

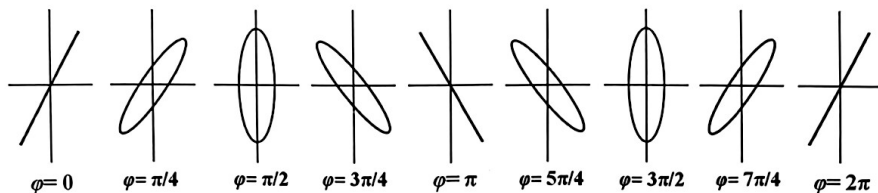
班级  学号  姓名  教师签字 _____

实验日期 2024.4.29 T5711-1 预习成绩 _____ 总成绩 _____

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(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 | | | | | | | | | | |

根据条件可知, 该声波的波长为

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_i - \sum_{i=1}^5 x_i}{5 \times 5} \times 2 = \frac{2}{25} \left(\sum_{i=6}^{10} x_i - \sum_{i=1}^5 x_i \right)$$

再由公式 $v = \lambda f$ 可以求得声速为

$$v = \frac{2}{25} \left(\sum_{i=6}^{10} x_i - \sum_{i=1}^5 x_i \right) \cdot f$$

一. 极值法(驻波法)测声速

由近及远移动接收器, 观察接收(CH2)信号幅值的变化情况, 连续记录波幅取最大值时接收器的位置, 记录10组数据。

二. 相位比较法测声速

按下示波器上“Acquire”按钮, 打开X-Y模式以调出李萨如图形, 改变接收器的间距, 连续记录10组出现正斜率和负斜率直线时接收器的位置数据。

三. 时差法测声速

将信号源的测试方法改为“脉冲中波”方式, 将接收器等间距地移动至10个不同的位置, 记录过10个位置的距离值和时间值 t_i, t_1 (时间值由信号源显示窗口直接读出), 共测10组数据。

四. 实验前的准备

将信号发生器的发射端换能器连接到发射器, 波形连接至CH1通道, 接收端换能器连接到接收器, 波形连接至CH2通道, 打开信号发生器与示波器, 调节信号源频率使CH2的波形幅值最大。(f为37±3kHz)

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 $t = 23.0$ °C, 频率 $f = 35.374$ kHz

| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| l_i (mm) | 110.418 | 115.390 | 120.320 | 125.270 | 130.152 | 134.894 | 139.944 | 144.788 | 149.832 | 154.752 |

相位比较法测空气中声速, 温度 $t = 23.0$ °C, 频率 $f = 35.382$ kHz

| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| l_i (mm) | 154.752 | 159.588 | 164.578 | 169.464 | 174.270 | 179.250 | 184.266 | 189.100 | 194.010 | 198.920 |

(选做) 波形移动法测空气中声速, 温度 $t = 23.0$ °C, 频率 $f = 35.386$ kHz


| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| l_i (mm) | 203.786 | 213.546 | 223.462 | 233.198 | 242.540 | 252.540 | 262.390 | 272.490 | 282.338 | 291.786 |

时差法测空气中声速, 温度 $t = 23.0$ °C

| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| l_i (mm) | 290.000 | 280.000 | 270.000 | 260.000 | 250.000 | 240.000 | 230.000 | 220.000 | 210.000 | 200.000 |
| t_i (μs) | 964 | 931 | 901 | 872 | 843 | 814 | 785 | 757 | 728 | 699 |

(选做) 时差法测固体中声速, 温度 $t = 23.0$ °C

| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------|----|----|----|------|------|------|
| 材质 | 铝 | 铝 | 铝 | 有机玻璃 | 有机玻璃 | 有机玻璃 |
| l_i (mm) | 10 | 20 | 30 | 10 | 20 | 30 |
| t_i (μs) | 7 | 43 | 74 | 7 | 45 | 72 |

| | |
|----|---|
| 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】

根据环境温度可以求得理论声速为

$$v_0 = 331.45 \times \sqrt{1 + \frac{23.0}{273.15}} = 345.12(\text{m/s})$$

(1) 极值法（驻波法）测空气中声速

代入实验表中数据，根据逐差法公式进行计算（此时频率为 35374Hz）。测量时每出现一次振幅极值则记录一次数据，即两相邻数据之间间隔半个波长，可得

$$\bar{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^5 (l_{i+5} - l_i)}{5 \times 2.5} = 9.813(\text{mm})$$

$$v = \bar{\lambda} f = 347.12(\text{m/s})$$

$$\sigma = \frac{|v - v_0|}{v_0} = 0.58\%$$

(2) 相位比较法测空气中声速

代入实验表中数据，根据逐差法公式进行计算（此时频率为 35382Hz）。测量时每出现一次直线则记录一次数据，即两相邻数据之间间隔半个波长，可得

$$\bar{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^5 (l_{i+5} - l_i)}{5 \times 2.5} = 9.832(\text{mm})$$

$$v = \bar{\lambda} f = 347.86(\text{m/s})$$

$$\sigma = \frac{|v - v_0|}{v_0} = 0.79\%$$

(3) 波形移动法测空气中声速

代入实验表中数据，根据逐差法公式进行计算（此时频率为 35386Hz）。测量时每出现一次相位重叠则记录一次数据，即两相邻数据之间间隔一个波长，可得

$$\bar{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^5 (l_{i+5} - l_i)}{5 \times 5} = 9.800(\text{mm})$$

$$v = \bar{\lambda} f = 346.80(\text{m/s})$$

$$\sigma = \frac{|v - v_0|}{v_0} = 0.49\%$$

(4) 时差法测空气中声速

两相邻数据之间的喇叭间隔变化为 10.000mm，每次记录两参考点的时间差，可得

$$v = \frac{1}{5} \times \sum_{i=1}^5 \frac{l_{i+5} - l_i}{t_{i+5} - t_i} = 343.49(\text{m/s})$$

$$\sigma = \frac{|v - v_0|}{v_0} = 0.47\%$$

(5) 时差法测固体中声速

每次记录两参考点的时间差可得

铝：

$$v = \frac{1}{2} \times \left(\frac{l_2 - l_1}{t_2 - t_1} + \frac{l_3 - l_2}{t_3 - t_2} \right) = 300.18(\text{m/s})$$

$$\sigma = \frac{|v - v_0|}{v_0} = 13.02\%$$

有机玻璃：

$$v = \frac{1}{2} \times \left(\frac{l_5 - l_4}{t_5 - t_4} + \frac{l_6 - l_5}{t_6 - t_5} \right) = 316.76(\text{m/s})$$

$$\sigma = \frac{|v - v_0|}{v_0} = 8.22\%$$

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的测量结果均位于不确定度均位于 0.8% 内, 与理论值相差不大。

考虑到四次声速测量的测量值全部紧密地集中在这一区间, 可以猜测测量值与理论值的偏差主要来自测量存在系统误差或理论声速计算公式的适用条件与实际空气状态不完全符合。实际空气中存在例如水蒸气、尘埃等杂质, 可能导致测量值存在误差。

极值法(驻波法)、相位法、波形移动法需要判断何时振幅到达极值、李萨如图何时成为直线, 何时相位重叠, 此处会产生系统误差及偶然误差, 因此实验前设定的频率对应的振幅应尽量接近最大值。在记录波形移动法数据前需要对示波器中心点进行校准, 降低设备显示带来的误差, 尽量排除主观因素。可见这三种方法若要得到比较准确的测量结果, 需要做比较复杂的准备工作。但即使做了准备工作, 观察导致的误差也不容忽视, 另外还需要已知声音频率。由于声音频率会随着发声设备的运行而变化, 理论上这三种方法的误差都会存在且应较大。

时差法不需要了解频率, 原理简单, 主观性不强且不需要做大量准备工作, 但可能产生不容忽视误差的地方在于示波器的分辨率不足, 测量时间时有效数字不够等。

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?

答: 驻波是空间范畴内的概念, 在两个换能器之间的声波可以近似视为驻波。而示波器测量的是接收换能器那一位置的波动随着时间的变化情况, 测量的是时间范畴量。接收换能器位置的声压方程为

$$p = \rho_0 \omega v \left[(A_1 - A_2) \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \cos(\omega t) - (A_1 + A_2) \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \sin(\omega t) \right]$$

认为 $A_2 \approx A_1$, 则接收换能器位置的声压方程具有驻波形式, 为

$$p = -\rho_0 \omega v (A_1 + A_2) \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \sin(\omega t)$$

显然, 当换能器位置 x 一定时, 产生的波形是正弦波。

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?

答:直线的主观误差较小,而椭圆是曲线,对其进行观察时主观误差更大,为减小此类误差应选择直线进行观察。

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。

答:(1)接收换能器位置的声压方程为

$$p = \rho_0 \omega v \left[(A_1 - A_2) \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \cos(\omega t) - (A_1 + A_2) \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \sin(\omega t) \right]$$

我们默认 $A_2 \approx A_1$,但实际上这两个量存在误差且误差的量级尚未可知,这属于系统误差。

(2)实验中利用极值法(驻波法)需要判断何时振幅到达极值,利用相位比较法需要判断李萨如图何时成为直线,利用波形移动法需要判断何时相位重叠,以上操作均具有较强的主观性,误差较大,这属于偶然误差。

(3)示波器的分辨率较低,设备测量各物理量时有效数字不足,导致显示的数据误差可能较大,这属于系统误差。