

FRENTE: FÍSICA II

PROFESSOR(A): CARLOS EDUARDO

ASSUNTO: ONDULATÓRIA

## EAD – ITA/IME

### AULAS 33 A 35

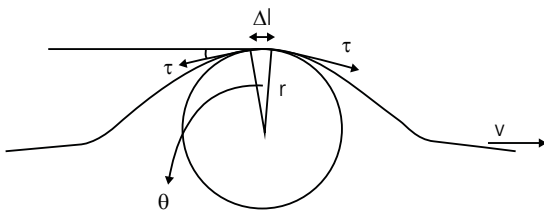


### Resumo Teórico

## Introdução à Óptica Geométrica

### Velocidade de uma onda em um fio

Estudaremos um modelo para calcular a velocidade de propagação das ondas em cordas.



Assim, teremos:

$$2\tau \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = 2\tau \frac{\theta}{2} = \frac{\tau \Delta l}{r} = \Delta m \frac{v^2}{r}$$

$$v = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}}$$

onde  $\tau$  é a tração na corda e  $\mu$  a densidade linear.

### Reflexão e transmissão de ondas

Quando uma onda de um meio (1) incide sobre outro meio (2), ocorrem dois fenômenos físicos bastante conhecidos: reflexão e transmissão. A reflexão só ocorre quando as velocidades dos meios são diferentes. Esses fenômenos ocorrem com todos os tipos de ondas e a característica principal é a invariância da frequência. A frequência de uma onda é ditada pela fonte e não depende do meio.

As amplitudes de reflexão e de transmissão em função da onda incidente são, respectivamente,

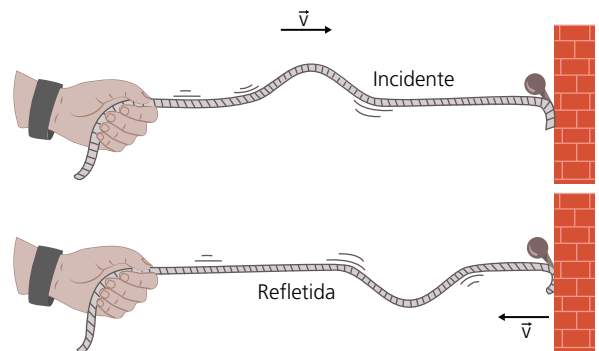
$$A_r = \frac{\sqrt{\mu_1} - \sqrt{\mu_2}}{\sqrt{\mu_1} + \sqrt{\mu_2}} A_i$$

$$A_t = \frac{2\sqrt{\mu_1}}{\sqrt{\mu_1} + \sqrt{\mu_2}} A_i$$

Como uma aplicação direta para a reflexão, temos o clássico exemplo com cordas:

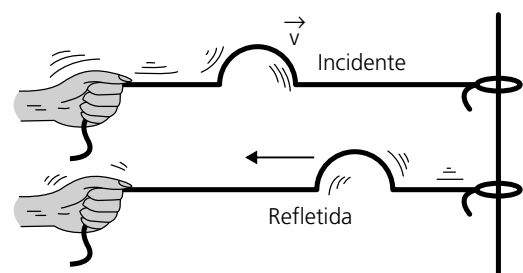
### Extremidade fixa

Quando a onda atingir a extremidade da corda que está presa à parede, haverá o fenômeno da reflexão. Como a extremidade é rígida (fixa), a onda é refletida "de cabeça para baixo", ou seja, com inversão de fase.

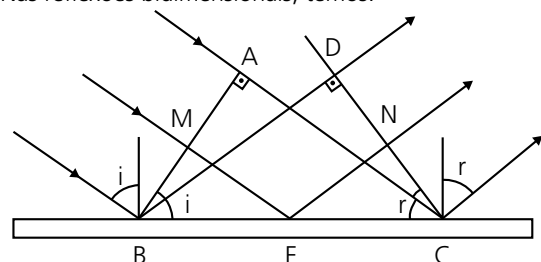


### Extremidade livre

Quando a extremidade da corda for livre (móvel), não ocorrerá inversão de fase durante a reflexão.



Nas reflexões bidimensionais, temos:



$$\angle BAC = \angle BDC = 90^\circ$$

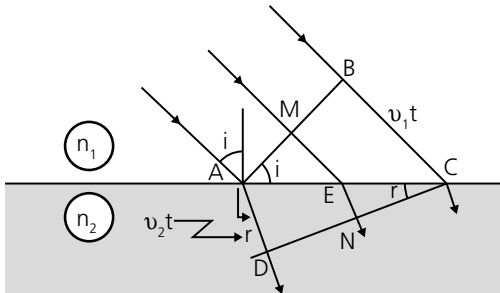
$$\angle ABC = \angle BDC$$

Logo, os ângulos de incidência e reflexão são iguais.

## Refração

A refração é o fenômeno que ocorre quando a onda, ao incidir em uma superfície, passa para o outro meio. Neste processo, mantém-se a frequência constante e somente a velocidade e comprimento de onda são alterados.

Na refração, observamos o seguinte esquema.



Observando o quanto a onda andou, temos que

$$\frac{BC}{AD} = \frac{v_1 t}{v_2 t} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

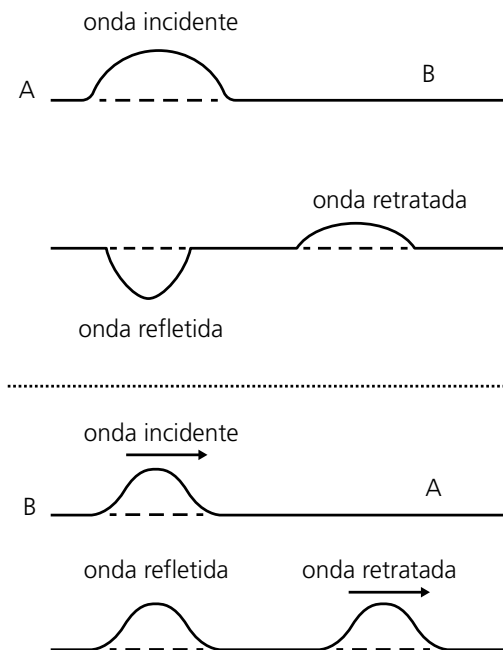
Por outro lado, podemos extrair da geometria que:

$$\frac{\text{sen}_{(i)}}{\text{sen}_{(r)}} = \frac{BC}{AD} = \frac{BC}{AD} t$$

Juntando as equações, obtemos

$$\frac{\text{sen}_{(i)}}{v_1} = \frac{\text{sen}_{(r)}}{v_2}$$

O exemplo de refração em cordas é análogo. A refração ocorre quando uma onda é transferida de uma corda para outra. Se a corda que recebe tiver uma densidade linear maior, a velocidade da onda se reduz. Caso a densidade linear da corda for menor, a velocidade aumenta.

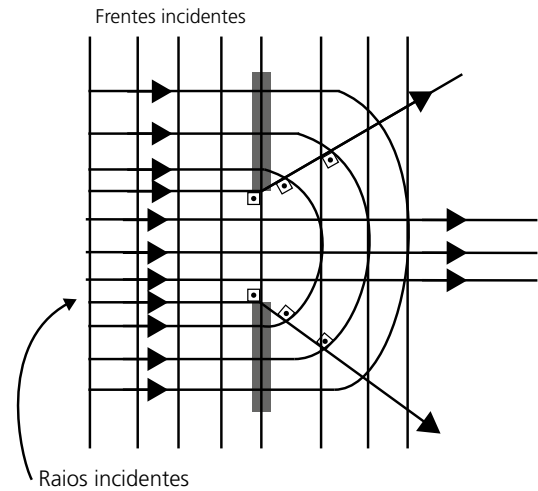


Atenção aos casos de inversão de fase na reflexão!

- Ondas sonoras invertem a fase quando se refletem em uma superfície fixa.
- As ondas eletromagnéticas invertem a fase na reflexão se  $v_2 < v_1$  (do meio menos para o mais refringente).

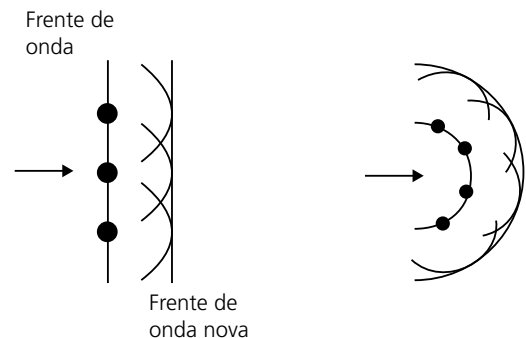
## Difração de ondas

O fenômeno chamado difração é o encurvamento sofrido pelos raios de onda quando esta encontra obstáculos à propagação. Imagine a situação em que uma onda se propaga em um meio, até onde encontra uma fenda posta em uma barreira.



Christian Huygens (1629-1695) foi um matemático, físico e astrônomo holandês que patenteou o primeiro relógio de pêndulo (1656), produziu potentes lentes capazes de detectar uma das luas de Saturno e desenvolveu trabalhos relacionados à teoria ondulatória da luz.

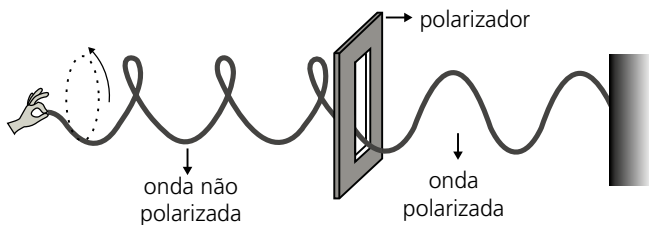
O chamado Princípio de Huygens diz que cada ponto em uma frente de onda funciona como uma nova fonte, produzindo ondas que se propagam com a mesma frequência e velocidade e na mesma direção das ondas originais.



A imagem anterior representa ondas propagando-se na superfície da água, por exemplo. Cada linha corresponde a uma frente de onda que se desloca para a direita. De acordo com o Princípio de Huygens, cada ponto destacado na frente de onda comporta-se como uma nova fonte, o que faz com que a frente de onda mantenha seu formato, desde que não existam obstáculos a serem superados.

**Polarização de ondas**

Polarização é o fenômeno no qual uma onda transversal, vibrando em várias direções, tem uma de suas direções de vibração selecionada, enquanto as vibrações nas demais direções são impedidas de passar por um dispositivo, denominado polarizador.



**Exercícios**

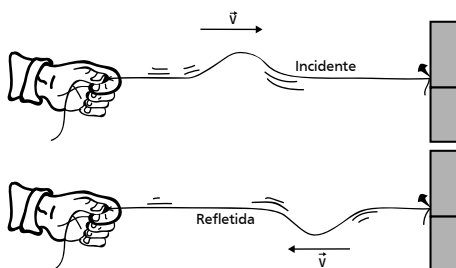
01. Uma das características que diferem ondas transversais de ondas longitudinais é que apenas as ondas transversais podem ser
- polarizadas.
  - espalhadas.
  - refletidas.
  - refratadas.
  - difratadas.

02. Sir David Brewster (1781-1868), físico inglês, realizou estudos experimentais sobre reflexão, refração e polarização da luz. Sobre estudos da polarização da luz, mostrou que esse fenômeno é característico de ondas:
- longitudinais, e pode ocorrer por difração ou por meio de polarizadores;
  - transversais, e pode ocorrer por reflexão ou transmissão;
  - transversais ou longitudinais, e pode ocorrer por interferência ou transmissão.

Está correto o contido em

- I, apenas.
- II, apenas.
- III, apenas.
- I e II, apenas.
- I, II e III.

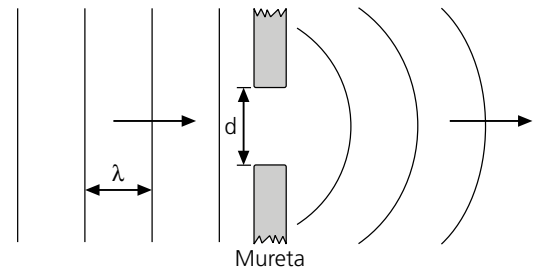
03. (IFCE)



Um pulso, em uma corda de extremidade fixa, ao refletir, sofre inversão de fase. Observe a figura anterior. O fato de ocorrer inversão na fase do pulso está ligado à(ao)

- Primeira Lei de Newton.
- Princípio da Conservação da Energia.
- Terceira Lei de Newton.
- Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento.
- Lei de Coulomb.

04. O esquema a seguir representa, visto de cima, a evolução de ondas na superfície da água. Elas se propagam da esquerda para a direita, incidindo na mureta indicada, na qual há uma abertura de largura  $d$ .



As ondas, cujo comprimento de onda vale  $\lambda$ , conseguem "contornar" a mureta, propagando-se à sua direita. É correto que

- ocorreu refração, e  $d > \lambda$ .
  - ocorreu refração, e  $d = \lambda$ .
  - ocorreu difração, e  $d < \lambda$ .
  - ocorreu reflexão, e  $d > \lambda$ .
  - tudo o que se afirmou não tem relação alguma com o fenômeno ocorrido.
05. (ITA) "Cada ponto de uma frente de onda pode ser considerado a origem de ondas secundárias, tais que a envoltória dessas ondas forma a nova frente de onda."
- Trata-se de um princípio aplicável somente a ondas transversais;
  - Tal princípio é aplicável somente a ondas sonoras;
  - É um princípio válido para todos os tipos de ondas, tanto mecânicas quanto eletromagnéticas.
- Das afirmativas, pode-se dizer que
- somente I é verdadeira.
  - todas são falsas.
  - somente III é verdadeira.
  - somente II é verdadeira.
  - I e II são verdadeiras.
06. Informações são guardadas em discos CD por meio de sequências de traços ao longo da superfície do disco, as quais são varridas por um feixe de *laser* durante a leitura.

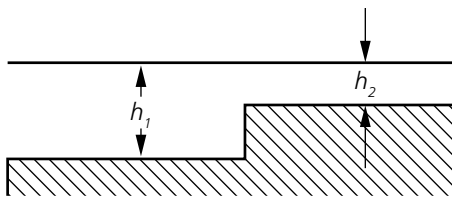
Analise as proposições a seguir.

- ( ) No vácuo, a velocidade das ondas eletromagnéticas que formam o feixe de *laser* é de 300 000 km/s.
- ( ) As ondas eletromagnéticas que formam o feixe de *laser* podem deslocar-se através de fibras ópticas, sofrendo sucessivas reflexões totais.
- ( ) Qualquer feixe de *laser*, tal como o feixe empregado na leitura de um CD, é formado por ondas eletromagnéticas de vários comprimentos de onda.
- ( ) Todo feixe de *laser* é formado por fótons de frequência bem definida.
- ( ) A leitura de um disco CD é realizada com base no fenômeno da interferência de ondas.
- ( ) A leitura de um disco CD é feita de maneira digital (binária), isto é, *laser* refletido fortalecido: dígito 1; *laser* refletido enfraquecido: dígito 0.
- ( ) A leitura de um disco CD também pode ser realizada com o emprego de ondas mecânicas.

07. Ondas são fenômenos nos quais há transporte de energia sem que seja necessário o transporte de massa. Um exemplo particularmente extremo são os *tsunamis*, ondas que se formam no oceano, como consequência, por exemplo, de terremotos submarinos.
- A) Se, na região de formação, o comprimento de onda de um *tsunami* é de 150 km e sua velocidade é de 200 m/s, qual é o período da onda?
- B) A velocidade de propagação da onda é dada por  $v = \sqrt{gh}$ , em que  $h$  é a profundidade local do oceano e  $g$  é a aceleração da gravidade. Qual é a velocidade da onda em uma região próxima à costa, onde a profundidade é de 6,4 m? (**Dado:**  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )
- C) Sendo  $A$  a amplitude (altura) da onda e supondo-se que a energia do *tsunami* se conserva, o produto  $vA^2$  mantém-se constante durante a propagação. Se a amplitude da onda na região de formação for 1,0 m, qual será a amplitude perto da costa, onde a profundidade é de 6,4 m?

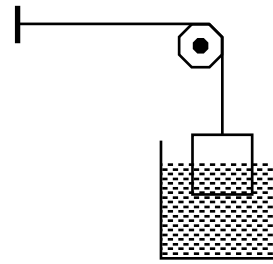
08. Uma fonte isotrópica pontual cuja potência sonora é  $P = 0,10 \text{ W}$ , está localizada no centro de um cilindro oco com raio  $r = 1,0 \text{ m}$  e altura  $h = 2,0 \text{ m}$ . Assumindo que o som é completamente absorvido pelas paredes do cilindro, encontre o fluxo de energia média que atinge a superfície lateral do cilindro.
- A) 0,007 W                      B) 0,005 W  
C) 0,07 W                        D) 0,05 W  
E) N.D.A.

09. Na figura a seguir, está representada a secção transversal de um recipiente infinitamente grande com um líquido. Da esquerda, do meio que tem uma profundidade  $h_1$ , e sob um ângulo de  $\phi_1$ , em relação ao limite de divisão, movimenta-se uma onda plana, cujo comprimento é  $\lambda \gg h_1$ . Que ângulo com o limite de divisão formará esta onda no meio, cuja profundidade do líquido é  $h_2$ . Sabe-se que a velocidade de propagação das ondas gravitacionais longas, em um recipiente infinitamente grande, é igual a  $v = k\sqrt{gh}$ , onde  $K$  é um coeficiente de proporcionalidade e  $h$  é a profundidade do recipiente.



10. Um cabo de comprimento  $L$  e massa  $M$  está pendurado no teto.
- A) Mostre que a velocidade de uma onda transversal, como função da posição ao longo do cabo livre, é  $v = \sqrt{gx}$ , onde  $x$  é a distância à extremidade livre.
- B) Mostre que o pulso transversal atravessa o cabo em um tempo igual a  $2\sqrt{L/g}$ . Observe que os resultados são independentes da massa.
11. Um fio de 10,0 m de comprimento e de massa 100 g é tracionado por uma tensão de 250 N. Se dois pulsos, separados no tempo de 30,0 m/s, são gerados, um em cada extremidade do fio, onde eles se encontrarão pela primeira vez?
- A) 7,73 m  
B) 7,37 m  
C) 3,45 m  
D) 3,54 m  
E) N.D.A.

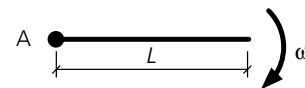
12.



Mede-se a velocidade  $v$  de propagação de ondas transversais em um fio com uma extremidade presa a uma parede, que é mantido esticado pelo peso de um bloco suspenso na outra extremidade por meio de uma polia. Depois, mergulha-se o bloco na água até os  $2/3$  da altura e verifica-se que a velocidade cai para 95,5% da anterior (ver figura). Qual é a densidade do bloco em relação à água?

13. Duas cordas de mesmo comprimento, de densidades lineares  $\mu_1$  e  $\mu_2$ , tendo a primeira o dobro da massa da outra, são interconectadas, formando uma corda única afixada em anteparos interdistantes de  $\ell$ . Dois pulsos propagam-se ao mesmo tempo em sentidos opostos nessa corda. Determine o instante e a posição em que os pulsos se encontram, sabendo que a corda está submetida a uma tensão  $T$ .

14. (IME) Uma corda de comprimento  $L$  e densidade linear constante gira em um plano em torno da extremidade fixa no ponto  $A$ , a uma velocidade angular constante  $\omega$ . Um pulso ondulatório é gerado a partir de uma das extremidades. A velocidade  $v$  do pulso, no referencial da corda, a uma distância  $r$  da extremidade fixa, é dada por



- A)  $\omega \frac{L-r}{2}$                       B)  $\omega \sqrt{\frac{L(L-r)}{2}}$   
C)  $\frac{\omega}{\sqrt{2L}}(L^2-r^2)$                       D)  $\omega \sqrt{\frac{L^2-r^2}{2}}$   
E)  $\frac{\omega L}{2} \sqrt{\frac{L-r}{L+r}}$

15. No estudo de ondas que se propagam em meios elásticos, a impedância característica de um material é dada pelo produto da sua densidade pela velocidade da onda nesse material, ou seja,  $z = \mu v$ . Sabe-se, também, que uma onda de amplitude  $a_1$ , que se propaga em um meio 1, ao penetrar em uma outra região, de meio 2, origina ondas, refletida e transmitida, cujas amplitudes são, respectivamente,

$$a_r = \left[ \frac{z_1 - 1}{z_2 + 1} \right] a_i$$

$$a_t = \left[ \frac{2}{z_2 + 1} \right] a_i$$

Em um fio, sob tensão  $\tau$ , a velocidade da onda nesse meio é dada por  $v = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}}$ . Considere agora o caso de uma onda que se propaga em um fio de densidade linear  $\mu$  (meio 1) e penetra em um trecho desse fio em que a densidade linear muda para  $4\mu$  (meio 2). Indique a figura que representa corretamente as ondas refletida (**r**) e transmitida (**t**).

- A)
- B)
- C)
- D)
- E)

**Gabarito**

|           |           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>01</b> | <b>02</b> | <b>03</b> | <b>04</b> | <b>05</b> |
| A         | B         | C         | C         | C         |
| <b>06</b> | <b>07</b> | <b>08</b> | <b>09</b> | <b>10</b> |
| *         | -         | C         | -         | -         |
| <b>11</b> | <b>12</b> | <b>13</b> | <b>14</b> | <b>15</b> |
| B         | -         | -         | D         | A         |

\*06. V - V - F - V - V - V - F  
 - Demonstração.

**Anotações**