

# 实验报告

## 声速的测量

少年班学院  
马天开 PB21000030 (1 号)

2022 年 4 月 13 日

### 1 实验目的

在给定的器材下, 进行简单的实验设计和实验基本方法的训练, 学会实验器材的使用、测量方法和应用误差均分原理; 分析误差的来源, 提出修正和估算的方法

### 2 实验器材

低频信号发生器、测量仪、示波器、黄铜棒、有机玻璃棒、游标卡尺、温度计。

发生器频率分度:  $\Delta f = 1\text{Hz}$ , 游标卡尺精度:  $\Delta \approx 10^{-3}\text{cm}$

### 3 实验原理

#### 3.1 声速公式

在理想空气中, 声波的传播速度满足:

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

忽略空气中水蒸气的影响和其他夹杂物的影响, 在开式温度  $T$  下, 声速满足:

$$v = v_0 \sqrt{T/273.15}$$

其中,  $v_0$  为  $0^\circ\text{C}$  理想空气中的声速, 计算得到的值为  $331.45\text{m/s}$

#### 3.2 测量方法

根据波动理论:

$$v = \lambda \cdot f$$

其中  $v$  为波速,  $\lambda$  为波长,  $f$  为频率。声波的频率由声源的电激励信号给出, 波长由共振干涉法 (驻波假设) 和相位比较法 (行波假设) 来测量。

共振干涉法: 在接受表面, 入射波和反射波的振动方向与频率相同而发生相干叠加; 声波在发射表面和接受表面之间往返, 形成驻波。当接受表面和发射表面之间的距离为半波长  $\lambda/2$  的整数倍时, 出现稳定的驻波共振现象, 声压最大。

相干比较法, 发射端和接收端之间存在相位差, 可以通过李萨如图形来观察。当  $S1$  和  $S2$  之间距离变化半个波长, 图形变化  $\Delta\varphi = \pi$

### 4 实验方法

组装实验仪器。

首先测量环境温度  $T$ 、和简谐频率  $f$ : 在接收平面和发射平面之间保证一定距离的前提下, 调整正弦信号频率, 当在某一点电压幅度最大时, 记录该频率为匹配点频率  $f$ 。

共振干涉法 (驻波法) 测量空气中的波长和声速: 保持接收平面和发射平面距离  $> 5\text{cm}$ , 通过移动鼓轮调整接收平面位置, 观察示波器, 当示波器上出现振幅最大信号时, 记录接收平面的位置  $L$ , 按照一定方向改变接收器的位置, 可以发现波形发生周期性的变化, 共记录至少 12 个为支点, 并用最小二乘法处理数据, 并计算不确定度; 与由温度计算得到的理论值相比。

相位干涉法 (行波法) 测量水中的波长和声速: 调整接线方式, 并将示波器置于  $X-Y$  挡位上, 保持接收平面和发射平面距离  $> 5\text{cm}$ , 通过移动鼓轮调整接收平面位置, 观察示波器, 当示波器上出现斜率为正 (或负) 的直线时, 记录接收平面的位置  $L$ , 用同样的方法共记录至少 8 个为支点, 并用最小二乘法处理数据, 并计算不确定度; 与由温度计算得到的理论值相比。

测量固体中的声速的大小 (时差法): 分别将黄铜棒、有机玻璃棒连接在实验仪器上, 调整接线方式, 测出时间差  $t$ ; 用游标卡尺测量并记录长度  $L$

## 5 实验数据

共振干涉法 (驻波法) 数据  $L$ : ( $f = 37121\text{Hz}$ ,  $T = 23.0^\circ\text{C}$ )

29.395, 28.934, 28.416, 28.010, 27.518, 27.092,  
26.635, 26.083, 25.572, 25.625, 23.786, 22.869,  
22.377, 21.837, 21.385

相位干涉法 (行波法) 数据  $L$ : ( $f = 34787\text{Hz}$ )

8.454, 11.156, 13.238, 15.142,  
17.404, 19.626, 21.838, 21.130

黄铜棒:  $t = 80\mu\text{s}$ ,  $L = 25.766\text{cm}$ ; 有机玻璃棒:  
 $t = 154\mu\text{s}$ ,  $L = 26.776\text{m}$ 。

## 6 数据分析

### 6.1 共振干涉法 (驻波法)

注: 在分析数据时注意到, 数据点 10, 11, 12 中间存在明显偏差, 应该是漏掉了三个波峰, 通过调整最小二乘的  $n$  可以修正这些错误。

对数据分别编号  $n = 1, 2, 3 \dots$ , 利用最小二乘得到回归方程:

$$L = -0.47034581 \times n + 29.86871233$$

通过逐差的方法, 对  $L$  进行不确定度分析:

$$U_{AL} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (\Delta L_i - \bar{\Delta L})^2} = 0.09269\text{cm}$$

$$\text{仪器的误差: } U_{BL} = \sqrt{3} \times \Delta = 0.001732\text{cm}$$

$$\text{因此 } L \text{ 的展伸不确定度: } U_L = \sqrt{U_{AL}^2 + U_{BL}^2} = 0.09271\text{cm}$$

$$\Delta f = 1\text{Hz}, \text{ 不确定度: } U_f = 1\text{Hz}$$

$$\text{因此 } U_v/v = \sqrt{(\frac{U_L}{L})^2 + (\frac{U_f}{f})^2} = 0.003616$$

得到半波长  $\lambda/2 = 0.470\text{cm}$ , 计算得到声速  $v = 349.1 \pm 1.3\text{m/s}$ ,  $P = 0.68$ ;

对比理论值  $v_0 = 345.12\text{m/s}$ , 相对误差 1.17%

### 6.2 相干干涉法 (行波法)

用与上文类似的处理方法可以得到:

$$f = 34787\text{Hz} \pm 1\text{Hz}$$

$$\lambda = 4.394\text{cm} \pm 0.001\text{cm}$$

所以测得水中的声速:  $v = 1528.7\text{m/s} \pm 1 \times 10^{-5}\text{m/s}$

### 6.3 测量固体中的声速的大小 (时差法)

限于时间原因, 并未测量多组数据。

黄铜棒:

$$t = 80\mu\text{s} \pm 1\mu\text{s}$$

$$L = 25.776 \pm 0.001\text{cm}$$

得到黄铜棒中声速为:  $v = 3222\text{m/s} \pm 1\text{m/s}$

有机玻璃棒:

$$t = 154\mu\text{s} \pm 1\mu\text{s}$$

$$L = 26.776 \pm 0.001\text{cm}$$

得到黄铜棒中声速为:  $v = 1739\text{m/s} \pm 1\text{m/s}$

## 7 思考题

- 定性分析共振法测量时, 声压振幅极大值随着距离变长而减小的原因。

声波的传递有损, 振动幅度受能量减小的影响而减小

- 声速测量中驻波法、相位法、时差法有何异同?

驻波法测量精度更高, 耗时也更长, 适合精密测量。但缺点在于不直观、不容易判断最大振幅的位置; 相位法在示波器上更加直观, 更容易辨别最大点, 但行波假设并不适用于大多数条件; 时差法更加迅速, 但精度不高。

- 各种气体中的声速是否相同, 为什么?

呃, 不相同, 不同种气体之间定压比热容和定容比热容不相同……它们之间的比值也不相同; 实际测量时固体中的声速不相同也可以从侧面反映出: 声音的传播不仅受介质形态的影响, 也受介质本身性质的影响。