

Ondulatória

Assunto: Ondas

Aula 06 – Fenômenos Ondulatórios.

Para acompanhar esta aula em vídeo, vá à aba “Aulas” e clique em Ondulatória – aula 06

Fenômenos Ondulatórios

Os Fenômenos Ondulatórios mais comuns são:

Reflexão

Refração

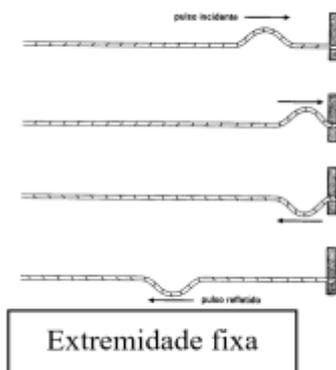
Difração

Polarização

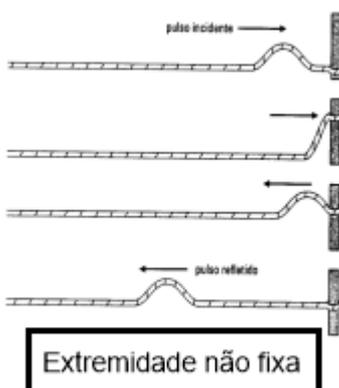
Interferência

Reflexão

A reflexão ocorre quando a onda incide sobre um obstáculo e retorna ao meio original de propagação. A onda refletida mantém todas as características da onda incidente, podendo haver mudança de fase.

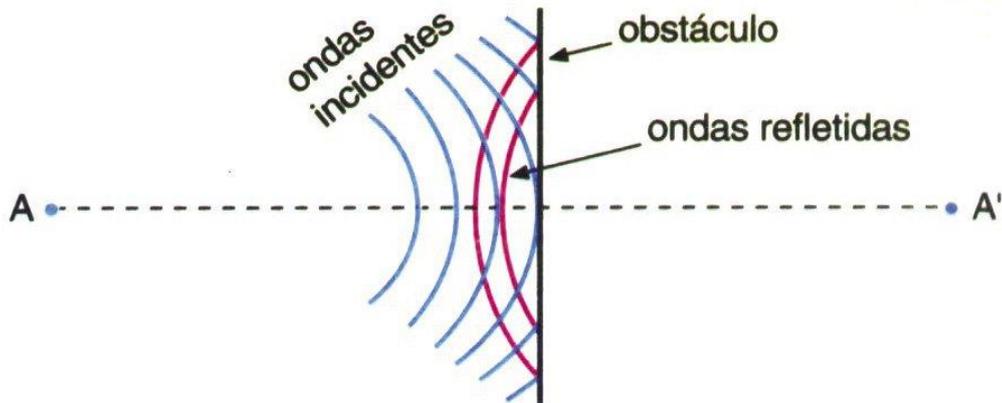


Por exemplo, suponha uma corda com uma ponta fixa em uma parede. Ao gerar um pulso na corda, a onda irá se propagar na corda e ao chegar à extremidade, irá fazer uma força na parede, no caso da figura ao lado, para cima. Pela 3ª lei de Newton, a toda ação de uma força surgirá uma reação na mesma direção, porém de sentido contrário. Sendo assim, a corda sentirá essa reação e retornará com a fase invertida.



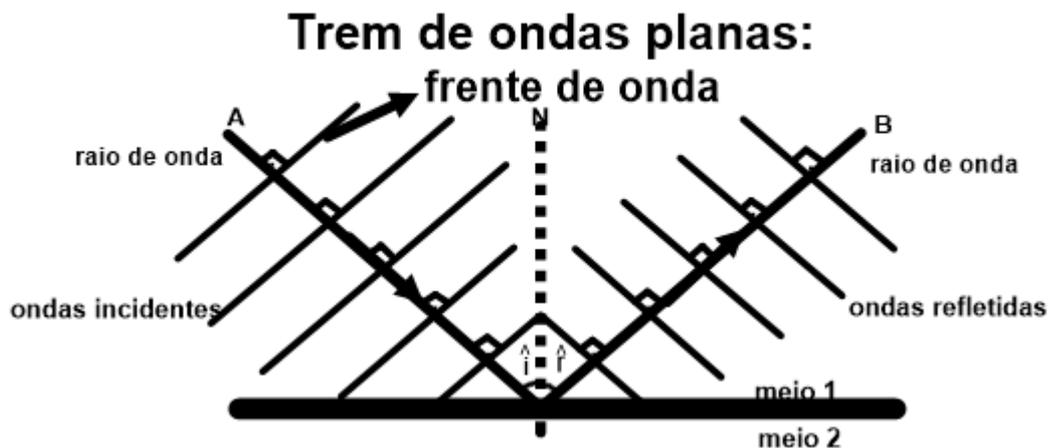
Agora se a extremidade da corda não estiver fixa e puder se movimentar livremente, não haverá inversão de fase ao ser refletida. É como se tivesse outra pessoa nessa extremidade devolvendo o movimento para o retorno do pulso. Agora é importante observar que nos dois casos, a onda permanecerá com a mesma velocidade de propagação.

No caso de ondas circulares, a representação esquemática será a seguinte:



À medida que as ondas atingem o obstáculo, elas serão refletidas e irão retornar como se fossem produzidas por um ponto A' simétrico ao ponto A que é a fonte.

A próxima figura mostra como é representado as ondas planas. Ao retornarem para o meio, o trem de ondas permanece com as mesmas características como comprimento de onda, frequência e velocidade de propagação. Repetindo o que foi visto na óptica, estes raios de onda são coplanares e o ângulo de incidência com a Normal, que também é coplanar aos raios, é igual ao ângulo de reflexão.



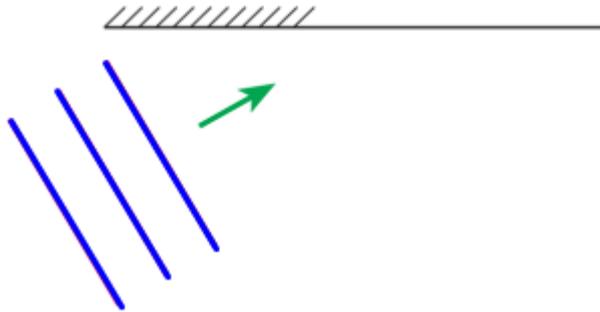
As ondas longitudinais também sofrem reflexão. Na figura abaixo a representação da onda incidente e da onda refletida.



O conhecimento de reflexão de ondas é importante para conhecermos o funcionamento dos **sonares, radares, ultrassonografia, etc.** Em acústica, que veremos na aula 08 de ondas, muito importante para o estudo do **eco**.

Exercícios de aprendizagem:

1) Uma onda reta propagando-se na superfície da água de um tanque incide numa superfície refletora, como mostra a figura, na qual representamos as frentes de onda. A seta indica o sentido de propagação.

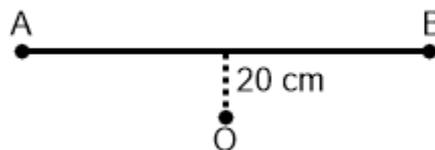


a) Desenhe as frentes de onda após a reflexão.

b) Analise o que ocorre com a frequência, a velocidade de propagação e o comprimento de onda após o fenômeno da reflexão.



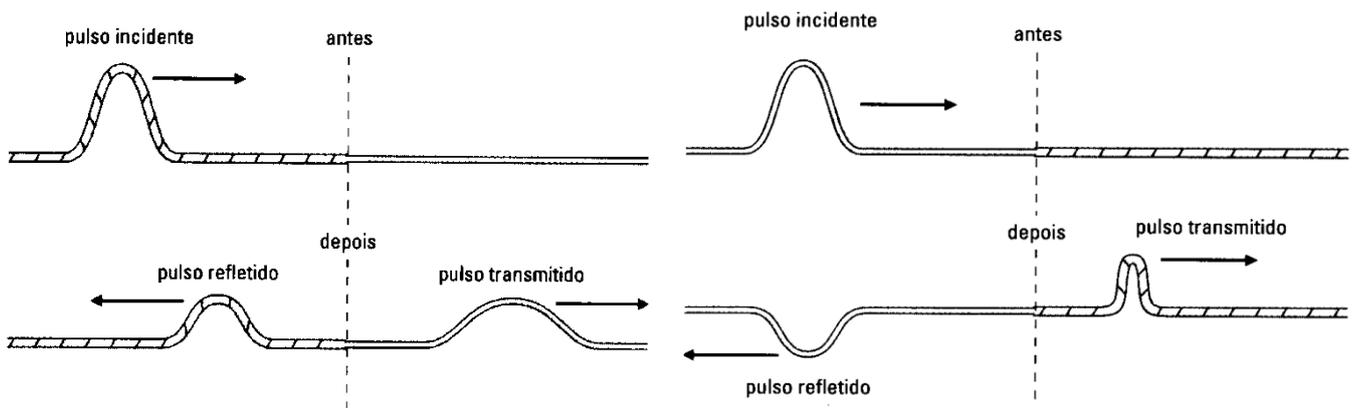
2) Uma pedra cai no ponto O da superfície da água contida num tanque, produzindo uma frente de onda circular que se propaga com velocidade de 5 cm/s. O ponto O está a 20 cm da parede AB do tanque. Considere as outras paredes bem distantes de O. Represente a frente de onda 6 s após a perturbação.



Refração

A velocidade de propagação de uma onda irá depender do meio, e das condições do mesmo, em que ela está se deslocando. Então por exemplo, em uma corda irá depender da densidade linear e da tração da corda, como vimos na aula anterior. Em um meio líquido ou gasoso irá depender da densidade e da temperatura do meio. Então imagine uma onda passando de um meio 1, onde ela se desloca com uma velocidade v_1 , para um meio 2, onde ela se deslocará com uma velocidade $v_2 \neq v_1$. Quando isso ocorre, dizemos que a onda sofreu **refração**.

- Refração em cordas:

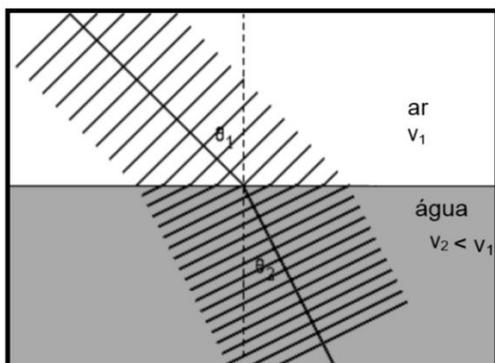


Quando o pulso passa de uma corda mais grossa (densidade linear maior) para uma corda mais fina (densidade linear menor), parte do pulso se refrata e a outra parte se reflete com a mesma fase.

Quando o pulso passa de uma corda mais fina (densidade linear menor) para uma corda mais grossa (densidade linear maior), parte do pulso se refrata e a outra parte se reflete com a fase invertida.

- Refração de ondas planas:

Agora, para representarmos um trem de ondas passando de um meio 1 para um meio 2 como por exemplo, do ar para a água, representamos um esquema utilizando as chamadas frentes de onda.



Repare que a onda refratada, no caso do exemplo dado ao lado, perde velocidade. Como a frequência permanece constante, veja que as ondas estão percorrendo espaços menores no mesmo intervalo de tempo, então o comprimento de onda está diminuindo. Esse estudo, já fizemos na óptica geométrica, com as ondas eletromagnéticas. A luz é uma onda eletromagnética.

obs. Tanto na reflexão quanto na refração, a frequência não varia, ela sempre permanece a mesma.

Como a frequência é constante então teremos:

$$v_1 = \lambda_1 \cdot f \quad \text{e} \quad v_2 = \lambda_2 \cdot f \quad \text{como } f \text{ é constante:}$$

$$\frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2} \quad \text{ou} \quad \boxed{\frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}}$$

Existe também uma relação da variação da velocidade com o desvio sofrido pela onda:

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{v_1}{v_2} \quad \text{então:} \quad \boxed{\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}}$$

Na óptica, trabalhamos com a luz, que é uma onda eletromagnética, e lá vimos a equação de Snell-Descartes que era dada por:

$$\boxed{n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \cdot \text{sen } r} \quad \text{onde } n = \frac{c}{v}$$

$$\text{então:} \quad \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{n_2}{n_1} \quad \rightarrow \quad \boxed{\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}}$$

Válido para qualquer onda refratada.

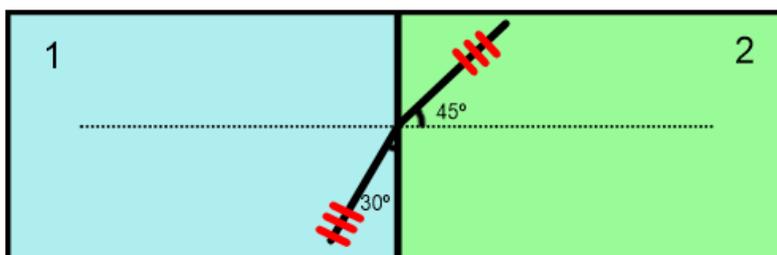
Observações importantes:

- 1) Se a onda incidir perpendicularmente na superfície de separação entre 2 meios, ela não sofrerá desvio, pois toda a frente de onda chegará junto à divisa de separação entre os meios.
- 2) Sempre que ocorre refração, ocorre também a reflexão. Muitas vezes isso não é relevante no problema, mas devemos ficar atentos a esse detalhe, pois parte da energia é refletida nesse fenômeno.
- 3) O raio incidente, o raio refratado e a normal são coplanares. Esta é a 1ª lei da refração já vista em óptica. E a 2ª lei é a de Snell-Descartes sublinhada acima.
- 4) Você já deve ter reparado em uma praia, que as ondas sempre se quebram perpendicularmente à areia da praia, mesmo que esta (areia) não esteja virada para o mar aberto. Isto ocorre porque a medida que as ondas se aproximam da praia, elas vão perdendo velocidade e conseqüentemente mudando de direção.

Exercícios de aprendizagem:

3) Uma onda de frequência 60 Hz e comprimento de onda 0,5 m, passa do meio 1 para o meio 2, conforme indica a figura.

Determine:

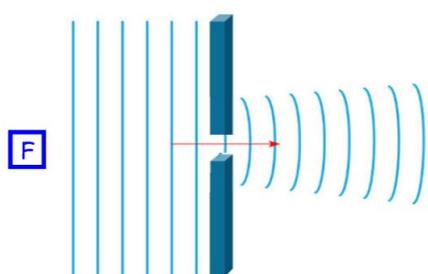


- a) a velocidade da onda incidente;
- b) a velocidade da onda refratada;
- c) o índice de refração do meio 2 em relação ao meio 1.



Difração

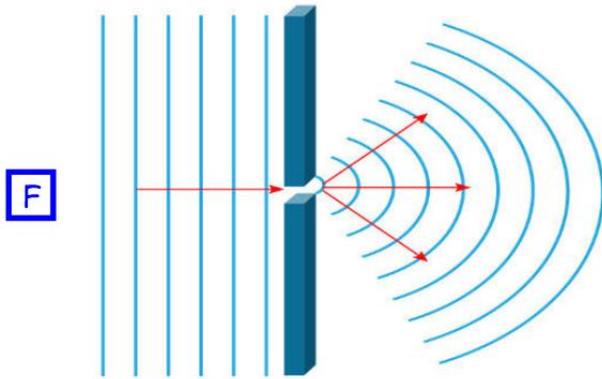
Considere uma fonte **F** emitindo ondas retas que atingem uma fenda localizada entre dois obstáculos, conforme a figura:



Se a largura da fenda for menor ou igual ao comprimento da onda incidente, ela transpõe o obstáculo. A este fenômeno denomina-se difração.

Difração é o fenômeno pelo qual uma onda tem a capacidade de superar um obstáculo, ao ser parcialmente interrompida por ele.

Obs. Quanto menor o obstáculo maior será o desvio da onda (encurvamento do raio), ou seja, maior será a difração (veja na próxima figura).



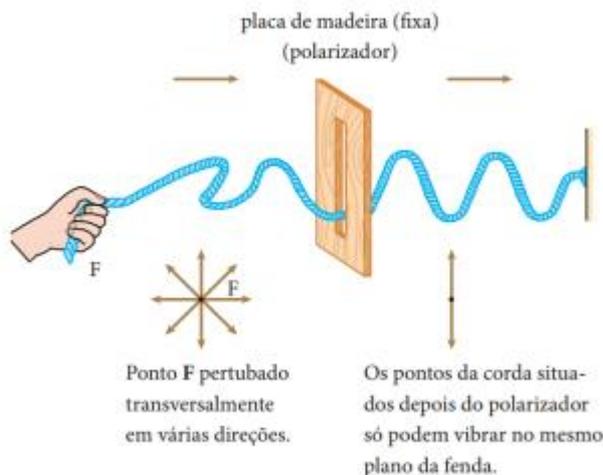
A difração de uma onda é explicada pelo **princípio de Huygens**, que diz que cada ponto de uma frente de onda comporta-se como uma nova frente de ondas elementares, que se propagam para além da região já atingida pela onda. No caso, quando os pontos da fenda são atingidos pela frente de onda, eles se tornam fontes de ondas secundárias, mudando a direção da onda incidente, fazendo com que transponham o obstáculo.

Obs. A difração de uma onda pode ser aumentada das seguintes formas: Aumentando o comprimento de onda ou diminuindo o comprimento da fenda.

Polarização

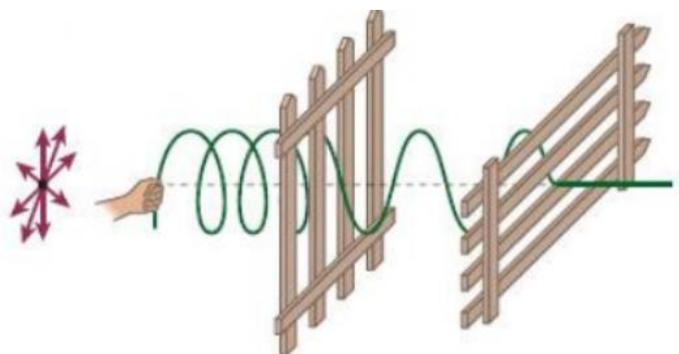
Polarizar uma onda é selecionar um plano de vibração para a onda. Em outras palavras podemos dizer que é **filtrar** a onda.

Imagine uma corda que é agitada em todas as direções. Só irão passar pelo polarizador da figura aquelas que ocorrem na direção estabelecida pela fenda.



(Física vol. 2 - Newton, Helou, Gualter, p 123 - 3ª edição 2016 - Editora Saraiva)

Na figura ao lado está representado o caso de dois polarizadores, um vertical e na sequência um horizontal. Como no primeiro só deixará passar ondas verticais e o segundo apenas ondas horizontais, então o segundo irá anular a primeira onda, ou seja, a onda não irá passar.



(Física Nicolau, Torres, Penteado - 1ª edição - Editora Moderna)

Em certas circunstâncias do nosso dia a dia, as ondas luminosas que atingem nossos olhos trazem muitas informações. A lente polarizadora filtra o excesso de informação dando mais conforto a vista.



Ondas de luz vibrando perpendicularmente à rodovia



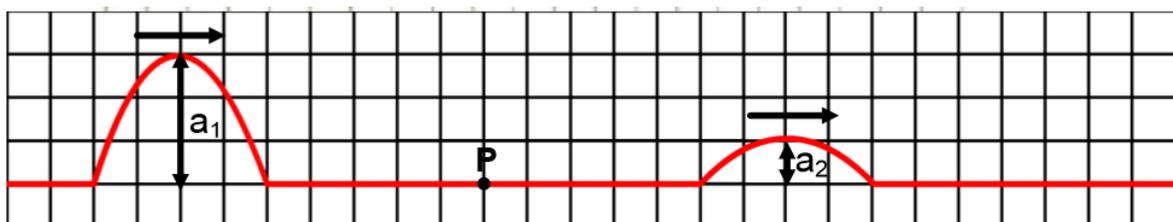
Ondas de luz vibrando paralelamente à rodovia



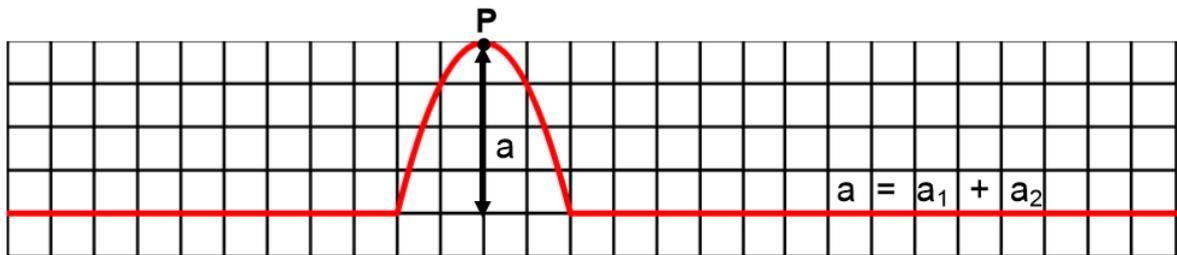
Obs. Somente ondas transversais podem ser polarizadas. Ondas longitudinais, como o som, não pode ser polarizada.

Interferência

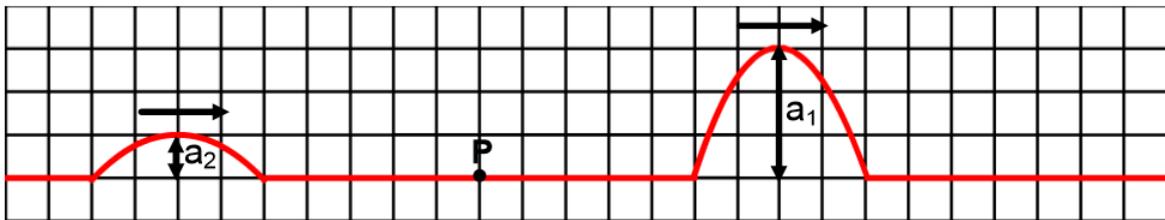
Considere duas ondas se propagando em sentidos opostos num meio unidimensional, como, por exemplo, os dois pulsos de onda, A e B, na corda representada a seguir.



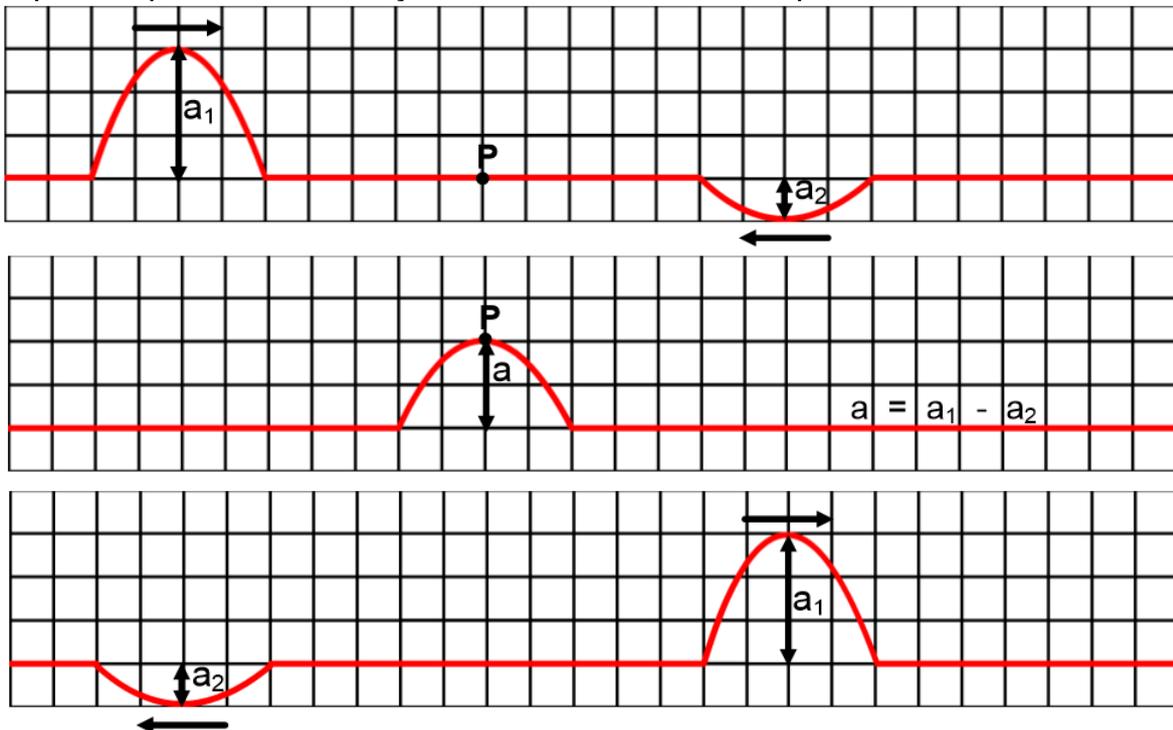
Chama-se interferência ao fenômeno resultante da superposição dos dois pulsos. Cada ponto da corda sofrerá uma perturbação igual à soma algébrica das perturbações que cada pulso produziria sozinho.



Após a interferência, cada pulso de onda se propaga independentemente do outro, isto é, como se nada tivesse acontecido. Este é o **princípio da independência das ondas**, que é visto na óptica geométrica como **princípio da independência dos raios de luz**.



Veja que no caso acima, as duas ondas têm amplitudes positivas. Então a interferência é chamada de **interferência construtiva**. Já no caso a seguir, as ondas com fases opostas quando se cruzam, dá-se o nome de **interferência destrutiva**. Nesse caso a onda resultante tem amplitude que vale a diferença entre os módulos das amplitudes.



Se na interferência destrutiva as duas ondas tivessem a mesma amplitude, em módulo, uma iria destruir a outra. A onda resultante seria nula no momento do cruzamento. Este caso será muito importante para o estudo da próxima aula, quando irei falar de **ondas estacionárias**.

Exercícios de aprendizagem:

4) Dos fenômenos ondulatórios citados abaixo, aquele que não pode ocorrer com o som é:

- a) reflexão b) refração c) transmissão d) polarização e) difração

5) Das ondas citadas a seguir, a única que não pode se propagar no vácuo é a da alternativa:

- a) ultrassom b) ondas de rádio c) raios x d) ultravioleta e) micro-ondas

Exercícios de Fixação:

1) (Uepg) Um inseto encontra-se flutuando em uma posição fixa na superfície de uma poça de água. Ele agita suas patas a cada 2 segundos produzindo ondas circulares que se propagam na superfície da água. Observa-se que cada onda demora 5 segundos para atingir a margem que se situa a 20 cm do inseto.

A partir do enunciado, assinale o que for correto.

01) As ondas produzidas na água são exemplos de ondas transversais.

02) A frequência das ondas produzidas pelo inseto é 2 Hz.

04) O comprimento de onda da onda é 8 cm.

08) O período das oscilações produzidas pelo inseto é 0,5 s.

2) Analise as proposições:

I. A refração ocorre quando uma onda atravessa a superfície de separação de dois meios, passando a se propagar no segundo meio.

II. Na refração, a frequência da onda não se altera.

III. Na refração, a velocidade de propagação da onda pode ou não variar.

IV. Na refração, a direção de propagação da onda pode mudar ou não.

V. Na refração, ocorre inversão de fase na onda.

Podemos afirmar que:

a) todas as afirmativas são verdadeiras.

b) todas as afirmativas são falsas.

c) apenas I, II e IV são verdadeiras.

d) apenas I e V são verdadeiras.

e) apenas IV e V são verdadeiras.

3) (Ufv-mg) Duas cordas, de diâmetros diferentes, são unidas pelas extremidades. Uma pessoa faz vibrar a extremidade da corda fina, criando uma onda.

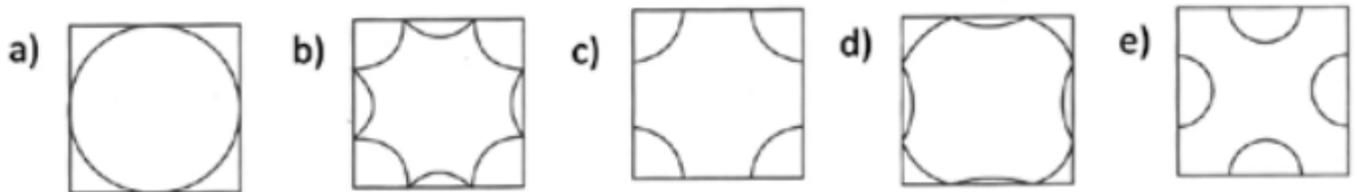


Sabendo-se que, a corda fina, a velocidade de propagação vale 2,0 m/s e o comprimento de onda é 20 cm, e que na corda grossa o comprimento de onda é 10 cm, calcule:

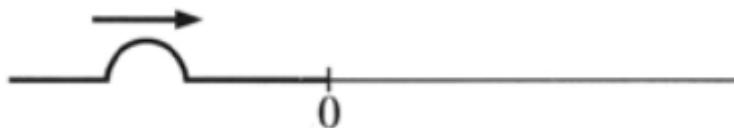
- a frequência de oscilação da corda fina;
- a frequência de oscilação da corda grossa;
- a velocidade de propagação da onda na corda grossa.

4) (Faap-sp) Ondas mecânicas de frequência 100 Hz e velocidade de 400 m/s se propagam num meio **A**. Ao atingir um meio **B**, elas se refratam. Sabendo que o índice de refração do meio **B** em relação ao **A** é 0,8, determine a velocidade e o comprimento de onda no meio **B**.

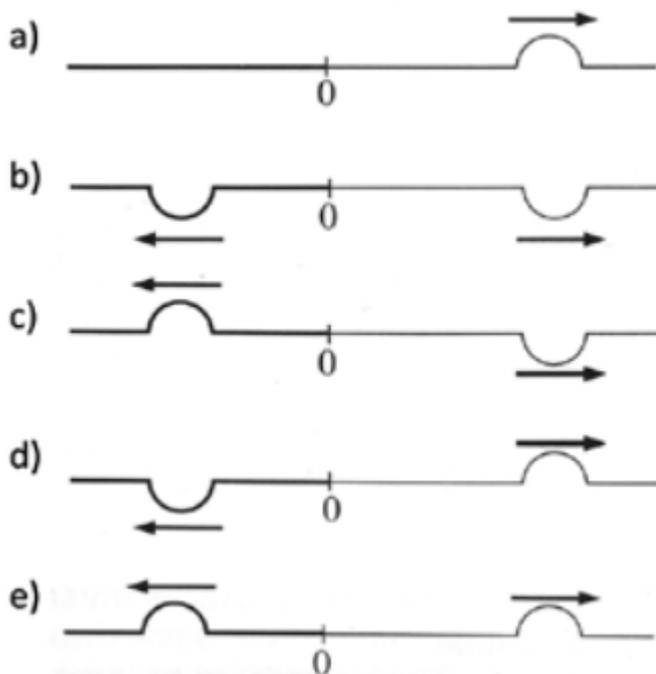
5) (Fuvest-sp) Provoca-se uma perturbação no centro de um recipiente quadrado contendo líquido, produzindo-se uma frente de onda circular. O recipiente tem 2 m de lado e a velocidade da onda é de 1,0 m/s. Qual das figuras melhor representa a configuração da frente de onda, 1,2 s após a perturbação?



6) (Mack- sp) Um pulso se propaga em uma corda composta, tensa, conforme mostra a figura.



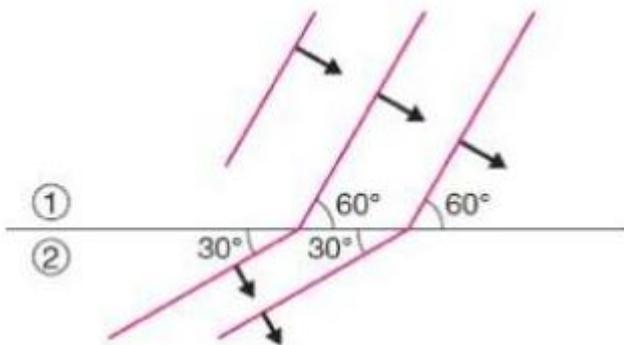
O pulso vai da região de maior para a de menor densidade linear. Após o pulso passar pela junção **O**, o diagrama que mostra a correta configuração do pulso (ou pulsos) é:



7) (Ufrs) Dispõem-se de duas cordas flexíveis e homogêneas de diferentes densidades que estão emendadas e esticadas. Quando uma onda periódica transversal se propaga de uma corda para outra:

- a) Alteram-se o comprimento de onda e a velocidade de propagação, mas a frequência da onda permanece a mesma.
- b) Alteram-se o comprimento de onda e a frequência, mas a velocidade de propagação da onda permanece a mesma.
- c) Alteram-se a velocidade de propagação e a frequência da onda, mas seu comprimento permanece o mesmo.
- d) Altera-se a frequência, mas o comprimento e a velocidade de propagação da onda permanecem iguais.
- e) Altera-se o comprimento de onda, mas a frequência e a velocidade de propagação da onda permanecem as mesmas.

8) (Unifor-ce) As frentes de ondas planas na superfície da água mudam de direção ao passar de uma parte mais profunda de um tanque para outra mais rasa, como mostra o esquema a seguir:

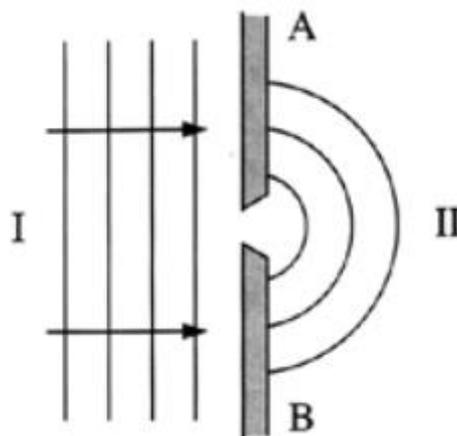


Se a velocidade de propagação das ondas é de 174 cm/s na parte mais profunda, na parte mais rasa a velocidade, em centímetros por segundo, vale:

- a) 87
- b) 100
- c) 174
- d) 200
- e) 348

O texto a seguir é comum às duas próximas questões:

(Ufmg) - A figura é uma representação esquemática de propagação de ondas, na superfície da água de um tanque, de profundidade uniforme no sentido indicado pelas setas. **AB** é um obstáculo contendo uma fenda.



9) Quanto a velocidade de propagação v das ondas e sua frequência f é correto afirmar que:

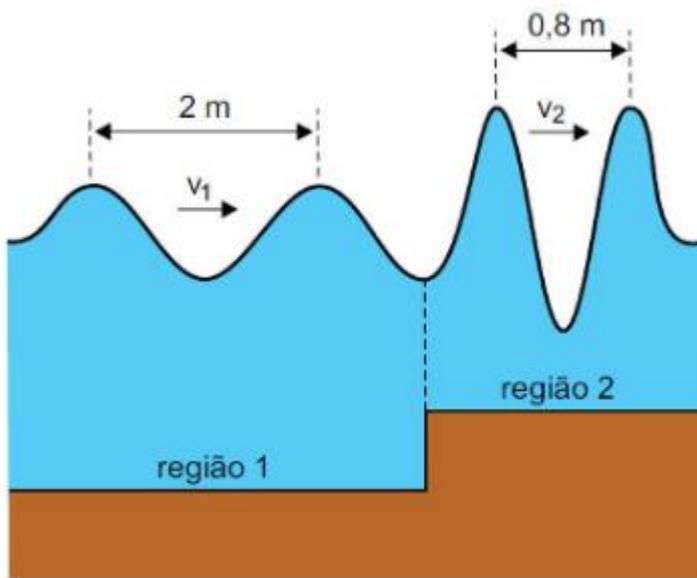
- a) na região I, v e f são maiores do que na região II.
- b) na região I, v e f são menores do que na região II.

- c) na região II, f é maior e v é menor do que na região I.
- d) na região II, f é o mesmo e v é maior do que na região I.
- e) nas regiões I e II, v e f tem os mesmos valores.

10) O fenômeno ondulatório que está representado na figura e que ocorre quando a onda passa pela fenda é:

- a) difração
- b) interferência
- c) polarização
- d) reflexão
- e) refração

11) (Faema sp) Com o objetivo de simular as ondas no mar, foram geradas, em uma cuba de ondas de um laboratório, as ondas bidimensionais representadas na figura, que se propagam de uma região mais funda (região 1) para uma região mais rasa (região 2).

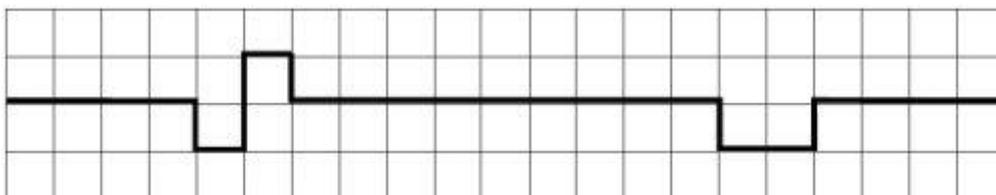


Sabendo que, quando as ondas passam de uma região para a outra, sua frequência de oscilação não se altera e considerando as medidas indicadas na figura, é correto afirmar que a razão entre as velocidades de propagação das ondas nas regiões 1 e 2 é igual a:

- a) 1,6
- b) 0,4
- c) 2,8
- d) 2,5
- e) 1,2

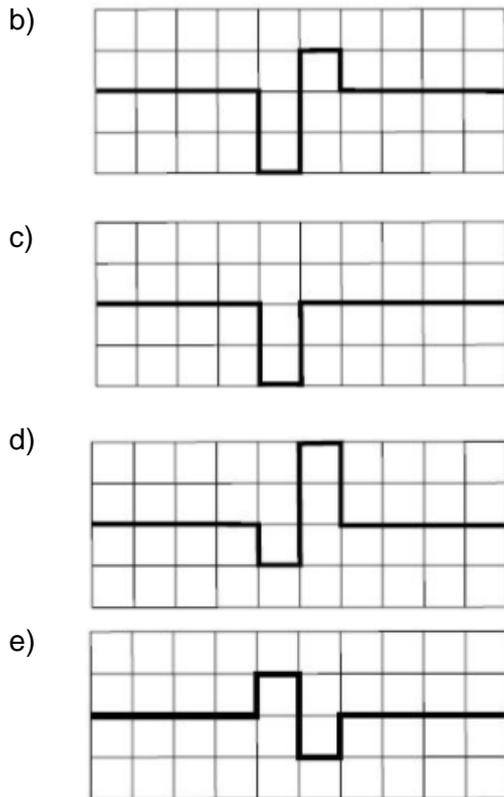
fora de escala

12) (Fgv) A figura mostra dois pulsos que se movimentam em sentidos contrários, um em direção ao outro sobre a mesma corda, que pode ser considerada ideal.

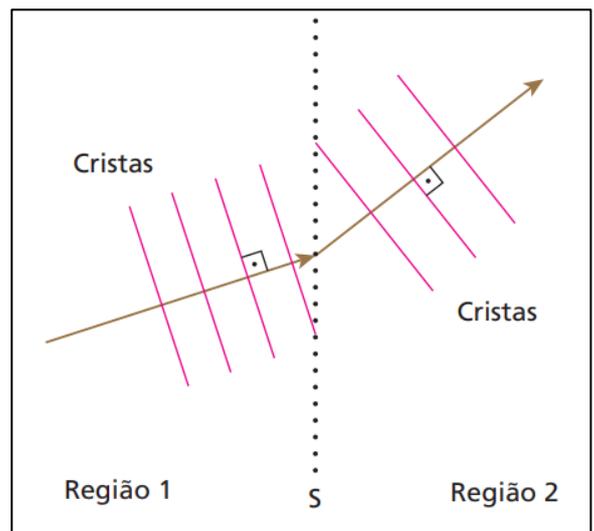


No momento em que houver sobreposição total, a disposição esperada para os pontos da corda estará melhor indicada por:

- a)



13) (Ufba) A figura seguir mostra, esquematicamente, as frequências de ondas planas, geradas em uma cuba de ondas, em que duas regiões, nas quais a água tem profundidades diferentes, são separadas pela superfície imaginária **S**. As ondas são geradas na região 1, com frequência de 4 Hz, e se deslocam em direção à região 2. Os valores medidos no experimento, para as distâncias entre duas cristas consecutivas nas regiões 1 e 2 valem respectivamente, 1,25 cm e 2,00 cm. Com base nessas informações e na análise da figura, pode-se afirmar:



(01) O experimento ilustra o fenômeno da difração de ondas.

(02) A frequência da onda na região II vale 4Hz.

(04) O comprimento de onda, nas regiões I e II, valem, respectivamente, 2,30cm e 4,00cm.

(08) A velocidade da onda, na região II, é maior do que na região I.

(16) Seria correto esperar-se que o comprimento de onda fosse menor nas duas regiões, caso a onda gerada tivesse frequência maior do que 4Hz.

Gabarito: 1) 01 + 04 = 05 2) C 3) a) $f = 10 \text{ Hz}$ b) $f = 10 \text{ Hz}$ c) $v = 1,0 \text{ m/s}$ 4) $v_2 = 500 \text{ m/s}$ e $\lambda_2 = 5 \text{ m}$ 5) D 6) E 7) A 8) B 9) E 10) A 11) D 12) C 13) 02 + 08 + 16 = 26