

Experimento 4 CORDAS VIBRANTES E ONDAS ESTACIONÁRIAS

1. Introdução:

A elongação de uma onda estacionária que se propaga em uma corda esticada ao longo da direção x , obedece à seguinte equação:

$$Y(x,t) = Y_m \text{sen}(kx) \cos(\omega t) \quad (1)$$

onde Y_m é a amplitude, $k = 2\pi/\lambda$ é o número de onda e ω é a frequência angular, relacionada com a frequência, f , pela equação $\omega = 2\pi f$. Verifica-se que:

- (a) para qualquer instante a amplitude da onda depende da posição x ao longo da corda de forma que em alguns pontos esta será sempre nula; esses pontos são chamados de *nodos*;
- (b) em qualquer posição x , com exceção dos nodos, a amplitude varia com o tempo, alternando seu sinal.

A *ressonância* da corda (ou formação de uma onda estacionária na corda) é estabelecida impondo-se que, para qualquer tempo, os extremos da corda formam um nó.

Tomando um trecho da corda que propaga um pulso, conforme mostra a Fig. 1, e observando o ponto de máxima amplitude (ponto A), pode-se calcular sua velocidade usando a componente vertical da resultante da tensão, T , atuando neste ponto. Imagine a corda fluindo pelo ponto A com uma velocidade v e considere o elemento de corda Δl e massa Δm . Tem-se então $\Delta m = \mu \Delta l = \mu 2\theta r$, onde μ é a densidade linear de massa da corda, e 2θ é o ângulo que compreende o elemento de corda de comprimento Δl . Este último elemento sofre uma força centrípeta F , dada por

$$F = \Delta m v^2/r = 2T \text{sen}\theta \approx 2T\theta \quad (2)$$

Então,

$$v = (T/\mu)^{1/2} \quad (3)$$

Assim, a velocidade de propagação depende da tensão aplicada e da densidade linear de massa.

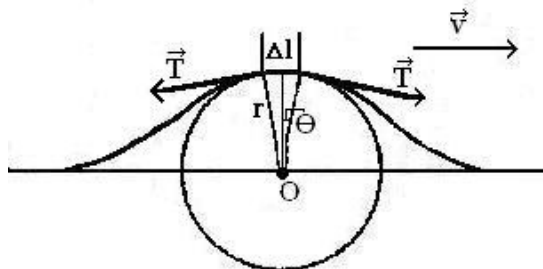


Figura 1. Representação de um pulso que se propaga ao longo de uma corda.

Na ressonância, o comprimento da corda, L , entre os dois pontos fixos, é dado por $L = n\lambda/2$, onde n é o número de ventres formados pela corda. A partir desta equação e usando $v = \lambda f$ e a eq. (3) chega-se à

$$L = (n/2f) \sqrt{T/\mu} \quad (4)$$

Este experimento tem por objetivo o estudo da propagação de ondas numa corda e o estabelecimento de ondas estacionárias, condições de ressonância e determinação da densidade linear de massa da corda.

Será empregado uma corda com uma das pontas presa a um dispositivo que produz as oscilações na corda (cigarra). A outra ponta assume-se como fixa, embora o arranjo experimental permita que o comprimento da corda seja variado continuamente. Um fio de Nylon será usado como corda.

2. Material usado

Cigarra, fio de Nylon, roldana com suporte, conjunto de pesos, régua de 1 m e balança de precisão.

3. Procedimento e análise de dados

Monte o seu experimento conforme mostra a Fig. 2. Utiliza-se um fio de nylon como corda, com uma ponta presa na lâmina da cigarra que oscila com frequência de 120 Hz. A cigarra pode ser movimentada livremente sobre a bancada. A outra ponta do fio passa por um suporte com uma polia e é presa a um suporte no qual são colocados pesos de chumbo de massa conhecida de forma que o copo com os pesos fique na vertical. Estes pesos produzem a tensão no fio e a polia permite que o fio se desloque mantendo a tensão constante. Assim, poderemos fazer o experimento variando a tensão da corda (pela modificação dos pesos), o seu comprimento, e o número de ventres.

Uma importante equação neste experimento é

$$L = (1/2f) \sqrt{\frac{mg}{\mu}} n \quad (5)$$

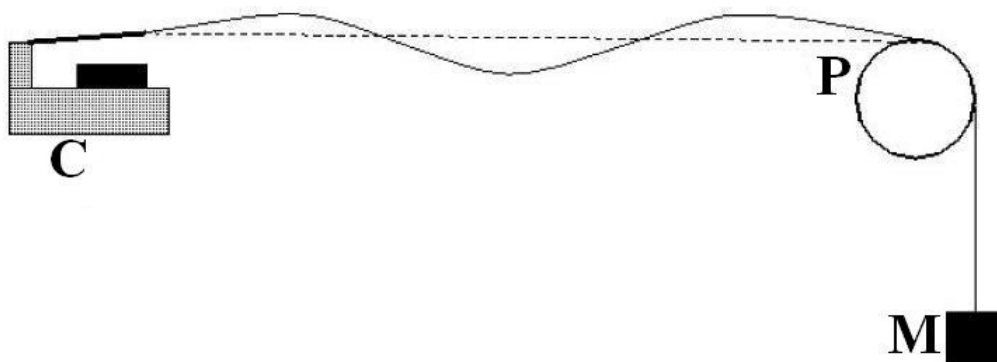


Figura 2. Arranjo experimental. C - cigarra; P - polia; M - pesos ajustáveis.

que é obtida a partir da eq. (4) fazendo-se $T = mg$, onde m é a massa dos pesos e g é a aceleração da gravidade.

Sugere-se que essa equação seja usada para determinar μ , obtendo-se várias condições de ressonância na corda, variando-se L , n e m . Usando esses dados, plote um gráfico linear e a partir dele determine μ e seu desvio padrão.

Compare o valor de μ obtido com aquele que você encontra a partir de um pedaço de fio de comprimento conhecido e de sua pesagem na balança.

Principais cuidados:

- (i). Antes de iniciar o experimento, calcule quais os comprimentos e número de ventres pode obter para um dado peso, de forma a planejar seu trabalho. Considere que a mesa tem uma altura do solo da ordem de 80 cm e, portanto, não será possível obter variações de L maiores que este valor.
- (ii). Lembre-se que o estabelecimento da onda estacionária se verifica quando a lâmina e os nós tem uma amplitude de oscilação muito pequena. Em algumas ocasiões, os ventres apresentam uma amplitude muito grande mas os nós não são claramente definidos, porque, de fato, há ondas se propagando com os valores de λ próximos ao da situação de ressonância, de forma que há interferência entre as ondas. Neste caso, não se pode considerar como uma onda estacionária.
- (iii). Como sugestão, ajuste o comprimento do fio a partir do máximo valor de L e obtenha o maior número de ventres possível para um dado peso diminuindo o comprimento da corda.
- (iv). Estabeleça uma maneira de medir L de forma a minimizar os erros aleatórios.

BIBLIOGRAFIA

1. R. Resnick e D. Halliday, *Física*, Vol. 2, caps. 17, 18 e tópico suplementar na p. 278.
2. Feynman, Leighton e Sands, *The Feynman Lectures on Physics*, Vol. 1, 6a. ed., cap. 49.
3. P. Lucie, *Mecânica 2*, cap. 5, Ed. Campus.
4. Wood, *The Physics of Music* (Biblioteca do Instituto de Artes, Unicamp, #781.1.w85p).
5. H.F. Olson, *Music, Physics and Engineering* (Biblioteca do Instituto de Artes, Unicamp # 781.10L8m).