

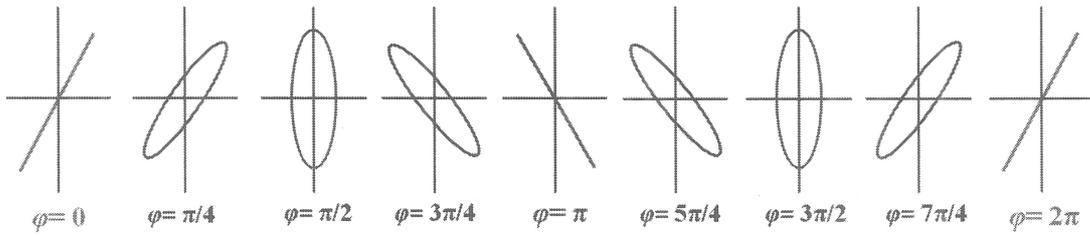
班级 \_\_\_\_\_ 学号 \_\_\_\_\_ 姓名 \_\_\_\_\_ 教师签字 \_\_\_\_\_

实验日期 2023.12.8 预习成绩 \_\_\_\_\_ 总成绩 \_\_\_\_\_

### 实验名称 声速的测量

#### 一. 实验预习

相位比较法测量声速实验中，示波器上调出李萨如图形后，改变换能器的间距，连续记录出现正斜率和负斜率直线时接收器的位置（如下图所示），记录了 10 个位置数据  $x_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, 9, 10$ )，所用声波频率为  $f$ ，如下表所示，请用逐差法处理数据，推导出声速  $v$  的表达式。



相位比较法测空气中声速，频率  $f = \underline{\hspace{2cm}}$

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_i$										

$$\overline{\Delta x} = \frac{\sum_{i=1}^5 (x_{i+5} - x_i)}{5} = \frac{(x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10}) - (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5)}{5}$$

$$\text{则 } \lambda = 2\overline{\Delta x}, \text{ 声速 } v = \lambda f = \frac{\sum_{i=6}^{10} x_i - \sum_{i=1}^5 x_i}{12.5} \cdot f$$

• 驻波法测量声速：发射波  $y_1 = A_1 \cos(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda})$ ，反射波  $y_2 = A_2 \cos(\omega t + \frac{2\pi x}{\lambda} + \pi)$   
 $y = y_1 + y_2$ ， $p = -\rho \cdot v^2 \frac{\partial y}{\partial x}$   
 $\Rightarrow$  接收换能器表面声压振幅随  $\cos(\frac{2\pi x}{\lambda})$  呈周期变化，相位随  $\frac{2\pi x}{\lambda}$  呈周期变化。

• 时差法测量声速

发射与接收换能器距离为  $L$ ，则  $v = \frac{L}{t}$   $t$ : 接收时差

$$\therefore v = \frac{\Delta L}{\Delta t} \text{ (逐差法)}$$

*Handwritten signature*

二. 实验现象及原始数据记录

极值法(驻波法)测空气中声速, 温度  $t = 23.3$  °C, 频率  $f = 37.079$  kHz

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$l_i$ (mm)	228.501	223.363	218.742	213.991	209.352	204.810	200.810	195.433	190.701	186.124

相位比较法测空气中声速, 温度  $t = 23.8$  °C, 频率  $f = 37.075$  kHz

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$l_i$ (mm)	182.890	178.178	173.392	168.870	164.028	159.178	154.554	149.778	144.874	140.129

(选做) 波形移动法测空气中声速, 温度  $t =$  \_\_\_\_\_ °C, 频率  $f =$  \_\_\_\_\_ kHz

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$l_i$ (mm)										

时差法测空气中声速, 温度  $t = 23.9$  °C

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$l_i$ (mm)	135.000	130.000	125.000	120.000	115.000	110.000	105.000	100.000	97.000	91.000
$t_i$ ( $\mu$ s)	497	469	454	440	425	411	397	382	373	357

(选做) 时差法测固体中声速, 温度  $t =$  \_\_\_\_\_ °C

次数	1	2	3	4	5	6
材质						
$l_i$ (mm)						
$t_i$ ( $\mu$ s)						

教师	姓名
签字	

### 三. 数据处理

【计算以上几种方法测得的声速，计算室温下空气中声速的理论值，分别计算四种方法得到的声速测量值与理论值的相对误差，根据时差法测量数据计算固体介质中的声速（选做），要有详细的计算过程，格式工整】

#### 1. 极值法（驻波法）测空气中声速

利用逐差法，接收波幅出现极大值的相邻接收器位置之差（即声波波长的一半）为

$$\bar{\Delta}l = \frac{\sum_{i=1}^5 (l_{i+5} - l_i)}{25}$$

所以声速的测量值为

$$v_1 = \lambda_1 f_1 = 2\bar{\Delta}l f_1 = 344.304 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

室温  $t = 23.3 \text{ }^\circ\text{C}$  下，声速的理论值为  $v_t = 331.45 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} = 345.297 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，故相对误差为

$$\delta = \frac{|344.304 - 345.297|}{345.297} \times 100\% = 0.288\%$$

#### 2. 相位比较法测空气中声速

利用逐差法，李萨如图形每次呈现斜直线时相邻接收器位置之差（即声波波长的一半）为  $\bar{\Delta}l = \frac{\sum_{i=1}^5 (l_{i+5} - l_i)}{25}$ 。同理，声速的测量值为

$$v_2 = \lambda_2 f_2 = 2\bar{\Delta}l f_2 = 352.684 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

室温  $t = 23.8 \text{ }^\circ\text{C}$  下，声速的理论值为  $v_t = 331.45 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} = 345.588 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，故相对误差为

$$\delta = \frac{|352.684 - 345.588|}{345.588} \times 100\% = 2.053\%$$

#### 3. 时差法测空气中声速

实验中，令换能器每次移动的距离为  $\Delta L = 5.000 \text{ mm}$ 。利用逐差法，每移动  $\Delta L$ ，声波传播时间改变

$$\Delta t = \frac{\sum_{i=1}^5 (t_{i+5} - t_i)}{25} = 14.6 \text{ } \mu\text{s}$$

所以声速计算值为  $v_3 = \frac{\Delta L}{\Delta t} = 342.466 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

室温  $t = 23.9 \text{ }^\circ\text{C}$  下，声速的理论值为  $v_t = 331.45 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} = 345.647 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，故相对误差为

$$\delta = \frac{|342.466 - 345.647|}{345.647} \times 100\% = 0.920\%$$

#### 四. 实验结论及现象分析

(分析讨论以上几种方法测出的空气中的声速结果为何存在差异,从原理和操作上说明各自的优缺点)

1. 极值法(驻波法)需要在发射器和接收器之间形成稳定的驻波,这要求两者的距离是声波波长的整数倍,而且要避免外界干扰。这些条件在实际操作中难以满足,因此会导致测量误差。极值法(驻波法)的优点是原理简单,操作方便,不需要复杂的仪器。缺点是受外界干扰大,测量精度低,适用范围窄。
2. 相位比较法(行波法)需要观察发射波和接收波在示波器上形成的李萨如图形,这要求两者的频率相同,而且要精确地确定图形的直线位置。这些操作在实际操作中也有一定的难度,因此会导致测量误差。相位比较法(行波法)的优点是测量精度高,适用范围广,可以测量复杂的声波信号。缺点是原理复杂,操作困难,需要示波器这样的精密的仪器。
3. 时差法需要测量声波在不同介质中的传播时间,这要求能够准确地记录声波的发射和接收时刻,而且要考虑不同介质的影响。这些因素在实际操作中也会引入测量误差。时差法的优点是原理直观,操作简单,不受外界干扰。缺点是测量精度受仪器和介质的影响,需要多次测量和计算。

#### 五. 讨论题

1. 使用驻波法测声速时,为什么示波器上观察到的是正弦波而不是驻波?

因为驻波是在 S1 和 S2 之间由发射波和反射波叠加而成,而示波器显示的是 S1 发射波和 S2 接收到的波,而不是 S1 和 S2 中间的波,因此为正弦波而不是驻波。

2. 用相位比较法测量波长时,为什么用直线而不用椭圆作为 S2 移动距离的判断数据?

理论上也可以使用椭圆作为判断依据,但是椭圆形状难以通过肉眼判断相同,因此会存在较大的实验误差。

3. 分析一下本实验中哪些因素可以引起测量误差。列出 3 条主要因素并说明原因。

- (1) 测量过程中测微鼓轮的读数误差;
- (2) 驻波法中极大值判断不准确,极大值附近曲线变化不明显,因此产生误差;
- (3) 时差法中受到噪声的干扰, S2 处声压信号起始位置读取不准确,会产生误差。