

声速的测量实验报告

专业：计算机科学与技术 班级：计科 1802 学号：20188068 姓名：孔天欣 实验序号：16

总分：100

一、实验目的

了解超声波的产生、发射和接收方法，用干涉法和相位法测量声速。

二、实验仪器

低频信号发生器、示波器、超声声速测定仪等

三、实验原理

声速是声波在介质中传播的速度，声波在空气中的传播速度

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (1)$$

在 0°C 时的声速

$$v_0 = \sqrt{\frac{\gamma RT_0}{M}} = 331.45 \text{ m/s} \quad (2)$$

在 t°C 时的声速

$$v_t = v_0 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} \quad (3)$$

由波动理论知

$$v = f\lambda \quad (4)$$

1、驻波法测波长

由声源发出的平面波经前方的平面反射后，入射波与发射波叠加，它们波动方程分别是：

$$y_1 = A \cos 2\pi \left(ft - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$y_2 = A \cos 2\pi \left(ft + \frac{x}{\lambda} \right)$$

叠加后合成波为：

$$y = y_1 + y_2 = A \cos 2\pi \left(ft - \frac{x}{\lambda} \right) + A \cos 2\pi \left(ft + \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$= \left(2A \cos 2\pi \frac{x}{\lambda} \right) \cos 2\pi ft \quad (5)$$

$\left| \cos 2\pi \frac{x}{\lambda} \right| = 1$ 的各点振幅最大，称为波腹，对应的位置 $x = \pm n \frac{\lambda}{2} (n = 0, 1, 2, \dots)$;

$\left| \cos 2\pi \frac{x}{\lambda} \right| = 0$ 的各点振幅最小，称为波节，对应的位置 $x = \pm (2n+1) \frac{\lambda}{4} (n = 0, 1, 2, \dots)$ 。

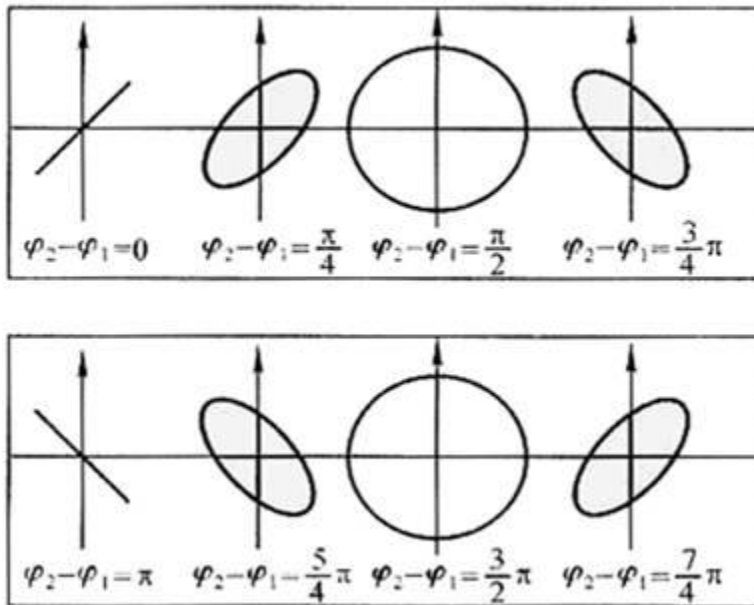
因此只要测得相邻两波腹（或波节）的位置 x_n 、 x_{n-1} 即可得波长 $\lambda = 2|x_{n+1} - x_n|$

2、相位比较法测波长

从换能器 S_1 发出的超声波到达接收器 S_2 ，所以在同一时刻 S_1 与 S_2 处的波有一相位差：

$\varphi = 2\pi x / \lambda$ ，其中 λ 是波长， x 为 S_1 和 S_2 之间的距离。因为 x 改变一个波长时，相位差就改变 2π 。利用李萨如图形就可以测得超声波的波长。

不同相位差时的李萨如图形：



四、实验内容及步骤

寻找到超声波的频率（就是换能器的共振频率）后，只要测量到信号的波长就可以求得声速。我们采用驻波法和相位比较法来测量信号波长：

1、调整仪器使系统处于最佳工作状态

(1)使 S_1 与 S_2 端面平行

(2)调整低频信号发生器输出谐振频率

2、记下实验室实验开始时的室温与实验结束时的室温，算出声速理论值，与测量值比较，并对结果进行讨论。

3、驻波法（共振干涉法）测波长和声速

信号发生器产生的信号通过超声速测定仪后，会在两个换能器件之间产生驻波。改变换能器之间的距离（移动右边的换能器）时，在接收端（把声信号转为电信号的换能器）的信号振幅会相应改变。

（1）按驻波法测声速原理，正确连线。

（2）信号发生器调节，选择超声波频率，约35KHZ，选择合适的波幅，输入正弦波。

（3）调整信号发生器谐振频率，移动尺的游标（接收换能转换器 S_2 固定其上）使换能转换器 S_2 和 S_1 端面距离5cm左右，调节低频信号发生器输出的正弦幅度，同时调整接收端的示波器，使示波器屏幕上有适当的信号幅度，然后移动游标尺寻找信号幅度最强的位置，找到后，微调信号发生器的输出频率，使示波器的信号幅度最大。可适当调节v/div旋钮，以寻找本系统的准确的谐振频率 f 。

（4）测量前移动游标，将 S_2 从一端缓慢移向另一端，并来回几次，观察示波器上的信号幅度的变化，了解波的干涉现象。

（5）测量数据。一边移动 S_2 ，一边观察示波器上的信号幅度。当信号幅度为最大值时，通过放大的游标卡尺读出此时换能器间的距离 X_1 ，记下读数，缓慢增加移动尺的位置，依次记录下每次信号幅度最大时移动尺的位置， X_2, \dots, X_{10} 共10个值。再缓慢地减少间距 X ，记录下次出现信号幅度最大时移动尺的位置 $X_1', X_2', \dots, X_{10}'$ 共10个值。两个相邻的信号幅度最大时换能器间的距离差就是波长的一半。用逐差法处理数据，计算出波长及其不确定度。

（6）利用公式 $V=f \times \lambda$ ，计算声速及其不确定度。

3、相位比较法测波长和声速

（1）按相位法测声速原理，正确连线。

连接仪器，在信号发生器输出接线柱上再增加一根导线，接到示波器的x输入，将示波器x扫描旋钮旋至“外接”。

（2）（3）步骤同驻波法。

（4）调节示波器使屏上出现李萨如图形，缓慢调节移动尺，增加或减少移动尺间距（改变两输入波的相位差），屏幕反复出现李萨如图形，每移动半个波长就会出现直线图形。

（5）测量数据，从屏上直线出现为起点，缓慢增加移动移动尺的位置，依次记录下屏上每次出现直线时所对应的 X_1, X_2, \dots, X_{10} 共10个值；再缓慢地减少间距 X ，记录下次出现直线时所对应的 $X_1', X_2', \dots, X_{10}'$ 共10个值。用逐差法处理数据，计算出波长及其不确定度。

（6）利用公式 $V=f \times \lambda$ ，计算声速及其不确定度。

4、计算涉及相关公式：

1) 直接测量量的不确定公式

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i - \overline{\Delta x})^2}{n(n-1)}} \quad u_B = \frac{\Delta_{\text{仪}}}{C}$$

2) 直接测量量不确定度合成公式

$$u(\overline{\Delta x}) = \sqrt{(t_p u_A)^2 + (K_p u_B)^2}, \quad P=0.95 \text{ 时}, K_p=1.96; \quad n=5 \text{ 时}, t_p=2.78$$

3) 不确定传递公式

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

$$U_y = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial X_1}\right)^2 U_{X_1}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial X_2}\right)^2 U_{X_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial X_n}\right)^2 U_{X_n}^2}$$

$$\frac{U_y}{Y} = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln f}{\partial X_1}\right)^2 U_{X_1}^2 + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial X_2}\right)^2 U_{X_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial X_n}\right)^2 U_{X_n}^2}$$

4) 相对误差公式

$$E_r = \frac{|v - v_t|}{v_t}$$

五、数据处理

实验内容一：声速的理论值 总分值：10 得分：

★ (1) 实验室温

$$\text{温度: } t = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

☆ (2.5 分) 实验开始时的室温: $t_1(^{\circ}\text{C}) = 15^{\circ}\text{C}$

☆ (2.5 分) 实验结束时的室温: $t_2(^{\circ}\text{C}) = 15^{\circ}\text{C}$

☆ (2.5 分) 室温: $t(^{\circ}\text{C}) = 15^{\circ}\text{C}$

★ (2) 声速的理论值

$$\text{声速与温度的关系} \quad v_t = v_0 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}}$$

☆ (2.5 分) 声速理论值 $v \text{ (m/s)} = 340.429 \text{ m/s}$

实验内容二：驻波法（共振干涉法）测波长和声速 总分值：35 得分：

★ (1) 谐振频率

☆ (8分)谐振频率: f (KHz)= **35.9 KHz**

☆ (2分)最大偏差: Δf (KHz)= **0.359 KHz**

★ (2) 改变换能器间距, 用逐差法测量波长

逐差法计算公式

$$\text{位置测量 } \overline{\Delta x} = \frac{\sum_{i=1}^5 (\bar{x}_{i+5} - \bar{x}_i)}{5} = \frac{\sum_{i=1}^5 \Delta \bar{x}_{i+5}}{5} \quad u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (\Delta \bar{x}_{i+5} - \overline{\Delta x})^2}{5(5-1)}}$$

$$\text{游标卡尺 } u_B = \frac{\Delta_{\text{仪}}}{C} = \frac{0.02\text{mm}}{\sqrt{3}} = 0.0115\text{mm}$$

$$u(\overline{\Delta x}) = \sqrt{(t_p u_A)^2 + (k_p u_B)^2} = \sqrt{(2.78 u_A)^2 + (1.96 u_B)^2} \text{mm}$$

$$\overline{\Delta x} = 5 \times \frac{\bar{\lambda}}{2} \quad \therefore \bar{\lambda} = \frac{2}{5} \overline{\Delta x}$$

$$u(\bar{\lambda}) = \frac{2}{5} u(\overline{\Delta x})$$

☆表一、用驻波法测得 x_i 和 x'_i 的值各 10 个, 并用逐差法处理数据

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x_i (mm)	21.20	25.92	30.64	35.36	40.04	44.76	49.58	54.24	59.02	63.72
x'_i (mm)	21.22	25.90	30.64	35.36	40.05	44.76	49.58	54.26	59.02	63.70
$\bar{x}_i = (x_i + x'_i) / 2$ (mm)	21.21	25.91	30.64	35.36	40.05	44.76	49.58	54.25	59.02	63.71
$\Delta \bar{x}_{i+5} = \bar{x}_{i+5} - \bar{x}_i$ (mm)	23.55	23.68	23.61	23.66	23.66	---	---	---	---	---

☆ (5分)设 $\overline{\Delta x}$ 为连续出现 5 个波节或波腹时换能器间的距离, 用逐差法计算 $\overline{\Delta x}$ (mm)= **23.6321 mm**

☆ (2.5分)不确定度 $u(\overline{\Delta x})$ (mm)= **0.0704 mm**

☆ (4分)求波长 $\bar{\lambda}$ (mm)= **9.4528 mm**

☆ (2.5分)不确定度 $u(\bar{\lambda})$ (mm)= **0.3296 mm**

☆ (1 分)故波长的最终表达式为 $\lambda (\text{mm}) = 9.4528 \pm 0.3296 \text{ mm}$

★ (3) 求声速

声速用到公式:

$$v = f\lambda \quad u(v)/v = \sqrt{\left(\frac{u_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{u_\lambda}{\lambda}\right)^2}, \quad u_f = K_p \frac{\Delta f}{C} = 1.96 \frac{\Delta f}{3}, P = 0.95,$$

$$E_v = \frac{|v - v_t|}{v_t}$$

☆ (4 分)声速平均值 $\bar{v} (\text{m/s}) = 339.355 \text{ m/s}$

☆ (2.5 分)声速不确定度 $u(v) = 12.0385 \text{ m/s}$

☆ (1 分)故声速的最终表达式为 $V(\text{m/s}) = 339.355 \pm 12.0385 \text{ m/s}$

☆ (2.5 分)相对误差 $E_v (\%) = 0.315 \%$

实验内容三：相位比较法测波长和声速 总分值：35 得分：0

★ (1) 谐振频率

☆ (8 分)谐振频率: $f (\text{KHz}) = 36.5 \text{ KHz}$

☆ (2 分)最大偏差: $\Delta f (\text{KHz}) = 0.365 \text{ KHz}$

★ (2) 改变换能器间距，逐差法测量波长

逐差法计算公式

$$\text{位置测量 } \bar{\Delta x} = \frac{\sum_{i=1}^5 (\bar{x}_{i+5} - \bar{x}_i)}{5} = \frac{\sum_{i=1}^5 \Delta \bar{x}_{i+5}}{5} \quad u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (\Delta \bar{x}_{i+5} - \bar{\Delta x})^2}{5(5-1)}}$$

$$\text{游标卡尺}u_B = \frac{\Delta_{\text{仪}}}{C} = \frac{0.02\text{mm}}{\sqrt{3}} = 0.0115\text{mm}$$

$$u(\overline{\Delta x}) = \sqrt{(t_p u_A)^2 + (k_p u_B)^2} = \sqrt{(2.78u_A)^2 + (1.96u_B)^2} \text{mm}$$

$$\overline{\Delta x} = 5 \times \frac{\bar{\lambda}}{2} \quad \therefore \quad \bar{\lambda} = \frac{2}{5} \overline{\Delta x} \qquad u(\bar{\lambda}) = \frac{2}{5} u(\overline{\Delta x})$$

☆表二、用相位差法 测得 x_i 和 x_i' 的值各 10 个，并用逐差法处理数据

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x_i (mm)	23.26	27.90	32.56	37.24	41.90	46.58	51.22	55.86	60.52	65.18
x_i' (mm)	23.24	27.91	32.56	37.24	41.91	46.58	51.20	55.86	60.54	65.18
$\overline{x_i} = (x_i + x_i') / 2$ (mm)	23.25	27.91	32.56	37.24	41.91	46.58	51.21	55.86	60.53	65.18
$\Delta \overline{x_{i+5}} = \overline{x_{i+5}} - \overline{x_i}$ (mm)	23.33	23.30	23.30	23.29	23.27	---	---	---	---	---

☆ (5 分) 设 $\overline{\Delta x}$ 为李萨茹图形连续出现 5 次直线时换能器间的距离，用逐差法计算计算 $\overline{\Delta x}$ (mm)= 23.298 mm

☆ (2.5 分) 不确定度 $u(\overline{\Delta x})$ (mm)= 0.2517 mm

☆ (4 分) 求波长 $\bar{\lambda}$ (mm)= 9.3201 mm

☆ (2.5 分) 不确定度 $u(\bar{\lambda})$ (mm)= 0.1007 mm

☆ (1 分) 故波长的最终表达式为 λ (mm) = 9.3201 ± 0.1007 mm

★ (3) 求声速

声速用到公式：

$$v = f\lambda \quad u(v)/v = \sqrt{\left(\frac{u(f)}{f}\right)^2 + \left(\frac{u(\lambda)}{\lambda}\right)^2}, \quad u_f = K_p \frac{\Delta f}{C} = 1.96 \frac{\Delta f}{3}, P = 0.95$$

$$E_r = \frac{|v - v_t|}{v_t}$$

☆ (4 分) 声速平均值 \bar{v} (m/s) = **340.1871 m/s**

☆ (2.5 分) 声速不确定度 $U(v)$ (m/s) = **4.2953 m/s**

☆ (1 分) 故声速的最终表达式为 V (m/s) = **340.1871 ± 4.2953 m/s**

☆ (2.5 分) 相对误差 E_v (%) = **0.071 %**

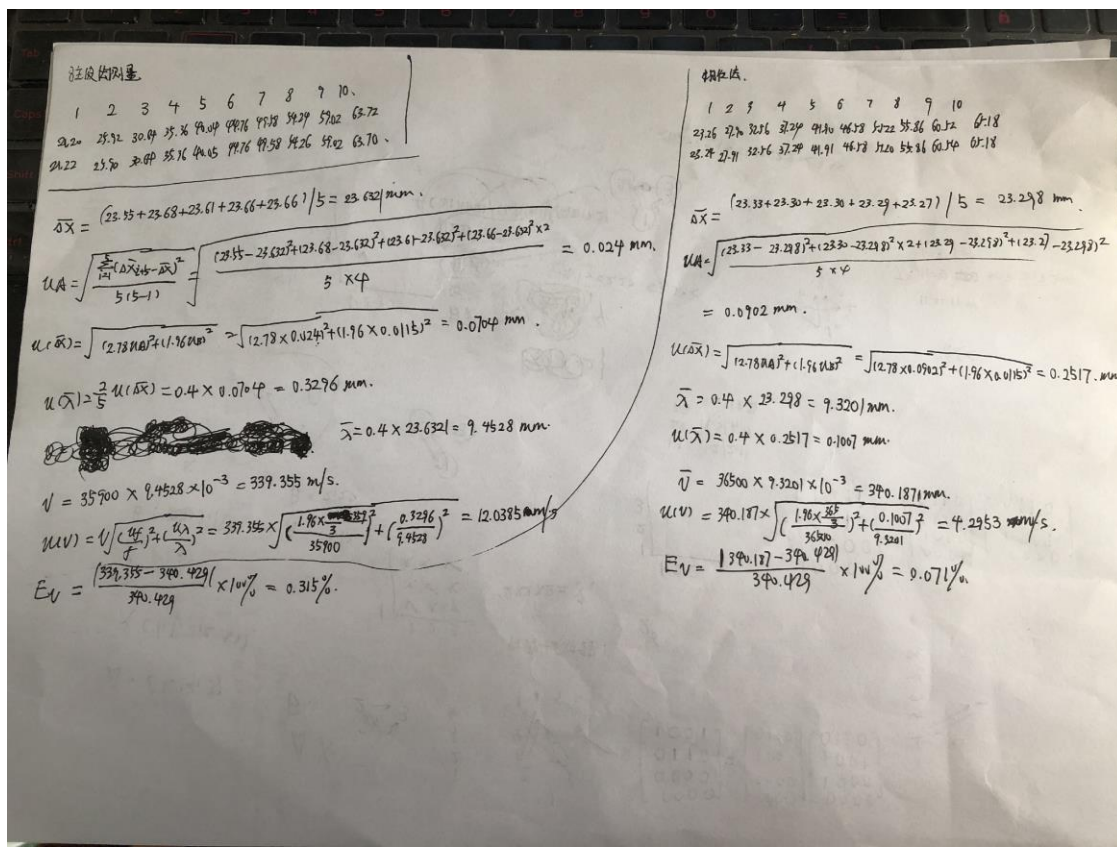
六、误差分析 (10 分)

1. 仪器精度和磨损可能产生误差。
2. 测量时读数可能存在不准，导致产生误差。
3. 室温导致声速产生变化，且室温的测量可能产生误差。

七、实验总结 (10 分)

通过本次实验，成功了解了超声波的产生、发射和接收方法，并能够利用相关的物理学知识，使用干涉法以及相位法两个不同的方法测量声速。

八、原始数据及数据处理过程（拍照之后粘贴在下方）（无此项实验无效，不给成绩）



评分: