

浙江大学

物理实验报告

实验名称: 声速的测定

实验桌号:

指导教师: 宁凡龙

班级:

姓名:

学号:

实验日期: 2025 年 11 月 4 日 星期二上午

(此处填实验选课系统内日期)

浙江大学物理实验教学中心

如有实验补做, 补做日期:

情况说明:

一、预习报告（10 分）

（注：将已经写好的“物理实验预习报告”内容拷贝过来）

1. 实验综述（5 分）

（自述实验现象、实验原理和实验方法，不超过 300 字，5 分）

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

1、超声波传播速度：声波在理想气体传播中可看做绝热过程，其传播速度在 0°C 时， $v = 331.45 \text{ m/s}$ ，那么在 $t^{\circ}\text{C}$ 时， $v_t = 331.45 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} \text{ m/s}$ 。

声波在不同介质中传播速度不同。最简单的方法是直接测量声波振动的频率和波长， $v = \lambda f$ ，由于 f 已由仪器给定，只需测量 λ 。
2、驻波法测量超声波波长：由于入射波和反射波相干叠加，两个换能器之间形成共振驻波现象，波幅达到极大值。由纵波的性质，振动位移处于波节时，声压处于波腹，即接收器端面移动位移为一波节时，接收到的声压最大，经接收器转换成的电信号最强。驻波共振的条件

是发射面到接受面的距离 L 恰好等于半波长的整数倍，即： $L_n = n \frac{\lambda}{2} (n = 1, 2, 3, \dots)$

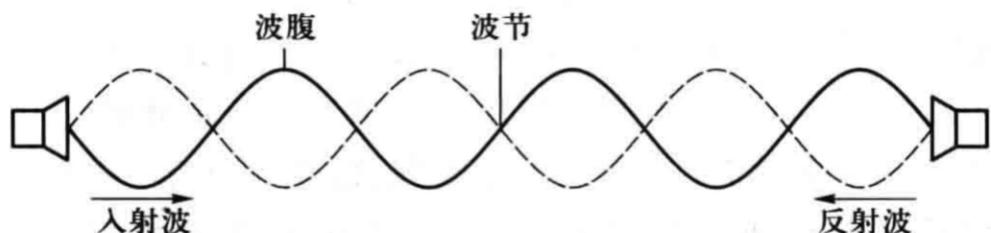


图 1 驻波法测量超声波波长

3、相位比较法测定超声波长：沿波传播方向上的任何两点，其振动状态相同，或者说其相位差为 2π 的整数倍时，两点间的距离等于波长的整数倍，利用这一原理可测波长。

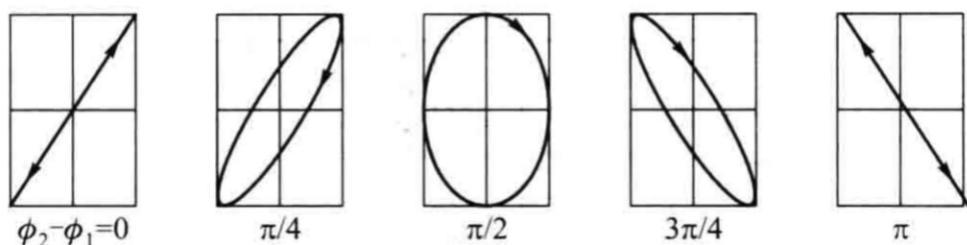


图 2 相位比较法测定超声波长

2. 实验重点

（简述本实验的学习重点，不超过 100 字，3 分）

- 1、系统调节：只有信号频率与两个具有相同固有频率的换能器频率一致时，且发射端面与接收端面平行时，才有良好的实验效果。
- 2、驻波法测量声速。
- 3、相位差法测量声速。

3.实验难点

（简述本实验的实现难点，不超过 100 字，2 分）

- 1、使用驻波法观察时，振幅在最大值附近有可能变化不明显，难以判断是否到达最大值。
- 2、使用相位差法测量时，难以判断图像是否变为一条直线。
- 3、信号源的输出信号可能会发生变动。
- 4、螺旋测微仪读数较难准确。

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。)

调整输出频率，使得振幅达到最大，获得最佳输出频率 $f=39.89\text{kHz}$ 。

室温 $t=18.8^\circ\text{C}$ 。

$$\text{理论声速: } v_t = 331.45 \sqrt{1 + \frac{18.8}{273.15}} \text{ m/s} \approx 342.68 \text{ m/s}$$

在调整接收器的位置时，如果来回调整，会造成“回程差”，为了避免这种结果，实验时限制接收器只进行单向移动。为了避免错过信号最强或图像变为一条直线的点，采用测量两次的方法，第一次粗测，记录下数据点，第二次精测，在接近粗测位点时进行精细缓慢的调节，从而获得实验数据如下：

表 1 实验数据

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	25.538	0	L_1	26.182
2	L_2	29.658	π	L_2	31.572
3	L_3	34.458	2π	L_3	35.902
4	L_4	39.212	3π	L_4	40.322
5	L_5	43.095	4π	L_5	44.752
6	L_6	48.308	5π	L_6	49.042
7	L_7	52.279	6π	L_7	53.542
8	L_8	56.092	7π	L_8	57.836

数据处理：

(1) 驻波法

a) 逐差法

$$\frac{\lambda}{2} = \sum_{i=1}^4 \frac{L_{i+4} - L_i}{16} = 4.43\text{mm}$$
$$\lambda = 8.86\text{mm}$$

声速：

$$v = \lambda f = 353.42\text{m/s}$$

相对误差：

$$\frac{|353.42 - 342.68|}{342.68} \times 100\% = 3.13\%$$

b) 最小二乘法

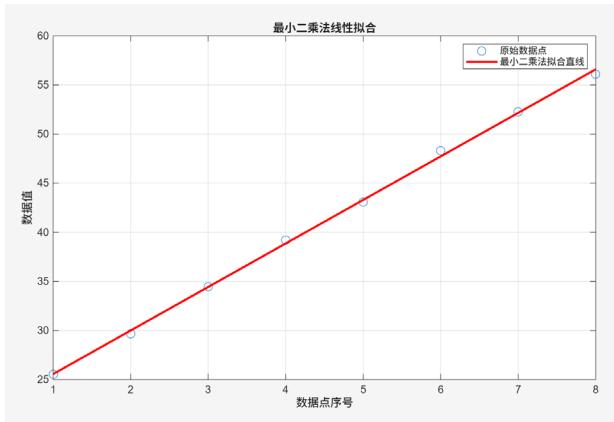


图 3 最小二乘法求 $\frac{\lambda}{2}$

$$\frac{\lambda}{2} = k = 4.43\text{mm}$$

$$\lambda = 8.86\text{mm}$$

声速:

$$v = \lambda f = 353.42\text{m/s}$$

相对误差:

$$\frac{|353.42 - 342.68|}{342.68} \times 100\% = 3.13\%$$

(2) 相位差

a) 逐差法

$$\frac{\lambda}{2} = \sum_{i=1}^4 \frac{L_{i+4} - L_i}{16} = 4.45\text{mm}$$

$$\lambda = 8.90\text{mm}$$

声速:

$$v = \lambda f = 355.02\text{m/s}$$

相对误差:

$$\frac{|355.02 - 342.68|}{342.68} \times 100\% = 3.60\%$$

b) 最小二乘法

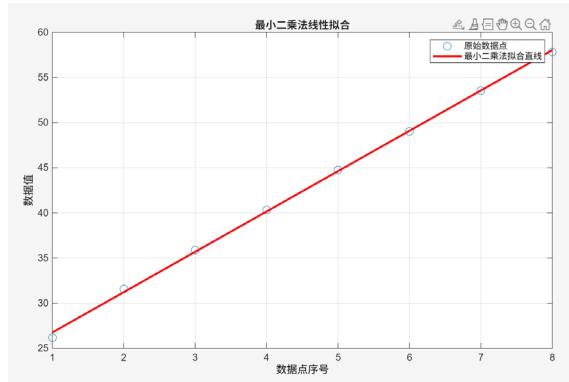


图 4 最小二乘法求 $\frac{\lambda}{2}$

$$\frac{\lambda}{2} = k = 4.47\text{mm}$$

$$\lambda = 8.94\text{mm}$$

声速:

$$v = \lambda f = 356.62\text{m/s}$$

相对误差:

$$\frac{|356.62 - 342.68|}{342.68} \times 100\% = 4.07\%$$

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。)

对驻波法、相位法得到的结果进行逐差法和最小二乘法处理, 得到的结果和相对误差如下表:

表 2 数据处理结果

	逐差法		最小二乘法	
	测得声速 (m/s)	相对误差	测得声速 (m/s)	相对误差
驻波法	353.42	3.13%	353.42	3.13%
相位差法	353.02	3.60%	356.62	4.07%

可以看到, 两者求得的声速与理论值的相对误差较大, 均在 3% 左右。但是, 由于两种方法均偏大, 而用两种方法求出的声速结果却较为接近, 推测有可能是实际实验条件下的声速大于理论计算的声速, 可能原因是:

- 1、教室内的气温分布不均匀, 我所在的位置离墙上的温度计最远, 有可能在实验桌这一侧, 由于学生分布较密、人体散热等原因导致实际测量时气温高于温度计显示的温度。
- 2、仪器本身发热导致局部温度升高: 实验所用的信号源、示波器等电子设备在长时间运行后会散热, 这可能导致换能器附近的局部空气温度略高于环境温度, 从而使得在该区域的实际声速高于基于远处温度计读数计算的理论值。
- 3、湿度的原因, 因为空气湿度的增加会导致其中水蒸气含量增加, 而水蒸气的摩尔质量小于空气的平均摩尔质量, 从而使得潮湿空气的密度小于干燥空气, 导致声速变大。理论声速公式通常是基于干燥空气计算的, 未考虑湿度影响, 因此实验值会系统性偏大。

其他可能导致出现这种现象的原因还有:

- 1、仪器产生的系统误差: 信号发生器显示的频率可能存在系统偏差, 即其实际输出频率略高于显示频率。由于计算声速时采用了显示频率, 如果 f 值偏小而 λ 测量准确, 则计算出的声速 v 就会系统性偏大。

2、波形不理想引起的判读困难：发射的超声波可能并非理想的平面波，波形较为复杂。形成的驻波波节和波腹位置可能不清晰或发生偏移，难以精确判断从而给波长的准确测量带来系统偏差。

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。）

本实验利用驻波法和相位比较法测量空气中的超声波声速。通过移动接收端，寻找并记录驻波声压最大值的位置，或观察李萨如图形由直线变为反向直线，来精确确定半波长，最终结合已知频率，根据公式 $v = f\lambda$ 计算出声速，并与理论值进行比较分析。

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时，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。

将发射端信号输入 X 轴，接收端信号输入 Y 轴，方程如下： $x = A \cos \omega t, y = B \cos(\omega t + \varphi)$ 。其中 ω 为频率， φ 为相位差。

消去参数 t 得：

$$\left(\frac{y}{B} - \frac{x}{A} \cos(\varphi) \right)^2 = \left(1 - \left(\frac{x}{A} \right)^2 \right) \sin^2(\varphi)$$

当相位差 $\varphi = 2n\pi$ （其中 n 为整数）时：

$$\cos(\varphi) = \cos(2n\pi) = 1, \sin(\varphi) = \sin(2n\pi) = 0$$

代入得：

$$y = \left(\frac{B}{A} \right) x$$

图像为经过一、三象限的直线

当相位差 $\varphi = (2n + 1)\pi$ （其中 n 为整数）时：

$$\cos(\varphi) = \cos((2n + 1)\pi) = -1, \sin(\varphi) = \sin((2n + 1)\pi) = 0$$

代入得：

$$y = -\left(\frac{B}{A} \right) x$$

图像为经过二、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？

实验中使用的发射端和接收端都是谐振器件。这意味着它们有自己的固有频率。只有当信号发生器提供的电信号频率与发射换能器的固有谐振频率一致时，电能才能最有效地转换为机械振动能，从而产生最强烈的超声波。

3. 如果超声波发生器的频率 $\bar{f} = 40.00\text{kHz}$ ，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？

由不确定度公式可得： $\frac{u_v}{v} = \sqrt{\left(\frac{u_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{u_\lambda}{\lambda}\right)^2}$ ，计算得 $u_v = 3.5 \times 10^{-3}$ 。

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。

浙江大学物理实验教学中心制