



多普勒效应

近代物理实验

青岛理工大学 物理实验中心

内 容 提 要

- 一、背景介绍
- 二、实验目的
- 三、实验原理
- 四、实验仪器
- 五、实验内容与步骤
- 六、注意事项
- 七、思考题

一、背景介绍 —— 概念

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

(Doppler Effect)。多普勒效应在一切弹性波（如声波，超声波）和一切电磁波（如光波）中都存在。但两者产生的原理不同，结论相似。

一、背景介绍——历史

多普勒效应最早是由奥地利物理学家Doppler发现的。1842年，Doppler带着女儿在铁道旁散步时，恰逢一列火车从他身旁驰过，他发现火车驶近时汽笛声变响，音调变尖，而火车远离时汽笛声变弱，音调变低。他对这个物理现象产生了极大的兴趣，进行了认真研究，并于当年发表了一篇论文，对上述现象给予了正确解释。于是后人就将类似的现象称作多普勒效应。



奥地利物理学家Doppler
(1803~1852)

一、背景介绍——应用

多普勒效应在交通管理、科学研究、工程技术、医疗诊断、军事应用等领域都有十分广泛的应用。

交警向行进中的车辆发射频率已知的电磁波（通常是红外线），同时测量反射波的频率，根据反射波频率变化的多少就可得知车辆的速度。装有多普勒测速仪的警车有时就停在公路旁，在测速的同时把车辆牌号拍摄下来，并把测得的速度自动打印在照片上。

宇宙中的星球都在不停地运动，测出星球上某些元素发出的光波频率，然后跟地球上这些元素静止时发光的频率对照，就可以算出星球靠近或远离我们的速度。

一、背景介绍——应用

医生向人体内发射频率已知的超声波，超声波被血管中的血流反射后又被仪器接收，测出反射波的频率变化，就能知道血流的速度。这种方法俗称“彩超”，它可用于检查心脏、大脑和眼底血管的病变。

二、实验目的

- 1 验证多普勒效应公式。
- 2 测量超声波速度。
- 3 拓展性应用实验
 - 测量物体的匀加速直线运动，验证牛顿第二定律；
 - 测量物体的自由落体运动，计算重力加速度；
 - 研究简谐振动。

$$\mu_j = -g \frac{\mu_0}{h} P_j = \gamma P_j$$

三、实验原理

1. 多普勒效应与超声波速度测量原理

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：

$$f = f_0 (u + v_1 \cos \alpha_1) / (u - v_2 \cos \alpha_2) \quad (1)$$

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。

本实验中声源（超声发射器）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。于是，接收器接受到的频率为：

$$f = f_0 (1 + v_1 / u) \quad (2)$$

式中，接收器速率 v_1 的符号：向着声源运动， v_1 取正；反之取负。

测量时，声源的频率 f_0 可通过调谐得到（此时与发射器匹配的接收器所产生的信号幅度最大）。在该工作频率 f_0 下，利用光电门测出接收器通过光电门时的瞬时速度 v_1 ，同时由仪器对接收器接受到的频率自动计数，又可得到接收器以瞬时速度 v_1 运动时接受到的频率 f ，由此得到一个 (f, v_1) 数据点；改变接收器通过光电门的速度，可得一组 $f-v_1$ 离散采样点。通过作图法或线性最小二

乘拟合即可得到式(2)中的斜率 f_0/u , 进而测出超声波在空气中的速度 u 。

声波在空气中传播速度的理论值为:

$$u_0 = 331.45 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} \quad (3)$$

式中, t 为室内温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

2. 拓展性实验原理

改写式(2),可得到

$$v_1 = u (f / f_0 - 1) \quad (4)$$

若已知声速 u 和声源频率 f_0 ，通过设置可使仪器对接收器接受到的频率 f 进行等间隔采样，就可得到 $f-t$ 关系，进而由微处理器通过(4)式即可算出 v_l-t (离散)函数关系，它反应了物体(接收器)运动状态的变化。若物体是作匀变速运动，则通过线性最小二乘拟合即可求得物体的加速度；若物体是作简谐振动，又可进一步求取简谐振动的频率。

四、实验仪器

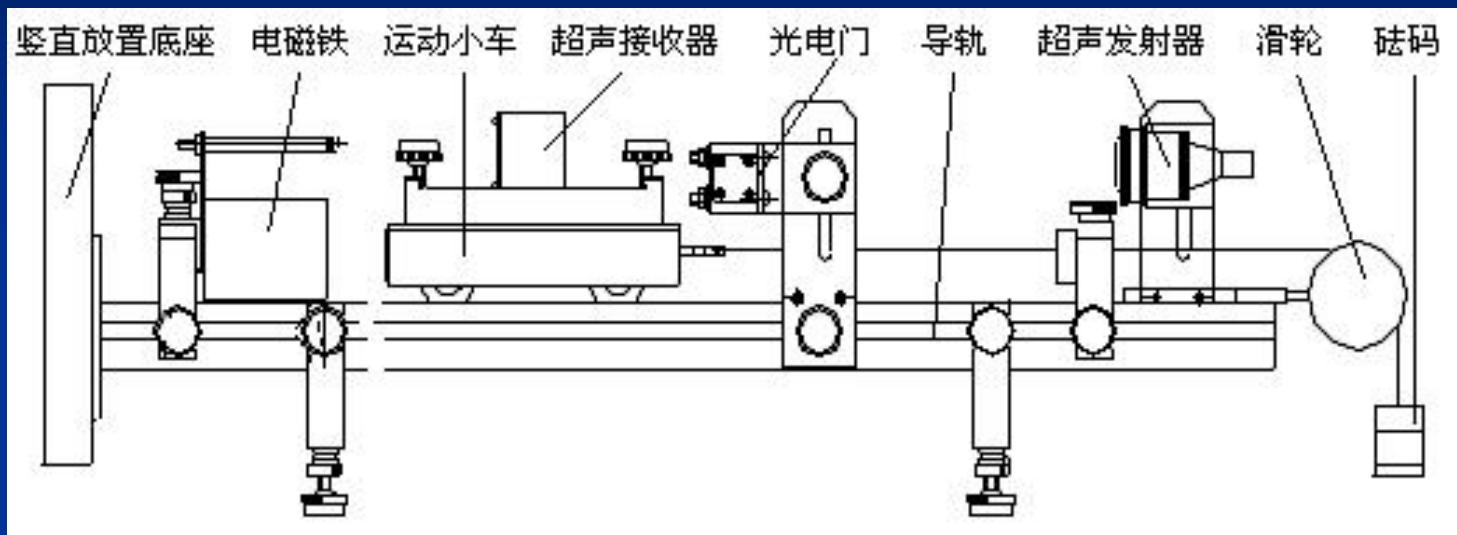


图1 多普勒效应验证实验及小车水平运动速度测量装置示意图

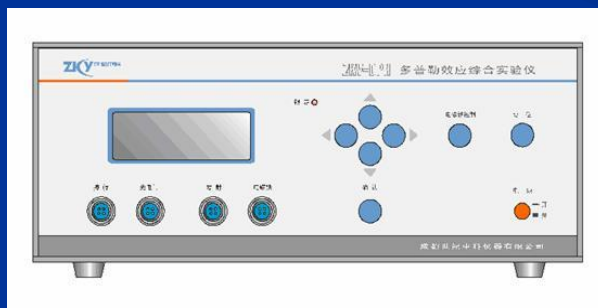


图2 多普勒效应实验仪面板图

图中各部分的功能

超声发射器: 发射超声信号;

超声接收器: 接收超声信号, 并进行红外调制与发射;

竖直放置底座: 接收和解调红外信号;

带有超声接收器的运动小车: 作被测物体和接收器使用;

跨过滑轮与运动小车相连的砝码: 用以使运动小车获得和改变通过光电门时的速度;

光电门: 与实验仪主机配合, 用于测量小车的瞬时速度;

电磁铁: 用以固定小车和对接收器充电;

导轨: 用以确定发射器与接收器的连线方位及决定小车的运动方向。

实验仪主机: 控制、测量与数据记录。

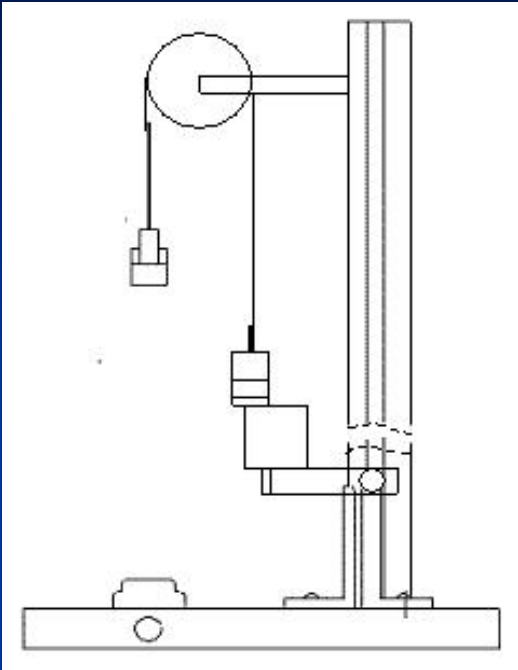


图3 匀加速运动测量安装示意图

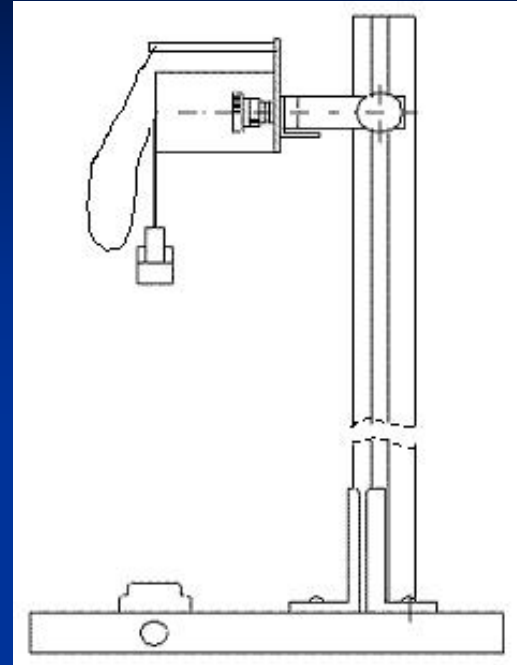


图4 重力加速度测量安装示意图

图中有关部分的功能：与水平装置类似

五、实验内容与步骤

- 1 对实验仪进行预调节：开机后输入室温，并对超声发生器的驱动频率进行调谐，以确定工作频率 f_0 。
- 2 选择多普勒效应验证实验工作模式，利用水平装置在不同的小车运动速度下进行实验，以获得一组频率 f —运动速度 v_1 关系的采样数据点，并通过作图法或线性最小二乘拟合法测出超声波在空气中的速度 u ，进而将测得的结果与理论值作一比较。

- 3 利用竖直测量装置，选择变速运动测量实验的工作模式，输入合适的采样点和采样步距，测量组合体作匀变速运动的 v_1-t 函数关系，进而验证牛顿第二定律。
- 4 测量装置与工作模式同上，通过输入合适的采样点与采样步距，测量接收器在自由落体运动下的 v_1-t 关系，运用最小二乘拟合或作图法求出被测重力加速度，并与本地区重力加速度大小进行比较。
- 5 测量装置与工作模式同上，弹簧伸长量 Δx ,设置采样点总数150、采样步距100ms,利用下式测量弹簧振子作无阻尼自由振动的周期：

$$T=0.01 \times (N_{11max} - N_{1max}) \quad (4)$$

式中， N_{11max} 与 N_{1max} 为构成弹簧振子的接收器振动速度分别出现第1和第11次正最大值的采样序号。

6 进行误差分析和讨论，在此基础上研究测量方案的合理性。

说明:

- 1) 采样数8~150个之间;
- 2) 采样间隔35~100ms;
- 3) 超声换能器谐振频率39000~41000Hz;
- 4) 测量精度: 自由落体加速度优于5%，测量声速优于5%。

六、注意事项

- 每次测量前，应将小车或超声接收器插上电磁铁进行充电。
- 采用竖直装置测量时，应确保超声接收器落入缓冲垫，防止损坏接收器。
- 测量过程中，应注意伪数据的判断和剔除，同时确保有关参数记录的完整。

七、思考题

- 1、本实验系统中，引起误差的因素有哪些？你认为测量方案的设计是否还有改进之处？
- 2 你能设计一种其它的运动特性加以测量和研究吗？

参考资料

- [1] 赵旭光, 邬明音. 浅谈多普勒效应及其应用. 现代物理知识, 15 (2): 16-17
- [2] 刘广生, 李慧. 多普勒效应及其应用. 南阳师范学院学报, 2006, 5 (6): 37-38, 44
- [3] 吴思诚、王祖栓. 《近代物理实验 I》. 北京大学出版社
- [4] 刘立财. 多普勒效应及其应用. 科技创新导报, 2007, (35): 249-250