

# 《普通物理实验》实验报告

实验名称 测定介质中的声速 实验日期 2023 年 11 月 3 日  
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 208

## 第一部分 数据记录

### 1 环境和仪器参数的测量

1. 使用福廷式气压计的气压测量结果  $p_0 = (764.5 \pm 0.1)mmHg$
2. 使用酒精温度计的环境温度测量结果  $\theta = (24.0 \pm 0.1)mmHg$
3. 查表,使用内差法得到水的饱和蒸汽压为  $p_s = 2983.6Pa$
4. 使用干湿球湿度计测量得到两球温度分别为

$$\theta_{dry} = 24.4^{\circ}C, \theta_{wet} = 18.5^{\circ}CH = 45\%$$

5. 测量空气中声速的声速测定仪换能器谐振频率测得为  $f_0 = (39.58 \pm 0.01)kHz$
6. 测量水中声速的声速测定仪换能器谐振频率测得为  $f_1 = (123.7 \pm 0.1)kHz$
7. 两种声速测定仪允差均为  $e = 0.0004cm$

### 2 使用声速测定仪测量空气中的声速

为消除回程差,使用两种方法分别单向地正向和反向移动换能器,记录数据

#### 2.1 极值法

表 1: 使用极值法测量空气中的声速数据表

序号 $i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_i$ (正向)/mm	23.930	28.556	33.122	37.519	41.980	46.628	50.441	55.090	59.358	63.898
$V_i$ (正向)/格	12.0	11.0	9.2	8.5	7.4	6.4	5.7	5.4	4.9	4.7
$x_i$ (反向)/mm	24.119	28.410	33.004	37.419	41.928	46.454	50.530	55.136	59.493	64.053
$V_i$ (反向)/格	11.5	10.2	9.3	8.0	7.2	6.5	5.8	5.1	5.0	4.8
$\bar{x}_i$ /mm	24.024	28.483	33.063	37.469	41.928	46.454	50.530	55.136	59.493	63.976
$\Delta L_i = -\bar{x}_i + \bar{x}_{i+5}$ /mm	22.430	22.047	22.073	22.024	22.048	/	/	/	/	/

# 《普通物理实验》实验报告

实验名称 测定介质中的声速 实验日期 2023 年 11 月 3 日  
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 208

## 2.2 相位法

表 2: 使用相位法测量空气中的声速数据表

序号 $i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_i(\text{正向})/\text{mm}$	14.062	23.501	32.640	41.551	50.297	59.162	67.914	76.612	85.401	94.301
$x_i(\text{反向})/\text{mm}$	14.311	23.561	32.626	41.493	50.327	59.182	67.929	76.638	85.308	94.089
$\bar{x}_i/\text{mm}$	14.186	23.531	32.633	41.522	50.312	59.172	67.922	76.625	85.354	94.195
$\Delta L_i = -\bar{x}_i + \bar{x}_{i+5}/\text{mm}$	44.986	44.391	43.992	43.832	43.883	/	/	/	/	/

## 3 极值法使用声速测定仪测量水中的声速

因为仪器问题,两个方向都只成功进行了几组数据的测量

表 3: 使用极值法测量水中的声速数据表

序号 $i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$x_i(\text{反向})/\text{cm}$	8.0722	8.8198	9.4353	10.1105	10.7540	11.0172	11.5788	12.0592	12.6522
$x_i(\text{正向})/\text{cm}$	7.9889	8.5068	9.0890	9.6218	10.1254	10.6841	/	/	/

## 4 使用超声光栅测量水中的声速

- 使用米尺测得衍射现象出现时,光屏到光栅的距离为  $L = (359.85 \pm 1.0)\text{cm}$
- 使用的激光器激光波长为  $\lambda_0 = 633\text{nm}$
- 衍射现象出现时,超声光栅波发生器频率为  $f_0 = (9.779 \pm 0.001)\text{MHz}$

表 4: 使用声光效应法测量水中的声速数据表

衍射亮斑序号 $i$	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
$x_i/\text{cm}$	-5.98	-4.55	-3.01	-1.52	0.00	1.45	3.06	4.55	6.03

# 《普通物理实验》实验报告

实验名称 测定介质中的声速 实验日期 2023 年 11 月 3 日  
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 208

## 第二部分 数据处理

### 1 处理极值法空气中声速测量的数据

#### 1.1 逐差法

根据第一部分表一中的逐差数据可以得到：

$$\sigma_{\Delta L} = \sqrt{\sigma_{\Delta L}^{(r)^2} + 2e^2/3} = 0.08mm$$

$$\overline{\Delta L} = (22.12 \pm 0.08)mm$$

$$\lambda = \frac{2}{5}\overline{\Delta L} = (8.85 \pm 0.03)mm$$

$$\sigma_c = \sqrt{f_0^2 \sigma_\lambda^2 + \lambda^2 \sigma_{f_0}^2} = 1.2m/s$$

$$c = \lambda f_0 = (350.2 \pm 1.2)m/s$$

#### 1.2 最小二乘法

使用最小二乘法处理表 1 中的数据，回归计算得到：

$$\frac{\overline{\lambda}}{2} = \bar{k} = 4.428mm$$

$$r = 0.99997$$

$$\bar{c} = \lambda f_0 = 350.52m/s$$

$$\sigma_\lambda^{(r)} = 2\bar{k}\sqrt{\frac{1/r^2 - 1}{n-2}} = 0.024mm$$

$$\sigma_\lambda = \sqrt{\sigma_\lambda^{(r)^2} + 2e^2/3} = 0.024mm$$

$$\sigma_c = \sqrt{f_0^2 \sigma_\lambda^2 + \lambda^2 \sigma_{f_0}^2} = 0.97m/s$$

$$c = (350.5 \pm 1.0)m/s$$

### 2 最小二乘法处理相位法空气中声速测量的数据

使用最小二乘法处理表 2 中的数据，回归计算得到：

$$\bar{\lambda} = \bar{k} = 8.854mm$$

$$r = 0.99996$$

$$\bar{c} = \lambda f_0 = 350.02m/s$$

$$\sigma_{\lambda}^{(r)} = \bar{k} \sqrt{\frac{1/r^2 - 1}{n - 2}} = 0.028mm$$

$$\sigma_{\lambda} = \sqrt{\sigma_{\lambda}^{(r)2} + 2e^2/3} = 0.028mm$$

$$\sigma_c = \sqrt{f_0^2 \sigma_{\lambda}^2 + \lambda^2 \sigma_{f_0}^2} = 1.1m/s$$

$$c = (350.0 \pm 1.1)m/s$$

### 3 利用气体参量测定空气中声速的测量结果

利用第一部分测得的环境参数,代入公式,我们得到:

$$p_w = p_s H = 1342.62Pa$$

$$v = 331.45 \sqrt{\left(1 + \frac{\theta}{T_0}\right) \left(1 + 0.3192 \frac{p_w}{p}\right)} = 346.43m/s$$

根据读数有效数字,可以估计各参数测量误差为

$$e_{\theta} = 0.1^{\circ}C$$

$$e_H = 1\%$$

$$e_p = 0.05mmHg = 6.7Pa$$

利用

$$\sigma = e/\sqrt{3}$$

$p_s$  的不确定度影响较小,此处忽略不计

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma_{\theta} \frac{\partial c}{\partial \theta})^2 + (\sigma_H \frac{\partial c}{\partial H})^2 + (\sigma_p \frac{\partial c}{\partial p})^2} = 0.3m/s$$

故有效数字为四位,

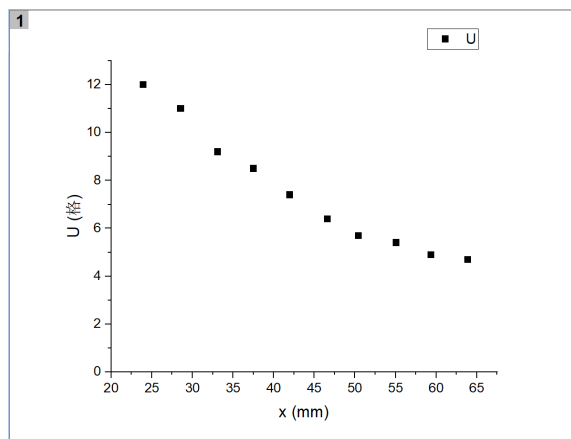
$$c = (346.4 \pm 0.3)m/s$$

# 《普通物理实验》实验报告

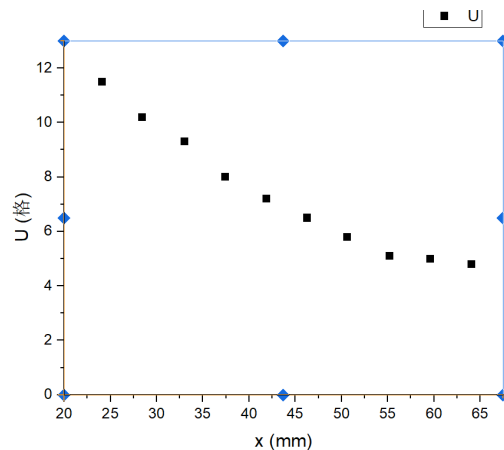
实验名称 测定介质中的声速 实验日期 2023 年 11 月 3 日  
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 208

## 4 峰——峰值电压随距离衰减图

根据第一部分表 1, 可以分别画出正反两个方向的衰减图



(a) 峰——峰值电压随距离衰减图 1



(b) 峰——峰值电压随距离衰减图 2

图 1: 峰——峰值电压随距离衰减图

从图像可以大致看出, 峰峰值随距离增大而衰减, 衰减大致以指数衰减模式进行。

## 5 最小二乘法处理声速测定仪测量水中声速测量数据

利用最小二乘法分别处理正向和反向的数据: 正向:

$$\begin{aligned}\frac{\bar{\lambda}_1}{2} &= \bar{k} = 0.5538cm \\ r &= 0.9958 \\ \sigma_{\lambda_1}^{(r)} &= 2\bar{k}\sqrt{\frac{1/r^2 - 1}{n-2}} = 0.038cm\end{aligned}$$

反向:

$$\begin{aligned}\frac{\bar{\lambda}_2}{2} &= \bar{k} = 0.5376cm \\ r &= 0.9998 \\ \sigma_{\lambda_2}^{(r)} &= 2\bar{k}\sqrt{\frac{1/r^2 - 1}{n-2}} = 0.0096cm\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{\lambda} &= \sqrt{0.5(\sigma_{\lambda_1}^{(r)2} + \sigma_{\lambda_2}^{(r)2}) + 2e^2/3} = 0.028cm \\ \bar{c} &= (\lambda_1 + \lambda_2)f_0/2 = 1350.1m/s \\ \sigma_c &= \sqrt{f_0^2\sigma_{\lambda}^2 + \lambda^2\sigma_{f_0}^2} = 3.5m/s \\ c &= (1350 \pm 4)m/s\end{aligned}$$

# 《普通物理实验》实验报告

实验名称 测定介质中的声速 实验日期 2023 年 11 月 3 日  
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 208

## 6 处理声光效应法测量水中声速测量数据

根据光栅衍射的公式，

$$\lambda_0 = d \sin \theta_i / i$$

而

$$\tan \theta_i = x_i / L$$

$$d = \lambda$$

处理数据得到

表 5: 使用声光效应法测量水中的声速数据处理表

衍射亮斑序号 $i$	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
$x_i/\text{cm}$	-5.98	-4.55	-3.01	-1.52	0.00	1.45	3.06	4.55	6.03
$\lambda/\text{mm}$	0.152	0.150	0.151	0.150	/	0.157	0.149	0.150	0.151

直尺测量的允差为  $e_x = 0.1\text{cm}$  平均计算得:

$$\lambda = 0.15125\text{mm}$$

$$\sigma_{\lambda}^{(r)} = 8.8 \times 10^{-4}\text{mm}$$

$$\sigma_{\lambda} = \sqrt{(\sigma_{\lambda}^{(r)})^2 + (\sigma_L \frac{\partial \lambda}{\partial L})^2 + (\sigma_x \frac{\partial \lambda}{\partial L})^2} = 2.1 \times 10^{-3}\text{mm}$$

$$\lambda = (1.512 \pm 0.021) \times 10^{-1}\text{mm}$$

$$c = \lambda f = 1478.6\text{m/s}$$

$$\sigma_c = 20.5\text{m/s}$$

$$c = (1478 \pm 20)\text{m/s}$$

# 《普通物理实验》实验报告

实验名称 测定介质中的声速 实验日期 2023 年 11 月 3 日  
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 208

---

## 第三部分 收获与感想

### 1 关于实验设计和测量过程的进一步讨论

1. 使用环境参数法测量声速应该放在最开始完成, 因为这一方法对仪器要求较低, 使用理论公式间接测量的方法也方便了其他实验设计时对相关参数的选取。
2. 测量声速的实验中, 通过换能器和光栅衍射把不易测量的力学量波长转变为了容易测量的光学和电学量, 这一设计思路值得学习。
3. 换能器的共振频率在实验测量中非常重要, 因为共振频率附近有数个副共振峰, 在这些位置测量得到的结果可能会存在存在非所需驻波偏差或极值不稳定的情况。
4. 在声光法的测量过程中, 如果衍射光束没有很准确的对准, 会导致出现两边不对称的结果, 但是经过数学处理后发现求平均后这一效应的结果是二阶小量, 对不确定度影响较小。
5. 选取仪器时, 应当事先考虑波源频率, 测量仪量程和声速估计值范围, 以保证实验能够测得精度和组数都合适的结果。
6. 使用声速测定仪时, 应选择工作距离范围在合理区间, 因为在较远的位置可能因为干扰因素多, 信号较小导致读数不确定度较大, 较近的位置可能会有非线性效应等其他因素干扰实验结果。
7. 使用声速测定仪时, 注意移动换能器时存在回程差, 解决办法是分别正反向移动换能器, 取平均值后再处理数据, 以消除回程差的影响。
8. 使用极值法测量声速时, 极值的位置可能难以准确确定, 此时可以选择选取达到极值后开始下降(比如第一个最小分度值)时的位置, 采取统一的标准来确定极值的位置; 对应的使用相位法测量时, 可以选择李萨如图形变为直线后刚开始变粗的位置作为选定的点, 也更直观, 因此在保证读数方便准确上是一个更好的选择。

### 2 关于数据处理方法的进一步讨论

1. 本实验中, 声速的主要误差来源是对波长的测量, 其中主要部分是因为读数或其他可能的随机误差造成的 A 类不确定度, 计算后发现, B 类不确定度实际上对于结果不确定度的有效位数是没有影响的
2. 在实际上进行数据处理时, 最小二乘具数据处理方法带来的有结果不确定度较小, 能够处理任意多组数据等优点, 是实际上优先考虑的数据线性拟合方式
3. 逐差法进行数据处理时, 应当严格按照逐差法的流程分析处理数据, 否则会导致得到错误的不确定度。