

T4 – Ondas estacionárias

1. Objetivos

Observar experimentalmente diversas situações em que são geradas ondas estacionárias.

Aprofundar a compreensão dos conceitos de sobreposição de ondas e de ressonância.

Estudar e compreender as várias dependências entre os parâmetros envolvidos.

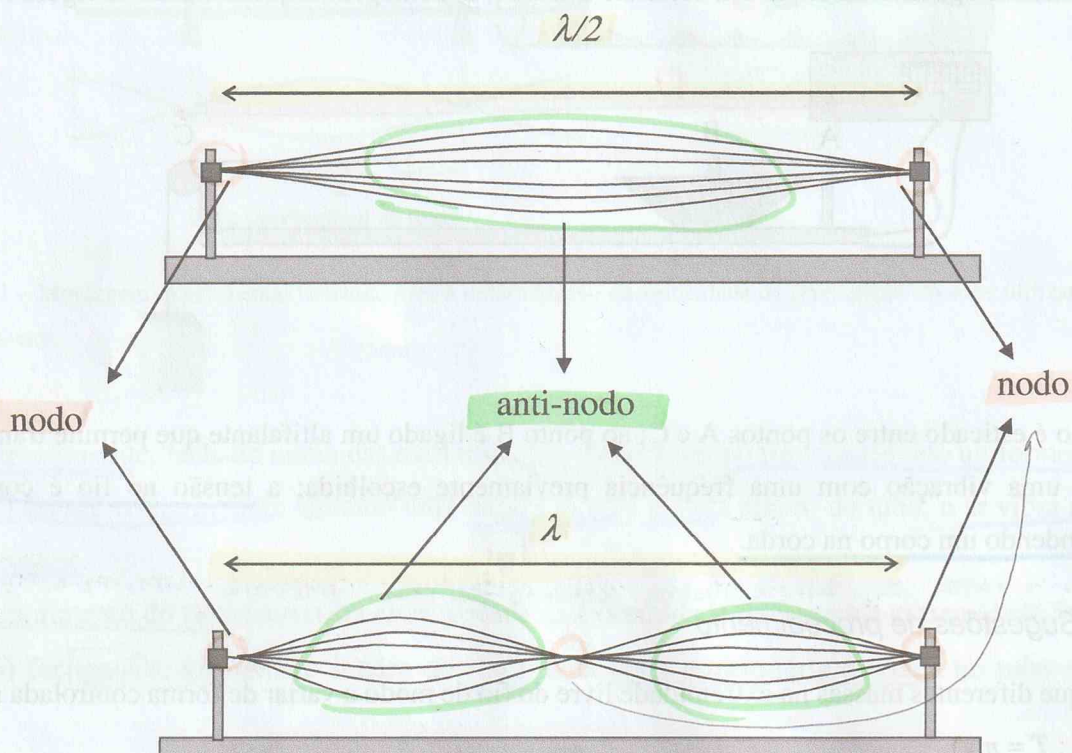
PARTE A – Corda vibrante

A2. Fundamentos

Quando um fio, com as extremidades fixas, é colocado em vibração, as reflexões originadas em ambas as extremidades originam ondas que se propagam na mesma direção mas em sentidos opostos. Estas ondas combinam-se de acordo com o princípio da sobreposição. Para um dado comprimento do fio existem certas frequências para as quais a sobreposição das ondas dá origem a uma onda denominada **onda estacionária**.

Neste tipo de ondas existem pontos em que a amplitude de vibração é nula. Estes pontos são denominados **nodos**. Entre cada par de nodos, existem pontos de máxima amplitude de vibração denominados **antinodos**.

O número de nodos que se formam entre as duas extremidades depende do comprimento de onda (fig.).



A velocidade de propagação das ondas transversais no fio, sujeito a uma certa tensão, pode ser calculada através da equação:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (7.1)$$

em que T corresponde à tensão no fio e μ à massa do fio por unidade de comprimento. Se f for a frequência da onda e λ o seu comprimento de onda, então:

$$v = f\lambda$$

Usando a equação 7.1 obtém-se:

$$f = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

$$f = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

No gráfico obtido experimentalmente:

$$f_{\text{ger}} = n \cdot \frac{\sqrt{T}}{2l \cdot \sqrt{\mu}} \rightarrow \text{declive}$$

↑ y's ↓ x's

Para obter o valor de T :

$$T_{\text{experimental}} = [\text{declive} \times (2 \cdot l \cdot \sqrt{\mu})]^2$$

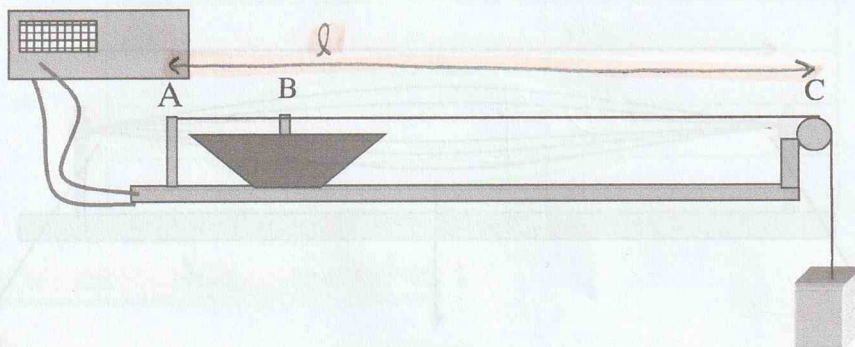
em que l representa o comprimento do fio, que se encontra relacionado com λ através da expressão

$$l = n \frac{\lambda}{2}$$

com $n = 1, 2, 3, \dots$

n.º de antinodos

Para estudar experimentalmente a dependência da frequência de ressonância da onda estacionária com a tensão aplicada na corda usa-se, neste trabalho, a montagem esquematizada na figura seguinte:



Um fio é esticado entre os pontos A e C; ao ponto B é ligado um altifalante que permite transmitir à corda uma vibração com uma frequência previamente escolhida; a tensão no fio é controlada suspendendo um corpo na corda.

↳ a massa do suporte vamos juntando outras massas (m_1, m_2 e m_3)

A3. Sugestões de procedimento

Coloque diferentes massas na extremidade livre do fio de modo a variar de forma controlada a tensão (nota: $T = mg$).

Forma de obter T_{calc} por cálculos para depois comparar com o valor obtido.

para cada conjunto de massas suspensas!

Para cada valor de tensão, obtenha um sistema de ondas estacionárias com frequência diferente: para tal ajuste o gerador de sinal (o que na prática permitirá visualizar um diferente número de antinodos para cada valor de frequência da onda estacionária). Registre a frequência e o número de antinodos da onda estacionária gerada desta forma (para cada valor de tensão do fio, registre o número de antinodos obtidos para pelo menos cinco valores diferentes de frequência).

Verifique se os dados experimentais se encontram em concordância com a equação (7.4), recorrendo, para o efeito, a um gráfico de $f = g(n)$.

$T_{\text{experimental}}$

$T_{\text{calc.}}$

Através dos gráficos obtidos, determine o valor da tensão no fio e compare com o valor medido.

Para cada caso, calcule os valores da frequência e compare com os valores lidos no gerador.

Pela expressão $f = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ obtenha os valores de frequência calculados através do $T_{\text{calc.}}$ e do número de antinodos n obtidos

PARTE B – Tubo de Kundt

B2. Fundamentos

Nesta experiência ondas longitudinais produzidas numa haste ou barra fina são transmitidas a uma coluna de gás contida num tubo (Tubo de Kundt). O objetivo da experiência é determinar a velocidade de propagação da onda na barra e/ou no gás, usando as propriedades do movimento ondulatório.

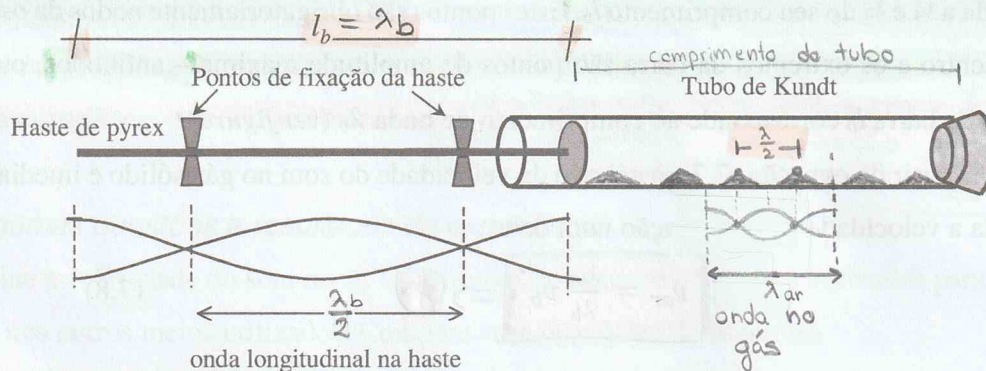


Figura B1 – Montagem experimental utilizada para a determinação da velocidade de propagação do som, utilizando um tubo de Kundt.

O tubo transparente, fechado numa das extremidades, contém um pó fino distribuído uniformemente ao longo do seu comprimento. Quando uma onda sonora é gerada dentro do tubo, o ar vibra e o pó movimenta-se.

Se o comprimento do tubo (distância entre a placa na extremidade da barra e a extremidade fechada do tubo) for igual a um número inteiro de $\lambda_{\text{ar}}/2$, uma onda estacionária é criada no tubo e o pó

corresponde a um antinodo!

o comprimento total da barra corresponde ao comprimento de onda na barra (λ_b)

→ Recolhidos o valor da distância entre dois nodos (o primeiro e o último, por exemplo), d_{ext} , e o número de nodos entre eles, n_{ext} , e uma vez que a distância entre dois nodos corresponde a uma meia onda, para obter λ_{ar} usamos: $\lambda_{ar} (obtido) = \frac{d_{ext}}{n_{ext}} \times 2$

acumula-se em determinados pontos – os nodos – onde a pressão é mais baixa. Medindo a distância entre nodos pode-se determinar o comprimento de onda no gás (λ_{ar}).

Se a velocidade de propagação do som no gás (v_{ar}) na barra (v_b) for conhecida a frequência da onda (f) pode ser calculada:

$$v_{ar} = \lambda_{ar} f$$



E como a frequência da onda na barra é igual à frequência da onda no gás, fica:

$$f = \frac{v_{ar}}{\lambda_{ar}} = \frac{v_b}{\lambda_b} \quad (7.7)$$

Repare que a barra é móvel, permitindo ajustar o comprimento útil do tubo (ver figura) de forma a obter uma onda estacionária.

na experiência, recorreremos à tabela no final da guia para comparar o valor obtido com o tabelado

Nesta experiência a onda é gerada pela vibração da barra de um material para o qual a velocidade de propagação do som é eventualmente (dê) conhecida. Esta barra tem acoplado um disco, que funciona como fonte geradora da onda que se propaga no tubo.

Esfregando a barra com um papel molhado em álcool, criam-se oscilações longitudinais. Se os pontos de fixação forem bem escolhidos é possível gerar ondas estacionárias na barra cujo comprimento de onda (e por isso também a frequência) depende da posição dos pontos fixos. Nesta experiência a barra deve ser fixada a $\frac{1}{4}$ e $\frac{3}{4}$ do seu comprimento l_b . Estes pontos são obrigatoriamente nodos da oscilação, enquanto o centro e os extremos da barra são pontos de amplitude máxima – antinodos, ou seja, o comprimento da barra l_b corresponde ao comprimento de onda λ_b (ver figura).

Como vimos a partir da equação (7.7), o cálculo da velocidade do som no gás/sólido é imediato, uma vez conhecida a velocidade de propagação num deles:

$$v_{ar} = \frac{\lambda_{ar}}{\lambda_b} v_b \Rightarrow *$$

De lembrar ainda que a velocidade do som num gás ideal depende da temperatura (T), da massa molecular (M) e do expoente adiabático (γ), de acordo com:

$$v = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}}$$

Então, a velocidade do som no ar pode aproximar-se por:

$$v_{ar} = (331.45 + 0.6T[^\circ C]) \text{ m/s}$$

→ Recolhido o valor da temperatura (T) do laboratório, obtemos o valor da velocidade de propagação do som no tubo por essa expressão.

* Para obter o valor experimental da propagação do som na barra (v_b (obtido)) recorreremos a essa expressão rearranjada:

$$v_b (obtido) = \frac{\lambda_b}{\lambda_{ar}} \cdot v_{ar}$$

λ_b → corresponde ao comprimento total da barra l

λ_{ar} → obtido na expressão da margem superior da página

⊛ Pela expressão $V_{ar} = \frac{\lambda_{ar}}{\lambda_b} \cdot V_b$, mantendo V_{ar} , λ_b e V_b , alteraria λ_{ar} e também a f (que é a mesma na barra e no tubo), alterando o padrão do pó no tubo.

B3. Sugestão de procedimento experimental

B3.1 Cuidados a ter na execução da experiência

Em toda a execução deste trabalho é fundamental que todos os movimentos sejam feitos com muito cuidado. O tubo e a barra são frágeis, e como estão fixos em determinadas zonas, qualquer movimento mais brusco pode facilmente quebrar uma das peças da experiência.

Verifique que o disco não toca nas paredes do tubo – se tal acontecer, quando provoca a vibração da barra pode quebrar o tubo.

Durante a experiência, quando friccionar a barra não a desloque dos apoios.

B3.2 Execução da experiência

Distribua uniformemente o pó ao longo de todo o comprimento do tubo. Coloque o tubo no suporte e rode-o ligeiramente ($\sim 45^\circ$) para permitir visualizar a onda estacionária no seu interior.

Friccione a barra, provocando uma onda sonora no tubo. Verifique se a onda é estacionária. Se for necessário, desloque a barra fina, variando o comprimento útil do tubo, até observar que obtém uma onda estacionária no seu interior. Deve conseguir obter uma figura no pó semelhante à esquematizada na figura B1.

Meça a separação entre diversos máximos e/ou mínimos, no interior do tubo.

Meça o comprimento da barra fina. Meça a temperatura da sala. → para obter V_{ar} !

Repita a experiência até ter confiança nos valores medidos.

⚠ Repita a experiência com a outra barra. → Ao utilizar outra barra com o mesmo l , mudaria V_b . Como os pontos de fixação são =, λ_b tbm. seria =, logo f alteraria ($V_b = \lambda_b \cdot f$). ⊛

B4. Algumas questões e resultados da experiência

Determine a velocidade do som no ar. Confira posteriormente os valores utilizados para a velocidade do som nos outros meios utilizados. Compare com os valores da literatura.

1) Se variar a força com que fricciona a barra, qual a característica da onda que varia?

2) Como se poderia variar a frequência do som produzido no tubo?

3) Justifique a existência de ondas estacionárias no tubo.

4) Justifique a equação (7.10).

1) Se variarmos a força com que friccionamos a barra, iremos aumentar a amplitude da onda visualizada.

2) Teríamos duas formas: uma, a descrita em ⚠; outra seria alterar λ_b . Sendo o mesmo material, alterando l (sempre fixar a $1/4$ e $3/4$ do seu comprimento), alteraríamos o comprimento de onda da onda gerada. Como a velocidade de propagação não altera, a frequência seria diferente.

3) Ocorrem ondas estacionárias no tubo uma vez que existe reflexão destas na extremidade fechada do tubo. Assim, como se continua a imitar a onda na extremidade da barra, para uma certa distância a sobreposição das ondas irá dar origem a uma onda estacionária.

4) (próxima página)

4) Sabemos que a velocidade de propagação depende sempre da temperatura pois quanto maior a temperatura, maior vai ser a vibração das partículas no meio. Ora, por isso, a propagação das variações da densidade e pressão, ou seja, as ondas sonoras, é muito mais rápida.

ANEXO A

Velocidade de propagação do som em vários meios

GASES

MATERIAL	V(M/S)
Hidrogénio (0°C)	1286
Hélio (0°C)	972
Ar (20°C)	343
Ar (0°C)	331
CO ₂ (0°C)	259

LÍQUIDOS A 25°C

MATERIAL	V(M/S)
Glicerol	1904
Água salgada	1533
Água	1493
Mercúrio	1450

SÓLIDOS

MATERIAL	V(M/S)
Diamante	12000
Vidro (Pyrex)	5640
Vidro (Flint)	4000
Ferro	5130
Cobre	3560
Latão	4700
Alumínio	5100

Comparação entre os dois métodos:

No método usado na parte A, os valores calculados estiveram mais afastados dos valores medidos do que na parte B.

Tal pode ser explicado pelo facto de, na parte A, é difícil recolher a frequência de ressonância correspondente à amplitude máxima / mínima (antinodos) da onda estacionária, o que acarreta um certo erro de medição considerável.

Mesmo assim, na parte B, também é complicado achar um comprimento onde estejam presentes ondas estacionárias e também devido à humidade presente no ambiente onde foi realizada a experiência, que fixou o pó nas paredes internas do tubo, o que dificulta a correta observação do comprimento de onda.