Cordas Vibrantes

1. Objetivos

Objetivamos averiguar o efeito de ressonância em um fio tensionado e, a partir desse estudo, determinar uma expressão empírica que estabeleça uma conexão entre as frequências de ressonância desse sistema com todos os parâmetros relevantes ao experimento.

2. Introdução

Costuma-se determinar fórmulas empíricas que possibilitem a previsão de uma grandeza física quando o objeto estudado encontra-se em alguma configuração pré-estabelecida. Nesse contexto, uma fórmula empírica não pode ser considerada uma explicação física do fenômeno estudado, mas apenas uma ferramenta de previsão para esse fenômeno.

A partir da observação, estabeleceremos quais parâmetros influenciam a grandeza estudada. Uma vez confirmada a lista de parâmetros, estuda-se, através de medidas, a dependência da grandeza física com cada um desses parâmetros, mantendo-se todos os outros fixos. Em seguida, todos os dados obtidos são analisados com o intuito de extrair uma expressão que permita prever o valor da grandeza estudada para um determinado conjunto de parâmetros.

Nesta experiência, realizaremos o estudo do fenômeno de ressonância de um fio tensionado com o objetivo de obter uma expressão que relacione as frequências de ressonância observadas com os parâmetros do experimento.

Quando um fio tensionado é posto a vibrar, dependendo da frequência de vibração utilizada, o fio pode entrar em um estado de ressonância, na qual a amplitude da vibração torna-se bastante elevada. As frequências nas quais a ressonância é observada dependem de vários parâmetros do fio. Esse é o efeito que permite, por exemplo, que vários instrumentos musicais funcionem, como o violão, piano, etc. No caso do violão, em geral de seis cordas, cada corda vibra em uma frequência de ressonância bem estabelecida (notas musicais). Para gerar as diferentes notas, cada corda possui características físicas diferentes, como o material que é construído, espessura, etc. Além disso, outros fatores, como o comprimento da corda e a tensão aplicada à mesma influencia a frequência de ressonância. Assim, para obter uma expressão que possibilite prever a frequência de ressonância de uma corda deve-se estudar como a frequência varia com cada um desses parâmetros.

Supondo que uma fórmula empírica consiste na dependência de uma grandeza (y) com um determinado parâmetro (x) temos a expressão:

$$y = Ax^b$$

onde A e b são constantes.

Tomando um exemplo como o violão, os parâmetros que podem influenciar a frequência de vibração do fio são: a tensão aplicada (T), o comprimento (L), e as suas características de construção. Podemos representar essas características de construção através da densidade linear (μ) do fio, $\mu = M/L$, com M sendo a massa do fio. Assim, uma primeira aproximação para uma expressão que correlacione a frequência de ressonância com esses parâmetros pode ser escrita como:

$$f = A\,L^{\beta}\,T^{\gamma}\,\mu^{\delta}$$

Onde A, β, γ e δ são constantes.

Quando observamos um fio de violão, percebemos que, devido a sua construção, outras frequências além da frequência natural de ressonância, podem ser obtidas. Devido ao fato da corda estar presa em ambas as extremidades, além da frequência natural, frequências de meio tom também são possíveis de serem obtidas. Na figura 2.1 é mostrado um esquema da vibração de uma corda cujo comprimento é bem determinado, presa em ambas extremidades. O modo mais simples de vibração é aquele no qual a corda se movimenta totalmente em fase. Costuma-se denominar essa frequência de "frequência natural de vibração". Um segundo modo de vibração, no qual podemos dividir a corda ao meio e que cada metade se movimenta em oposição de fase também é possível, pois a corda permanece fixa em suas extremidades e assim sucessivamente, conforme mostra a figura 2.1. Cada um desses modos é representado por um número, correspondente ao número de ventres (máximos de vibração) observados. Assim, o primeiro modo de vibração possui $n = 1$, o segundo, $n = 2$ e assim indefinidamente. Com base nesses argumentos é de se esperar que a frequência de vibração de um fio também dependa do modo de vibração observado. Assim, a fórmula empírica para as frequências de ressonância pode ser escrita como:

$$f = Cn^{\alpha}\,L^{\beta}\,T^{\gamma}\,\mu^{\delta},$$

onde α, β, γ e δ são constantes que podem ser extraídas dos dados experimentais.

O objetivo desse experimento é estudar o fenômeno de ressonância em um fio tensionado e verificar se a suposição acima para a dependência da frequência com os parâmetros experimentais é válida e, caso seja, determinar o valor das constantes na expressão acima.

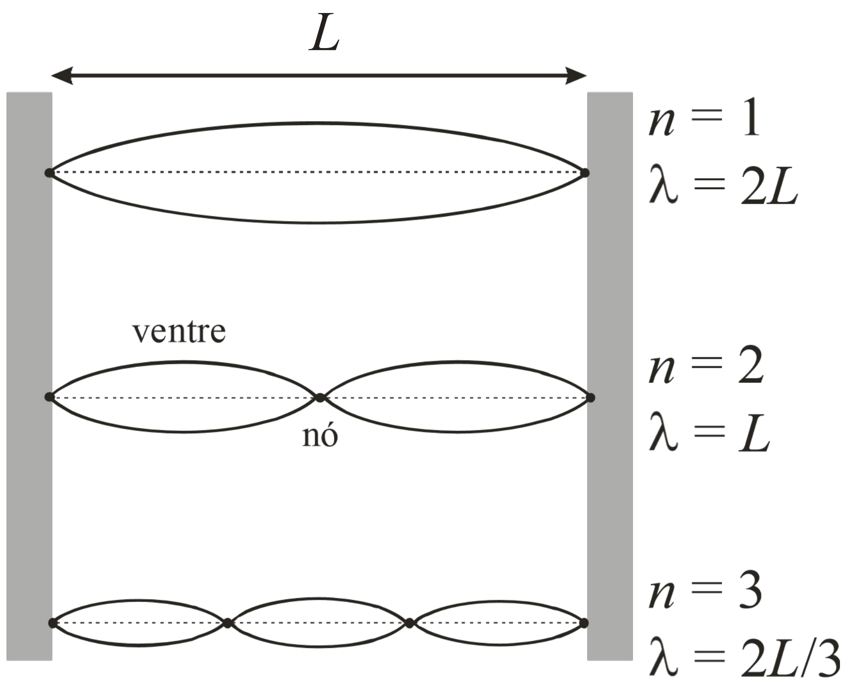

Figura 2.1. Modos normais de vibração de um fio de comprimento *L*.

3. Arranjo experimental

O Arranjo experimental utilizado para o estudo da ressonância de um fio está esquematizado na figura 3.1. Nesse arranjo, um fio de *nylon* é preso a um suporte e tensionado através de um sistema de polia. A tensão no fio é controlada através da massa acoplada a esse sistema.

Um alto-falante é acoplado ao fio, próximo a uma das suas extremidades. Este alto-falante é excitado por meio de um gerador de ondas harmônicas senoidais cuja frequência pode ser controlada pelo experimentador.

O experimento consiste em selecionar diversos fios de densidades lineares e comprimentos diferentes, montá-los no arranjo experimental e tensioná-los. Em seguida, o gerador de áudio tem sua frequência ajustada de modo a observar os modos normais de vibração desse fio.

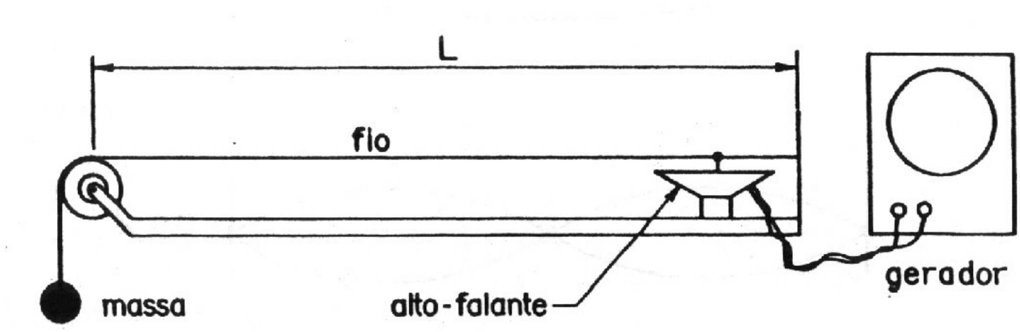

Figura 3.1. Arranjo experimental utilizado para estudar o fenômeno de ressonância de um fio tensionado.

Devem-se tomar os dados necessários para avaliar a dependência das frequências de ressonância com cada um dos parâmetros envolvidos no experimento (modo de vibração, densidade linear do fio, tensão aplicada ao fio e comprimento). Sendo assim, a tomada e análise de dados está dividida em 4 partes, cada uma delas relacionada a uma das grandezas que influenciam as frequências de vibração do fio.

4. Procedimento experimental

Parte I: *Estudo da dependência da frequência (f) com o modo de vibração (n)*

Selecione um determinado fio de nylon de comprimento L (o maior comprimento possível, de modo a aproveitar o fio para as medidas seguintes), monte-o no arranjo experimental e aplique uma tensão que deve permanecer fixa durante a tomada de dados. Não se esqueça de anotar esses parâmetros (densidade linear do fio, comprimento e tensão aplicada).

Com o gerador de áudio, ajuste a frequência do mesmo de modo a observar o modo fundamental de ressonância (n = 1, ou seja, observa-se apenas um ventre). Essa frequência é observada quando a amplitude de oscilação do fio é máxima. Leia e anote o valor para a frequência de ressonância para esse modo de vibração no gerador de áudio (não esqueça a incerteza).

Repita o procedimento acima para modos de vibração de maior ordem (n = 2, 3, 4, ...) para o maior número possível de modos. Note que a amplitude de oscilação diminui com o aumento do número de ventres observados de modo que modos muito elevados (n = 5, 6, 7, ...) podem ser difíceis ou impossíveis de observar.

Organize todos os dados obtidos em uma tabela que estabeleça a dependência da frequência de ressonância (f) com o modo de vibração (n).

Parte II: *Estudo da dependência da frequência (f) com a tensão aplicada ao fio (T)*

Utilizando o fio da tomada de dados anterior, ajuste a frequência do gerador de áudio para observar o segundo modo de vibração (n = 2). Leia e anote o valor para a frequência de ressonância para esse modo de vibração no gerador de áudio e para a tensão (T) aplicada ao fio (não esqueça a incerteza).

Repita a medida acima alterando apenas a tensão que é aplicada ao fio. Para isso, deposite ou retire os lastros presos ao sistema de polia do arranjo experimental. Não se esqueça de medir a massa que está sendo utilizada para tensionar o fio. Repita esse processo para 6 a 8 tensões diferentes e organize os dados em uma tabela que estabeleça a relação entre a frequência do segundo modo de vibração do fio com a tensão aplicada ao mesmo.

Deve-se tomar o cuidado de não selecionar valores de massa muito próximos entre uma medida e outra, pois nesse caso a análise gráfica torna-se difícil de ser realizada. Variações de aproximadamente 50 g entre uma medida e outra fornecem dados satisfatórios.

Parte III: *Estudo da dependência da frequência (f) com o comprimento do fio (L)*

Utilizando o fio da tomada de dados anterior, com os mesmos parâmetros utilizados na parte I da tomada de dados, ajuste a frequência do gerador de áudio para observar o segundo modo de vibração (n = 2). Leia e anote o valor para a frequência de ressonância para esse modo de vibração no gerador de áudio e para o comprimento (L) do fio utilizado (não esqueça a incerteza).

Repita o procedimento acima, reduzindo o comprimento do fio. Meça a frequência de ressonância do segundo modo de vibração para esse novo comprimento (não esqueça de anotar o comprimento e sua incerteza). Repita esse procedimento, variando o comprimento do fio de aproximadamente 10 cm entre uma medida e outra. Organize os dados em uma tabela de tal forma a correlacionar a frequência de vibração com o comprimento utilizado para o fio.

Parte IV: ***Estudo da dependência da frequência (f) com a densidade linear (μ) do fio***

O estudo da dependência da frequência de ressonância com a densidade linear do fio necessita a troca do fio utilizado entre uma medida e outra. Deve-se tomar o cuidado de reproduzir todos os outros parâmetros (L, T e n), dentro das incertezas experimentais, de tal modo que o único parâmetro variável seja a densidade linear (μ).

Meça a frequência do segundo modo de vibração (n = 2) para cada um dos fios disponíveis no laboratório. Organize os dados em uma tabela de tal forma a correlacionar a frequência de vibração com a densidade linear do fio.

5. Referências

[1] H. Moysés Nussenzveig, “Curso de Física Básica”, vol. 2, Editora Edgard Blücher ltda.

[2] M.T.F. da Cruz, “Apostila de laboratório da disciplina Física Experimental II para Engenharia”, 200.

[3] N., “Apostila de laboratório da disciplina

Física Experimental II para Física”, 2014.