

Velocidade do som no ar

MEDIÇÃO DOS TEMPOS DE PERCURSO DE IMPULSOS SONOROS EM TUBO DE KUNDT.

- Medição do tempo de percurso t de um impulso sonoro no ar à temperatura ambiente em dependência da distância s entre duas sondas microfones.
- Confirmação da relação linear entre s e t .
- Medição do tempo de percurso t de um impulso sonoro no ar à temperatura T à distância fixa entre duas sondas microfones.
- Determinação da velocidade do som (velocidade de grupo) em dependência da temperatura.
- Comparação com o resultado da derivação de Laplace.

UE1070310

06/16 UD

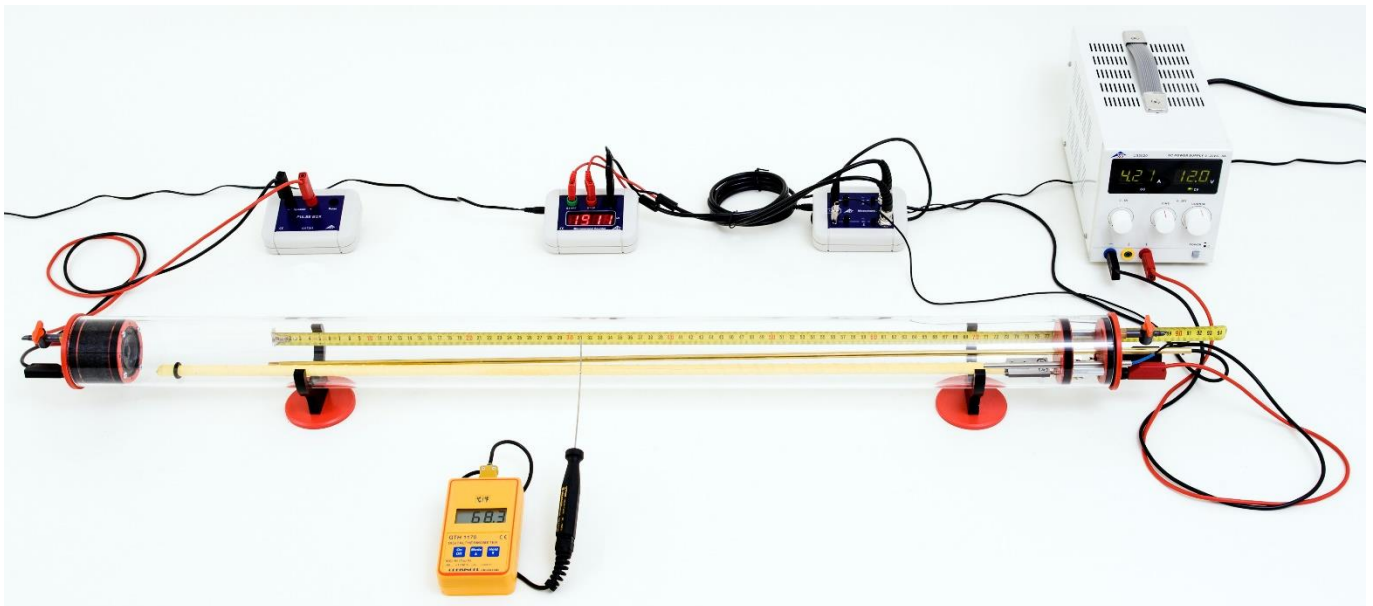


Fig. 1: Ordem da medição.

FUNDAMENTOS GERAIS

Ondas sonoras são ondas elásticas em meios deformáveis. Sua velocidade de onda depende das características elásticas do meio. Em gases simples, elas se espalham exclusivamente em ondas longitudinais, a velocidade de grupo corresponde à velocidade de fase.

Em uma derivação segundo Laplace, as ondas sonoras em gases são observadas como alterações adiabáticas de pressão ou densidade. Para a velocidade do som, obtém-se

$$(1) \quad c = \sqrt{\frac{C_P \cdot p}{C_V \cdot \rho}}$$

p : pressão, ρ : densidade,
 C_P , C_V : Capacidades térmicas do gás

Para um gás ideal com a temperatura absoluta T , vale

$$(2) \quad \frac{p}{\rho} = \frac{R \cdot T}{M}.$$

$$R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{Mol} \cdot \text{K}} : \text{Constante universal de gás,}$$

M : Peso molecular

Então, sua velocidade do som é dada por

$$(3) \quad c = \sqrt{\frac{C_p}{C_v} \cdot \frac{R \cdot T}{M}}.$$

Para diferenças de temperatura ΔT não muito grandes em comparação com uma temperatura de referência T_0 , a velocidade do som depende linearmente da alteração da temperatura ΔT :

$$(4) \quad c = \sqrt{\frac{C_p}{C_v} \cdot \frac{R \cdot T_0}{M}} \cdot \left(1 + \frac{\Delta T}{2 \cdot T_0}\right)$$

Para ar seco como gás ideal, encontra-se, portanto, frequentemente o dado a seguir para a velocidade do som

$$(5) \quad c(T) = \left(331,3 + 0,6 \cdot \frac{\Delta T}{\text{K}}\right) \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$T_0 = 273,15 \text{ K} = 0^\circ\text{C}$$

LISTA DE APARELHOS

1	Tubo de Kundt E	1017339 (U8498308)
1	Caixa de impulso K	1017341 (U8498281)
1	Sonda de microfone, longa	1017342 (U8498282)
1	Sonda de microfone, curta	4008308 (U8498307)
1	Caixa de microfone @230V	1014520 (U8498283-230)
ou		
1	Caixa de microfone @115V	1014521 (U8498283-115)
1	Contador de microssegundos @230V	1017333 (U8498285-230)
ou		
1	Contador de microssegundos @115V	1017334 (U8498285-115)
1	Haste de aquecimento K	1017340 (U8498280)
2	Cabos de af, BNC / conector de 4 mm	1002748 (U11257)
1	Fonte DC 0-20 V, 0-5 A @230V	1003312 (U33020-230)
ou		
1	Fonte DC 0-20 V, 0-5 A @115V	1003311 (U33020-115)
1	Termômetro de bolso de segundos	1002803 (U11853)
1	Sensor submerso NiCr-Ni Tipo K, -65 – 550°C	1002804 (U11854)
1	Par de cabos de experiência de segurança, 75 cm	1002849 (U13812)

Adicionalmente recomendado:

Diferentes gases técnicos

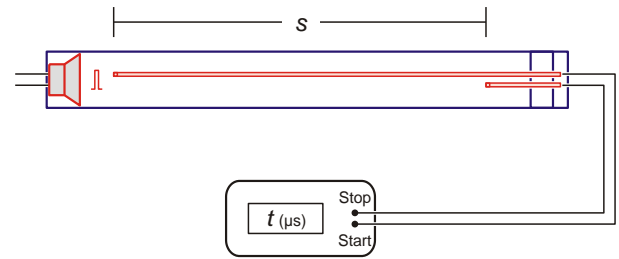


Fig. 2: Representação esquemática da montagem da experiência.

MONTAGEM

- Colocar o tubo acústico sobre os pedestais (fig. 1).
- Inserir a tampa de fechamento com os conectores para os alto-falantes no tubo sonoro.
- Inserir a haste de aquecimento K com os conectores para a haste de aquecimento sonoro na tampa de fechamento e no tubo sonoro.

Observação:

Se necessário, passar um pouco de glicerina ou sabão nos anéis de vedação para facilitar a colocação.

- Inserir as sondas de microfone pelos furos até o final na tampa de fechamento e no disco de condução.
- Fixar a escala móvel no suporte dos pedestais.
- Conectar a caixa de impulso no par de conectores para alimentação do alto-falante. Observar ajuste máximo do alto-falante ($U_{\text{eff}} = 6 \text{ V max.}$). Ajustar ambas as saídas para Trigger, ajustar ampliação para ambos os canais no centro.
- Conectar a fonte DC nos conectores para a haste de aquecimento.
- Conectar a sonda de microfone longa na entrada Canal A da caixa de microfone e a sonda de microfone curta na entrada Canal B.
- Conectar a saída Canal A por meio do cabo de adaptador BNC / 4mm na entrada de Início do contador de microssegundos. (Plugue vermelho de 4 mm no conector verde, plugue preto de 4 mm no conector preto de massa.)
- Conectar a saída do Canal B na entrada de Parada do contador. (Plugue vermelho no conector vermelho, plugue preto lateralmente no primeiro plugue preto).
- Conectar as fontes ao contador de microssegundos e à caixa de microfone e à rede.

Observação:

Em experiências com gases técnicos, encher o tubo acústico por meio das conexões de mangueira. Nisto, deve-se observar a disposição das torneiras correspondentemente à densidade do gás.

REALIZAÇÃO

Tempo de percurso do som no ar à temperatura ambiente

- Com auxílio da escala móvel, ajustar uma distância de 750 mm entre a sonda de microfone longa e a curta. A distância corresponde exatamente ao percurso do som. Anotar o valor na Tab. 1.
- Gerar um impulso sonoro com a caixa de impulso e ler o tempo para a dispersão do som da sonda de microfone longa para a curta no contador de microssegundos. O tempo corresponde exatamente ao tempo de percurso do som. Anotar o valor na Tab. 1.

Observação:

O impulso sonoro ocorre pela movimentação repentina da membrana do alto-falante que é comandado por um pulso de tensão com flanco íngreme. A medida do percurso com alta resolução com o contador de microssegundos inicia quando o impulso sonoro alcança a sonda de microfone longa e para quando a sonda de microfone curta é alcançada na distância s .

- Ajustar outras distâncias movendo a sonda de microfone longa sucessivamente para fora, repetir a medição e anotar os valores para percurso e tempo de percurso respectivamente na Tab. 1.

Tempo de percurso do som no ar em dependência da temperatura

- Ajustar distância fixa $s = 600$ mm entre sonda de microfone longa e curta.
- Conectar o sensor submerso no termômetro de bolso, inserir pelo furo no tubo sonoro e posicionar no meio do tubo sonoro.
- Com auxílio da haste de aquecimento conectada à fonte DC, aquecer o ar no tubo sonoro para 50°C.
- No processo de esfriamento até a temperatura ambiente, por exemplo, em etapas de 5°C, medir o tempo de percurso do som como descrito acima. Anotar os valores para temperatura e tempo de percurso respectivamente na Tab. 2.

Observação:

A temperatura não pode exceder 50°C.

No processo de esfriamento, a distribuição de temperatura é suficientemente homogênea. Por isto, é suficiente medir a temperatura em um ponto do Tubo de Kundt.

Por meio de um espigão, também podem ser introduzidos outros gases técnicos que o ar no Tubo de Kundt.

EXEMPLO DE MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO

Tab. 1: Distância de percurso s e tempo de percurso do som t no ar à temperatura ambiente.

s / mm	$t / \mu\text{s}$
750	2150
600	1720
450	1295
300	858
150	431

Tab. 2: Tempo de percurso do som t e velocidade do som c no ar em dependência da temperatura T . Percurso $s = 600$ mm.

$T / ^\circ\text{C}$	$t / \mu\text{s}$	$c / \text{m/s}$
50,0	1668	359,7
45,0	1681	356,9
40,0	1694	354,2
35,0	1707	351,5
30,0	1720	348,8
26,1	1731	346,6
22,4	1742	344,4

Tempo de percurso do som no ar à temperatura ambiente

- Aplicar os tempos de percurso medidos t contra as distâncias ajustadas s em um diagrama (Fig. 3).
- Adaptar uma reta $t = a \cdot s$ nos pontos de medição.

A velocidade do som corresponde ao valor invertido da inclinação da reta a :

$$(6) \quad c = \frac{1}{a} = \frac{1}{2,868} \frac{\text{mm}}{\mu\text{s}} = 348,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

O valor coincide bem com o valor de literatura $c = 346,4$ m/s a $T = 25^\circ\text{C}$.

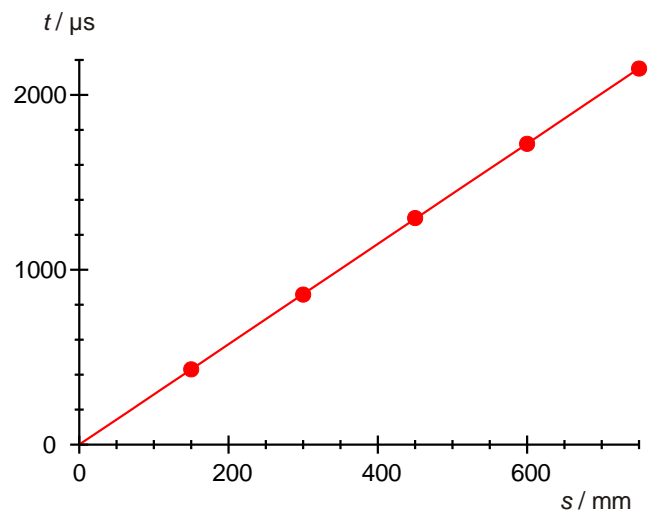


Fig. 3: Tempo de percurso do som t no ar em dependência da distância de percurso s à temperatura ambiente.

Tempo de percurso do som no ar em dependência da temperatura

- Calcular a velocidade do som para cada temperatura com o quociente

$$(7) \quad c = \frac{s}{t}$$

do percurso s e do tempo de percurso t (Tab. 2) e anotar os valores na Tab. 2.

- Aplicar as velocidades do som c contra as temperaturas T em um diagrama (Fig. 4).
- Calcular a dependência da temperatura da velocidade do som com os parâmetros

$$(8) \quad M = 28,97 \frac{\text{g}}{\text{Mol}} \quad \text{e} \quad \frac{C_p}{C_v} = \frac{7}{5}$$

conforme equação (3) e equação (5), e anotar os valores no diagrama $c(T)$ (Fig. 4).

Os pontos de medição são bem descritos pela equação (3) com os parâmetros (8). A descrição aproximada pela equação (5) apresenta, em contrapartida, um desvio.

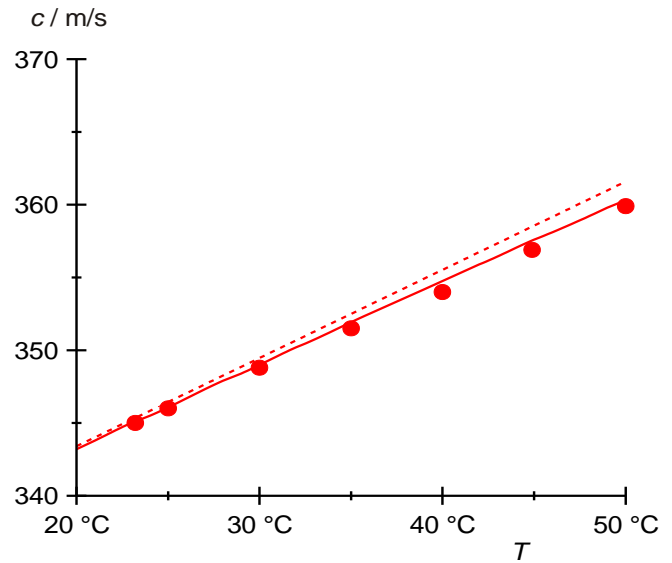


Fig. 4: Velocidade do som c no ar em dependência da temperatura T .

Linha sólida: calculada conforme equação 3,
linha tracejada: calculada conforme equação 5.