



大学物理-基础实验 | 实验报告

姓名 王元叙
学号 PB22000195
班级 22 级少年班学院 5 班
日期 2023 年 4 月 5 日

声速测量

1 实验目的

- 1) 使用压电陶瓷超声换能器来测定超声波在气体、液体和固体中的传播速度；
- 2) 理解并学会运用压电效应（正逆效应）；
- 3) 理解驻波的性质，并正确运用其进行声速测量；
- 4) 理解利用利萨如图的性质进行声速测量的原理。

2 实验仪器

SV5 型声速测量仪（如图所示，主要部件包括信号源和声速测试仪（含水槽））、双踪示波器、不同长度的有机玻璃棒、不同长度的黄铜棒、游标卡尺等



图 1: SV5 型声速测量仪

3 实验原理

3.1 驻波法测量

声波在介质（空气、液体）中传播，带动介质发生振动；当振动区间的长度是半波长的整数倍时，可以形成稳定的驻波；压电传感器可以测量某个场点的振幅，当压电传感器处在驻波波腹位置时，可测得振幅极大值；由此可以测出半波长 $\lambda/2$

信号源同时给出信号的频率 f ，利用波动关系 $v = \lambda f$ 可计算声速大小。

3.2 相位比较法测量

当信号发生器的信号经过介质传播被重新接收后，与直接输出的信号间会产生相位差 $\Delta\varphi$ 。将两信号分别接入示波器的两个输入通道 CH1 和 CH2，在 CH2 上可观测到利萨如图形。当利萨如图从直线演化为斜率相反的直线时，信号接收器即经过了半个波长的距离。由此可测出半波长 $\lambda/2$ ；

信号源同时给出信号的频率 f ，利用波动关系 $v = \lambda f$ 可计算声速大小。

3.3 时差法测量

声速测量仪允许加载固体介质。信号源发出脉冲波，测量仪会给出脉冲波通过介质所需的时间 Δt ；利用游标卡尺可测出固体介质（固体棒）的长度 L ，利用速度的定义式 $v = L/\Delta t$ 可计算固体介质中声速大小

4 实验步骤

1. 正确连接示波器到声速测量仪和示波器。固定传感器探头位置，调节信号源频率直至示波器上观察测到振幅达到最大值。记录下此时信号源的频率 f 作为谐振频率。
2. 记录实验室空气温度。
3. 维持谐振频率，首先连接驻波法测量的电路。
4. 单方向转动鼓轮移动可动探头；观察示波器波形变化，记录下振幅达到极值时声速测量仪上游标对应的位置。共记录 12 组。
5. 将水槽中盛水至液面线，连接相位比较法测量的电路。
6. 单方向转动鼓轮移动可动探头；观察示波器上利萨如图图形变化，记录下利萨如图呈现直线时声速测量仪上游标对应的位置。共记录 8 组。
7. 分别将信号源模式改为金属和非金属，发出脉冲波；连接时差法测量的电路。
8. 分别测量不同长度黄铜棒和有机玻璃棒长度，读取时间。
9. 整理器材，结束实验，对以上测量的数据进行处理和误差分析。

5 实验数据

在以下实验中，确定正弦波信号源频率为 $f = 36853 \text{ Hz}$ ，空气温度为 $t = 27^\circ\text{C}$ 在给定温度下计算空气中理论声速：

$$v_s = v_0 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} = 347.45 \text{ m/s}$$

5.1 驻波法测量空气中声速 & 相位比较法测量液体中声速

表 1 空气中声速测量（驻波法）实验数据

测量次数	读数/cm
1	1.190
2	1.668
3	2.146
4	2.598
5	3.086
6	3.572
7	4.042
8	4.530
9	4.992
10	5.470
11	5.948
12	6.412

表 2 水中声速测量（相位比较法）实验数据

测量次数	读数/cm
1	5.194
2	7.364
3	9.462
4	11.364
5	13.148
6	15.208
7	17.444
8	19.464

5.2 时差法测量固体中声速

表 3 黄铜棒中测量的数据

长度/cm	用时/ μs
17.948	57
25.796	80

表 4 有机玻璃棒中测量的数据

长度/cm	用时/ μs
22.802	133
26.854	150

6 实验结果分析

6.1 驻波法测量空气中声速

斜率

$$m = 0.47553 \text{ cm}$$

截距

$$b = 0.71355 \text{ cm}$$

线性拟合的相关系数

$$r = \frac{\overline{nL} - \bar{n} \cdot \bar{L}}{\sqrt{(\overline{n^2} - \bar{n}^2)(\overline{L^2} - \bar{L}^2)}} = 0.99999008$$

斜率标准差

$$s_m = |m| \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{r^2} - 1\right) / (n - 2)} = 0.00066983 \text{ cm}$$

截距标准差

$$s_b = s_m \cdot \sqrt{\bar{n}^2} = 0.0049298 \text{ cm}$$

波长 λ

$$\lambda = 2m = 2 \times 0.47553 \text{ cm} = 0.95106 \text{ cm}$$

波长 λ 的延伸不确定度

$$\begin{aligned} U_{\lambda,P} &= \sqrt{\left(\frac{\partial \lambda}{\partial m} U_{m,P}\right)^2} \\ &= \sqrt{(2U_{m,P})^2} \\ &= \sqrt{(2 \times 0.00066983)^2} \text{ cm} \\ &= 1.3397 \times 10^{-3} \text{ cm}, P = 0.95 \end{aligned}$$

谐振频率的不确定度

$$\Delta_{B,f} = 0.001 \text{ Hz}$$

声速 v

$$v = f\lambda = 350.5 \text{ m/s}$$

声速 v 的延伸不确定度

$$\begin{aligned} U_{v,P} &= \sqrt{\left(\frac{\partial v}{\partial \lambda} U_{\lambda,P}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial f} U_{f,P}\right)^2} \\ &= \sqrt{(fU_{\lambda,P})^2 + (\lambda U_{f,P})^2} \\ &= 0.49372 \text{ m/s}, P = 0.95 \end{aligned}$$

声速 v 最终结果

$$v = (350.5 \pm 0.5) \text{ m/s}$$

实验温度下声速的理论值 v_t

$$v_t = v_0 \sqrt{\frac{t}{t_0} + 1} = 331.45 \sqrt{\frac{27}{273.15} + 1} \text{ m/s} = 347.45 \text{ m/s}$$

相对误差 = 0.88052%

$$\delta = \frac{|v - v_t|}{v_t} = \frac{|(350.5 - 347.45)|}{347.45} = 8.8052 \times 10^{-3} \%$$

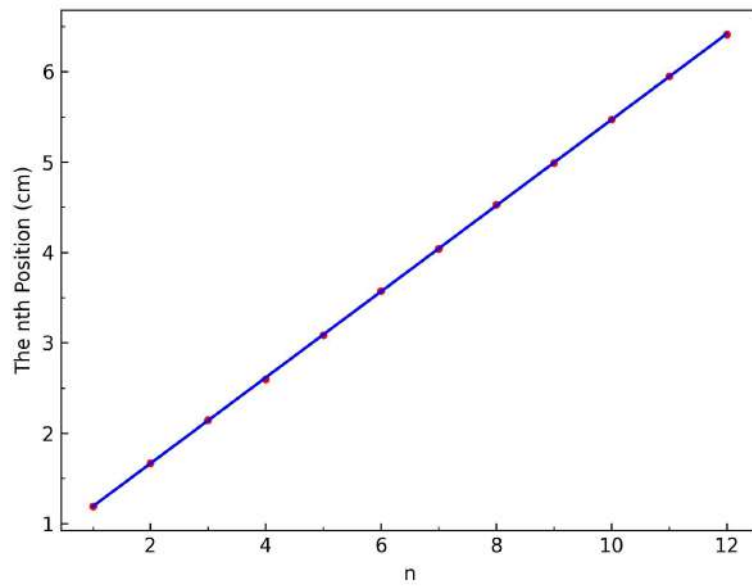


图 2.1 气体中声速测量的最小二乘拟合图

6.2 相位比较法测量液体中声速

直接读出斜率 $m = -2.016 \text{ cm}$ 波长即为

$$\bar{\lambda} = 2|m| = 4.0312 \text{ cm} \quad P = 0.95$$

于是声速测量结果即为 $v = \lambda f = 1485.7 \text{ m/s}$

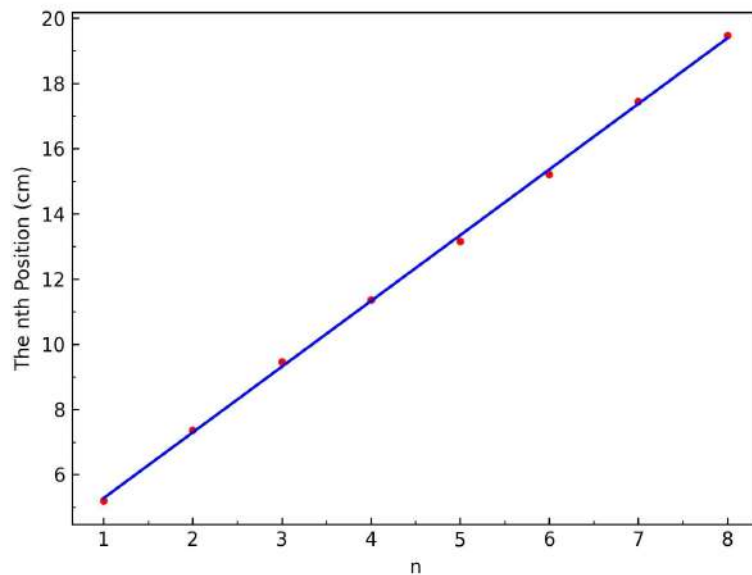


图 2.2 水中声速测量的作图法拟合

6.3 时差法测量固体中声速

金属棒，斜率 $m = 0.3396 \text{ cm}/\mu\text{s}$ ，于是得金属中声速为 $v = 3396 \text{ m/s}$

有机玻璃棒，斜率 $m = 0.2383 \text{ cm}/\mu\text{s}$ ，于是得有机玻璃中声速为 $v = 2383 \text{ m/s}$

7 思考题

7.1 定性分析共振法测量时，声压振幅极大值随距离变长而减小的原因。

声波在传播过程中的减弱现象与传播距离、声波频率和界面等因素有关。声波在介质（如空气，液体，固体）中传播时会因为被介质吸收、横向扩散而产生能量损耗；

实验中所用声波频率很高，力学知识表明，高频声波更容易被介质影响，其能量耗散也较大，因此在实验过程中即可观察到明显的振幅变化。

7.2 声速测量中驻波法、相位法、时差法有何异同？

相同点：都利用压电陶瓷的正/逆压电效应进行实验

不同点：

- 原理不同：驻波法利用驻波测量半波长，相位法利用相位差的两个波形成利萨如图测量半波长。这两个实验中均使用波长计算声速，然而测量固体中声速的实验中使用长度除以时间的公式直接计算。
- 波源不同：驻波法和相位法都依靠谐振频率 f 下的连续正弦，而时差法不需要调整频率，利用脉冲波；
- 测量标定方式不同：驻波法是通过观察声压振幅达到最大值，相位法是通过观察李萨如图形的周期性变化，时差法是直接观察信号发生器上的时间显示。

7.3 各种气体中的声速是否相同，为什么？

根据气体声速经验公式：

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT_0}{M}} \sqrt{\left(1 + \frac{t}{273.15}\right) \left(1 + \frac{0.3192p_w}{p}\right)} \text{ m/s}$$

这表明气体声速受到气体绝热指数和摩尔质量以及湿度的影响，因此在同温同压情况下，不同气体声速也不相同