

实验名称 声速测量

实验目的:

1. 学习测量声速的两种方法: 共振干涉法和相位比较法
2. 加深对驻波和振动合成理论的解释
3. 了解压电陶瓷换能器的结构和功能
4. 进一步熟悉示波器的使用, 学会用逐差法处理数据

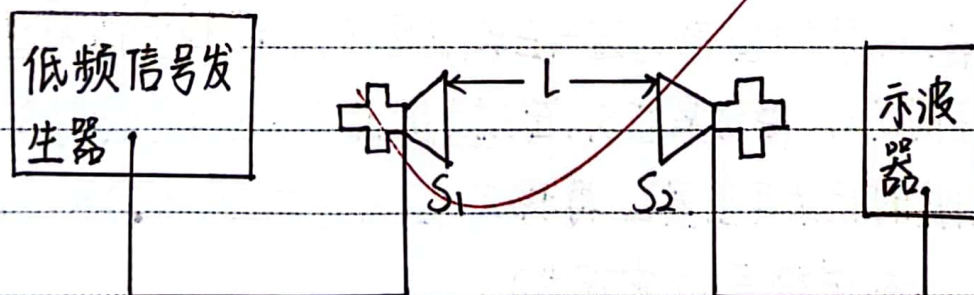
实验仪器:

信号源、示波器、声速测定仪、信号发生器。

实验原理:

1. 实验采用超声波进行测量。而超声波波长短, 易于定向发射, 相互干涉小等, 采用压电陶瓷换能器为波源, 进行声波发射与接收。
2. 由波动学理论: $v = f \cdot \lambda$, 通过测量声波的频率 f 与波长 λ 而计算声速 v 。

3.



① 施加在发射器 S_1 上的交变电信号频率即为超声波频率; 为了增强声波的能量, 则使信号发生器频率等于固有频率, 使其发生共振,

③ 共振干涉法:

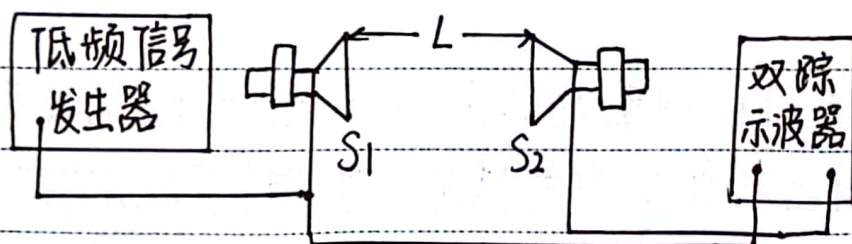
驻波方程: $y_{\text{驻}} = y_1 + y_2 = 2A \cos(\frac{2\pi}{\lambda} x) \cos(\omega t)$.

其中波节点位置 $|A(x)| = 0$, 得: $x = L - k \cdot \frac{\lambda}{2}$, $\Delta x = \frac{\lambda}{2}$

波腹点位置 $|A(x)| = 2A$, 得: $x = L - (k+1) \frac{\lambda}{2}$, $\Delta x = \frac{\lambda}{2}$.

此时, $L = k \frac{\lambda}{2}$, S_1 和 S_2 间将形成稳定的驻波共振现象, 驻波在波节点处的声压将达到极大; 而假设 S_2 某一位置满足 $L_k = k \frac{\lambda}{2}$, 则在示波器上可观察到电信号的极大值, 调整 S_2 位置满足 $L_{k+1} = (k+1) \frac{\lambda}{2}$, 示波器上再次出现电信号极大值, 则 S_2 变动量 $\Delta L = \frac{\lambda}{2}$; 因此, 将 S_1 固定不变, 将 S_2 靠近 S_1 , 调节 S_2 , 记录在示波器的信号达到极大值时的位置, 通过逐差法, 求解相邻间隔 ΔL , 即可求波长 λ .

④ 相位比较法:



S_1 在接收电信号 V_1 的时候开始振动, 被 S_2 接收, 转化为电信号 V_2 .

则: 其位差满足: $\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} L$, 则示波器显示李萨如图形

当 $L = k\lambda$ 时, 李萨如图形为过一、三象限直线; $L = k\lambda + \frac{\lambda}{2}$ 时, 为过二、四象限直线。因此通过固定 S_1 , 使 S_2 靠近 S_1 , 由近及远移动 S_2 , 观察到李萨如图形过一、三(二、四)象限时记录其位置 L , 再移动 S_2 , 为过二、四(一、三)象限时记录其位置 $L_1, \dots$, 利用逐差法, 求波长 λ .

实验步骤:

一、共振干涉法:

step 1: 首先将游标卡尺上的固定螺钉拧松, 并且使 S_2 移近 S_1 , 并将螺钉拧紧。同时打开信号发生器, 将频率调为 37.KHZ, 然后打开示波器, 调节微调旋钮, 确定共振频率, 使示波器上波形振幅达到最大

step 2: 调节声速测量仪上的微调旋钮, 使 S_2 慢慢移开 S_1 , 记录第一个波形振幅达到最大值时的位置 L_0 , 并继续移动 S_2 , 依次记录达到最大值时位置, 记为 $L_1, L_2, \dots, L_9$, 此时相邻两次 $L_{k+1} - L_k = \frac{\lambda}{2}$

二、相位比较法:

打开 ch2 通道, 调节示波器上按钮, 获得李萨如图形, 通过调节声速测量仪上的微调旋钮, 使 S_2 移开 S_1 , 观察李萨如图形, 当第一次出现过-三象限(或二四象限)的直线时, 记录此时 S_2 的位置 L'_0 , 并继续转动微调旋钮, 使 S_2 继续移动, 出现过二四象限(或-三象限)的直线, 记录此时 S_2 的位置, 再次重复, 记录 $L_1, L_2, \dots, L_9$.

实验数据表格及数据处理:

$$f = 36.75 \text{ KHz}, t = 27.9^\circ\text{C}$$

表 3.3.1 共振干涉法测量声速电信号幅值极大时 S_2 位置

测量次数	1	2	3	4	5
L_k / cm	6.750	7.286	7.770	8.256	8.726
L_{k+5} / cm	9.216	9.690	10.116	10.648	11.110
$\Delta L / \text{cm}$	2.466	2.404	2.346	2.392	2.384
$\overline{\Delta L} / \text{cm}$	2.3984				

表 3.3.2 相位比较法测量声速数据表格

测量次数	1	2	3	4	5
L'_k / cm	6.860	7.320	7.860	8.330	8.868
L'_{k+5} / cm	9.334	9.872	10.308	10.706	11.140
$\Delta L' / \text{cm}$	2.474	2.552	2.448	2.376	2.272
$\overline{\Delta L'} / \text{cm}$	2.4244				

① 声速理论值: $V_0 = 331.45 \times \sqrt{\frac{t + 273.15}{273.15}} = 347.97 \text{ m/s}$

② 声速 V : $V_1 = \bar{\lambda} \cdot f = \frac{2}{5} \cdot \overline{\Delta L} \cdot f = \frac{2}{5} \times 2.3984 \times 10^{-2} \times 36.75 \times 10^3 = 352.56 \text{ m/s}$
 $V_2 = \bar{\lambda} \cdot f = \frac{2}{5} \cdot \overline{\Delta L'} \cdot f = \frac{2}{5} \times 2.4244 \times 10^{-2} \times 36.75 \times 10^3 = 356.38 \text{ m/s}$

③ 百分差:

$$\eta_1 = \frac{|V_1 - V_0|}{V_0} \times 100\% = \frac{|352.56 - 347.97|}{347.97} \times 100\% = 1.31908\%$$

修约后: $\eta_1 = 1.4\%$

$$\eta_2 = \frac{|\bar{V}_2 - V_0|}{V_0} \times 100\% = \frac{|356.38 - 347.97|}{347.97} \times 100\% = 2.417\%$$

修约后, $\eta_2 = 2.5\%$

④ 计算声速的不确定度:

$$\because \bar{V} = \frac{\lambda}{\Delta L} f, \text{ 则: } \ln \bar{V} = \ln \frac{\lambda}{\Delta L} + \ln f.$$

$$\therefore \frac{\partial \ln \bar{V}}{\partial \Delta L} = \frac{1}{\Delta L}, \quad \frac{\partial \ln \bar{V}}{\partial f} = \frac{1}{f}.$$

$$\text{则: } U_{\bar{V}} = \bar{V} \cdot \sqrt{\left(\frac{U_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{U_{\Delta L}}{\Delta L}\right)^2}$$

$$\text{其中计算: } U_{\Delta L} = \sqrt{U_{A\Delta L}^2 + U_{B\Delta L}^2}, \quad U_{B\Delta L} = 0.02\text{mm} = 0.002\text{cm}$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta L_i - \bar{\Delta L})^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{4} \times [(2.466 - 2.3984)^2 + (2.404 - 2.3984)^2 + (2.346 - 2.3984)^2 + (2.392 - 2.3984)^2 + (2.384 - 2.3984)^2]}$$

$$= 0.043575 \text{ (cm)}.$$

$$U_{A\Delta L} = S \times \frac{1}{\sqrt{n}} = 1.24 \times 0.043575 = 0.054033 \text{ (cm)}.$$

$$\text{则: } U_{\Delta L} = \sqrt{U_{A\Delta L}^2 + U_{B\Delta L}^2} = \sqrt{0.054033^2 + (0.02 \times 10^{-1})^2} = 0.05407 \text{ (cm)}.$$

$$\therefore \frac{U_{\Delta L}}{\Delta L} = 0.022544$$

$$\text{则: } U_{\bar{V}} = \bar{V} \cdot \sqrt{\left(\frac{U_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{U_{\Delta L}}{\Delta L}\right)^2}$$

$$\text{实验结果及讨论: } = 352.56 \times \sqrt{(0.005)^2 + (0.022544)^2}$$

$$= 8.1413 \text{ m/s}$$

$$\text{修约后 } U_{\bar{V}} = 9 \text{ m/s}.$$

$$\text{综上: } V = \bar{V} \pm U_{\bar{V}}$$

$$= (353 \pm 9) \text{ m/s}$$