

Ondulatória

Assunto: Ondas

Aula 09 – Cordas Sonoras

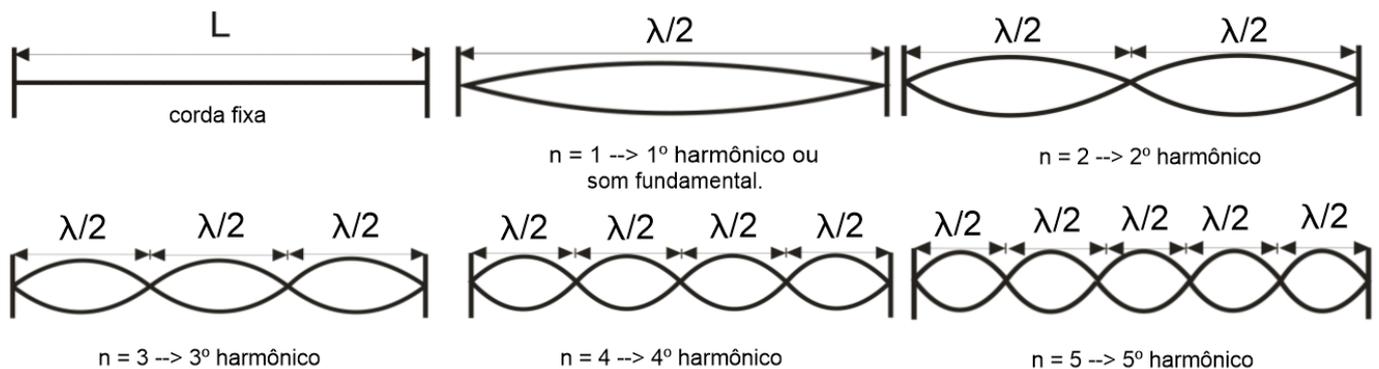
Para acompanhar esta aula em vídeo, vá à aba “Aulas” e clique em Ondulatória – aula 09

Cordas Sonoras

Consideremos uma corda esticada e com suas duas extremidades fixas. Provocando uma perturbação na corda, a onda transversal incidente e a refletida nas extremidades darão origem a uma onda estacionária na corda.

As vibrações da corda perturbarão o ar da região ao seu redor, dando origem às ondas sonoras que terão a mesma frequência de oscilação dos pontos da corda.

As extremidades fixas da corda sempre serão **nós**. Entre elas haverá a formação de **n** ventres. Haverá, portanto, diferentes modos de vibração ou diferentes **harmônicos**. Nas figuras seguintes apresentamos os cinco primeiros harmônicos.



Então temos que o comprimento da corda é dado por:

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2} \quad \left\{ \begin{array}{l} L = \text{comprimento da corda} \\ n = \text{n}^\circ \text{ de ventres (harmônico)} \\ \lambda = \text{comprimento de onda} \end{array} \right.$$

Já vimos também em aulas anteriores que o comprimento de onda em uma corda irá depender da tração da corda, do material da mesma e da frequência de oscilação. As equações que relacionam estas variáveis são importantes para o desenvolvimento dos problemas. A seguir as mais importantes:

$$v = \lambda \cdot f \quad \text{Equação fundamental da onda}$$

$$\boxed{v = \sqrt{\frac{F}{\rho}}}$$

$\left\{ \begin{array}{l} v = \text{velocidade de propagação da onda na corda.} \\ F = \text{força de tração na corda} \\ \rho = \text{densidade linear da corda (m/L)} \end{array} \right.$

$$\boxed{v = \sqrt{\frac{F \cdot L}{m}}}$$

$\left\{ \begin{array}{l} v = \text{velocidade de propagação da onda na corda.} \\ F = \text{força de tração na corda} \\ L = \text{comprimento da corda} \end{array} \right.$

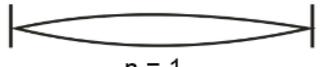
Então por exemplo, da equação fundamental da onda teremos que:

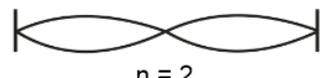
$$\lambda = \frac{v}{f} \quad \text{Se isolarmos } \lambda \text{ em: } L = n \cdot \frac{\lambda}{2} \quad \text{teremos: } \lambda = \frac{2 \cdot L}{n}$$

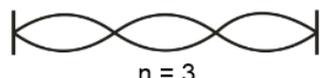
Igualando os dois λ agora, teremos: $\frac{v}{f} = \frac{2 \cdot L}{n}$

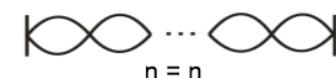
Logo: $\boxed{f = n \cdot \frac{v}{2L}}$

$\left\{ \begin{array}{l} f = \text{frequência da onda} \\ n = \text{nº de ventres (harmônico)} \\ v = \text{velocidade de propagação da onda na corda} \\ L = \text{comprimento da corda} \end{array} \right.$

Para o 1º harmônico teremos: $f_1 = \frac{v}{2L}$ 

Para o 2º harmônico teremos: $f_2 = 2 \cdot \frac{v}{2L}$  $\rightarrow f_2 = 2 \cdot f_1$

Para o 3º harmônico teremos: $f_3 = 3 \cdot \frac{v}{2L}$  $\rightarrow f_3 = 3 \cdot f_1$

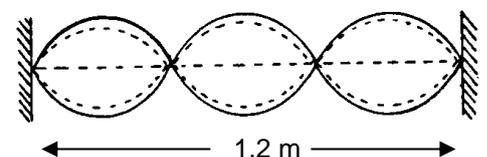
Para o nº harmônico teremos: $f_n = n \cdot \frac{v}{2L}$  $\rightarrow \boxed{f_n = n \cdot f_1}$

Observe que se você conhecer a frequência em qualquer harmônico você consegue calcular a frequência no primeiro harmônico e vice-versa.

Exercício de aprendizagem:

1) Uma corda de massa $m = 240\text{g}$ e comprimento $L = 1,2\text{ m}$ está tracionada por uma força $F = 2,88 \times 10^3\text{ N}$. A corda vibra no estado estacionário representado na figura ao lado. Determine: (adote $v_{\text{som}} = 300\text{ m/s}$)

- a frequência da onda sonora emitida pela corda;
- o comprimento da onda estacionária na corda;
- o comprimento da onda sonora;



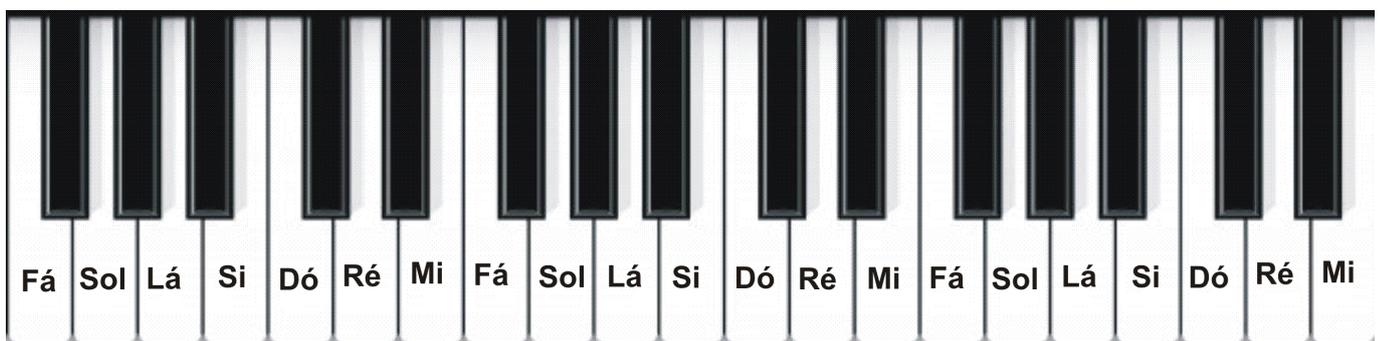
d) a frequência do som se a corda vibrasse no modo fundamental.



Resposta: 1) a) $f = 150 \text{ Hz}$ b) $\lambda_{\text{corda}} = 0,80 \text{ m}$ c) $\lambda_{\text{som}} = 2 \text{ m}$ d) $f_1 = 50 \text{ Hz}$

Observações:

- 1) Na verdade, quando uma corda de violão por exemplo é tocada, ela vibra no modo fundamental e simultaneamente, em vários harmônicos. Então a forma da corda vibrar é muito mais complexa do que a forma correspondente a cada harmônico, como vimos. Mas para efeitos de cálculo aqui no ensino médio trabalhamos com esse dado fixo em um dos harmônicos. Então você não precisa de se preocupar com isso. Se for cobrado provavelmente você terá o valor do harmônico.
- 2) Outro termo técnico que costuma aparecer em provas de Física é a "oitava". Você já deve ter ouvido falar que as notas musicais são Dó Ré Mi Fá Sol Lá Si Dó. Então em um teclado de piano por exemplo temos o seguinte esquema:



Então por exemplo, a distância de uma nota **Dó** para a próxima nota **Dó** são exatamente 8 teclas, contando com a própria tecla. E a frequência de um **Dó** para o outro na sequencia é exatamente o dobro da anterior. Isto ocorre com todas as notas, **Ré** para **Ré**, **Mi** para **Mi**, etc. Então quando se quer um som mais agudo diz-se subir uma oitava ou duas oitavas.

Por exemplo: Uma das notas **fá** tem frequência 349,2 Hz. Qual a frequência da nota situada duas oitavas acima desse **fá**?

Solução: Para subir uma oitava teremos que dobrar a frequência (x2). O resultado teremos que dobrar novamente, pois são duas oitavas (x2). Portanto deveremos multiplicar por 4.

Resposta: $349,2 \times 4 = 1396,8$ Hz

Exercícios de aprendizagem:

2) Uma corda de piano em aço tem 50 cm de comprimento e 6g de massa. Se ela é submetida a uma força tensora de 30 N, determine:

a) A frequência do som fundamental;

b) A frequência do som fundamental de uma corda que esteja uma oitava acima.

Resposta: a) 50 Hz b) 100 Hz

02) Uma corda tracionada tem frequência fundamental f_0 . Qual será a nova frequência fundamental se o comprimento da corda for reduzido à metade, mantendo constante a força tensora?

Resposta: $f' = 2.f_0$

Exercícios de Fixação:

1) Numa corda tracionada, a velocidade de propagação de ondas é 500 m/s. O comprimento da corda é 1,0 m.

a) Calcule o tempo que decorre para que um pulso percorra a corda, seja refletido e volte ao mesmo ponto.

b) Calcule a frequência fundamental dessa corda.

2) Determine a frequência do 5º harmônico de uma corda de 2,0 m de comprimento, sendo 40 m/s a velocidade de propagação de ondas nessa corda.

3) A figura representa uma corda de 2 metros de comprimento vibrando com frequência de 60 Hz. Pede-se:



a) a frequência fundamental dessa corda;

b) a velocidade de propagação de ondas nessa corda.

4) Traciona-se uma corda com força $F = 200$ N. Sendo a densidade linear da corda 20 g/m e seu comprimento 0,50 m, determine a frequência fundamental e a frequência do 2º harmônico dessa corda.

5) Uma fonte emite uma onda sonora de comprimento de onda 50 cm, que se propaga no ar com velocidade de 340 m/s. Determine a frequência do som que está uma oitava acima desta.

6) (Fgv) As figuras 1 e 2 representam a mesma corda de um instrumento musical percutida pelo músico e vibrando em situação estacionária.



figura 1

De uma figura para outra, não houve variação na tensão da corda. Assim, é correto afirmar que, da figura 1 para a figura 2, ocorreu



figura 2

Interbits®

a) um aumento na velocidade de propagação das ondas formadas na corda e também na velocidade de propagação do som emitido pelo instrumento.

b) um aumento no período de vibração das ondas na corda, mas uma diminuição na velocidade de propagação do som emitido pelo instrumento.

c) uma diminuição na frequência de vibração das ondas formadas na corda, sendo mantida a frequência de vibração do som emitido pelo instrumento.

d) uma diminuição no período de vibração das ondas formadas na corda e também na velocidade de propagação do som emitido pelo instrumento.

e) um aumento na frequência de vibração das ondas formadas na corda, sendo mantida a velocidade de propagação do som emitido pelo instrumento.

7) Em uma corda vibrante com 1m de comprimento, presa em suas duas extremidades, formam ondas estacionárias de tal maneira que há 4 nodos. Sabendo que a massa da corda é 10g e que nessa situação a frequência da onda estacionária é 105Hz, assinale o que for correto.

01) O comprimento de onda da onda estacionária é $\frac{2}{3}$ m.

02) A velocidade de propagação da onda na corda vibrante é diretamente proporcional à densidade linear da corda.

04) A velocidade de propagação da onda na corda é 70 m/s.

08) Na situação descrita, a corda vibrante apresenta 5 ventres.

16) A tensão na corda é 49 N.

Gabarito: 1) a) $\Delta t = 0,004$ s b) $f = 250$ Hz 2) $f_5 = 50$ Hz 3) a) $f_1 = 12$ Hz b) $v = 48$ m/s
3) a) $f_1 = 100$ Hz b) $f_2 = 200$ Hz 5) $f' = 1360$ Hz 6) E 7) Observe que o autor fala nodos. Os nodos são os nós. Então são verdadeiras 01 + 04 + 16 = 21.



Dificuldade em Física?

Conheça o site
www.fisicafacil.net

Todo conteúdo de Física do
Ensino Médio, aula a aula, em vídeo +
listas de exercícios + aulas em pdf + tira
dúvidas por whatsapp, email ou Skype.