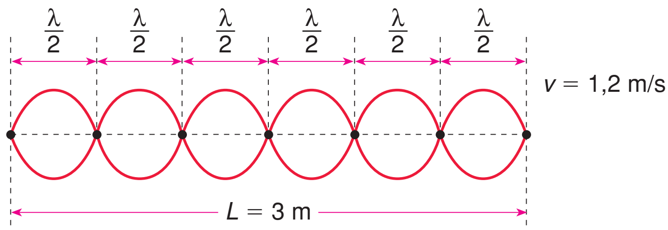
$$a = \frac{A}{2} = \frac{15}{2} \Rightarrow \boxed{a = 7{,}5 \text{ cm}}$$

b) Da figura: $\frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4} = 60 \text{ cm} \Rightarrow$

$$\Rightarrow 3\frac{\lambda}{4} = 60 \text{ cm} \Rightarrow \boxed{\lambda = 80 \text{ cm}}$$



P.458



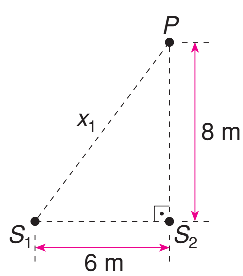
a) Na figura, podemos observar que: $6\dfrac{\lambda}{2} = L \Rightarrow 6\dfrac{\lambda}{2} = 3 \Rightarrow \boxed{\lambda = 1 \text{ m}}$

b) Como $v = \lambda f$, então: $f = \dfrac{v}{\lambda} \Rightarrow f = \dfrac{1{,}2}{1} \Rightarrow \boxed{f = 1{,}2 \text{ Hz}}$

P.459 A quarta linha nodal corresponde a $i = 7$. Assim, a diferença Δ entre os caminhos percorridos pelas ondas até atingirem o ponto de interferência, sendo λ o comprimento de onda, será dada por:

$\Delta = i\dfrac{\lambda}{2} \Rightarrow \Delta = \dfrac{7}{2}\lambda \Rightarrow \boxed{\Delta = 3{,}5\lambda}$

P.460



Na figura, temos: $x_2 = 8$ m; $S_1S_2 = 6$ m

Aplicando o teorema de Pitágoras, obtemos:

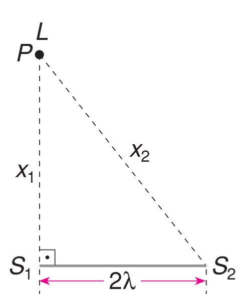
$x_1^2 = 6^2 + 8^2 = 36 + 64 = 100 \Rightarrow x_1 = 10$ m

O maior valor de λ para que a interferência em P seja construtiva corresponde a $p = 2$; logo:

$x_1 - x_2 = p\dfrac{\lambda}{2} \Rightarrow x_1 - x_2 = 2\dfrac{\lambda}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow x_1 - x_2 = \lambda \Rightarrow \lambda = 10 - 8 \Rightarrow \boxed{\lambda = 2 \text{ m}}$

P.461



O ponto P é o primeiro máximo ($p = 2$, pois os caminhos percorridos são diferentes):

$x_2 - x_1 = p\dfrac{\lambda}{2} = 2\dfrac{\lambda}{2} \Rightarrow x_2 - x_1 = \lambda \Rightarrow x_2 = \lambda + x_1$ ①

Aplicando o teorema de Pitágoras, obtemos:

$x_2^2 = x_1^2 + (2\lambda)^2 \Rightarrow x_2^2 = x_1^2 + 4\lambda^2$ ②

Substituindo ① em ②, obtemos:

$(\lambda + x_1)^2 = x_1^2 + 4\lambda^2 \Rightarrow \lambda^2 + 2\lambda x_1 + x_1^2 = x_1^2 + 4\lambda^2 \Rightarrow \lambda^2 + 2\lambda x_1 = 4\lambda^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow 2\lambda x_1 = 4\lambda^2 - \lambda^2 \Rightarrow 2\lambda x_1 = 3\lambda^2 \Rightarrow 2x_1 = 3\lambda \Rightarrow \boxed{x_1 = 3\dfrac{\lambda}{2}}$

P.462 Dados: $d = 0{,}001$ m; $L = 0{,}50$ m; $\lambda_0 = 4.600$ Å $= 4.600 \cdot 10^{-10}$ m $= 4{,}6 \cdot 10^{-7}$ m; $p = 2$

De $\Delta = p\dfrac{\lambda}{2}$, vem: $\Delta = 2\dfrac{\lambda}{2} \Rightarrow \Delta = \lambda = 4{,}6 \cdot 10^{-7}$ m

Como $\Delta = \dfrac{dy}{L}$, temos: $4{,}6 \cdot 10^{-7} = \dfrac{0{,}001 \cdot y}{0{,}50} \Rightarrow \boxed{y = 2{,}3 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 23 \text{ mm}}$

P.463 Dados: $n = 1{,}4$; $n_{ar} = 1{,}0$; $\lambda_{ar} = 8.400$ Å $= 8{,}4 \cdot 10^{-7}$ m

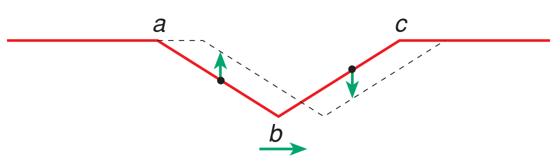
De $n\lambda = n_{ar} \cdot \lambda_{ar}$, vem:

$1{,}4 \cdot \lambda = 1{,}0 \cdot 8{,}4 \cdot 10^{-7} \Rightarrow \lambda = 6{,}0 \cdot 10^{-7}$ m

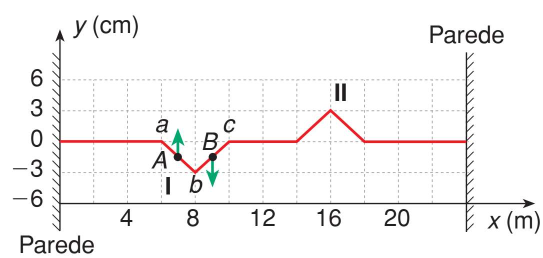
Como a lâmina se apresenta escura por luz transmitida, sua menor espessura corresponde a $i = 1$:

$\Delta = 2d = i\dfrac{\lambda}{2} \Rightarrow 2d = 1 \cdot \dfrac{6{,}0 \cdot 10^{-7}}{2} \Rightarrow \boxed{d = 1{,}5 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 1.500 \text{ Å}}$

P.464 a) O pulso se propaga da esquerda para a direita. Então, os pontos da corda atingidos pelo trecho *ab* têm velocidade orientada para cima, enquanto os atingidos pelo trecho *bc* têm velocidade orientada para baixo. O esquema seguinte ilustra esse fato:



Portanto, para os pontos *A* e *B*, no instante $t = 0$, teremos



b) Simultaneamente, o pulso I desloca-se 2 m ao longo do eixo *x* e os pontos da corda (ao serem atingidos pelo pulso) deslocam-se 3 cm ao longo do eixo *y*. Então, temos:

Pulso I: $v = \dfrac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \dfrac{\Delta x}{v}$ ① Ponto *A*: $v_A = \dfrac{\Delta y}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \dfrac{\Delta y}{v_A}$ ②

Igualando ① e ②, temos: $\dfrac{\Delta x}{v} = \dfrac{\Delta y}{v_A}$

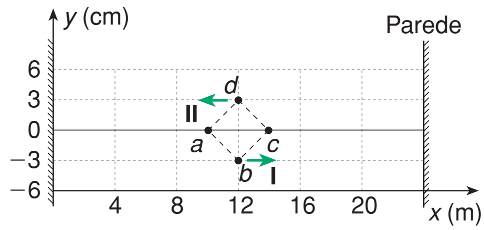
Mas: $\Delta x = 2$ m $= 2 \cdot 10^2$ cm; $\Delta y = 3$ cm; $v = 4 \cdot 10^2$ cm/s; logo:

$$\frac{2 \cdot 10^2}{4 \cdot 10^2} = \frac{3}{v_A} \Rightarrow \boxed{v_A = 6 \text{ cm/s}}$$

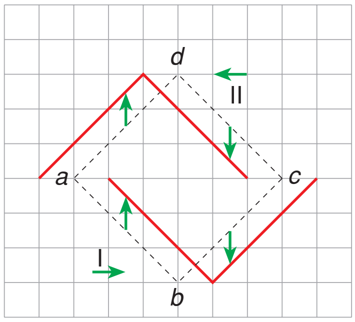
c) No intervalo de tempo Δt, o pulso I e o pulso II deslocam-se:

$$\Delta x = v \cdot \Delta t = 4 \cdot 1 \Rightarrow \Delta x = 4 \text{ m}$$

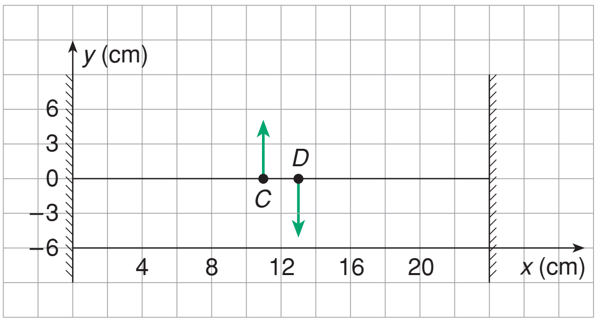
Então, cada pulso desloca-se 4 m em sentidos opostos, e os dois ficam exatamente superpostos no instante $t = 1$ s. Por conseguinte, há *interferência destrutiva* e a corda apresenta-se *reta* e *horizontal*, conforme o esquema:



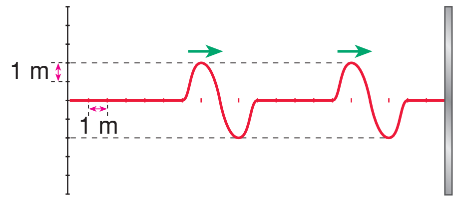
Os pontos da corda atingidos pelo trecho *ab* do pulso I e pelo trecho *ad* do pulso II têm velocidades orientadas para cima. Os pontos da corda atingidos pelo trecho *bc* do pulso I e pelo trecho *dc* do pulso II têm velocidades orientadas para baixo, como mostrado neste esquema:



Assim, para os pontos *C* e *D*, temos:



P.465 a) Dado: $v = 2$ m/s



Da figura: $\boxed{a = 2 \text{ m}}$; $\boxed{\lambda = 4 \text{ m}}$

De $v = \lambda f$, vem: $f = \dfrac{v}{\lambda} = \dfrac{2}{4} \Rightarrow \boxed{f = 0{,}5 \text{ Hz}}$

b)

As ondas interferem construtivamente, de modo que a amplitude da onda resultante será:

$$A = 2a = 2 \cdot 2 \Rightarrow \boxed{A = 4 \text{ m}}$$

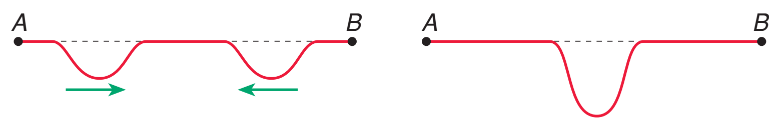
P.466 Na primeira corda: $\frac{\lambda_I}{2} = L \Rightarrow \lambda_I = 2L$

Na segunda corda: $2\frac{\lambda_{II}}{2} = L \Rightarrow \lambda_{II} = L$

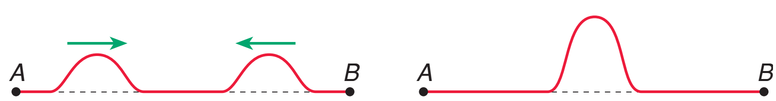
Sendo a velocidade das ondas igual nas duas cordas, vem:

$v = \lambda_I f_I = \lambda_{II} f_{II}$, isto é: $\frac{f_I}{f_{II}} = \frac{\lambda_{II}}{\lambda_I} = \frac{L}{2L} \Rightarrow \boxed{\frac{f_I}{f_{II}} = 0{,}5}$

P.467 Até a primeira nova superposição, cada pulso percorre duas vezes metade do comprimento L da corda $\left(\Delta s = 2\frac{L}{2} = L\right)$. Entretanto, como há inversão nas extremidades fixas, nessa primeira superposição a "onda resultante" se apresenta invertida:



Somente na segunda superposição, depois de os pulsos percorrerem novamente a distância $\Delta s' = 2\frac{L}{2} = L$ e sofrerem nova inversão, é que se reproduz a deformação inicial:



Portanto, a distância total percorrida pelos pulsos vale:

$$d = \Delta s + \Delta s' \Rightarrow d = 2L$$

Sendo v a velocidade dos pulsos, o intervalo de tempo mínimo para que se reproduza a deformação inicial será dado por:

$$v = \frac{d}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{d}{v} \Rightarrow \boxed{\Delta t = \frac{2L}{v}}$$

P.468 A distância entre dois mínimos sucessivos é igual a meio comprimento de onda:

$\frac{\lambda}{2} = 5\ \text{cm} = 5 \cdot 10^{-2}\ \text{m} \Rightarrow \lambda = 10 \cdot 10^{-2}\ \text{m} = 10^{-1}\ \text{m}$

Sendo $v = 3 \cdot 10^8$ m/s, vem:

$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{10^{-1}} \Rightarrow \boxed{f = 3 \cdot 10^9\ \text{Hz}}$

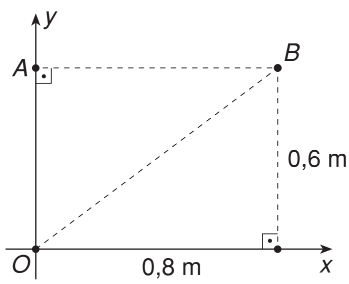
P.469 A diferença de caminhos corresponde à distância entre as fontes:

$$\Delta = F_1F_2 = 5\lambda \Rightarrow \boxed{\Delta = 10\,\frac{\lambda}{2}} \text{ (interferência construtiva)}$$

Sendo construtiva a interferência no ponto *P*, a onda resultante terá amplitude dada pela soma das amplitudes das ondas que interferem:

$$A_R = A_1 + A_2 \Rightarrow \boxed{A_R = 2A}$$

P.470



No triângulo retângulo *ABO*, temos:

$(OB)^2 = (AO)^2 + (AB)^2 \Rightarrow (OB)^2 = (0,6)^2 + (0,8)^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow (OB)^2 = 0,36 + 0,64 = 1 \Rightarrow OB = 1$ m

A diferença de caminhos das ondas que partem de *A* e *O* até atingir *B* vale:

$$OB - AB = 1 - 0,8 = 0,2 \text{ m}$$

Por outro lado, temos: $OB - AB = p\,\frac{\lambda}{2}$.

$$p\,\frac{\lambda}{2} = 0,2 \Rightarrow \boxed{\lambda = \frac{0,4}{p} \text{ (com } p \text{ par, mas diferente de zero)}}$$

P.471 Calculemos, inicialmente, o comprimento de onda λ das ondas emitidas por F_1 e F_2:

$$v = \lambda f \Rightarrow 340 = \lambda \cdot 170 \Rightarrow \lambda = 2,0 \text{ m}$$

a) Para que o observador *A* detecte mínimos de intensidade, as ondas provenientes de F_1 e F_2 que atingem *A* devem sofrer *interferência destrutiva* e, para que isso ocorra, a diferença de percursos entre elas (Δ_A) deve ser *múltiplo ímpar* de meio comprimento de onda, ou seja: $\Delta_A = i\,\frac{\lambda}{2}$ (sendo $i = 1, 3, 5...$)

A solução para $i = 1$ não convém, pois, nesse caso, $\Delta_A = 1,0$ m. Observemos que $\Delta_A > 2,5$ m.

Para $i = 3$, temos: $\Delta_A = 3\,\frac{2,0}{2} \Rightarrow \Delta_A = 3,0$ m

O comprimento Δ_A é a separação entre as fontes (L_A).

Logo: $L_A = \Delta_A \Rightarrow \boxed{L_A = 3,0 \text{ m}}$

b) Para que o observador B detecte máximos de intensidade, as ondas provenientes de F_1 e F_2 que atingem B devem sofrer *interferência construtiva* e, para que isso ocorra, a diferença de percursos entre elas (Δ_B) deve ser *múltiplo par* de meio comprimento de onda, ou seja: $\Delta_B = p\dfrac{\lambda}{2}$ (sendo $p = 0, 2, 4...$)

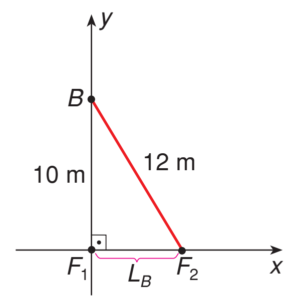
A solução para $p = 0$ não convém, pois, nesse caso, F_1 estaria superposta a F_2.

Para $p = 2$, vem: $\Delta_B = \cancel{2}\dfrac{2{,}0}{\cancel{2}} \Rightarrow \Delta_B = 2{,}0$ m

O esquema ao lado ilustra a situação para $p = 2$.

Aplicando o teorema de Pitágoras ao triângulo retângulo F_1F_2B, calculamos a separação entre as fontes:

$$(12)^2 = (10)^2 + L_B^2 \Rightarrow \boxed{L_B \simeq 6{,}6 \text{ m}}$$



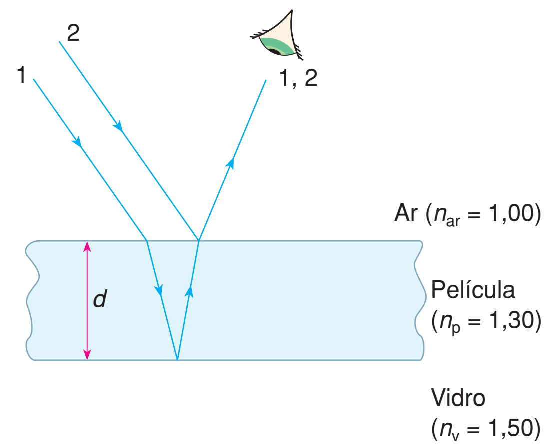
P.472 Dados: $n_{ar} = 1{,}00$; $\lambda_{ar} = 5.500$ Å; $n_p = 1{,}30$

Podemos calcular o comprimento de onda λ_p da luz do material da película:

$n_{ar} \cdot \lambda_{ar} = n_p \cdot \lambda_p$

$1{,}00 \cdot 5.500 = 1{,}30 \cdot \lambda_p$

$\lambda_p = \dfrac{5.500}{1{,}30}$ Å



Na interface ar-película e na interface película-vidro, a luz sofre reflexão com inversão de fase. Essas reflexões não acarretam defasagem entre as ondas que emergem do sistema. Nessas condições, temos para a diferença de caminhos:

$$\Delta = 2d = i \cdot \frac{\lambda_p}{2} \text{ (sendo } i = 1, 3, 5...)$$

Sabemos que d mínimo corresponde a $i = 1$. Logo:

$$2d_{min.} = \frac{\lambda_p}{2} \Rightarrow d_{min.} = \frac{\lambda_p}{4} \Rightarrow d_{min.} = \frac{5.500}{4 \cdot 1{,}30}\text{ Å} \Rightarrow \boxed{d_{min.} \simeq 1058 \text{ Å}}$$

P.473 Como as ondas se superpõem em O estando em concordância de fase, a condição de interferência construtiva impõe que: $d_2 - d_1 = p\dfrac{\lambda}{2}$

Para λ máximo, devemos ter p mínimo, isto é: $p = 2$

As distâncias percorridas valem: $d_1 = a$; $d_2 = 3a$

Portanto: $3a - a = 2\dfrac{\lambda}{2} \Rightarrow \boxed{\lambda = 2a}$

Observação

O raio de luz R_2 emitido por F sofre duas reflexões com inversão de fase, o que não acarreta defasagem total.

P.474 Dados: $d = 0{,}10$ mm $= 1{,}0 \cdot 10^{-4}$ m; $L = 50$ cm $= 0{,}50$ m;
$\Delta x = 2$ mm $= 2 \cdot 10^{-3}$ m; $v = c = 3 \cdot 10^{8}$ m/s

a) Considerando a primeira franja clara ao lado da central, temos $p = 2$. A condição de interferência construtiva impõe:

$$\Delta = p\frac{\lambda}{2} \Rightarrow \Delta = 2\frac{\lambda}{2} \Rightarrow \Delta = \lambda$$

Mas: $\Delta = \dfrac{d \cdot \Delta x}{L} = \dfrac{1{,}0 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{0{,}50} \Rightarrow \Delta = 4{,}0 \cdot 10^{-7}$ m

Portanto: $\boxed{\lambda = 4{,}0 \cdot 10^{-7}\ \text{m} = 4.000\ \text{Å}}$

b) De $v = \lambda f$, vem: $f = \dfrac{v}{\lambda} = \dfrac{3 \cdot 10^{8}}{4{,}0 \cdot 10^{-7}} \Rightarrow \boxed{f = 7{,}5 \cdot 10^{14}\ \text{Hz}}$

c) As franjas ficam menos definidas quando o tamanho das fendas aumenta e mais definidas quando o tamanho das fendas diminui.