Ondas Estacionárias em uma Corda.

INTRODUÇÃO

Em uma corda uniforme de densidade linear de massa μ, submetida a uma tensão T, a velocidade de propagação v de um pulso ou de uma onda transversal é dada por

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}, \qquad (1)$$

Para pequenas amplitudes de oscilação, essa velocidade independe da forma e da amplitude da onda.

Duas ondas com o mesmo comprimento de onda, propagando-se em direções opostas, dão origem a ondas estacionárias. Isso ocorre, por exemplo, quando vibrações são produzidas em uma corda esticada com as extremidades fixas, como representado na Figura 1. Nesse caso, as ondas refletidas em cada extremidade superpõem-se àquelas que estão se propagando em sentido oposto e produzem configurações determinadas pela condição de que, em qualquer instante, a amplitude deve ser nula nesses dois pontos, ou seja, as duas extremidades devem ser nós. Para que essa situação ocorra, o comprimento l da corda deve satisfazer a relação:

$$l = n\frac{\lambda}{2}, \qquad (2)$$

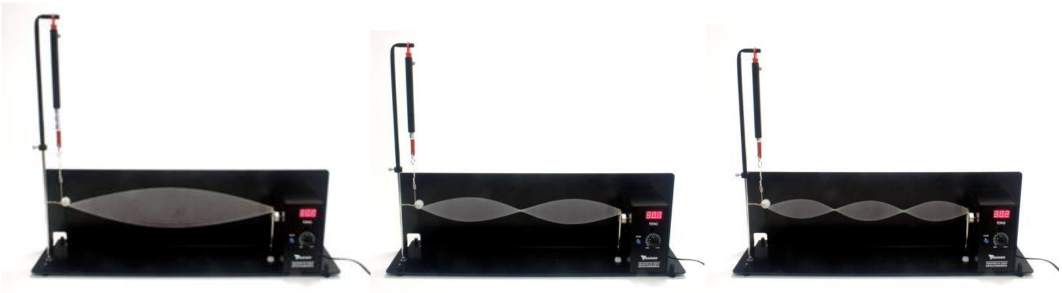
Em que $n = 1, 2, 3, ...$

Portanto, as frequências de oscilação de uma corda com as duas extremidades fixas são dadas por:

$$f = \left(\frac{n}{2l}\right)v, \qquad (3)$$

Essas ondas estacionárias, mostradas na Figura 1, são chamadas de modos normais de vibração da corda. O modo fundamental corresponde à frequência em que $n = 1$, sendo observado um único ventre entre as extremidades fixas; o segundo harmônico corresponde àquela em que $n = 2$, sendo observados dois ventres entre as extremidades fixas da corda; e assim, sucessivamente.

As ondas produzidas pelas vibrações de uma corda são rapidamente amortecidas, a menos que



(a) (b) (c)

Figura 1 – Possibilidades de ondas estacionarias em uma corda de comprimento l com ambas as extremidades fixas; estão representados os modos em que n = 1 (a), 2 (b) e 3 (c).

seja continuamente fornecida energia para manter suas amplitudes constantes. Se a corda for submetida a uma força externa periódica, com frequência igual à de um de seus modos normais, mesmo uma pequena força poderá produzir ondas de grande amplitude. Esse efeito é chamado de ressonância. Nesse caso, a força externa fornece energia à corda continuamente, e o amortecimento, causado pelo atrito, determina a amplitude das oscilações – se o amortecimento for pequeno, a amplitude das oscilações poderá ser muito grande.

PARTE EXPERIMENTAL

Objetivos

- Produzir ondas estacionarias em uma corda.
- Verificar a relação entre as características da corda e a frequência e o comprimento de onda dessas ondas.

Material utilizado

- Gerador de onda estacionaria com sistema rotacional e controle eletrônico da frequência, dinamômetro, corda, contrapeso tipo gancho, trena.

Procedimentos (O professor escolherá qual dos procedimentos seguintes deve ser realizado)

Procedimento 1

Um objeto de massa conhecida será pendurado em uma das extremidades da corda, passando por uma polia, como mostrado na Figura 2. A corda tem sua outra extremidade fixa no oscilador mecânico. O oscilador pode ser acionado para produzir oscilações na corda, cujas frequências podem ser variadas.

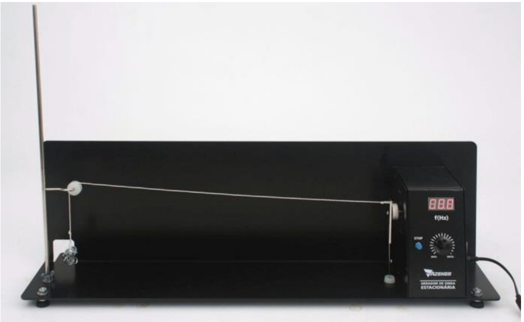


Figura 2 – Montagem experimental para estudar a relação entre frequência e comprimento de onda.

- Medir, com uma trena, o comprimento da corda entre os extremos fixos.
- Pendure na extremidade livre do fio 4 massas aferidas em S.
- Ajuste o oscilador à frequência mínima (10 Hz).
- Ligue o oscilador e varie a frequência de rotação, anotando os valores de frequência f_n para os quais é observada ressonância na corda. Faça uma tabela com um esboço da forma da onda, o índice n associado e a frequência de ressonância de cada modo de vibração observado.
- Deverão ser observados os modos de vibração correspondentes a $n = 1, 2, 3$ (no caso de uso do equipamento como mostrado neste roteiro). Utilizando uma corda mais longa ou o uso da montagem com o oscilador linear permitiria maior número de modos normais.
- Realize um gráfico da frequência f_n em função do comprimento de onda λ e justifique a forma da curva observada.
- Após linearizar o gráfico anterior, indique o significado físico do coeficiente angular do gráfico linearizado.
- Por meio de uma análise do gráfico da frequência f_n em função de n, obtenha a velocidade de propagação da onda.

- Determine a densidade linear de massa do fio utilizado a partir das equações 1-3.

Procedimento 2

Este procedimento é realizado com frequência fixa.

Neste caso, a extremidade livre da corda será fixada em um dinamômetro após passar o fio da corda por debaixo da polia, como mostrado na Figura 1.

- Montar o equipamento conforme a Figura 1, usando a corda de 3 fios.
- Medir, com uma trena, o comprimento da corda entre os extremos fixos.
- Aplicar uma força de tração de aproximadamente 0,10 N.
- Ligar o equipamento e ajustar a frequência próxima de 30 Hz. Ajustar a haste que fixa o dinamômetro para obter o primeiro modo de vibração (n = 1).
- Após obter o primeiro harmônico, ajustar a frequência para 30 Hz. Aguardar a estabilização da oscilação da corda e medir o valor da força indicada pelo dinamômetro, o comprimento de onda e o índice do modo de vibração (número de ventres).
- Mantendo a frequência fixa, obter a densidade linear da corda através de um processo de linearização que envolva T e λ. Para isso, será necessário obter a intensidade da tensão na corda e a frequência de vibração para cada comprimento de onda. Deverão ser observados os quatro primeiros modos de vibração.

Procedimento 3

Este procedimento é realizado com o comprimento de onda fixo.

A montagem experimental utilizada será a mesma do procedimento 2.

- Fixar os extremos da corda de 3 fios no oscilador e no dinamômetro, passando o fio da corda por debaixo da polia.
- Medir, com uma trena, o comprimento da corda entre os extremos fixos.
- Aplicar uma força de tração de aproximadamente 0,10 N.
- Ligar o equipamento e ajustar a frequência próxima de 10 Hz. Ajustar a haste que fixa o dinamômetro para obter o primeiro modo de vibração (n = 1) com a maior amplitude possível da onda estacionária.
- Aguardar alguns segundos para estabilizar a frequência e anotar o valor da força indicada no dinamômetro e a frequência da onda.
- Aumentar a frequência e movimentar o dinamômetro para obter a máxima amplitude da onda estacionária correspondente ao 1° harmônico.
- Obter uma tabela com 8 pares de frequência e força repetindo o procedimento até atingir um valor máximo de frequência de aproximadamente 30 Hz.
- Por meio de um processo de linearização envolvendo T e f, obter a densidade linear de massa da corda.

REFERENCIAS

- Física experimental básica na universidade. Agostinho Aurélio Garcia Campos, Elmo Salomão Alves, Nivaldo Lúcio Speziali, 2ª edição. Editora UFMG, 2008.
- Azeheb, Laboratórios Educacionais, Manual de instruções e guia de experimentos, 2024.