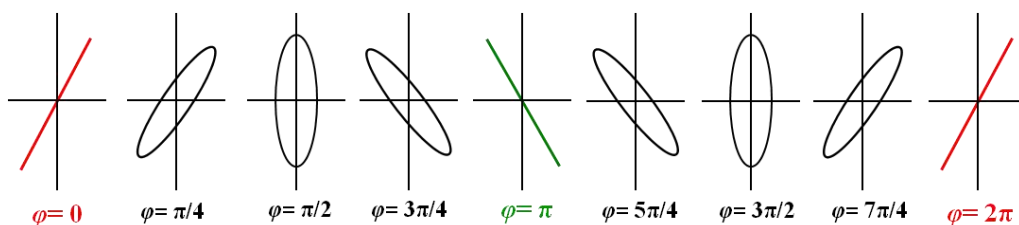


## 实验名称 空气中声速的测量

## 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, 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
$x_i$										

由于相邻两组直线出现间隔半个波长  $\frac{\lambda}{2}$ , 由逐差法得  $\bar{\lambda} = \frac{(x_{10} + x_9 + x_8 + x_7 + x_6) - (x_5 + x_4 + x_3 + x_2 + x_1)}{5 \times \frac{\lambda}{2}}$

故  $v = \bar{\lambda} f = \frac{(x_{10} + x_9 + x_8 + x_7 + x_6) - (x_5 + x_4 + x_3 + x_2 + x_1)}{5 \times \frac{\lambda}{2}} f$

实验采用四种方法测量声速, 实验原理分别是什么?

极值法 (驻波法):

声压  $p = -p_0 v \frac{\partial y}{\partial x} \approx -2p_0 v A_1 \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \sin \omega t$ , 在任意两相邻最大位移之间距离为  $\frac{\lambda}{2}$ 。

相位比较法:

$y = y_1 + y_2 \approx 2A_1 \sin \frac{2\pi x}{\lambda} \sin \omega t$ , 两波发射器  $y_1 = A_1 \cos(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda})$ , 在  $x$  处产生  $\Delta p = \frac{2\pi \Delta x}{\lambda}$ , 李萨如图形直线斜率一次增加  $\frac{\Delta}{2}$

波形移动法:

将接收换能器至  $CH_1$  移至  $CH_2$  重合, 再移动至下一次重合时接收器移动距离为  $\lambda$

时差法:

改变两换能器之间距离  $\Delta L$ , 测得传播时间改变  $\Delta t$ , 则  $v = \frac{\Delta L}{\Delta t}$

## 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  $t = 22.5^{\circ}\text{C}$ , 频率  $f = 38.312\text{kHz}$ 

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$l_i (\text{mm})$	103.750	108.385	112.941	117.398	121.983	126.310	130.789	135.129	139.401	144.128

相位比较法测空气中声速, 温度  $t = 22.5^{\circ}\text{C}$ , 频率  $f = 38.960\text{kHz}$ 

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$l_i (\text{mm})$	126.240	130.750	135.189	139.430	143.985	148.507	153.601	157.479	161.800	166.361

(选做) 波形移动法测空气中声速, 温度  $t = 22.5^{\circ}\text{C}$ , 频率  $f = 38.968\text{kHz}$ 

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$l_i (\text{mm})$	103.830	112.860	121.792	130.703	139.578	148.691	157.326	166.365	175.253	184.101

时差法测空气中声速, 温度  $t = 22.5^{\circ}\text{C}$ 

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$l_i (\text{mm})$	100.000	110.000	120.000	130.000	140.000	150.000	160.000	170.000	180.000	190.000
$t_i (\mu\text{s})$	393	421	450	485	514	542	571	600	629	663

(选做) 时差法测固体中声速, 温度  $t = 22.5^{\circ}\text{C}$ 

次数	1	2	3	4	5	6
材质	有机玻璃	有机玻璃	有机玻璃	金属铝	金属铝	金属铝
$l_i (\text{mm})$	10	20	30	10	20	30
$t_i (\mu\text{s})$	30	40	48	36	41	44

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)。

0. 理论声速 (环境温度  $t=22.5^{\circ}\text{C}$ )

$$v_t = 331.45 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} \text{ m/s} = 344.83 \text{ m/s}$$

1. 极值法 (驻波法) 测空气中的声速

$$\bar{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^5 (l_{i+5} - l_i)}{5 \times 2.5} = 8.904 \text{ mm}$$

$$v = \bar{\lambda} f = 8.904 \text{ mm} \times 38.312 \text{ kHz} = 341.1 \text{ m/s}$$

$$\sigma = \frac{|v - v_t|}{v_t} \times 100\% = 1.08\%$$

2. 相位比较法测空气中的声速

$$\bar{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^5 (l_{i+5} - l_i)}{5 \times 2.5} = 8.971 \text{ mm}$$

$$v = \bar{\lambda} f = 8.971 \text{ mm} \times 38.960 \text{ kHz} = 347.5 \text{ m/s}$$

$$\sigma = \frac{|v - v_t|}{v_t} \times 100\% = 1.35\%$$

3. 波形移动法测空气中的声速

$$\bar{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^5 (l_{i+5} - l_i)}{5 \times 5} = 8.913 \text{ mm}$$

$$v = \bar{\lambda} f = 8.913 \text{ mm} \times 38.968 \text{ kHz} = 347.3 \text{ m/s}$$

$$\sigma = \frac{|v - v_t|}{v_t} \times 100\% = 0.72\%$$

4. 时差法测空气中的声速

$$\text{直接时差: } v = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \frac{l_{i+5} - l_i}{t_{i+5} - t_i} = 337.0 \text{ m/s} \quad \sigma = \frac{|v - v_t|}{v_t} \times 100\% = 2.27\%$$

$$\text{间接时差: } v = \frac{\Delta X}{\frac{\sum_{i=1}^5 (t_{i+5} - t_i)}{5 \times 5}} = 336.9 \text{ m/s} \quad \sigma = \frac{|v - v_t|}{v_t} \times 100\% = 2.30\%$$

5. 时差法测固体中的声速

有机玻璃:

$$v_1 = \frac{l_2 - l_1}{t_2 - t_1} = 714 \text{ m/s}$$

$$v_2 = \frac{l_3 - l_2}{t_3 - t_2} = 2500 \text{ m/s}$$

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2} = 1607 \text{ m/s}$$

金属铝:

$$v_3 = \frac{l_5 - l_4}{t_5 - t_4} = 2000 \text{ m/s}$$

$$v_4 = \frac{l_6 - l_5}{t_6 - t_5} = 3333 \text{ m/s}$$

$$v = \frac{v_3 + v_4}{2} = 2667 \text{ m/s}$$

#### 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。

四次针对空气中声速测量结果均在  $330.0 \pm 0.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  范围内,与理论值  $343.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  相差不大。

测量值和理论值的偏差来自测量存在的系统误差和实际空气状态并非理想气体。

极值法、相位法、波形移动法均有较强主观因素,需要较多准备工作以降低主观因素影响。且三种方法需已知声音频率,实验中频率的变化会带来误差。

时差法不需要已知频率,主观性不强,不需要大量准备工作,但示波器分辨率低,时间精度不够。

#### 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?

驻波是空间无时的概念,两个换能器之间的声波为驻波。

示波器显示的是某一点  $x$  上的振动图像,测量时间是常量,故为正弦图。

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  $S_2$  移动距离的判断数据?

直线主观误差较小,椭圆是曲线观测时主观误差较大。

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  $p = p_0 \left[ (A_1 + A_2) \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \cos(\omega t) - (A_1 - A_2) \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \sin(\omega t) \right]$  中,在换能器位置认为  $A_1 = A_2$ ,但实际两个振幅之差并不为 0,可能不是严格的驻波场。

② 极值法判断何时到极值,相位比较法判断李萨如图何时为直线,波形移动法判断相位何时重叠都有较大主观性,会产生主观误差。

③ 实验环境下,空气不是理想气体,实验仪器随着工作,内部特性会发生退化,影响波动的产生和测量。