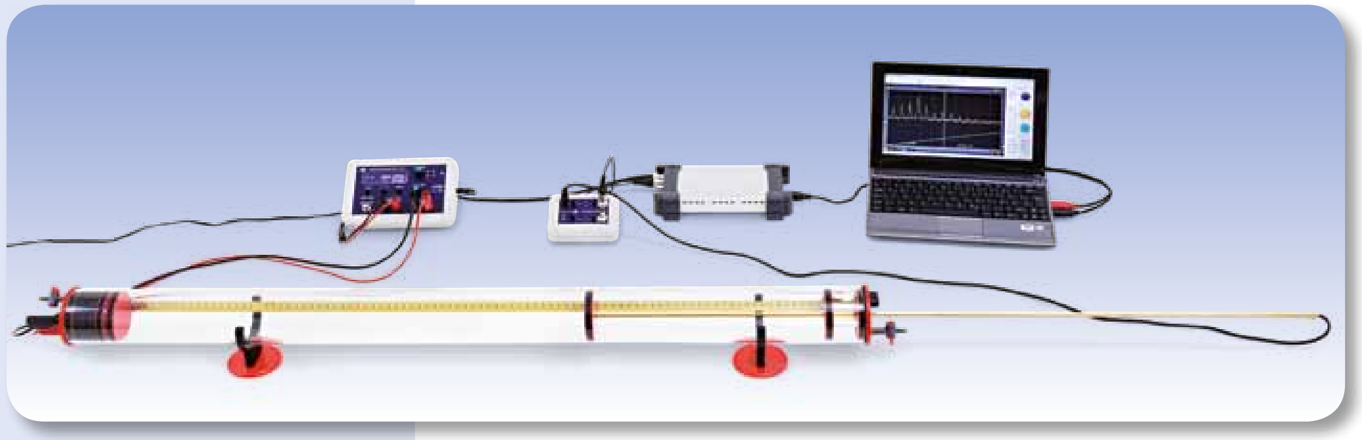
VELOCIDAD DEL SONIDO EN EL AIRE



TAREAS

- **Generación de ondas estacionarias en un tubo de Kundt con ambos extermos cerrados.**
- **Medición de la frecuencia fundamental en dependencia de la longitud del tubo de Kundt.**
- **Medición de las frecuencia fundamental y de los armónicos superiores con longitud constante.**
- **Determinación de la velocidad de la onda partiendo de las frecuencias de resonancia.**

OBJETIVO

Generación y medición de ondas estacionarias de sonido en un tubo de Kundt

RESUMEN

Las ondas de sonido se propagan en los gases como ondas longitudinales. La velocidad de grupo coincide con la velocidad de fase. En el experimento, en un tubo de Kundt cerrado en ambos extremos, se producen ondas estacionarias y se mide la frecuencia fundamental en dependencia de la longitud del tubo y además la fundamental y los armónicos superiores con una longitud del tubo fija. La velocidad de la onda se calcula a partir de las frecuencias de resonancia y se representa gráficamente.

EQUIPO REQUERIDO

Número	Aparato	Artículo N°	
1	Tubo de Kundt E	1017339	
1	Sonda de micrófono, a largo	1017342	
1	Caja de micrófono (115 V, 50/60 Hz)	1014521	o
	Caja de micrófono (230 V, 50/60 Hz)	1014520	
1	Generador de funciones FG 100 (230 V, 50/60 Hz)	1009957	o
	Generador de funciones FG 100 (115 V, 50/60 Hz)	1009956	
1	Osciloscopio USB 2x50 MHz	1017264	
1	Multímetro analogico AM50	1003073	
1	Cable HF, conector macho BNC / 4 mm	1002748	
1	Par de cables de experimentación de seguridad, 75 cm	1002849	
1	Cable HF	1002746	

FUNDAMENTOS GENERALES

En un tubo de Kundt se pueden generar ondas de sonido estacionarias utilizando un altavoz en un externo del tubo para producir ondas de sonido de frecuencia de resonancia apropiada, las cuales se reflejan en una pared al otro externo del tubo. Conociendo la longitud del tubo se puede determinar la velocidad de la onda a partir de la frecuencia de resonancia y del número de armónicos.

Las ondas de sonido se propagan en el aire y en otros gases como variaciones rápidas de presión y densidad. En la forma más sencilla, se describen por medio de una presión del sonido la cual está superpuesta a la presión atmosférica. Alternativamente a la presión de sonido p se puede utilizar también la rapidez v del sonido para la descripción de una onda de sonido, es decir, la velocidad media de las partículas en el punto x en el medio oscilante en el instante t. La presión del sonido y su radipez están enlazados entre si, p. ej. Por medio de la ecuación de movimiento de Euler:

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

ρ_0: Densidad del gas

En el tubo de Kundt, las ondas de sonido se propagan a lo largo de su longitud. Se pueden por lo tanto describir por medio de una ecuación de onda en una dimensión, la cual vale tanto para la presión del sonido como para su rapidez, asi que se obtiene:

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

c: Velocidad del sonido

En el experimento se consideran ondas armónicas que se reflejan en el extremo del tubo de Kundt. Como soluciones de la ecuación de onda se consideran las superposiciones de las ondas de ida y de la reflejada:

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

$p_0>$, $v_0>$:Amplitudes de la onda de ida,
$p_0<$, $v_0<$: Amplitudes de la onda reflejada
f: Frecuencia, λ: Longitud de onda,

teniendo

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

Llevando estas soluciones a la ecuación (1) y teniendo en cuenta por separado la onda de ida de la onda reflejada se obtiene la relación

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

La magnitud

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

se conoce como la impedancia caracterísitca del sonido y corresponde a la resistencia ondulatoria del medio. Ésta juega un papel importante en el estudio de reflexiones de una onda sonora en una pared con impedancia de pared igual a W:

Se tiene

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

En el experimento W es muchísimo mayor que Z y por lo tanto $r_v = 1$ y $r_p = -1$.

Para simplificar, se asume la pared en $x = 0$ y a partir de (3) se deduce para la parte espacial de la onda de sonido:

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

y

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

La realidad física se encuentra sólo en la parte real de estos términos. Ellos corresponden a ondas estacionarias cuya presión de sonido en la pared (es decir en $x = 0$) presenta un vientre de oscilación mientras la rapidez muestra un nodo de oscilación. Además, la presión está adelantada en un desplazamiento de fase de 90°.

A una distancia L de la pared se generan las ondas de sonido por medio de un altavoz que oscila con la frecuencia f. Allí también se crea a su vez un vientre de la presión y un nudo de la rapidez. Estas condiciones de entorno se cumplen sólo cuando L es un múltiplo entero de media longitud de onda:

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

Debido a (3), por lo tanto, las frecuencias deben cumplir la condición de resonancia:

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

En el experimento se varía la frecuencia f del altavoz en forma continua mientras una sonda de micrófono mide la presión del sonido en la pared de reflexión. Se obtiene la resonancia cuando la señal del micrófono indica una amplitud máxima.

EVALUACIÓN

Según (9) a las frecuencias de resonancia fn determinadas corresponden erase las longitudes de onda

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

Para la comprobación de (3) y la determinación de la velocidad de la onda se representan estos valores en un diagrama f-λ.

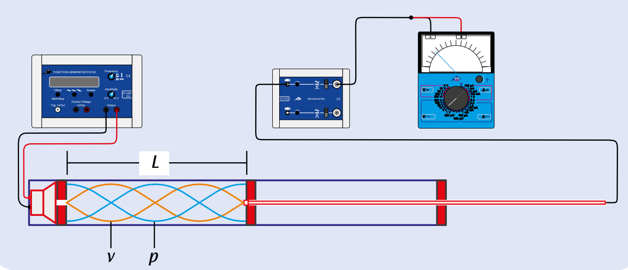


Fig. 1: Representación esquemática del montaje experimental

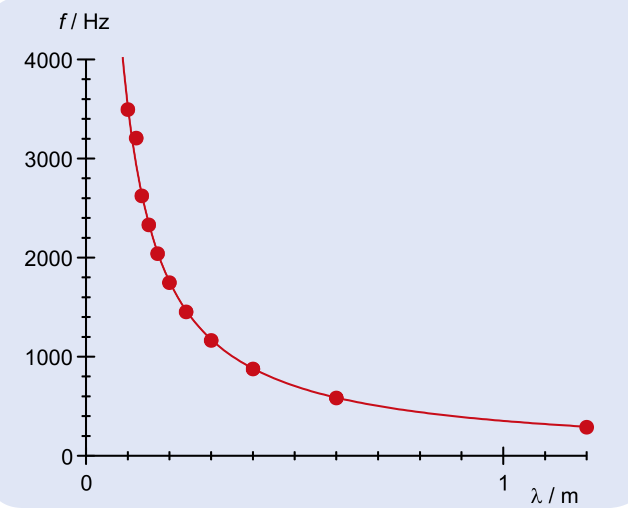


Fig. 2: Diagrama Frecuencia – Longitud de onda