

# 测定介质中的声速实验报告

2200011477 李昊润 四组 10 号

2023 年 12 月 8 日

## 1 实验数据

### 1.1 共振频率的测量结果

共振频率  $f_0 = 38.93 \text{ kHz}$

### 1.2 极值法

分别增大和减小两换能器的间距，记录 10 组正弦波振幅出现极大值的位置及相应的峰-峰值电压如表 1 所示：

表 1: 增大和减小间距中出现极大值的位置及相应的峰-峰值电压

位置/mm	峰-峰值电压/V	位置/mm	峰-峰值电压/V
18.496	49.2	58.614	19.4
21.850	35.6	54.520	27.4
27.820	39.6	49.500	21.0
31.475	29.6	45.572	29.4
36.670	33.2	40.820	26.4
40.672	25.0	36.510	35.0
45.760	28.4	31.320	30.4
49.818	20.0	27.400	40.6
54.514	26.4	21.370	37.8
59.660	20.0	18.428	49.4

### 1.3 相位法

分别增大和减小两换能器的间距，记录 10 组李萨如图形呈现相同斜率直线状态的位置如表 2 所示：

表 2: 增大和减小间距中 10 组李萨如图形呈现相同斜率直线状态的位置

位置/mm	位置/mm
20.292	101.982
29.558	92.646
38.940	83.410
47.818	74.700
57.525	65.211
66.210	56.630
75.217	47.466
84.002	38.620
92.912	29.340
102.330	20.199

#### 1.4 温度、压强、相对湿度和饱和蒸气压的测量结果

温度	22.2 °C
压强	752.2 mmHg
相对湿度	44 %
饱和蒸气压	2676.6 Pa

## 2 实验数据的分析、处理和结论

### 2.1 极值法

#### 2.1.1 逐差法

增大间距:

$$\begin{aligned}
 \overline{\lambda_1} &= \frac{x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{110} - x_{11} - x_{12} - x_{13} - x_{14} - x_{15}}{25} \\
 &= \frac{40.672 + 45.760 + 49.818 + 54.514 + 59.660 - 18.496 - 21.850 - 27.820 - 31.475 - 36.670}{25} \\
 &= 4.56452 \text{ mm}
 \end{aligned} \tag{1}$$

减小间距:

$$\begin{aligned}
 \overline{\lambda_2} &= \frac{x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} - x_{26} - x_{27} - x_{28} - x_{29} - x_{210}}{25} \\
 &= \frac{58.614 + 54.520 + 49.500 + 45.572 + 40.820 - 36.510 - 31.320 - 27.400 - 21.370 - 18.428}{25} \\
 &= 4.55992 \text{ mm}
 \end{aligned} \tag{2}$$

半波长平均值:  $\frac{\lambda}{2} = \frac{\overline{\lambda_1} + \overline{\lambda_2}}{2} = 4.56222 \text{ mm}$

逐差差值当作直接测量量, 以评价  $\frac{\lambda}{2}$  的不确定度:

仪器允差:  $e = 0.004 \text{ mm}$

逐差差值的不确定度:

$$\sigma_{\delta \frac{\lambda}{2}} = \frac{e}{\sqrt{3}} = 0.0023 \text{ mm} \quad (3)$$

显然因为增大间距或减小间距与不确定度无关，则  $\frac{\lambda}{2}$  的不确定度：

$$\sigma_{\frac{\lambda}{2}} = \sqrt{\left(\frac{1}{25}\sigma_{\delta \frac{\lambda}{2}}\right)^2 \times 5} = 0.00020 \text{ mm} \quad (4)$$

半波长： $\frac{\lambda}{2} = (4.56222 \pm 0.00020) \text{ mm}$

声速： $v = f_0 \lambda = 38.93 \times 4.56222 \times 2 = 355.214 \text{ m/s}$

因为共振频率较高，信号发生器系统误差忽略不计，则  $v$  的不确定度：

$$\sigma_v = 2f_0 \sigma_{\frac{\lambda}{2}} = 0.016 \text{ m/s} \quad (5)$$

声速： $v = (355.214 \pm 0.016) \text{ m/s}$

### 2.1.2 最小二乘法

增大间距：

由表 1 中的数据以斜率数据为半波长进行最小二乘法线性拟合，并作图如图 1 所示：

$$x = \frac{\lambda_1}{2} n + b = kn + b \quad (6)$$

拟合，得： $k = 4.58164 \text{ mm}$   $r = 0.9994907676$

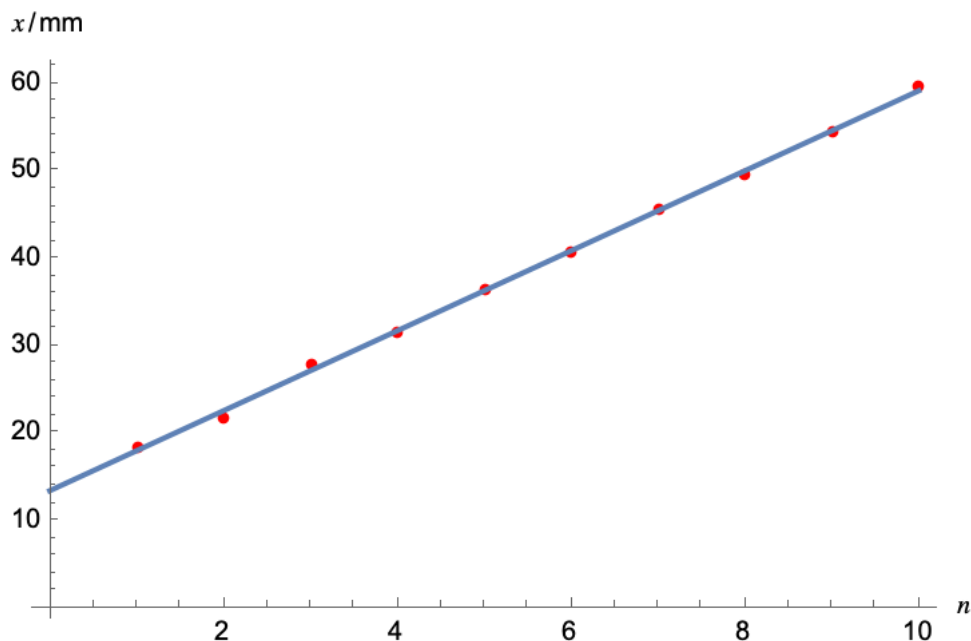


图 1:  $x - n$  线性关系图

斜率不确定度：

来自拟合：

$$\sigma_{k,A} = k \sqrt{\frac{\frac{1}{r^2} - 1}{n - 2}} = 0.052 \text{ mm} \quad (7)$$

来自  $x$  允差:

$$\sigma_{k,B} = \frac{\frac{e}{\sqrt{3}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{10} (i - 5.5)^2}} = \frac{\frac{0.004}{\sqrt{3}}}{\sqrt{41.25}} = 3.6 \times 10^{-4} \text{ mm} \quad (8)$$

方和根合成斜率不确定度:

$$\sigma_k = \sqrt{\sigma_{k,A}^2 + \sigma_{k,B}^2} = 0.05 \text{ mm} \quad (9)$$

半波长:  $\frac{\lambda_2}{2} = (4.58 \pm 0.05) \text{ mm}$

**减小间距:** 由表 1 中的数据以斜率数据为半波长进行最小二乘法线性拟合, 并作图如图 2 所示:

$$x = -\frac{\lambda_2}{2}n + b = kn + b \quad (10)$$

拟合, 得:  $k = -4.55327 \text{ mm}$   $r = -0.999372107$

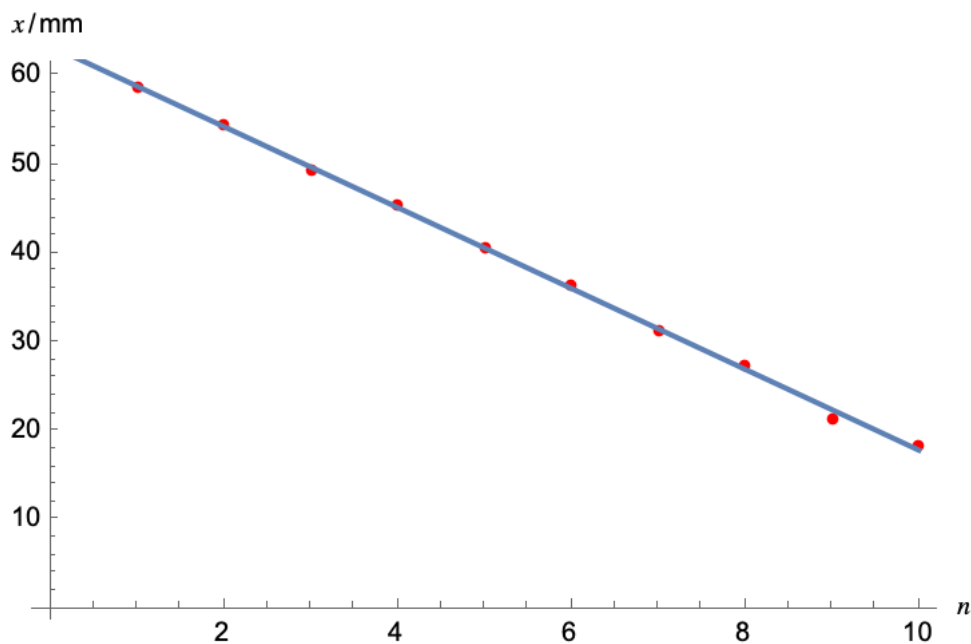


图 2:  $x - n$  线性关系图

斜率不确定度:

来自拟合:

$$\sigma_{k,A} = -k \sqrt{\frac{\frac{1}{r^2} - 1}{n - 2}} = 0.057 \text{ mm} \quad (11)$$

来自  $x$  允差:

$$\sigma_{k,B} = \frac{\frac{e}{\sqrt{3}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{10} (i - 5.5)^2}} = \frac{\frac{0.004}{\sqrt{3}}}{\sqrt{41.25}} = 3.6 \times 10^{-4} \text{ mm} \quad (12)$$

方和根合成斜率不确定度:

$$\sigma_k = \sqrt{\sigma_{k,A}^2 + \sigma_{k,B}^2} = 0.06 \text{ mm} \quad (13)$$

半波长:  $\frac{\lambda_2}{2} = (4.55 \pm 0.06) \text{ mm}$

半波长平均值:  $\frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} = 4.56746 \text{ mm}$

半波长平均值不确定度:

$$\sigma_{\frac{\lambda}{2}} = \sqrt{\frac{\sigma_{\lambda_1}^2}{2} + \frac{\sigma_{\lambda_2}^2}{2}} = 0.04 \text{ mm} \quad (14)$$

半波长平均值:  $\frac{\lambda}{2} = (4.57 \pm 0.04) \text{ mm}$

声速:  $v = f_0 \lambda = 38.93 \times 4.56746 \times 2 = 355.622 \text{ m/s}$  因为共振频率较高, 信号发生器系统误差忽略不计, 则  $v$  的不确定度:

$$\sigma_v = 2f_0 \sigma_{\frac{\lambda}{2}} = 3 \text{ m/s} \quad (15)$$

声速:  $v = (355 \pm 3) \text{ m/s}$

### 2.1.3 误差分析

通过单向调节声速测定仪以确定正弦波振幅出现极大值, 调节需要一定的时间, 因为声波的振动会受到环境的各种干扰, 不同时间驻波的形态因此干扰存在一定差异, 所以取点比较困难, 导致所记录的位置信息存在较大误差。且读数时为了准确看清示波器上的峰-峰值电压, 头部与两换能器距离较近, 呼出气体对于其中空气具有一定的加热作用, 也会导致测定的声速与室温下声速存在较大不同。

## 2.2 相位法

增大间距:

由表 2 中的数据以斜率数据为波长进行最小二乘法线性拟合, 并作图如图 3 所示:

$$x = \lambda_1 n + b = kn + b \quad (16)$$

拟合, 得:  $k = 9.07886 \text{ mm}$   $r = 0.9999485413$

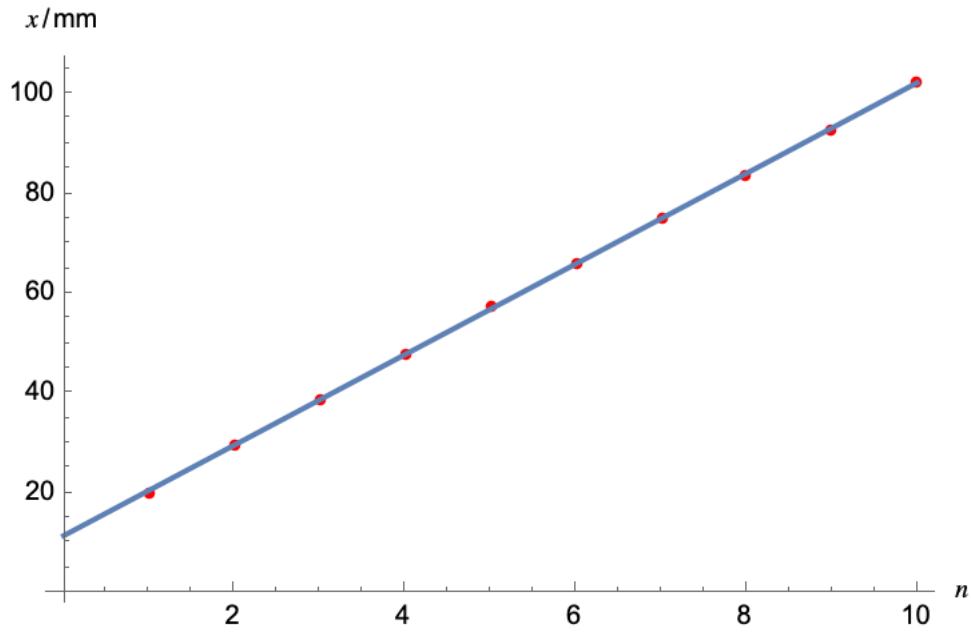


图 3:  $x - n$  线性关系图

斜率不确定度:

来自拟合:

$$\sigma_{k,A} = k \sqrt{\frac{\frac{1}{r^2} - 1}{n - 2}} = 0.032 \text{ mm} \quad (17)$$

来自  $x$  允差:

$$\sigma_{k,B} = \frac{\frac{e}{\sqrt{3}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{10} (i - 5.5)^2}} = \frac{\frac{0.004}{\sqrt{3}}}{\sqrt{41.25}} = 3.6 \times 10^{-4} \text{ mm} \quad (18)$$

方和根合成斜率不确定度:

$$\sigma_k = \sqrt{\sigma_{k,A}^2 + \sigma_{k,B}^2} = 0.03 \text{ mm} \quad (19)$$

波长:  $\lambda_1 = (9.08 \pm 0.03) \text{ mm}$

**减小间距:** 由表 1 中的数据以斜率数据为波长进行最小二乘法线性拟合, 并作图如图 4 所示:

$$x = -\lambda_2 n + b = kn + b \quad (20)$$

拟合, 得:  $k = -9.05104 \text{ mm}$   $r = -0.99997671$

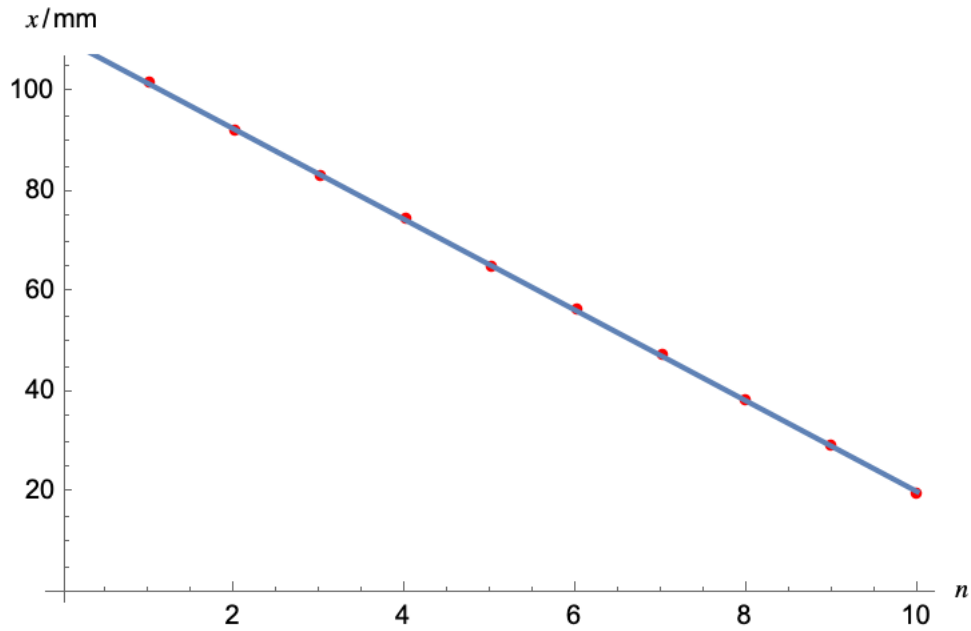


图 4:  $x - n$  线性关系图

斜率不确定度:

来自拟合:

$$\sigma_{k,A} = -k \sqrt{\frac{\frac{1}{r^2} - 1}{n - 2}} = 0.021 \text{ mm} \quad (21)$$

来自  $x$  允差:

$$\sigma_{k,B} = \frac{\frac{e}{\sqrt{3}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{10} (i - 5.5)^2}} = \frac{\frac{0.004}{\sqrt{3}}}{\sqrt{41.25}} = 3.6 \times 10^{-4} \text{ mm} \quad (22)$$

方和根合成斜率不确定度:

$$\sigma_k = \sqrt{\sigma_{k,A}^2 + \sigma_{k,B}^2} = 0.021 \text{ mm} \quad (23)$$

波长:  $\lambda_2 = (9.051 \pm 0.021) \text{ mm}$

波长平均值:  $\lambda = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} = 9.06495 \text{ mm}$

波长平均值不确定度:

$$\sigma_\lambda = \sqrt{\frac{\sigma_{\lambda_1}^2}{2} + \frac{\sigma_{\lambda_2}^2}{2}} = 0.019 \text{ mm} \quad (24)$$

波长平均值:  $\lambda = (9.065 \pm 0.019) \text{ mm}$

声速:  $v = f_0 \lambda = 38.93 \times 9.06495 = 352.898 \text{ m/s}$  因为共振频率较高, 信号发生器系统误差忽略不计, 则  $v$  的不确定度:

$$\sigma_v = f_0 \sigma_\lambda = 0.7 \text{ m/s} \quad (25)$$

声速:  $v = (352.9 \pm 0.7) \text{ m/s}$

### 2.2.1 误差分析

通过单向调节声速测定仪以确定李萨如图形呈现相同斜率直线状态，调节需要一定的时间，因为声波的振动会受到环境的各种干扰，不同时间驻波的形态因此干扰存在一定差异，所以取点比较困难，导致所记录的位置信息存在较大误差。且读数时为了准确看清示波器上的峰-峰值电压，头部与两换能器距离较近，呼出气体对于其中空气具有一定的加热作用，也会导致测定的声速与室温下声速存在较大不同。

### 2.3 气体参量法

$$\begin{aligned} v &= v_0 \sqrt{\left(1 + \frac{\theta}{T_0}\right) \left(1 + \frac{0.3192 P_w}{P}\right)} \\ &= 331.45 \times \sqrt{\left(1 + \frac{22.2}{273.15}\right) \left(1 + \frac{0.3192 \times 2676.6 \times 44\%}{752.2 \times 133.182}\right)} \\ &= 331.45 \times \sqrt{1.0813 \times 1.00375} \\ &= 331.45 \times 1.041804 \\ &= 345.306 \text{ m/s} \end{aligned} \tag{26}$$

## 3 收获与感想

本次实验要求我们通过两种方法分别测量再用两种方法分析数据计算介质中声速并评价其不确定度，两次运用两种不同方法促进了自己的思考，分析讨论了造成其误差的原因，同时，进行了大量的对于不确定度分析的计算，通过实际实验在实践中复习了“测量误差与数据处理”一章中的内容，为今后的实验中的误差分析与数据处理打下了坚实的基础，也使我更加深刻地认识到了实验工作的细致与严密，希望我能够在今后的实验中，学习和体会前辈物理学家进行物理实验的精神与思想，能够真切益于我的物理学学习甚至生活之中。