

浙江大学

物理实验报告

实验名称: 声速的测定

实验桌号: 13

指导教师: 华展辉

班级: _____

姓名: _____

学号: _____

实验日期: 2025 年 10 月 16 日 星期 四 下午

一、预习报告（10分）

1. 实验综述（5分）

（自述实验现象、实验原理和实验方法，包括必要的光路图、电路图、公式等。不超过500字。）

本实验旨在借助相位差法和驻波法测定声波在空气中传播的速度，了解声波的特性，加深振动合成和波动干涉理论的理解，同时学习示波器和信号发生器的使用。超声波具有波长短、定向性强且无噪音等优点，所以实验室常用超声波来测量声速。

1. 超声波传播速度

声波在理想气体中的传播可认为绝热过程，其传播速度为：

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

式中M为气体摩尔质量，R为摩尔气体常量， γ 为气体的比热容比，T为气体的热力学温度。在0°C时，声速 $v_0=331.45\text{m/s}$ ，所以在温度为t时，声速为：

$$v_t = 331.45 \sqrt{1 + \frac{t/\text{°C}}{273.15}} \text{ m/s}$$

通过测量声波振动的频率f和波长 λ 来得到声速：

$$v = \lambda f$$

声波的振动频率一般是仪器给定的，只需测量波长即可，常用的波长测量方法有驻波法（共振干涉法）和相位比较法两种。

2. 驻波法测定超声波波长

入射声波与反射声波相干叠加，在两个换能器之间可形成如图1所示的共振驻波。振动位移处于波节时，则声压处于波腹，即接收器端面振动位移为波节时，接收到的声压最大，经接收器转换成的电信号也最强。

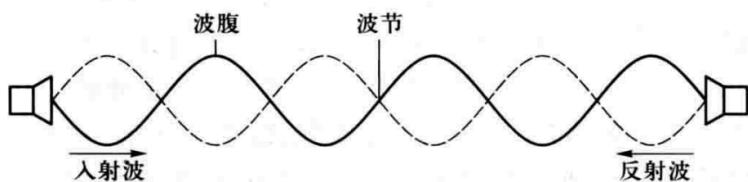


图 1

驻波共振的条件是发射面与接受面的距离L为半波长的整数倍，将接收端输入示波器可以看到最大的振幅，接收端每移动 ΔL 使得示波器上再次观察到最大的振幅，可知：

$$\Delta L = L_{n+1} - L_n = \frac{\lambda}{2}$$

将所得波长 λ 代回可计算处超声波波速。

3. 相位比较法测定超声波波长

沿波传播方向上的任意两点，当其相位差为 2π 的整数倍时，两点间距应为波长 λ 的整数倍，利用该原理测量波长。通过移动接收端改变相位差 $\Delta\varphi$ ，使得示波器上显示的李萨如图形

发生如图 2 所示的周期性变化，记录下 12 次一、三象限直线或二、四象限直线图形时位置读数 L_i ，同样有：

$$\Delta L = L_{n+1} - L_n = \frac{\lambda}{2}$$

将所得波长 λ 代回可计算处超声波波速。

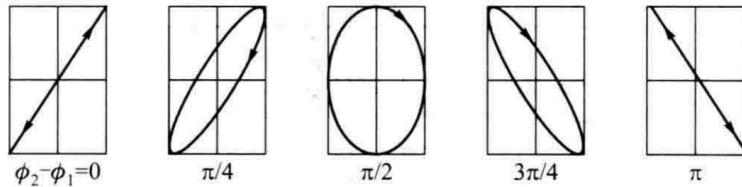


图 2

2. 实验重点 (3 分)

(简述本实验的学习重点，不超过 100 字。)

1. 声波的波动特性：理解驻波形成条件（振幅相同、频率相等、方向相反）及声压分布规律
2. 实验方法：掌握驻波法和相位比较法的操作步骤，如调节共振频率、观察波形和李萨如图形
3. 数据处理：通过测量波长计算声速，分析误差来源（如空程差、端面平行度）
4. 仪器使用：熟悉信号发生器、示波器和超声换能器的配合使用

3. 实验难点 (2 分)

(简述本实验的实现难点，不超过 100 字。)

1. 空程差控制：微调手轮时需避免回程误差，确保位置测量准确
2. 端面平行度：发射端与接收端必须严格平行，否则会导致驻波振幅减小或波形失真
3. 信号稳定性：共振频率需精确调节，且环境噪声可能干扰信号
4. 高阶反射影响：反射波叠加可能引入高阶谐波，需通过多次测量减小误差

二、原始数据 (20 分)

(将有老师签名的“自备数据记录草稿纸”的扫描或手机拍摄图粘贴在下方，完整保留姓名，学号，教师签字和日期。)

三、结果与分析 (60 分)

1. 数据处理与结果 (30 分)

(列出数据表格、选择适合的数据处理方法、写出测量或计算结果。)

实验开始时、实验中、实验结束时分别借助实验室温度计读取室温：

$$t_1 = 25.2^{\circ}\text{C}, t_2 = 25.0^{\circ}\text{C}, t_3 = 25.1^{\circ}\text{C}$$

取平均值 $\bar{t} = \frac{t_1+t_2+t_3}{3} = 25.1^{\circ}\text{C}$ ，代入公式：

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

得 $v = 346.34 \text{ m/s}$, 作为声速的理论值。

实验中, 调节信号源输出信号谐振频率 $f = 39.90 \text{ kHz}$, 分别用以下两种方法测量超声波波长, 计算出声速。

1. 驻波法测定超声波波长

记录数据如下表:

驻波法	L	接收端位置读数/mm
1	L_1	13. 365
2	L_2	17. 520
3	L_3	21. 725
4	L_4	26. 260
5	L_5	30. 705
6	L_6	35. 370
7	L_7	39. 915
8	L_8	44. 180
9	L_9	48. 775
10	L_{10}	53. 050
11	L_{11}	57. 495
12	L_{12}	61. 740

使用逐差法处理数据, 得到 $\bar{\lambda}_1$, v_1 :

$$\frac{\bar{\lambda}_1}{2} = \frac{(L_7 + L_8 + L_9 + L_{10} + L_{11} + L_{12}) - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6)}{36} = 4.45027 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_1 = 8.901 \text{ mm}$$

$$v_1 = \bar{\lambda}_1 \times f = 355.15 \text{ m/s}$$

2. 相位差法测定超声波波长

记录数据如下表:

相位差法	L	接收端位置读数/mm
0	L_1	11.155
π	L_2	15.430
2π	L_3	19.885
3π	L_4	24.325
4π	L_5	28.765
5π	L_6	33.130
6π	L_7	37.405
7π	L_8	41.755
8π	L_9	46.035
9π	L_{10}	50.360
10π	L_{11}	54.790
11π	L_{12}	59.130

使用逐差法处理数据，得到 $\bar{\lambda}_2$, v_2 :

$$\frac{\bar{\lambda}_2}{2} = \frac{(L_7+L_8+L_9+L_{10}+L_{11}+L_{12})-(L_1+L_2+L_3+L_4+L_5+L_6)}{36} = 4.35513\text{mm}$$

$$\bar{\lambda}_2 = 8.710\text{mm}$$

$$v_2 = \bar{\lambda}_2 \times f = 347.54 \text{ m/s}$$

2. 误差分析 (20 分)

(运用测量误差、相对误差或不确定度等分析实验结果，写出完整的结果表达式，并分析误差原因。)

(1) 实验结果分析

1. 驻波法测定超声波波长

测得声速的相对误差:

$$E_1 = \frac{|v_1 - v|}{v} \times 100\% = 2.54\%$$

超声波波长测量的不确定度:

$$\begin{aligned}\lambda_{1i} &= \frac{2(L_{n+i} - L_i)}{n}, n = 6, i \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6\} \\ u_{\lambda_1} &= \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \times \sum_{i=1}^n (\lambda_{1i} - \bar{\lambda}_1)^2} = 0.032\text{mm}\end{aligned}$$

实验要求中未提及输出信号谐振频率的不确定度，对应声速的不确定度:

$$u_{v_1} = \frac{u_{\lambda_1}}{\bar{\lambda}_1} \times v_1 = 1.28 \text{ m/s}$$

最终结果为:

$$v_1 = (355.15 \pm 1.28) \text{ m/s}$$

2. 相位差法测定超声波波长

测得声速的相对误差:

$$E_2 = \frac{|v_2 - v|}{v} \times 100\% = 0.35\%$$

超声波波长测量的不确定度：

$$\lambda_{2i} = \frac{2(L_{n+i} - L_i)}{n}, n = 6, i \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$$

$$u_{\lambda_2} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \times \sum_{i=1}^n (\lambda_{2i} - \bar{\lambda}_2)^2} = 0.018\text{mm}$$

对应声速的不确定度：

$$u_{v_2} = \frac{u_{\lambda_2}}{\lambda_2} \times v_2 = 0.73 \text{ m/s}$$

最终结果为：

$$v_2 = (347.54 \pm 0.73) \text{ m/s}$$

(2) 误差可能的原因

1. 使用驻波法测量波长时，振幅在最大值附近变化并不明显，判断是否达到最大值时具有较强的主观性，振幅在最大值附近较大的区间内都有可能被判定为最大值，造成较大的测量误差
2. 使用相位差法测量波长时，判断图像是否变成一条直线也存在一定的主观性，造成一定的测量误差
3. 实际实验中，信号源的输出信号并非一直稳定，存在一定的浮动，可能造成测量误差
4. 实验室内的室温并不均匀，进行实验处的室温可能与实验室温度计测得的温度有偏差，造成一定的误差

3. 实验探讨（10 分）

（对实验内容、现象和过程的小结，不超过 100 字。）

本次实验通过驻波法和相位差法两种方法实现了超声波波长的测量，并结合信号源输出谐振信号的频率计算出了声速。从实验结果来看，驻波法测得的声速相对误差较大，个人认为是振幅最大值判断的主观性导致的，而相位差法测得的声速相对误差较小，与理论值更为相符。

四、思考题（10 分）

（解答教材或讲义或老师布置的思考题，请先写题干，再作答。）

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。试证明之。

（1）当相位差为 2π 的整数倍时，记两振动：

$$x = A \sin(\omega t + \varphi), y = B \sin(\omega t + \varphi + 2k\pi)$$

则：

$$y = B \sin(\omega t + \varphi + 2k\pi) = B \sin(\omega t + \varphi) = \frac{B}{A}x$$

此时，示波器上显示 $y = kx$ 的图像，为一、三象限的直线。

（2）同理，当相位差为 π 的奇数倍时，记两振动：

$$x = A \sin(\omega t + \varphi), y = B \sin(\omega t + \varphi + (2k + 1)\pi)$$

则：

$$y = B \sin(\omega t + \varphi + (2k + 1)\pi) = -B \sin(\omega t + \varphi) = -\frac{B}{A}x$$

此时，示波器上显示 $y = -kx$ 的图像，为二、四象限的直线。

2. 实验前为什么要调整测试系统的谐振频率？

在谐振频率下，能量转换效率高，信号幅度大，变化明显，测量误差小。

3. 如果超声波发生器的频率 $f=40.00\text{kHz}$ ，不确定度 $u_f = 10\text{Hz}$ ，测 λ 时引起波长的不确定度为 $u_\lambda = 0.030\text{mm}$ ， $\bar{\lambda} = 8.560\text{mm}$ ，则实验中所测得的声速相对不确定度 u_v/v 可达多少？

$$\frac{u_v}{v} = \sqrt{\left(\frac{u_\lambda}{\bar{\lambda}}\right)^2 + \left(\frac{u_f}{f}\right)^2} = 3.51 \times 10^{-3}$$

- 注意事项：

1. 用 PDF 格式上传“实验报告”，文件名：学生姓名+学号+实验名称+周次。
2. “实验报告”必须递交在“学在浙大”本课程内对应实验项目的“作业”模块内。
3. “实验报告”成绩必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” – “选课系统”内查询。
4. 教学评价必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” – “选课系统”内进行，学生必须进行教学评价，才能看到实验报告成绩，教学评价须在本次实验结束后 3 天内进行。