



多普勒效应测声速

大学物理实验1

引言

声波是机械波，人能听到的声波的频率： $20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$ ，频率低于 20Hz 为次声波，频率高于 20kHz 为超声波。对声波特性的测量是声学技术应用的重要内容，声速与传声媒质的特性及状态有关，例如，液体和固体的弹性模量与密度的比值一般比气体大，其中的声速也较大。

通过测定在不同物质中的声速，可以测量气体或溶液的浓度、以及输油管中不同油品的分界面等等。

此外，声速的测量在声波探伤、定伤、测距、医学检查等方面也有着重要的意义



多普勒效应历史背景

- ❖ 多普勒效应是为纪念奥地利物理学家及数学家克里斯琴·约翰·多普勒（Christian Johann Doppler）而命名的，他于1842年首先提出了这一理论。

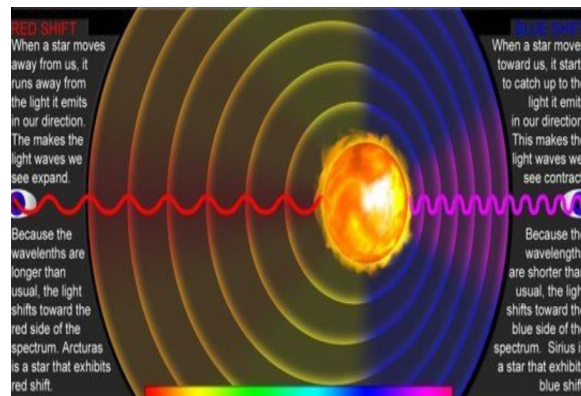
多普勒效应：声源和接受物体的相对运动而发生频率改变（频移）称为多普勒效应。运动对向接受体频率增高，称为蓝移，背向接受体频率降低，称为红移。



当火车飞机向我们开来，我们听到的声音高亢、尖锐，即频率升高；
相反，当他们远离我们时，听到声音低沉，即频率降低。



沿波源运动方向的波长变长，
反波源运动方向的波长变短。

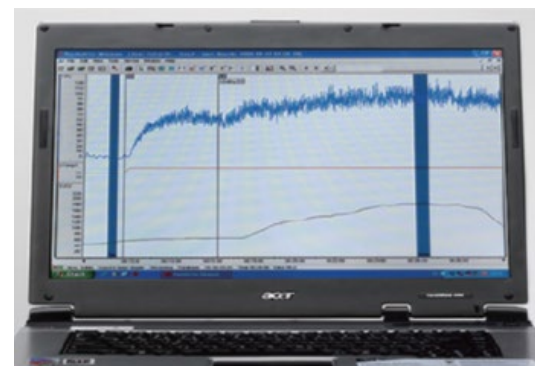
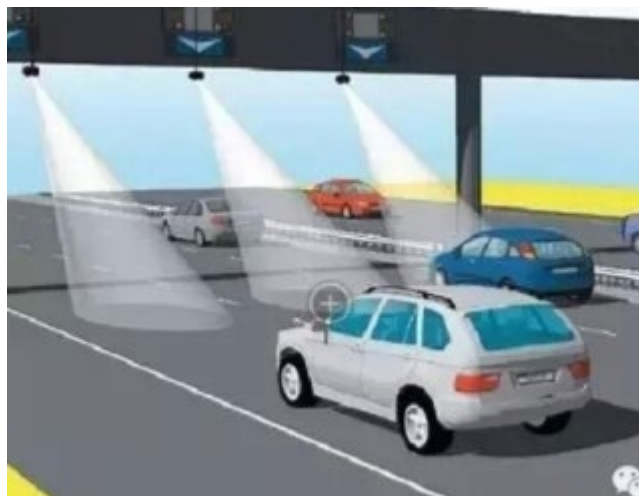


1929，哈勃宣布，在大尺度上看，所有星系的光谱都有红移现象，相互远离是宇宙的基本运动，宇宙在膨胀，这是宇宙大爆炸的理论基础。



其他应用

多普勒效应在核物理，天文学、工程技术，交通管理，医疗诊断等方面有十分广泛的应用。如用于卫星测速、光谱仪、多普勒雷达，多普勒彩色超声诊断仪等。



一 实验目的

1. 了解声速的多普勒效应，并测声速。
2. 了解相位法原理，并测声速。

二 实验原理 / 2.1 多普勒效应测声速

2.1 用多普勒效应测声速

波源的频率 f_s 是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 是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

波源和观测者之间无相对运动时：

$$f_s = f = f_R$$



波源和观测者之间有相对

运动时是什么情况？它的定量关系是什么？

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

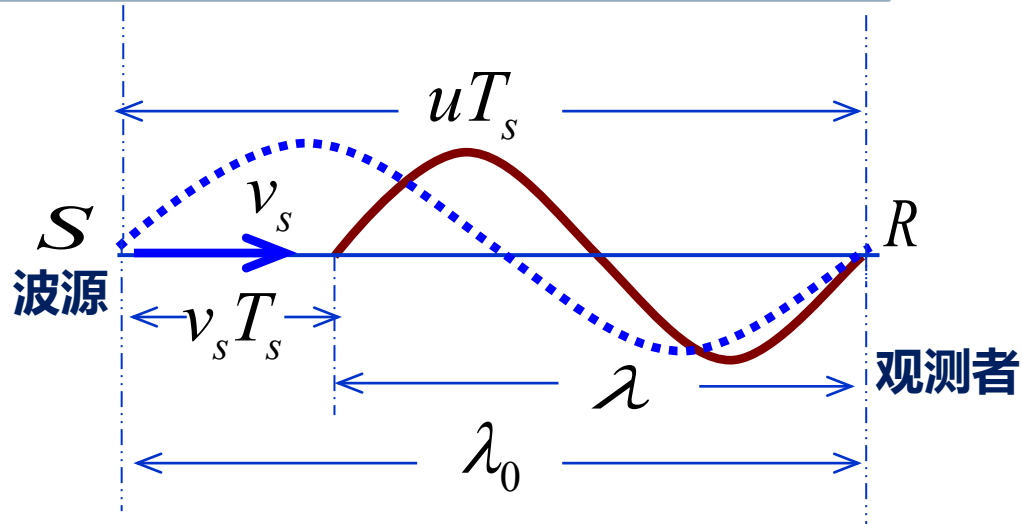
u 表示波速，单位时间内相位传播的速度。

波源运动向者观测者 $\lambda = \lambda_0 - v_s T_s$

$$\Rightarrow uT = (u - v_s)T_s$$

$$\Rightarrow \frac{u}{f} = \frac{u - v_s}{f_s}$$

$$\Rightarrow f = \frac{u}{u - v_s} f_s$$



因观测者不动，
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

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

相互远离，频率降低

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

情况2：相对于媒质，波源不动，观察者以速度 V_R 运动

1、观测者向波源运动

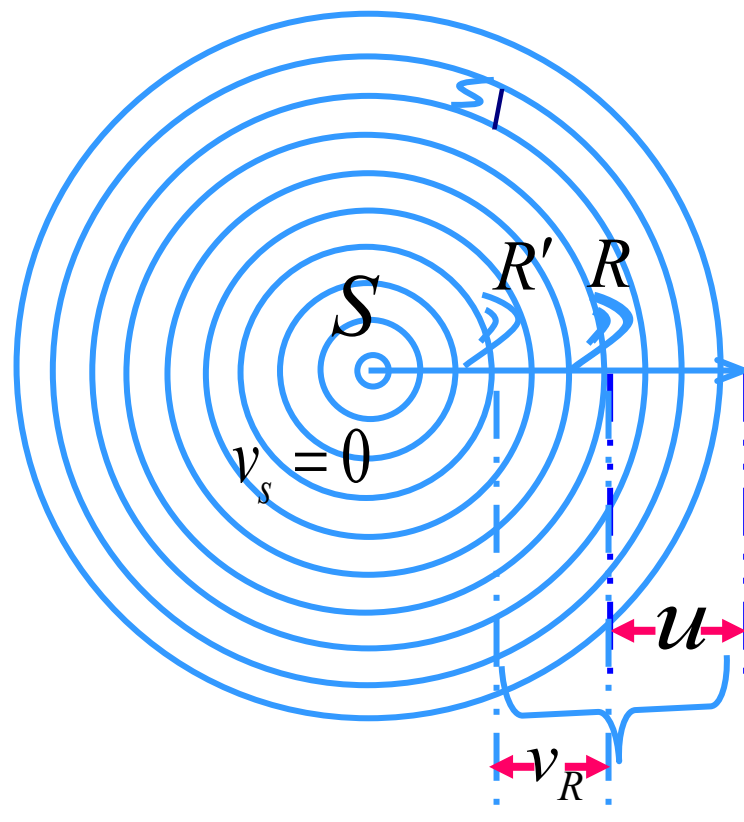
$$f_R = \frac{u + v_R}{\lambda} = \frac{u + v_R}{u} f$$

因波源不动，波的频率 f 等于波源的频率 f_S

$$\longrightarrow f_R = \frac{u + v_R}{u} f_S \quad (1)$$

2、同理，观测者远离波源运动

$$f_R = \frac{u - v_R}{u} f_S \quad (2)$$



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(1) (2) 测量出声速 u 。

二 实验原理/2.2相位法测声速

2.2 相位法测声速原理

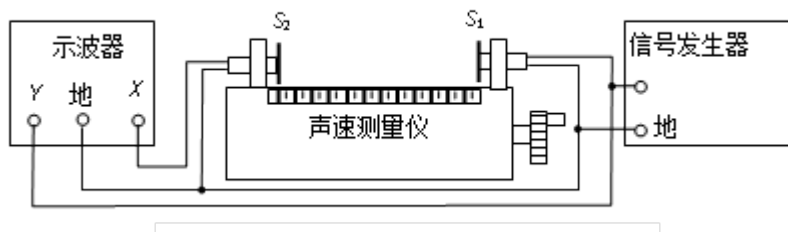


图3 相位法装置原理图

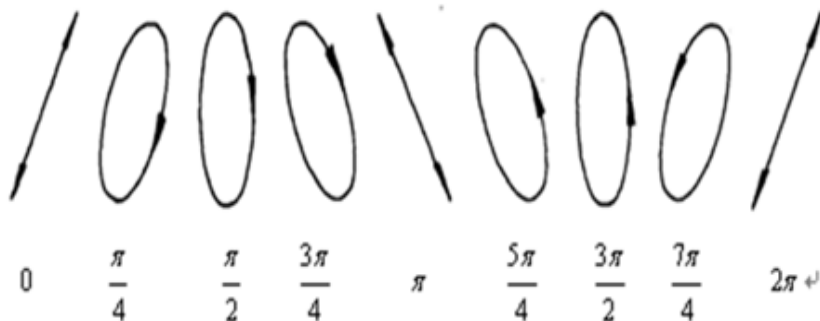


图4 李萨如图

实验中，示波器的两个通道分别接入波源S2、接收端S1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S1，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 2π ，说明S1移动了一个波长。实验中给定频率，波长测出，用下式可以测量声速：

$$u = \lambda f \quad (3)$$

相位法测声速公式：

三实验仪器

多普勒效应及声速综合实验仪，多普勒效应及声速综合测试仪，智能运动控制系统示波器，导线若干

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_{p-p}，脉冲波>7V_{p-p}；

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，最大扭矩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；

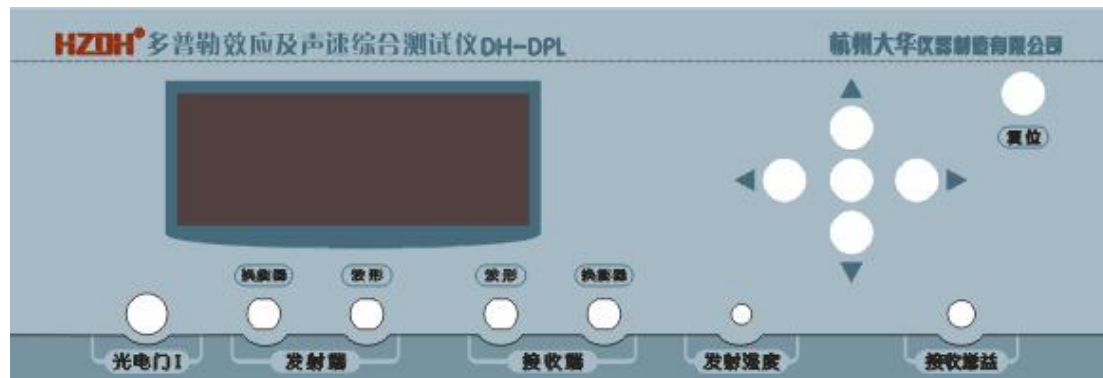
4、系统测速精度：±0.002m/s；

5、相位法以及多普勒效应法测量声速精度：<3%；

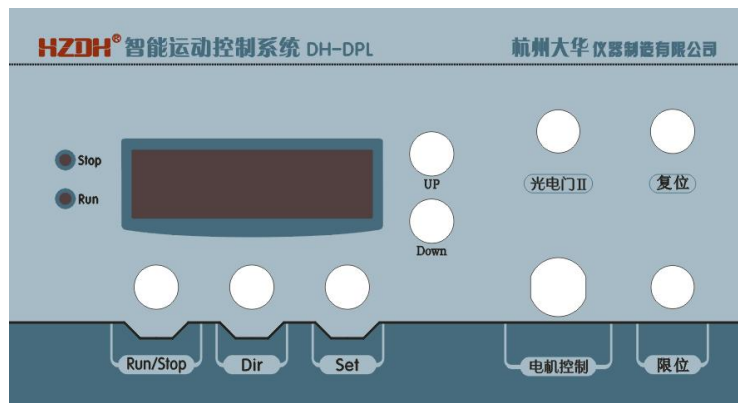
6、换能器谐振频率：37±2kHz；



三 实验仪器



(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

三实验仪器

超声波的产生和接收

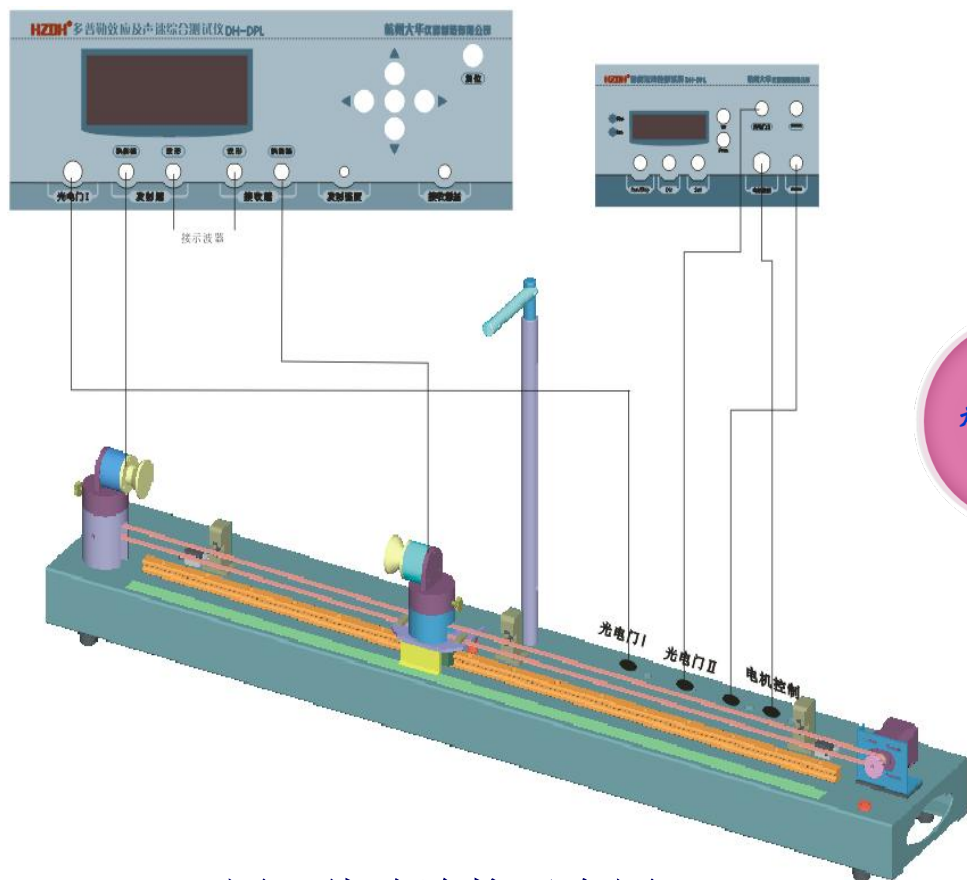
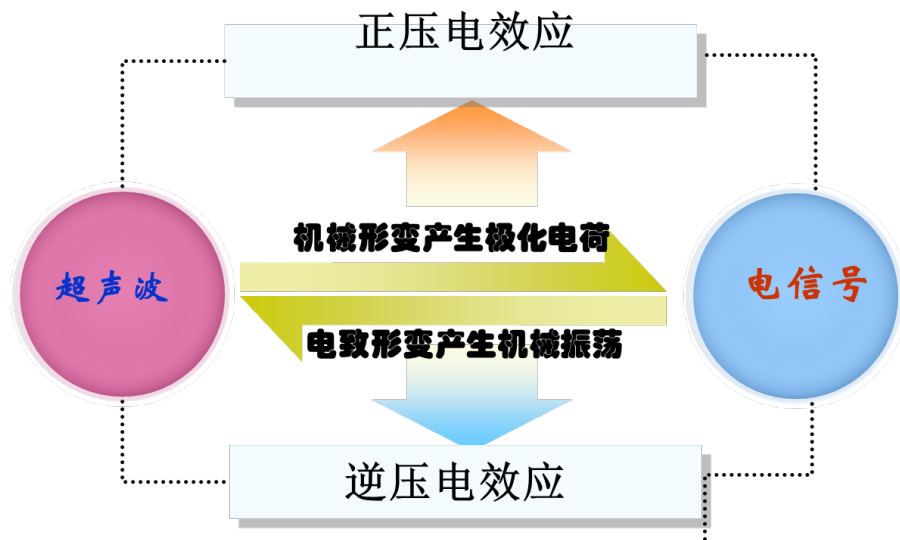


图5 线路连接示意图



压电陶瓷有一个谐振频率，电信号频率接近这个频率，机电耦合比较好，产生的超声波强度较高，接受到的电信号也强。



设置电信号频率接近压电陶瓷的谐振频率

问题：如何判断已经调到谐振频率？

三 实验仪器

注意：

- 1、使用时，应避免信号源的功率输出端短路。
- 2、注意仪器部件的正确安装、线路正确连接。
- 3、仪器的运动部分是由步进电机驱动的精密系统，严禁运行过程中人为阻碍小车的运动。
- 4、注意避免传动系统的同步带受外力拉伸或人为损坏。
- 5、小车不允许在导轨两侧的限位位置外侧运行，意外触发行程开关后要先切断测试架上的电机开关，接着把小车移动到导轨中央位置后再接通电机开关并且按一下复位键即可。

四 实验步骤及数据记录 / 4.1多普勒效应测声速

4.1多普勒效应测声速

换能器谐振频 $f=37730\text{Hz}$ 附近

- 1、按图（3）接线。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。



四 实验步骤及数据记录 / 4.1 多普勒效应测声速

4、切换到“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 Δf 正和 Δf 反，以及智能运动控制系统给出的小车速度 V_r 。

6、数据记录与处理

V_r (m/s)	Δf 正 (Hz)	Δf 反 (Hz)	$\Delta f = (\Delta f \text{ 正} + \Delta f \text{ 反}) / 2$	$V = f \times V_r / \Delta f$ (m/s)

四 实验步骤及数据记录 / 4.2 相位法测声速

4.2 相位法测声速步骤

换能器谐振频率 $f=37730\text{Hz}$ 附近

实验步骤：

- 1、按照例1的实验步骤1~4进行操作，使调谐成功。
- 2、切换到“多普勒效应实验”画面进行实验，关闭导轨电源。

四 实验步骤及数据记录 / 4.2 相位法测声速

3、数据记录与处理

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，使丽莎如图显示一条斜线，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 2π ，记录此时的位置 L_i 。即可求得声波波长： $\lambda_i = |L_i - L_{i-1}|$ 。

L_1	L_{1-1}	L_2	L_{2-1}	L_3	L_{3-1}
L_4	L_{4-1}	L_5	L_{5-1}	L_6	L_{6-1}

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



五 数据处理要求

- 1、多普勒效应和相位法测声速，并计算百分比误差。
- 2、思考题
 - a. 分析压电陶瓷换能器的工作原理
 - b. 实验中如何测量压电陶瓷的共振频率

标准状态下，干燥空气中的声速为331.45m/s。在室温 $t^{\circ}\text{C}$ 下，干燥空气中的声速

$$v = v_0 \sqrt{1 + \frac{t}{T_0}}$$

