

物理实验报告

实验名称： 声速的测定

实验桌号：

指导教师： 王业伍

班级：

姓名：

学号：

实验日期： 2025 年 2 月 27 日 星期 四 上午

浙江大学物理实验教学中心

一、预习报告

1. 实验综述

实验现象：驻波法中，移动接收端时示波器上会出现最大振幅波形，显示出驻波的特性；相位差法中，示波器上会出现李萨如图形，随着接收端移动，图形会在不同象限之间变化。

实验原理：基于声波在介质中的传播特性。声速 v 可通过声波的频率 f 和波长 λ 的关系 $v = \lambda f$ 计算。驻波法利用驻波共振条件 $L_n = n \frac{\lambda}{2}$ ，通过测量相邻最大振幅的位置差 $\Delta L = \frac{\lambda}{2}$ 来计算波长。相位差法则利用相位差与波长的关系，通过观察李萨如图形的变化来确定波长。

实验方法：驻波法中，调节超声换能器至最佳工作状态后，移动接收端记录相邻最大振幅的位置，计算波长并求得声速。相位差法中，将发射端和接收端的信号输入示波器，观察李萨如图形的变化，记录接收端位置变化，计算波长并求得声速。

2. 实验重点

了解声波的特性，加深振动合成和波动干涉理论的理解。同时学会用相位差法和驻波法测定声波在空气中传播的速度，学会示波器和信号发生器的使用。

3. 实验难点

驻波法中接收端位置的精确调整和读数；相位差法中李萨如图形的准确识别和相位差的计算；示波器和信号发生器的使用。

二、原始数据

实验 2.9 声速的测定

97

波器上出现波幅最大为止。这时,显示的频率数值才是实验时所需的谐振频率。

2. 驻波法测量声速

调节好超声换能器至最佳工作状态后,可将移动接收端在标尺上来回移动,观察干涉现象。缓慢移动接收端,使示波器上出现最大的振幅波形,从标尺上读得此时的位置读数 L_1 ,继续同一方向移动接收端,逐次(连续的)读记相邻最大振幅的位置 L_i 。连续记录 8 个数据,同时记下频率 f 。若显示频率有微小增或减,可读记起始频率 f_1 和结束测量时频率 f_2 ,计算声速时用 $f = \frac{1}{2}(f_1 + f_2)$ 。

3. 相位差法测量声速

将发射端的信号输入示波器 X 轴,这样发射端与接收端的振动信号分别输入示波器的 X 轴、Y 轴偏转板上,在屏幕上显示了合成后的李萨如图形。移动接收端就可以在示波器上看到一、三象限的直线,从标尺上读得此时的位置读数 L_1 。再继续移动接收端,测得在示波器上看到二、四象限的直线,从标尺上读得此时的位置读数 L_2 ,同时记录下此时的 f ,连续记录 8 个数据。

4. 填写数据记录表 2-9-1

表 2-9-1

| | | | | | |
|-----------------|---------------------------|--------------------------|-----------------|---|--------|
| 谐振频率 | $f = (40.62) \text{ kHz}$ | | 环境温度 | $t_{\text{干}} = 14.5^\circ\text{C}, t_{\text{湿}} = \quad^\circ\text{C}$ | |
| 驻波法 | 接收端位置读数/mm | | 相位差法 | 接收端位置读数/mm | |
| 1 | L_1 | 19.375 | 0 | L_1 | 52.147 |
| 2 | L_2 | 23.622 | π | L_2 | 56.241 |
| 3 | L_3 | 27.669 27.880 | 2π | L_3 | 60.354 |
| 4 | L_4 | 32.013 | 3π | L_4 | 64.461 |
| 5 | L_5 | 36.392 | 4π | L_5 | 68.713 |
| 6 | L_6 | 40.569 | 5π | L_6 | 73.000 |
| 7 | L_7 | 44.932 | 6π | L_7 | 77.181 |
| 8 | L_8 | 49.219 | 7π | L_8 | 81.402 |
| $\bar{\lambda}$ | | 4.538 8.5218 | $\bar{\lambda}$ | | 8.3888 |
| v | | 346.4 | v | | 340.8 |

$$v_{\text{理}} = 340.1337 \text{ m/s} + 0.2\%$$

【思考题】

1. 同频率两相互垂直的振动合成中,当相位差为 2π 的整数倍时,李萨如图形为一、三象限的直线,当相位差为 π 的奇数倍时是二、四象限的直线。试证

三、结果与分析

1. 数据处理与结果

| 振谐频率 | $f = 40.62kHz$ | | 环境温度 | $t = 14.5^{\circ}C$ | |
|------|----------------|--------|--------|---------------------|--------|
| 驻波法 | 接收端位置读数/mm | | 相位差法 | 接收端位置读数/mm | |
| 1 | L_1 | 19.375 | 0 | L_1 | 52.147 |
| 2 | L_2 | 23.622 | π | L_2 | 56.241 |
| 3 | L_3 | 27.880 | 2π | L_3 | 60.354 |
| 4 | L_4 | 32.013 | 3π | L_4 | 64.461 |
| 5 | L_5 | 36.392 | 4π | L_5 | 68.713 |
| 6 | L_6 | 40.569 | 5π | L_6 | 73.000 |
| 7 | L_7 | 44.932 | 6π | L_7 | 77.181 |
| 8 | L_8 | 49.219 | 7π | L_8 | 81.402 |

根据实验原理以及逐差法可知, $\frac{\bar{\lambda}}{2} = \frac{(L_5+L_6+L_7+L_8)-(L_1+L_2+L_3+L_4)}{16}$, 即:

$$\bar{\lambda} = \frac{(L_5 + L_6 + L_7 + L_8) - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4)}{8}$$

可得驻波法中:

$$\bar{\lambda} = \frac{(36.392+40.569+44.932+49.219)-(19.375+23.622+27.880+32.013)}{8}mm = 8.5278mm$$

$$v = \bar{\lambda}f = 8.5278 \times 40.62m/s = 8.528 \times 40.62m/s = 346.4m/s$$

在相位差法中:

$$\bar{\lambda} = \frac{(68.713+73.000+77.181+81.402)-(52.147+56.241+60.354+64.461)}{8}mm = 8.3888mm$$

$$v = \bar{\lambda}f = 8.3888 \times 40.62m/s = 8.389 \times 40.62m/s = 340.8m/s$$

2. 误差分析

由声速与温度的关系式 $v_t = 331.45 \sqrt{1 + \frac{t/^\circ\text{C}}{273.15}} \text{m/s}$ 可得在该实验室环境下的声速满足：

$$v_t = 331.45 \sqrt{1 + \frac{t/^\circ\text{C}}{273.15}} \text{m/s} = 331.45 \sqrt{1 + \frac{14.5}{273.15}} \text{m/s} = 340.13 \text{m/s}$$

则在驻波法中有 (v_t 为公式计算值, 当作常数处理, 故不做近似):

$$\Delta v = v - v_t = 346.4 \text{m/s} - 340.13 \text{m/s} = 346.4 \text{m/s} - 340.1 \text{m/s} = 6.3 \text{m/s}$$

$$\frac{\Delta v}{v_t} = \frac{6.3}{340.13} \times 100\% = 1.9\%$$

$$\lambda_1 = \frac{L_5 - L_1}{2} = \frac{36.392 - 19.375}{2} \text{mm} = 8.5085 \text{mm}, \lambda_2 = \frac{L_6 - L_2}{2} = \frac{40.569 - 23.622}{2} \text{mm} = 8.4735 \text{mm}$$

$$\lambda_3 = \frac{L_7 - L_3}{2} = \frac{44.932 - 27.880}{2} \text{mm} = 8.5260 \text{mm}, \lambda_4 = \frac{L_8 - L_4}{2} = \frac{49.219 - 32.013}{2} \text{mm} = 8.6030 \text{mm}$$

$$u_{\lambda A} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\lambda_i - \bar{\lambda})^2} = 0.028 \text{mm}, u_{\lambda B} = \frac{\Delta_{\lambda}}{\sqrt{3}} = \frac{0.004}{\sqrt{3}} \text{mm} = 0.003 \text{mm}$$

$$u_{\lambda} = \sqrt{u_{\lambda A}^2 + u_{\lambda B}^2} = 0.029 \text{mm}, u_f = 0.01 \text{kHz}$$

$$u_v = v \sqrt{\left(\frac{u_{\lambda}}{\bar{\lambda}}\right)^2 + \left(\frac{u_f}{f}\right)^2} = 1.1 \text{m/s}$$

故测量结果为 $v = (346.4 \pm 1.1) \text{m/s}$, 相对误差为 1.9%

在相位差法中有:

$$\Delta v = v - v_t = 340.8 \text{m/s} - 340.13 \text{m/s} = 340.8 \text{m/s} - 340.1 \text{m/s} = 0.7 \text{m/s}$$

$$\frac{\Delta v}{v_t} = \frac{0.7}{340.13} \times 100\% = 0.2\%$$

$$\lambda_1 = \frac{L_5 - L_1}{2} = \frac{68.713 - 52.147}{2} \text{mm} = 8.2830 \text{mm}, \lambda_2 = \frac{L_6 - L_2}{2} = \frac{73.000 - 56.241}{2} \text{mm} = 8.3795 \text{mm}$$

$$\lambda_3 = \frac{L_7 - L_3}{2} = \frac{77.181 - 60.354}{2} \text{mm} = 8.4135 \text{mm}, \lambda_4 = \frac{L_8 - L_4}{2} = \frac{81.402 - 64.461}{2} \text{mm} = 8.4705 \text{mm}$$

$$u_{\lambda A} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\lambda_i - \bar{\lambda})^2} = 0.04 \text{mm}, u_{\lambda B} = \frac{\Delta_{\lambda}}{\sqrt{3}} = \frac{0.004}{\sqrt{3}} \text{mm} = 0.003 \text{mm}$$

$$u_{\lambda} = \sqrt{u_{\lambda A}^2 + u_{\lambda B}^2} = 0.04mm, u_f = 0.01kHz$$

$$u_v = v \sqrt{\left(\frac{u_{\lambda}}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{u_f}{f}\right)^2} = 1.7m/s$$

故测量结果为 $v = (340.8 \pm 1.7)m/s$ ，相对误差为0.2%

3. 实验探讨

本次实验完成了声速的测定，观察到驻波法中振幅变化及相位差法中李萨如图形变化。相位差法测得的相对误差更小，可能因为李萨如图形的变化更易观察。但两种方法的不确定度较大，可能受到周围噪声的影响导致图像抖动。

四、思考题

1. 设 x 轴信号（发射端）的波源振动方程为 $x = A\sin(\omega t + \varphi)$ ，则当相位差为 2π 的整数倍时， y 轴信号（接收端）的波源振动方程为 $y = A\sin(\omega t + \varphi + 2k\pi) = A\sin(\omega t + \varphi)$ ，则整合后的李萨如图形方程为 $y = x$ ，即一三象限的直线；则当相位差为 π 的奇数倍时， y 轴信号的波源振动方程为 $y = A\sin(\omega t + \varphi + (2k + 1)\pi) = -A\sin(\omega t + \varphi)$ ，则整合后的李萨如图形方程为 $y = -x$ ，即二四象限的直线。
2. 由于信号频率越接近固有频率，接收端共振的振幅越大，故调整测试系统的振谐频率，有利于声能和电能的相互转换，从而有利于观察振幅变化及李萨如图形的变化。

$$3. \frac{u_v}{v} = \sqrt{\left(\frac{u_{\lambda}}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{u_f}{f}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0.030}{8.560}\right)^2 + \left(\frac{0.01}{40}\right)^2} = 0.004。$$