

## FUNZIONI

- Generazione di onde sonore stazionarie in un tubo di Kundt s presso entrambe le estremità.
- Misurazione della frequenza fondamentale in funzione della lunghezza del tubo di Kundt.
- Misurazione della frequenza fondamentale e delle armoniche con lunghezza fissa.
- Determinazione della velocità dell'onda dalle frequenze di risonanza.

## SCOPO

Generazione e misurazione di onde sonore stazionarie in un tubo di Kundt

## RIASSUNTO

Le onde sonore si diffondono nei gas come onde longitudinali. La velocità di gruppo coincide con la velocità di fase. Nell'esperimento vengono generate onde stazionarie in un tubo di Kundt chiuso a entrambe le estremità e misurate la frequenza fondamentale in funzione della lunghezza del tubo nonché le frequenze fondamentale e dell'armonica con lunghezza fissa del tubo. La velocità dell'onda viene ricavata dalle frequenze di risonanza e rappresentata graficamente.

## APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Tubo di Kundt E	1017339
1	Sonda microfono, lunga	1017342
1	Scatola microfono (115 V, 50/60 Hz)	1014521 o
1	Scatola microfono (230 V, 50/60 Hz)	1014520
1	Generatore di funzione FG 100 (230 V, 50/60 Hz)	1009957 o
1	Generatore di funzione FG 100 (115 V, 50/60 Hz)	1009956
1	Oscilloscopio USB 2x50 MHz	1017264
1	Multimetro analogico AM50	1003073
1	Cavo ad alta frequenza, connettore 4 mm / BNC	1002748
1	Coppia di cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002849
1	Cavo ad alta frequenza	1002746

## BASI GENERALI

Il tubo di Kundt consente di generare onde stazionarie producendo con l'ausilio di un altoparlante presso un'estremità del tubo onde sonore aventi frequenza corrispondente a quella di risonanza, e che si riflettono all'altra estremità su una parete. Nota la lunghezza del tubo, dalla frequenza di risonanza e delle armoniche è possibile determinare la velocità d'onda.

Le onde sonore si propagano nell'aria e in altri gas come rapide variazioni di pressione e densità. Il modo più semplice per descriverle è mediante la pressione sonora, sovrapposta alla pressione atmo-

sferica. Le onde sonore si propagano nell'aria e in altri gas come rapide variazioni di pressione e densità. Il modo più semplice per descriverle è mediante la pressione sonora, sovrapposta alla pressione atmosferica. Per descrivere un'onda sonora, in alternativa alla pressione sonora  $p$ , è possibile utilizzare anche la velocità  $v$ , cioè la velocità media delle particelle nel luogo  $x$  nel mezzo oscillante al momento  $t$ . Pressione sonora e velocità sono legate ad es. dall'equazione di moto di Eulero

$$(1) \quad -\frac{\partial p}{\partial x} = \rho_0 \cdot \frac{\partial v}{\partial t}$$

$\rho_0$ : densità del gas.

All'interno del tubo di Kundt, le onde sonore si propagano lungo il tubo stesso. Esse possono pertanto essere descritte per mezzo di un'equazione d'onda unidimensionale valida sia per la pressione sonora sia per la velocità:

$$(2) \quad \frac{\partial^2 p(x,t)}{\partial t^2} = c^2 \cdot \frac{\partial^2 p(x,t)}{\partial x^2}$$

ovvero

$$\frac{\partial^2 v(x,t)}{\partial t^2} = c^2 \cdot \frac{\partial^2 v(x,t)}{\partial x^2}$$

$c$ : velocità del suono

Nell'esperimento si osservano onde armoniche riflesse all'estremità del tubo di Kundt. Come soluzioni dell'equazione d'onda vanno dunque considerate le sovrapposizioni di onde di andata e di ritorno:

$$(3) \quad p = p_{0>} \cdot e^{2\pi i \left( f t - \frac{x}{\lambda} \right)} + p_{0<} \cdot e^{2\pi i \left( f t + \frac{x}{\lambda} \right)}$$

$p_{0>}$ ,  $v_{0>}$ : ampiezze delle onde di andata,

$p_{0<}$ ,  $v_{0<}$ : ampiezze delle onde di ritorno

$f$ : frequenza,  $\lambda$ : lunghezza d'onda,

Dove

$$(4) \quad f \cdot \lambda = c$$

Applicando tali soluzioni nell'equazione (1) si ottiene, osservando separatamente onda di andata e onda di ritorno, la relazione

$$(5) \quad p_{0>} = v_{0>} \cdot Z \quad \text{ovvero} \quad p_{0<} = v_{0<} \cdot Z$$

La grandezza

$$(6) \quad Z = c \cdot \rho_0$$

si chiama impedenza caratteristica e corrisponde all'impedenza d'onda del mezzo. Svolge un ruolo importante nell'osservazione delle riflessioni di un'onda sonora su una parete con impedenza specifica  $W$ :

Vale

$$(7) \quad r_v = \frac{v_{0<}}{v_{0>}} = \frac{Z - W}{Z + W} \quad \text{e} \quad r_p = \frac{p_{0<}}{p_{0>}} = \frac{\frac{1}{Z} - \frac{1}{W}}{\frac{1}{Z} + \frac{1}{W}}$$

Nell'esperimento,  $W$  è notevolmente maggiore di  $Z$  e pertanto  $r_v = 1$  e

$r_p = -1$ .

Per semplificare, immaginando la parete a  $x = 0$ , da (3) ne deriva per la parte spaziale dell'onda sonora:

$$(8) \quad p = p_{0>} \cdot \left( e^{-2\pi i \frac{x}{\lambda}} + e^{+2\pi i \frac{x}{\lambda}} \right) \cdot e^{-2\pi i f t}$$

$$= 2 \cdot p_{0>} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot x\right) \cdot e^{-2\pi i f t}$$

e

$$v = v_{0>} \cdot \left( e^{-2\pi i \frac{x}{\lambda}} - e^{+2\pi i \frac{x}{\lambda}} \right) \cdot e^{-2\pi i f t}$$

$$= -2 \cdot i \cdot v_{0>} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot x\right) \cdot e^{-2\pi i f t}$$

Solo le componenti reali di questi termini hanno realtà fisica. Esse coincidono con le onde sonore stazionarie, la cui pressione sonora sulla parete (quindi a  $x = 0$ ) mostra un ventre, mentre la velocità del suono un nodo di

oscillazione. Inoltre la velocità anticipa la pressione di uno spostamento di fase pari a  $90^\circ$ .

Le onde sonore vengono generate alla distanza  $L$  dalla parete con l'ausilio di un altoparlante che oscilla con frequenza  $f$ . Anche in questo caso si formano un ventre di oscillazione per la pressione e un nodo per la velocità del suono. Queste condizioni al contorno sono realizzabili solo se  $L$  è un multiplo intero di mezza lunghezza d'onda:

$$(9) \quad L = n \cdot \frac{\lambda_n}{2}$$

Per via di (3), le frequenze devono pertanto corrispondere alla condizione di risonanza

$$(10) \quad f_n = n \cdot \frac{c}{2 \cdot L}$$

Nell'esperimento la frequenza  $f$  dell'altoparlante viene continuamente variata, mentre un microfono sonda misura la pressione sonora sulla parete di riflessione. La risonanza si considera raggiunta quando il segnale del microfono indica la massima ampiezza.

## ANALISI

In base a (9) fanno parte delle frequenze di risonanza rilevate  $f_n$  le lunghezze d'onda

$$\lambda_n = \frac{2 \cdot L}{n}$$

A conferma di (3) e ai fini della determinazione della velocità d'onda, questi valori vengono rappresentati in un diagramma  $f \cdot \lambda$ .

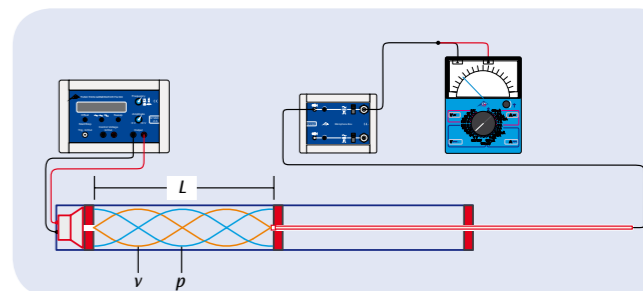


Fig. 1: Rappresentazione schematica della struttura sperimentale

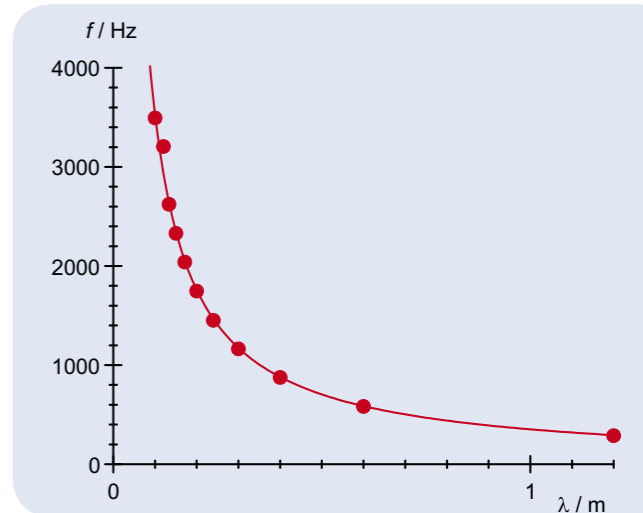


Fig. 2: Diagramma frequenza-lunghezza d'onda