Universidade Estadual de Maringá – Centro de Ciências Exatas

Tubos Sonoros – Velocidade do Som

Relatório de Física Experimental II

Acadêmicos:

1. Giovanna Nogueira, RA 112491 – Física, turma F
2. Nathalia Castanho, RA 112492 – Física, turma F
3. Vitor Ferrari, RA 112481 – Física, Turma F

Maringá, 13 de Novembro de 2019

Tubos Sonoros – Velocidade do Som

Relatório de Física Experimental II

Resumo

Assim como as cordas ou molas, o ar ou gás contido dentro de um tubo pode vibrar (interagir) com frequências sonoras. Este é o princípio que constitui alguns instrumentos musicais de sopro, como por exemplo, a flauta, o clarinete, o saxofone e etc; que são construídos basicamente por tubos sonoros.

Neste experimento tivemos como objetivo observar o fenômeno da ressonância em tubos fechados; observar o aparecimento de ondas estacionárias (harmônicos) com a variação da altura da coluna de água e determinar de maneira experimental, a velocidade do som no ar, com base na temperatura ambiente da sala.

Introdução

O som é uma onda capaz de propagar-se pelo ar e por outros meios a partir da vibração de suas moléculas. Os sons são percebidos por nós quando eles incidem sobre o nosso aparelho auditivo, que são traduzidos em estímulos elétricos e direcionados ao nosso cérebro, que os interpreta.

Os seres humanos são capazes de ouvir uma faixa de frequências sonoras, chamada de espectro audível, que se estende entre 20 Hz e 20.000 Hz, aproximadamente. Os sons de frequências menores que 20 Hz são chamados de infrassons, enquanto os sons de frequências superiores a 20.000 Hz são chamados de ultrassons. Outros animais, tais como cães, gatos e morcegos são capazes de ouvir faixas muito mais amplas de frequências.

A velocidade com que as ondas sonoras são propagadas depende, exclusivamente, das características do meio em que se deslocam, no ar, a velocidade do som é de aproximadamente 340 m/s.

Como o som tem propriedades ondulatórias, ele pode sofrer diversos fenômenos, tais como a reflexão, refração, difração e também interferência. Nesse último, duas ou mais ondas sonoras podem tanto ser anuladas quanto ser somadas, de acordo com a posição em que se encontram.

Assim como as cordas ou molas, o ar ou gás contido dentro de um tubo pode vibrar com frequências sonoras. Este é o princípio que constitui instrumentos musicais como a flauta, saxofone, clarinete, etc. que são construídos basicamente por tubos sonoros. Nestes instrumentos, uma coluna de ar é posta a vibrar ao soprar-se uma das extremidades do tubo, chamada embocadura, que possui os dispositivos vibrantes apropriados.

Os tubos são classificados como abertos e fechados, sendo os tubos abertos aqueles que têm as duas extremidades abertas (sendo uma delas próxima à embocadura) e os tubos fechados que são os que têm uma extremidade aberta (próxima à embocadura) e outra fechada.

As vibrações das colunas gasosas podem ser estudadas como ondas estacionárias resultantes da interferência do som enviado na embocadura com o som refletido na outra extremidade do tubo.

Em uma extremidade aberta o som reflete-se em fase, formando um ventre (interferência construtiva) e em uma extremidade fechada ocorre reflexão com inversão de fase, formando-se um nó de deslocamento (interferência destrutiva).

Fundamentação teórica

Para a Física, o som é uma onda longitudinal e mecânica e que, portanto, necessita de um meio físico para ser propagada. Podemos entender o som como uma vibração que se propaga no ar e em outros meios formando regiões de compressão e rarefação, ou seja, regiões de altas e baixas pressões.

O som é produzido por vibrações transmitidas para o ar. Essas vibrações geram regiões de compressão e rarefação dos gases atmosféricos que se intercalam periodicamente, de acordo com a frequência da fonte que produz as vibrações.

Por se tratar de uma onda, o som não é capaz de transportar matéria, como pequenas partículas, mas sim e somente energia. Observe a figura abaixo, nela é possível observar como o som é capaz de propagar-se:

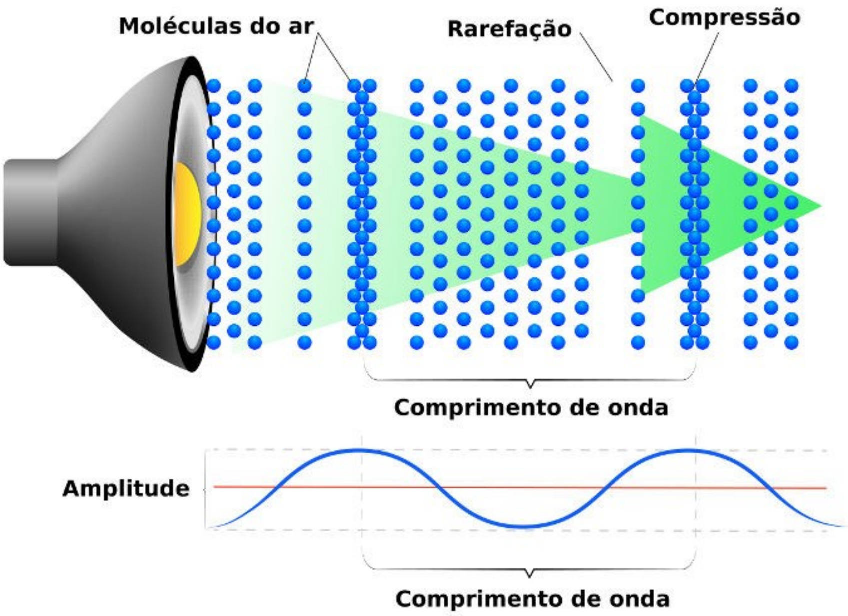

Figura 1 - Propagação do som no ar

A velocidade de propagação do som depende diretamente de fatores como a elasticidade do meio. Quanto mais elástico um meio for, maior será a velocidade de propagação das ondas sonoras em seu interior. Dizemos que um meio é elástico quando ele é capaz de variar grandemente o seu volume se for sujeito a uma pressão.

A velocidade do som depende de características apresentadas pelo meio de propagação. Densidade, temperatura e pressão são determinantes para se obter a velocidade das ondas sonoras.

$$v = \sqrt{\frac{\beta}{\rho}}$$

Na equação acima, β é o módulo volumétrico de elasticidade do meio, grandeza que indica a maior ou menor capacidade do material de permitir a passagem das ondas sonoras, e ρ é a densidade do meio onde ocorrerá a propagação das ondas.

β pode ser definido como como a razão entre a variação de pressão (p) e a variação relativa de volume (V), ou seja:

$$\beta = -\frac{\Delta p}{\frac{\Delta V}{V}}$$

A equação acima é válida para qualquer meio, seja ele um gás, um líquido ou um sólido, entretanto, para sua dedução, é assumido que o meio esteja confinado em um tubo, de modo que a onda se mova em uma só direção. Esta condição é geralmente satisfeita para um gás ou um líquido. Para um sólido, é necessário substituir β por Y -- módulo longitudinal de Young.

Podemos modificar a Eq. Da velocidade do som ($v = \sqrt{\beta/\rho}$), apresentando-a de uma forma, que mostra claramente, que a velocidade da onda sonora depende da temperatura absoluta T (Kelvin) do meio, onde ela se propaga. Para isso, a partir da Primeira Lei da Termodinâmica aplicada a um gás ideal, em um estado de equilíbrio termodinâmico, obtenha para a velocidade da onda sonora a equação:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R \cdot T}{M}}$$

Onde

$$\gamma = \frac{c_P}{c_V}$$

É a razão entre o calor específico do gás, a pressão constante, e o seu calor específico, a volume constante (para o ar $\gamma \approx 1,402$); M – massa molecular (para o ar $M = 29,0 \times 10^{-3}\ kg/mol$); R - constante universal do gases ideais ($R = 8,31\ J/mol \cdot K$) e T – temperatura absoluta.

Com base na Equação da velocidade anterior, encontramos que a velocidade do som no ar, a $0°C$ é, aproximadamente 331,5 m/s. E, esta equação nos mostra que a velocidade do som, em qualquer gás é diretamente proporcional à raiz quadrada da temperatura absoluta. Tal que, a razão entre as velocidades a temperatura T_1 e T_2 fornece a equação:

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

Neste experimento (Fig. 2), as ondas percorrem a coluna de ar, sendo refletidas no nível da água (extremidade fechada do tubo), com uma defasagem de 180° retornando à extremidade aberta, onde são novamente refletidas, porém, sem inversão de fase. A interferência dessas ondas dá origem a ondas estacionárias, sempre que a coluna de ar, de comprimento L, satisfizer a condição de ressonância, isto é, vibrar com a mesma frequência do gerador.

Para um tubo com uma extremidade aberta e outra fechada, a condição é:

$$L_n = (2 \cdot n - 1) \cdot \frac{\lambda}{4}$$

Onde $n = 1, 2, 3, \cdots$ representa o número de ventres.

A eq. acima nos mostra que só estarão presentes os harmônicos de ordem ímpar e a configuração da onda estacionária (de deslocamento), consiste de um nodo na superfície da água e de um antinodo próximo à extremidade aberta, como mostra a Fig. (3).

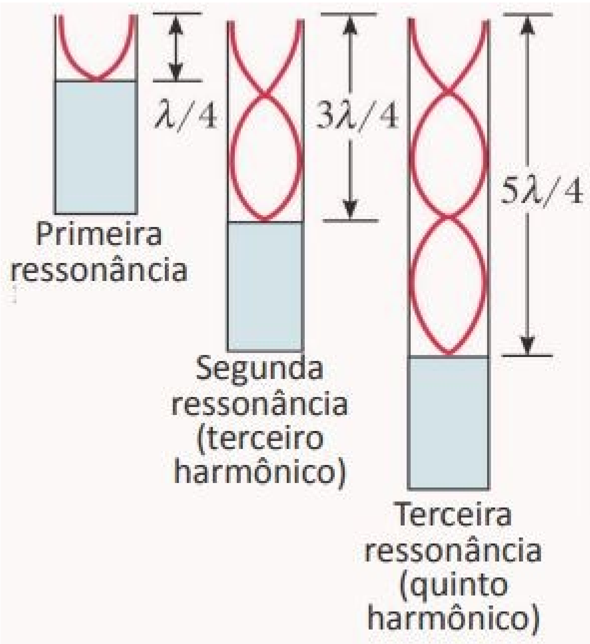

Figura 2 - Figura esquemática, dos tubos com uma extremidade fechada – Ondas de deslocamento

Na prática, os antinodos de pressão (nodos de deslocamento) são percebidos pelo aumento da intensidade do som. Assim, se medirmos a distância entre dois antinodos sucessivos, que equivale a meio comprimento de onda ($\lambda/2$), e conhecendo-se a frequência (f) do gerador, podemos determinar a velocidade do som, à temperatura ambiente, através da Eq. a seguir:

$$v = \lambda \cdot f$$

Um alto-falante, vibrando com frequência f conhecida, excita ondas sonoras em uma coluna de ar de comprimento L_n contida em um tubo cilíndrico. A coluna de ar é aberta em uma extremidade e fachada na outra. A ressonância ocorre quando a condição:

$$L_n = n \cdot \frac{\lambda}{4}$$

É satisfeita. Nessa equação, n é um inteiro ímpar (1, 3, 5, ⋯), $\lambda = v/f$ e v é a velocidade do som na coluna de ar. A diferença entre os dois primeiros consecutivos dados pela equação anterior e igual a:

$$\Delta L = \frac{\lambda}{2}$$

Conhecendo-se ΔL, pode-se determinar λ e a velocidade do som fica determinada por meio da relação $v = \lambda \cdot f$.

A velocidade do som no ar depende da temperatura. Uma expressão aproximada para a velocidade do som no ar à temperatura T (em $°C$) e dada por – em m/s.

$$v^* = 331{,}5 + 0{,}61 \cdot T$$

Procedimento e dados experimentais

Materiais Utilizados

- 1 Tubo de Vidro;
- 1 Reservatório de Água;
- 1 Mangueira de conexão entre o reservatório e o tubo de vidro;
- 1 Alto-falante;
- 1 Gerador de funções;
- 1 Amplificador;
- 1 Termômetro;
- 1 Analisador de espectro de áudio;
- 1 Trena.

Montagem Experimental

A Figura (3) apresenta a foto da montagem experimental. Este consta de um tubo de vidro que contêm uma coluna de ar à temperatura ambiente, limitada na parte inferior por uma coluna de água que se comunica com um reservatório de água. Dessa forma, o comprimento *"L"* da coluna de ar pode ser variado pelo movimento (para cima e para baixo) do reservatório; através de um gerador de funções, de um amplificador e de um alto-falante acoplado ao sistema, são enviadas frequências

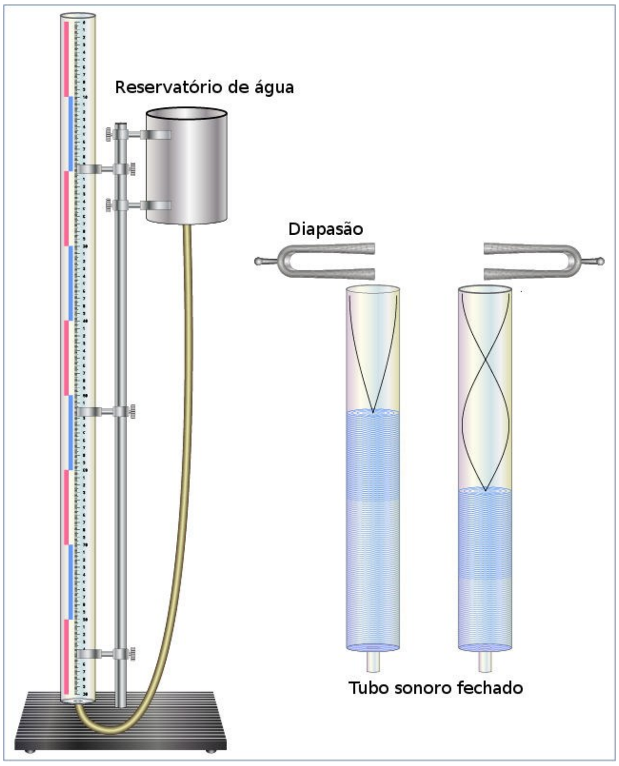

Figura 3 - Esquema da montagem experimental

sonoras conhecidas para o interior do tubo de modo que ao mudar o comprimento da coluna de ar, achemos os harmônicos.

Procedimento Experimental

1 – Posicione o reservatório na sua posição mais baixa e coloque água no mesmo, observando que a água se eleva no tubo de vidro. Acrescente água até que o tubo de vidro esteja quase cheio;
2 – Ligue o gerador de funções, o amplificador e escolha uma frequência entre 700 a 1.000 Hz.

3 – Lentamente, vá elevando o reservatório, isso fará com que o nível da água vai abaixando no tubo de vidro. Conforme o nível de água vai variando, procure identificar os antinodos de pressão (nodos de deslocamento), por meio do aumento da intensidade do som nesses pontos. Com um pincel de quadro branco, marque a posição desses pontos, no tubo (utilize uma cor para cada frequência).

Obs: Procure a posição dos antinodos, elevando e abaixando o nível da água, várias vezes.

3 – Com a trena meçam a distância entre cada par de antinodos consecutivos ($\lambda/2$) e anote na Tabela (1). Repita mais duas vezes.

04 – Repita os procedimentos (2) e (3) para mais duas frequências e anote na Tabela 1.

5 – Anote a temperatura ambiente na Tabela 1.

Resultados

A tabela abaixo contém os valores obtidos experimentalmente sobre tubos sonoros – velocidade do som, que foram obtidos através do aparato experimental apresentado em sala (alto-falante, gerador de funções e etc.). As quais apresentam (f) em hertz – frequência de oscilação e (λ) em metro – comprimento de onda.

$\boldsymbol{f}\ (\boldsymbol{Hz})$	$\boldsymbol{\lambda}\ (\boldsymbol{m})$	$\boldsymbol{\lambda \cdot f}\ (\boldsymbol{m/s})$
602,02	0,585	352,2
707,46	0,485	343,1
801,84	0,422	338,4
900,18	0,372	334,9
1003,2	0,336	337,1

Por meio da seguinte equação $v^* = 331{,}5 + 0{,}61 \cdot T$, conseguimos ter uma noção teórica de qual deveria ser a velocidade do som na sala, uma vez que o termômetro na sala marcava $24°C$;

$$v^* = 331{,}5 + 0{,}61 \cdot 24$$

$$v^* = 346{,}14\, m/s$$

Para podermos comparar os dados obtidos experimentalmente, somamos todos os termos da ultima coluna da tabela 1 ($\boldsymbol{\lambda} \cdot \boldsymbol{f}$) e dividimos por 5 (para diminuir a propagação dos erros aleatórios), obtemos uma média das velocidades calculadas por meio do experimento;

$$v = (352{,}2 + 343{,}1 + 338{,}4 + 334{,}9 + 337{,}1)/5$$

$$v = 341{,}14\, m/s$$

Conclusão

Numa análise mais rigorosa, percebe-se que alguns fatores não podem ser desprezados na conclusão final da análise dos dados. Alguns desses fatores são: o erro humano na imprecisão das medidas, qualquer anomalia que poderia estar presente no alto-falante, e entre outros. Inúmeros são os fatores que podem atuar como interferências no experimento mesmo fazendo o máximo para evitá-los.

Todavia, os dados obtidos neste experimento não extraviaram as tolerâncias admitidas. O resultado do notável trabalho realizado por todos os grandes cientistas que estudaram os movimentos oscilatórios ao longo da história pode ser observado. O experimento mostrou um resultado satisfatório, pois, dentro dos erros admitidos, cumpriu as previsões teóricas esperadas.

Conclui-se que a partir dos procedimentos anteriormente listados em materiais e métodos, obtemos os seguinte valor para v , v^*, e Δv:

$$v \pm ME(v) = 341{,}14 \pm 8{,}5\, m/s$$

$$v = 346{,}14\, m/s$$

$$\Delta v = \left|\frac{v - v^*}{v^*}\right| \times 100 \rightarrow \Delta v = \left|\frac{341{,}14 - 346{,}14}{346{,}14}\right| \times 100 = 1{,}4\%$$

Isso nos mostra que o experimento foi bem executado, pois o desvio percentual está muito próximo de 1%, assegurando que o coeficiente de determinação condiz com a realidade. Não foi possível obter resultados perfeitos, pois, toda medida ou grandeza quando analisada experimentalmente contém erros.

Referências Bibliográficas

MUKAI, H., FERNANDES, P.R.G. Manual de Laboratório de Física I - DFI/UEM, 2008 a 2017.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica –Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor, Vol.2- 5a Edição - São Paulo: Edgard Blücher, 2013.

https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/o-que-som.htm