

多普勒效应综合实验

当波源和接收器之间有相对运动时，接收器接收到的波的频率与波源发出的频率不同的现象称为多普勒效应。多普勒效应在科学研究，工程技术，交通管理，医疗诊断等各方面都有十分广泛的应用。例如：原子，分子和离子由于热运动使其发射和吸收的光谱线变宽，称为多普勒增宽，在天体物理和受控热核聚变实验装置中，光谱线的多普勒增宽已成为一种分析恒星大气及等离子体物理状态的重要测量和诊断手段。基于多普勒效应原理的雷达系统已广泛应用于导弹，卫星，车辆等运动目标速度的监测。在医学上利用超声波的多普勒效应来检查人体内脏的活动情况，血液的流速等。电磁波(光波)与声波(超声波)的多普勒效应原理是一致的。本实验既可研究超声波的多普勒效应，又可利用多普勒效应将超声探头作为运动传感器，研究物体的运动状态。

【实验目的】

1. 测量超声接收器运动速度与接收频率之间的关系，验证多普勒效应，并由 $f - V$ 关系直线的斜率求声速
2. 测量简谐振动的周期等参数，并与理论值比较。

【实验原理】

1. 超声的多普勒效应

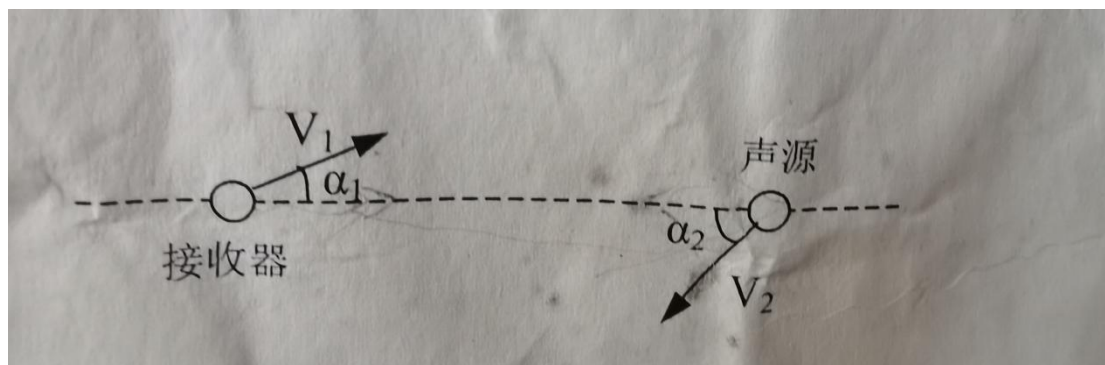


图 1 超声的多普勒效应示意图

根据声波的多普勒效应公式，当声源与接收器之间有相对运动时，接收器接收到的频率 f 为：

$$f = f_0 \cdot \frac{u + V_1 \cos \alpha_1}{u - V_2 \cos \alpha_2} \quad (1)$$

式中 f_0 为声源发射频率, u 为声速, V_1 为接收器运动速率, α_1 为声源与接收器连线与接收器运动方向之间的夹角, V_2 为声源运动速率, α_2 为声源与接收器连线与声源运动方向之间的夹角(如图 1)。

若声源保持不动, 运动物体上的接收器沿声源与接收器连线方向以速度 V 运动, 则从(1)式可接收器接收到的频率应为:

$$f = f_0 \cdot (1 + \frac{V}{u}) \quad (2)$$

当接收器向着声源运动时, V 取正, 反之取负。

若 f_0 保持不变, 以光电门测量物体的运动速度, 并由仪器对接收器接收到的频率自动计数, 根据 2) 式, 作 $f-V$ 关系图可直观验证多普勒效应, 且由实验点作直线, 其斜率应为 $k = f_0/u$, 由此可计出声速 $u = f_0/k$ 由(2)式可解出:

$$V = u \cdot (\frac{f}{f_0} - 1) \quad (3)$$

若已知声速 u 及声源频率 f_0 , 通过设置使仪器以某种时间间隔对接收器接收到的频率 f 采样计数, 由微处理器按(3)式计算出接收器运动速度, 由显示屏显示 $V-t$ 关系图, 或调阅有关测量数据, 即可得出物体在运动过程中的速度变化情况, 进而对物体运动状况及规律进行研究。

2. 超声的红外调制与接收

早期产品中, 接收器接收的超声信号由导线接入实验仪进行处理。由于超声接收器安装在运动体上, 导线的存在对运动状态有一定影响, 导线的折断也给使用带来麻烦。新仪器对接收到的超声信号采用了无线的红外调制-发射-接收方式。即用超声接收器信号对红外波进行调制后发射, 固定在运动导轨一端的红外接收端接收红外信号后, 再将超声信号解调出来。由于红外发射/接收的过程中信号的传输是光速, 远远大于声速, 它引起的多普勒效应可忽略不计。采用此技术将实验中运动部分的导线去掉, 使得测量更准确, 操作更方便。信号的调制-发射-接收-解调, 在信号的无线传输过程中是种常用的技术。

3. 研究简谐振动

当质量为 m 的物体受到大小与位移成正比, 而方向指向平衡位置的力的作用

时，若以物体的运动方向为 x 轴，其运动方程为：

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx \quad (4)$$

由(4)式描述的运动称为简谐振动，当初始条件为 $t = 0$ 时， $x = -A_0, V = \frac{dx}{dt} = 0$ ，则方程(4)的解为：

$$x = -A_0 \cos \omega_0 t \quad (5)$$

将(5)式对时间求导，可得速度方程：

$$V = \omega_0 A_0 \sin \omega_0 t \quad (6)$$

由(5)(6)式可见物体作简谐振动时，位移和速度都随时间周期变化，式中 $\omega_0 = (k/m)^{1/2}$ ，为振动系统的固有角频率。

测量时仪器的安装如图2，若忽略空气阻力，根据胡克定律，作用力与位移成正比，悬挂在弹簧上的物体应作简谐振动，而(4)式中的 k 为弹簧的倔强系数。

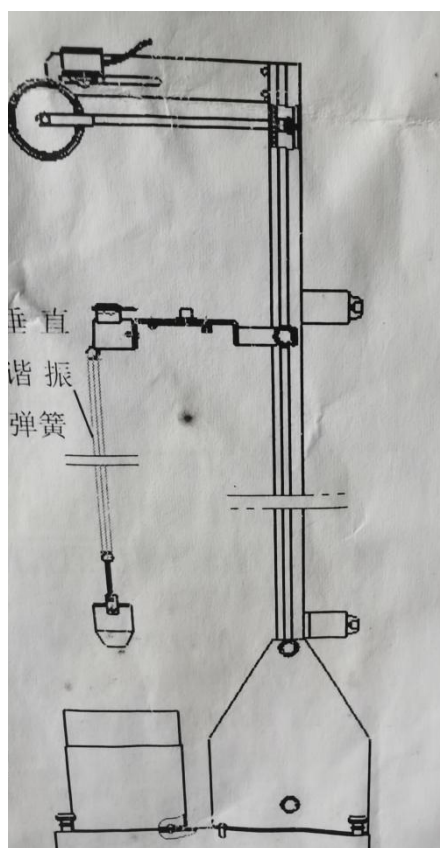


图2 简谐振动实验装置

【实验仪器】

多普勒效应综合实验仪由实验仪，超声发射/接收器，红外发射/接收器，导轨，运动小车，支架光电门，电磁铁，弹簧，滑轮，砝码及电机控制器等组成，实验仪内置微处理器。

【仪器安装与测量准备】

仪器的安装如图 2 所示。将弹簧悬挂于电磁铁上方的挂钩孔中，接收器组件的尾翼悬挂在弹簧上。接收组件悬挂上弹簧之后，测量弹簧长度。加挂质量为 m 的砝码，测量加挂砝码后弹簧的伸长量 Δx ，记入表 4 中，然后取下砝码。由 m 及 Δx 就可计算 k 。用天平称量垂直运动超声接收器组件的质量 M ，由 k 和 M 就可计算 ω_0 ，并与角频率的测量值 ω 比较。

【测量步骤】

1. 在液晶显示屏上，用▼选中“变速运动测量实验”，并按“确认”；
2. 利用►键修改测量点总数为 150(选择范围 8~150)，▼选择采样步距，并修改为 100(选择范围 50~100ms)，选中“开始测试”；
3. 将接收器从平衡位置垂直向下拉约 20cm，松手让接收器自由振荡，然后按“确认”，接收器组件开始作简谐振动。实验仪按设置的参数自动采样，测量完成后，显示屏上出现速度随时间变化关系的曲线；
4. 在结果显示界面中用►键选择“返回”，“确认”后重新回到测量设置界面。可按以上程序进行新的测量。

【注意事项】

接收器自由振荡开始后，再按“确认”键。

【数据记录与处理】

查阅数据，记录第 1 次速度达到最大时的采样次数 $N_{1\max}$ 和第 11 次速度达到最大(注:速度方向一致)时的采样次数 $N_{11\max}$ ，就可计算实际测量的运动周期 T 及角频率 ω ，并可计算 ω_0 与 ω 的百分误差。

表 1 简谐振动的测量 M=_____kg m=_____kg

Δx (m)	$k = mg / \Delta x$ (kg / s ²)	$\omega_0 = (k / M)^{1/2}$ (1 / s)	$N_{1\max}$	$N_{11\max}$	$T = 0.01(N_{11\max} - N_{1\max})(s)$	$\omega = 2\pi / T$ (1 / s)	百分误差 ($\omega - \omega_0$) / ω