

课程编号\_\_\_\_\_

得分	教师签名	批改日期

# 深 圳 大 学 实 验 报 告

课程名称：\_\_\_\_\_大学物理实验（一）\_\_\_\_\_

实验名称：\_\_\_\_\_多普勒效应测声速\_\_\_\_\_

学 院：\_\_\_\_\_数学科学学院\_\_\_\_\_

指导教师：\_\_\_\_\_郭树青\_\_\_\_\_

报告人：\_\_\_\_\_刘俊熙\_\_\_\_\_组号：\_\_\_\_\_18\_\_\_\_\_

学号\_\_\_\_\_2023193004\_\_\_\_\_实验地点\_\_\_\_\_致原楼 204A\_\_\_\_\_

实验时间：\_\_\_\_\_2024\_\_\_\_\_年\_\_\_\_\_4\_\_\_\_\_月\_\_\_\_\_2\_\_\_\_\_日

提交时间：\_\_\_\_\_2024 年 4 月 9 日\_\_\_\_\_

## 一、实验目的

了解多普勒效应，会用多普勒效应测量空气中的声速。

了解相位法原理，会用相位法测量声速。

## 二、实验原理

波源的频率  $f_S$ ：单位时间内波源振动的次数或发出的“完整波”的个数；

观察者接受到的频率  $f_R$ ：观察者在单位时间内接受到的振动数或完整波的个数；

波的频率  $f$ ：单位时间通过某一点的完整波的个数。

波源和观察者之间无相对运动时：

$$f_S = f = f_R$$

情况 1：相对媒质，观测者不动，波源运动

$v_s$  表示波源相对于媒质的运动速度；

$v_R$  表示观察者相对于媒质的运动速度；

$\mu$  表示为波速，即单位时间内相位传播的速度。

观测者不动，观测者的收到的频率  $f_R$  等于波的频率  $f$ 。

相互靠近，频率升高：

$$f_R = f = \frac{u}{u - v_s} f_s^1$$

相互远离，频率降低：

$$f_R = f = \frac{u}{u + v_s} f_s^2$$

---

<sup>1</sup>  $\lambda = \lambda_0 - v_s T_s \Rightarrow u T = (u - v_s) T_s \Rightarrow \frac{u}{f} = \frac{u - v_s}{f_s} \Rightarrow f = \frac{u}{u - v_s} f_s$

<sup>2</sup> 推导同 1

情况 2：相对媒质，波源不动，观察者运动

观测者向着波源运动：

$$f_R = \frac{u + v_R}{\lambda} = \frac{u + v_R}{u} f \dots (1)$$

因波源不动，波的频率  $f$  等于波源的频率  $f_S$

$$f_R = \frac{u + v_R}{u} f_S \dots (2)$$

$$f_R = \frac{u - v_R}{u} f_S \dots (3)$$

上式推得：

$$u = \frac{f_S \cdot V_R}{f_R \pm f_S}$$

实验中，固定波源，让接收端以速度  $V_R$  靠近或者远离波源，用频率计测量波源的频率  $f_S$  和接收端接受的频率  $f_R$ ，就可以用公式（3）测量出声速  $u$ 。

相位法测声速原理

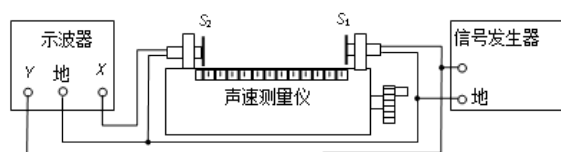


图 3 相位法装置原理图

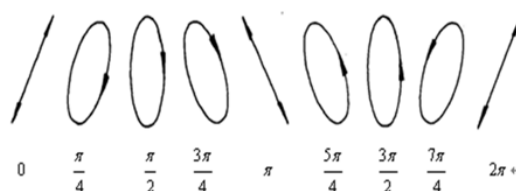


图 4 李萨如图

实验中，示波器的两个通道分别接入波源  $S_2$ 、接收端  $S_1$  的频率信号，用 X-Y 模式让两个信号叠加形成李萨如图形，如图 3，移动接收端  $S_1$ ，当图形从 2、4 象限的直线经历如图 4 所示的图形再次变成 2、4 象限的直线时，相位变化了  $2\pi$ ，说明  $S_1$  移动了一个波长。

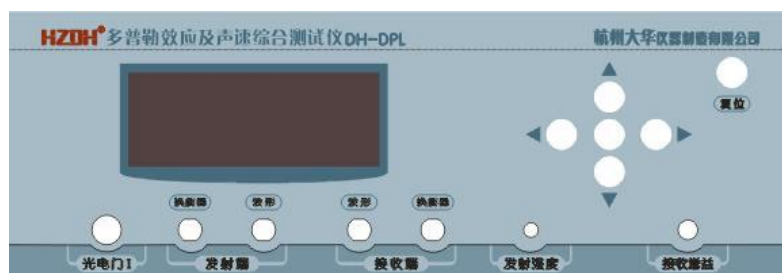
实验中给定频率，波长测出，可以测量声速：

$$u = \lambda f$$

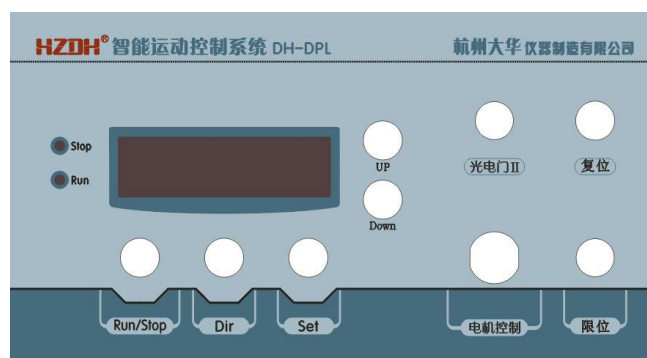
相位法测声速公式

### 三、实验仪器：

多普勒效应及声速综合测试仪，示波器（实验仪+智能运动控制系统+测试架）



(1) 多普勒效应及声速综合测试仪面板



(2) 智能运动控制面板图

#### 1、功率信号源

- a 信号频率：20kHz~50kHz，步进值 10Hz，频率稳定度：<0.1Hz；
- b 最大输出电压：连续波>4V<sub>p-p</sub>，脉冲波>7V<sub>p-p</sub>；
- c 脉冲波宽度：75 μs，周期：30ms；

#### 2、智能运动控制系统参数：

- a 步进电机：供电电压 2.77V，额定电流 1.68A，最大转矩 4.4kg·cm；
- b 运动速度：直线匀速运动 0.059~0.475m/s 可调，误差±0.002m/s；
- c 最小步进距离 L 设定范围：0.05~0.3mm；
- d 运行距离 D 显示范围：匀速运动模式 0~999.99mm，误差±2L；

#### 3、系统测频精度：±1Hz；

#### 4、系统测速精度：±0.002m/s；

#### 5、相位法以及多普勒效应法测量声速精度：<3%；

#### 6、换能器谐振频率：37±2kHz；

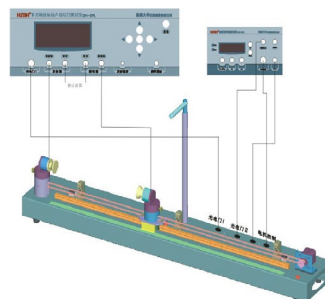


图 5 线路连接示意图



设置电信号频率接近压电陶瓷的谐振频率

#### 四、实验内容：

##### 1、多普勒效应测声速

- (1) 按图连线
- (2) 接受换能器移动到导轨最右端；把试验仪超声波发射强度和接受增益调到最大。
- (3) 进入“多普勒效应实验”子菜单，切换到“设置源频率”后，按“◀”“▶”键增减信号频率，一次变化 10Hz；用示波器观察接收换能器波形的幅度是否达到最大值，该值对应的超声波频率即为换能器的谐振频率。（换能器谐振频  $f=37730\text{Hz}$  附近）
- (4) 谐振频率调好后，切换到“动态测量”或“瞬时测量”，设定小车速度，使小车在限位区间内正或反运行，记下测量频率和源频率之差  $\Delta f$  正和  $\Delta f$  反，以及智能运动控制系统给出的小车速度  $v_r$ 。
- (5) 测量与记录

##### 2、相位法测声速步骤

换能器谐振频  $f=37730\text{Hz}$  附近

- (1) 按图连线
- (2) 按照例 1 的实验步骤 1~3 进行操作，使调谐成功；
- (3) 切换到“多普勒效应实验”画面进行实验，关闭导轨电源。
- (4) 将示波器打到“X-Y”方式，手动转动步进电机上的滚花帽使载接收换能器的小车缓慢移动，使李萨图显示一条斜线，记录下此位置  $L_{i-1}$ ，再向前或者向后（必须是一个方向）移动距离，使观察到的波形又回到前面所说的斜线，这时接收波的相位变化  $2\pi$ ，记录此时的位置  $L_i$ 。即可求得声波波长： $\lambda_i = |L_i - L_{i-1}|$

## 五、数据记录：（原始数据再抄一份附在这部分）

组号： 18 ； 姓名 刘俊熙

$$f_{\text{固}} = 37480 \text{ Hz}$$

$v_R (m/s)$	$f_+ (Hz)$	$f_- (Hz)$
0.087	37490	37470
0.068	37487	37472
0.132	37494	37465
0.217	37504	37456
0.333	37516	37442
0.059	37486	37473

$L_1 (cm)$	$L_2 (cm)$	$L_3 (cm)$	$L_4 (cm)$	$L_5 (cm)$	$L_6 (cm)$
14.840	15.750	16.685	17.600	18.525	19.470

## 六、数据处理

### 1、多普勒测声速

$\Delta f_+ (Hz)$	$\Delta f_- (Hz)$	$\Delta f = \frac{\Delta f_+ + \Delta f_-}{2} (Hz)$	$v = \frac{f_s v_R}{\Delta f} (m/s)$
10	10	10	326.076
7	8	7.5	339.819
14	15	14.5	341.197
24	24	24	338.882
36	38	37	337.320
6	7	6.5	340.203

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^6 v_i}{6} = 337.25 (m/s)$$

### 2、相位法测声波长

$$\bar{\lambda} = \frac{\frac{L_4 - L_1}{3} + \frac{L_5 - L_2}{3} + \frac{L_6 - L_3}{3}}{3} = 0.924 (cm)$$

$$v = f \bar{\lambda} = 346.32 (m/s)$$

以上  $L_i (i=1,2,3,4,5,6)$  均为单次测量结果。

$$\Delta L_i = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029(cm)$$

标准不确定度

$$\Delta_N = \frac{1}{3^2} \sqrt{(\Delta L_1)^2 + (\Delta L_2)^2 + (\Delta L_3)^2 + (\Delta L_4)^2 + (\Delta L_5)^2 + (\Delta L_6)^2} = 0.00079(cm)$$

相对不确定度

$$E_N = \frac{\Delta_N}{N} \times 100\% = 0.085\%$$

## 七、实验结果与总结

### 7.1 结果陈述

在本次实验中，我们利用多普勒效应及声速综合测试仪和示波器等设备，对空气中的声速进行了测量。通过多普勒效应的实验方法，我们观察到了波源与观察者之间相对运动时频率的变化情况，并据此测量了声速。

具体实验数据如下：在固定波源，让接收端以一定速度靠近或远离波源的过程中，我们通过频率计测量了波源的频率  $f_s$  和接收端接收的频率  $f_R$ 。利用相位法公式，我们计算得出了声速的值

337.25m/s。同时，在利用示波器进行李萨如图形实验中，我们观察到了图形从 2、4 象限的直线变化过程，并通过测量波长和已知频率，再次计算得到了声速的值 346.32m/s。

经过多次测量与计算，我们得到了相对稳定的声速测量结果。实验数据表明，通过多普勒效应和相位法两种方法测得的声速值在误差范围内基本一致，从而验证了实验方法的可行性和准确性。

根据实验数据，我们得出以下结论：

1. 在空气中，声速是一个相对稳定的物理量，其值可以通过多普勒效应和相位法等多种方法进行测量。
2. 利用多普勒效应和相位法测量了空气中的声速，都能得到较为准确的结果。

### 7.2、实验总结

通过本次实验，我们获得了宝贵的实践经验和知识。在实验过程中，我们学会了如何使用多普勒效应及声速综合测试仪和示波器等设备，掌握了测量声速的基本方法和技能。同时，我们也认识到了实验过程中需要注意的细节和可能出现的问题，如设备校准、测量误差的控制等。

在实验总结中，我们认为本次实验具有以下意义和价值：

首先，通过实践操作，我们加深了对多普勒效应和相位法测声速原理的理解，提高了理论知识的应用能力。

其次，实验过程中的观察和分析锻炼了我们的思维能力和解决问题的能力，使我们能够更好地将理论知识与实际应用相结合。

最后，本次实验也为我们今后的学习和研究提供了有益的参考和借鉴。我们将继续探索声波传播的其他特性和应用，为未来的学习和工作积累更多的经验和知识。

在未来的实验中，我们计划进一步优化实验方法，提高测量精度和效率。同时，我们也希望能够将本次实验的经验和成果应用到其他相关领域的研究中，为推动科学技术的发展做出更大的贡献。

## 八、思考题

### 1、分析压电陶瓷换能器的工作原理

压电陶瓷换能器是一种基于压电效应工作的器件，能够将电能与机械能之间相互转换。其工作原理可以从以下几个方面进行分析：

首先，我们需要了解压电效应。压电效应是指在某些晶体材料中，当受到外力作用时，晶体内部的正负电荷中心会发生相对位移，导致晶体发生极化，从而产生电势差，即压电电压。反之，当在这些晶体上施加电场时，晶体也会发生形变，这就是逆压电效应。压电陶瓷材料正是具有这种特性的重要材料之一。压电陶瓷换能器的工作原理可以分为两个主要过程：发射过程和接收过程。

在发射过程中，压电陶瓷换能器作为声源，通过压电效应将电能转换为机械能。具体来说，当在压电陶瓷换能器的两个电极上施加交变电压时，由于逆压电效应，压电陶瓷会产生周期性的形变，这种形变会以声波的形式传播出去。声波的频率、幅度和波形等特性取决于施加在换能器上的电信号。

在接收过程中，压电陶瓷换能器则作为接收器，将机械能转换为电能。当声波作用于压电陶瓷换能器时，会引起压电陶瓷的形变，这种形变通过压电效应产生电信号。这些电信号随后可以被放大、处理和分析，从而实现对声波的检测和测量。

此外，压电陶瓷换能器的性能受到多种因素的影响，包括材料的压电常数、介电常数、机械品质因数等。为了优化换能器的性能，通常会对其进行精确的设计和制造，包括选择合适的材料、优化电极结构、调整工作频率等。

总的来说，压电陶瓷换能器通过压电效应实现了电能与机械能之间的转换，具有广泛的应用领域，如超声波检测、声波通信、水下探测等。随着科技的不断发展，压电陶瓷换能器的性能和应用领域也在不断拓展和提升。

### 2、实验中如何测量压电陶瓷的共振频率

#### 1. 准备实验设备：

- 压电陶瓷样品
- 信号发生器：用于产生不同频率的电信号
- 示波器：用于观察和记录压电陶瓷的振动波形
- 适当的电路连接线和夹具：确保压电陶瓷能够稳定且准确地接收和响应电信号

#### 2. 连接电路：

- 将信号发生器的输出端连接到压电陶瓷的一个电极上。
- 将压电陶瓷的另一个电极连接到示波器的一个输入端，以便观察其振动波形。
- 确保所有连接都牢固且正确，以避免信号干扰或损失。

#### 3. 设置信号发生器：

- 打开信号发生器，并设置其输出为正弦波信号。
- 初始时，可以选择一个较低的频率，并逐渐增加频率，以观察压电陶瓷的响应。

#### 4. 观察示波器：

- 打开示波器，并调整其设置以清晰地显示压电陶瓷的振动波形。
- 随着信号发生器频率的增加，观察示波器上显示的波形变化。当压电陶瓷达到共振状态时，其振动幅度将显著增大，波形也将变得更加清晰和稳定。



5. 确定共振频率：

- 记录示波器上显示的波形变化，并特别注意振动幅度显著增大的点。
- 通过逐渐增加和减少信号发生器的频率，找到振动幅度最大的点，该点对应的频率即为压电陶瓷的共振频率。

6. 记录数据：

- 记录下测量得到的共振频率值，并可能进行多次测量以确保准确性。
- 如果需要，还可以记录不同条件下的共振频率，例如改变压电陶瓷的负载或环境温度等。

7. 分析数据：

- 对测量得到的共振频率数据进行分析，了解压电陶瓷的性能特点和应用范围。
- 可以将测量结果与理论值或其他实验数据进行比较，以验证实验结果的准确性和可靠性。

指导教师批阅意见：

成绩评定：

预习 (20 分)	操作及记录 (40 分)	数据处理与结果陈述 30 分	思考题 10 分	报告整体 印象	总分