

ONDAS LONGITUDINAIS: DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DO SOM EM METAIS

NIVALDO LÚCIO SPEZIALI e FERNANDO OMAR VEAS

Departamento de Física, UFMG

Uma barra metálica cai verticalmente sobre uma superfície dura e, devido ao choque, pula para cima. Por que a barra pula?

Nesse trabalho discute-se um modelo de propagação de um pulso longitudinal através de uma barra, fazendo-se uma analogia com uma mola tipo "SLINKY". A seguir apresenta-se uma experiência na qual são feitas medidas que, baseando-se no modelo, permitem calcular a velocidade do som em barras metálicas.

INTRODUÇÃO

Numa onda longitudinal as oscilações acontecem segundo a direção de propagação da onda. As características elásticas e inerciais do meio em que ela se propaga vão determinar a sua velocidade de propagação. Sendo assim, o som tem velocidades bastante diferentes conforme esteja se propagando no ar, num líquido ou num metal; e ainda, para cada gás ou para cada metal, a velocidade de propagação poderá ser diferente.

A determinação da velocidade do som no ar pode ser feita procurando-se a ressonância entre uma fonte sonora de freqüência v conhecida (um diapasão ou um gerador de audio-freqüência) e um tubo com uma das extremidades abertas e de comprimento variável⁽¹⁾. Na ressonância existe um compromisso entre o comprimento de onda λ e o comprimento do tubo; a velocidade v pode ser encontrada através da relação:

$$v = \lambda v .$$

Na medida da velocidade do som em sólidos um procedimento análogo a este não é adequado.

O que será feito na experiência aqui apresentada é medir o tempo t gasto para que um pulso longitudinal percorra uma distância d numa barra de metal e então encontrar a velocidade através de:

$$v = d/t .$$

O MODELO

Voltamos à pergunta inicial: por que uma barra de metal caindo verticalmente sobre uma base sólida pula para cima?

O modelo no qual nos baseamos é o seguinte. Devido à colisão aparece na extremidade inferior da barra uma deformação, gerando um pulso de compressão. Esta extremidade permanece em contato com a base enquanto o pulso percorre toda a extensão da barra para cima, é refletida na outra extremidade e volta para baixo. Ao chegar na extremidade inferior o pulso empurra a base para baixo que por sua vez empurra a barra para cima e esta, então, pula. Uma apresentação mais detalhada deste modelo é encontrada num trabalho de Pinguelli Rosa (2).

Uma analogia interessante e esclarecedora pode ser feita com uma mola do tipo "SLINKY" pendurada verticalmente. Estando a mola em repouso, dá-se um "toquezinho" para cima na sua extremidade inferior, ou seja, cria-se nela um pulso de compressão. Esta extremidade vai subir um pouquinho e permanecer nesta posição até que o pulso, depois de refletido no extremo superior, volte e a desloque para baixo. No modelo no qual nos baseamos, a colisão da barra com a base é análoga ao "empurrãozinho" que é dado na mola; a ação do pulso sobre a base é equivalente ao deslocamento da extremidade inferior da mola para baixo na volta do pulso.

A Figura 1 ilustra a forma da mola em diferentes instantes.

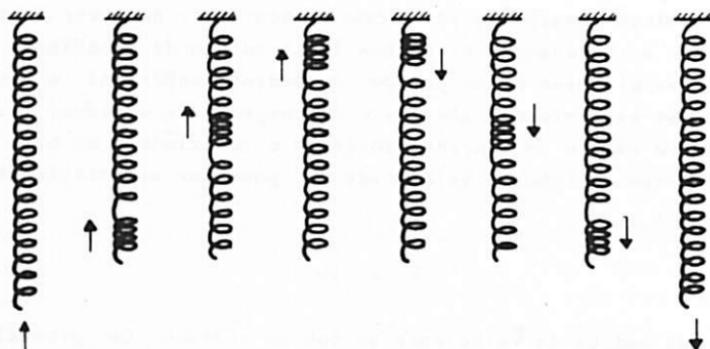


Figura 1 - Configuração da mola "SLINKY" em diferentes instantes enquanto se propaga um pulso longitudinal através dela.

O PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Se pudermos conhecer o intervalo de tempo δt em que a barra fica em contato com a base, basta medir o comprimento ℓ da barra para então determinarmos a velocidade do pulso ($v = 2\ell/\delta t$). Esse intervalo de tempo é muito pequeno e por isso usamos um circuito RC para medi-lo. A Figura 2 é um esboço do circuito. O capacitor C tem uma das extremidades ligadas a um resistor que se liga à barra metálica (ligação em série). A resistência total do circuito é R. A outra extremidade do capacitor é ligada a uma base de metal de grande inércia e, de preferência, que tenha uma forma como ilustrada na Figura 2. (Esta forma foi escolhida para diminuir a possibilidade de que reflexões internas na base pudessem "empurrar" a barra para cima.)

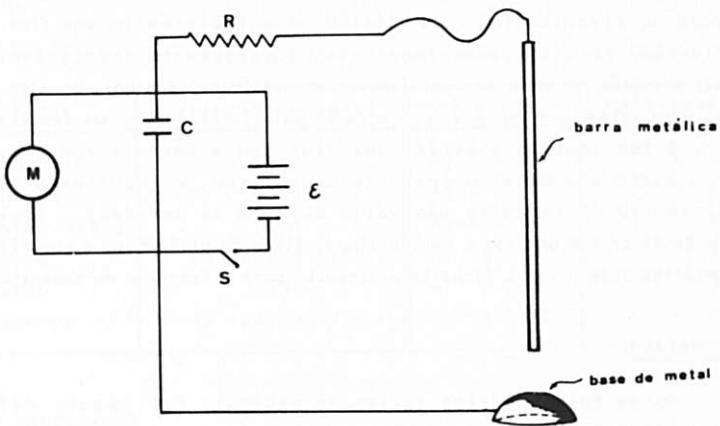


Figura 2 - Esquema do circuito que permite medir o tempo de contato barra-base.

Quando a barra encosta na base ela fecha o circuito.

Suponhamos que, inicialmente, o capacitor tenha uma carga q_0 e esteja a uma tensão V_0 . A barra colidindo com a base permite que o capacitor se descarregue parcialmente. Medindo a tensão $V(t)$ depois do contato teremos condições de saber durante quanto tempo houve o contato. A equação do circuito RC nos dá:

$$V(t) = V_0 e^{-t/RC} .$$

Logo

$$t = RC \ln[V_0/V(t)]$$

O procedimento experimental consiste em aplicar uma tensão inicial no capacitor, soltar a barra de metal de uma pequena altura (~10 cm) sobre a base, pegando-a quando subir de volta, medindo as tensões antes e depois do contato. Estas medidas podem ser feitas para a 1^a, a 2^a, a 3^a, etc. colisões. A chave S permite que o capacitor seja recarregado à tensão e para a repetição do processo. O voltímetro M dá o valor da tensão V no capacitor.

O MATERIAL

A qualidade dos resultados é, obviamente, dependente dos elementos do circuito e dos instrumentos de medida. Foi utilizado um capacitor de tântalo devido à sua grande estabilidade; sua capacidade era $C = (100 \pm 3)\mu\text{F}$ com tensão máxima de 20V. A resistência colocada no circuito foi $R = (46 \pm 1)\Omega$ e a resistência dos fios e das próprias barras utilizadas foram $\ll 1\Omega$, portanto desprezíveis. Para medir a tensão no capacitor utilizou-se um multímetro digital, de alta impedância, para evitar que uma descarga através dele interferisse nos resultados.

O bom contato elétrico dos fios com a barra e com a base, e entre a barra e a base no instante da colisão, é importante para que a resistência do circuito não varie durante as medidas. Teve-se o cuidado de fixar bem os fios e manter limpa, livre de oxidações, a superfície da base metálica onde a barra fecharia o circuito para a descarga do capacitor.

OS RESULTADOS

Foram feitas várias séries de medidas, com metais diferentes e utilizando barras de diferentes comprimentos. Observamos que barras com menos de um metro podem dar muita imprecisão nos resultados, talvez devido ao menor intervalo de tempo a ser medido.

A Tabela 1 mostra valores encontrados para a velocidade do som em alguns metais e a Tabela 2, a título de exemplo, contém os resultados de uma série de medidas feitas com uma barra de alumínio de 1,25m. A Tabela 3 dá, para comparação, alguns valores encontrados na literatura⁽³⁾.

Tabela 1 - Valores de velocidade encontrados na experiência.

Metal	Velocidade ($\times 10^3$ m/s)
Alumínio	$(4,9 \pm 0,3)$
Cobre	$(4,1 \pm 0,3)$
Ferro	$(5,3 \pm 0,5)$
Latão	$(3,2 \pm 0,2)$

Tabela 2 - Tensões antes e depois de cada colisão: barra de Al de 1,25 m.

V_0 (volts)	$V(t)$ (volts)
19,6	17,4
17,3	15,5
15,3	13,7
13,5	12,1
12,0	10,7
10,5	9,4
9,3	8,4
8,3	7,4
7,4	6,6

Tabela 3 - Velocidade do som em alguns materiais.

Sólidos	Velocidade (m/s)	Fluidos	Velocidade (m/s)
Alumínio	5100	Água a 15°	- 1440
Chumbo	1230	Água a 30°	- 1520
Cobre (20°)	3560	Água a 60°	- 1720
Ferro	de 5000 a 5130	Ar a 0°	- 332
Latão	3500	Ar a 20°	- 344
Madeira	de 1200 a 4700	Ar a 100°	- 386

AS CONCLUSÕES

Os resultados que encontramos estão longe de vir a alterar valores de "hand books" e mais longe está nossa pretensão de ter este objetivo. A nossa intenção é de contribuir para a parte didática do estudo de ondas mostrando um método experimental e uma técnica de medida onde outros conhecimentos são aplicados. Dentro dessa filosofia achamos que os resultados encontrados são plenamente satisfatórios.

A medida da velocidade do som no ar pode ser feita, paralelamente, por técnica de ressonância e os dois procedimentos permitem discussões em torno das técnicas utilizadas e dos valores encontrados para gases e sólidos.

Finalizando, gostaríamos de dizer que o procedimento aqui descrito está sendo utilizado como demonstração no curso de Física Geral III do Departamento de Física da UFMG. Queremos registrar um

agradecimento a todos os colegas que contribuíram com idéias, sugestões e discussões que foram de grande importância para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÉNCIAS

- (1) D. Halliday e R. Resnick, "Física", Vol. II, Rio de Janeiro, LTC, 1980.
- (2) L. Pinguelli Rosa, "Estudo da colisão de um avião com a contenção do Reator Nuclear - Determinação da força impulsiva - 2º parte", Rev. Ens. Fís. 2(2), 3 (1980).
- (3) C.D. Hodgman (ed.), "Handbook of Chemistry and Physics", Ohio, 1961.