

测定介质中的声速

雷逸鸣

1 实验条件

本次实验在 11 月 13 日进行。

实验室温度：

$$\theta = 20.0^{\circ}\text{C}$$

气压：

$$p = 771.0\text{mmHg}$$

相对湿度：

$$H = 37\%$$

2 共振频率的测量结果

测量空气中的声速时，声速测定仪共振频率为：

$$f = 39.3\text{kHz}$$

3 极值法测定空气中声速

增大两换能器的间距，记录的 10 组正弦波振幅出现极大值的位置及相应的峰-峰值电压数据如下：

表 1 极值法测定声速数据

序号	距离 x/mm	接收端峰峰值/V
1	23.164	12.5
2	27.948	11.4
3	32.053	9.04
4	36.593	8.32
5	40.841	7.84
6	45.811	7.76
7	50.302	6.88
8	54.476	6.16
9	59.200	5.36
10	63.802	5.12

利用逐差法处理数据：

$$\lambda = 9.039\text{mm}$$

不确定度利用公式：

$$\sigma_{\lambda} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

其中 σ_1 取最小分度值 0.001mm， σ_2 根据实际测量时仪器的响应精度取 0.04mm，故：

$$\sigma_{\lambda} = 0.04\text{mm}$$

利用公式：

$$v = \lambda f$$

计算得：

$$v = 355\text{m/s}$$

不确定度：

$$\frac{\sigma_v}{v} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\lambda}}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_f}{f}\right)^2} = 5 \times 10^{-3}$$

其中，取 $\sigma_f = 0.1\text{kHz}$ 。

故：

$$\sigma_v = 1.8\text{m/s}$$

即：

$$v = (355 \pm 2)\text{m/s}$$

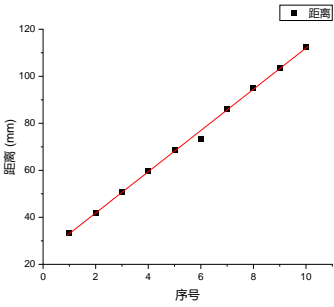
4 相位法测定空气中声速

增大两换能器的间距，记录 10 组李萨如图形如“\”时的位置：

表 2 相位法测定声速数据

序号	距离 x/mm
1	33.313
2	42.042
3	50.936
4	59.842
5	68.817
6	73.341
7	86.189
8	94.954
9	103.718
10	112.449

图 1 相位法测定声速数据



观察图表发现，第六个数据点明显偏离拟合直线，将其舍去，用剩余数据计算得：

$$\lambda = (8.798 \pm 0.013) \text{mm}$$

算得声速：

$$v = (345.8 \pm 1.0) \text{m/s}$$

以上计算中使用的公式与极值法相同，故直接给出最终结果。

5 气体参量法测定空气中声速

利用校准后的声速公式：

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

通过查表，得到20.0℃时，水的饱和蒸汽压为：

$$p_s = 2337.8 \text{Pa}$$

大气压强：

$$p = 1.028 \times 10^5 \text{Pa}$$

代入公式计算得：

$$v = 343.8 \text{m/s}$$

6 Raman-Nath 衍射测定水中声速

6.1 实验数据

实验使用超声波发射器频率为：

$$f = 9.600 \text{MHz}$$

波动光栅到光屏（墙壁）的距离为：

$$L = 455 \text{cm}$$

条纹宽度：

$$5\Delta x = 9.30 \text{cm}$$

光束直径：

$$D = 4.0 \text{mm}$$

水中温度：

$$t = 22.2^\circ\text{C}$$

激光波长：

$$\lambda = 633 \text{nm}$$

6.2 检验 Raman-Nath 衍射条件

Λ 取水中声波波长，声速取 $v \approx 1500 \text{m/s}$ 近似估计，得：

$$\Lambda = v/f \approx 0.16 \text{mm}$$

$D > \Lambda$ 条件满足。

声束宽度 l 取为发声圆片直径， $l \approx 3 \text{cm}$ 则：

$$\lambda l \approx 1.9 \times 10^{-9} \text{m}^2$$

$$\Lambda^2 \approx 2.6 \times 10^{-8} \text{m}^2$$

故 $\lambda l < \Lambda^2$ 条件满足。

$$\Lambda^2/\lambda \approx 4.04 \text{cm}$$

$L \gg \Lambda^2/\lambda$ 故可以进行夫琅禾费衍射近似。

6.3 水中声速计算

根据：

$$\Lambda \sin \theta = m\lambda$$

其中 m 为条纹级数。

又取近似：

$$\sin \theta = \frac{\Delta x}{L}$$

得到：

$$\Lambda = \frac{\lambda L}{\Delta x} = 0.155 \text{mm}$$

算得：

$$v = \Lambda f = 1.49 \times 10^3 \text{m/s}$$

7 思考与讨论

7.1 极值法测量数据偏大

在使用极值法测量声速时，为避免空程差，声电换能器的距离只能单调改变，故测得的极值间隔会偏大。且在极值点附近振幅变化缓慢，故位置数据的误差相对较大。

7.2 水中温度较空气中略高

这一现象有三个可能的原因：

1) 自来水水温高于空气温度

2) 激光发射器与水相互作用造成水温升高

3) 换能器在水中振动做功，使水的内能增加
其中，第一点假设我们通过直接测量未经处理的自来水水温 $T_0 = 19.9^\circ\text{C}$ ，将这一点假设排除。

第二点假设我们可以进行下列估算：

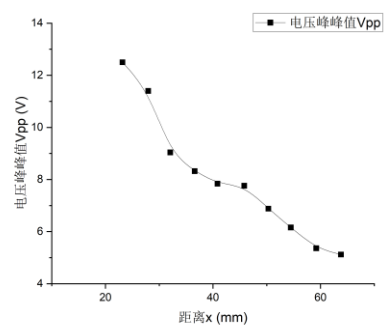
容器的长宽高估计为 $5 \text{cm} \times 10 \text{cm} \times 5 \text{cm}$ ，则水的质量为： $m = 250 \text{g}$ ，升温 2.2°C 吸收的热量大约为： $Q = 2310 \text{J}$ ，激光发射器功率以 $p = 1 \text{W}$ 计算，由于大部分光透射了出去，故假设水吸光率为5%，由此算得，激光器工作 20 分钟，水从光中吸收的能量约 $Q_1 = 60 \text{W}$ ，远小于水的实际吸热量。故这也不是主要影响因素。

由此，我们猜测，水温升高的主要影响因素为换能器做功，激光被水吸收升温并不是水温内能增加的主要来源。

进一步的验证可以通过查看换能器铭牌完成。

7.3 峰-峰值电压随距离衰减规律

图 2 电压峰峰值随距离衰减关系



观察图 2 可以发现，电压峰峰值随距离成递减关系，但由于误差较大，近似估计衰减规律为指数衰减。

