

声学多普勒效应 实验报告

纪品全 202111998273

指导教师：陈巧妮

(北京师范大学 物理学系, 北京 100875)

摘要：通过本实验，了解多普勒效应的原理与应用，利用混频器测量频率差，并由此对多普勒效应进行验证。

波源与观察者的相对运动导致的接收频率与发射频率不同的现象称为多普勒效应. 通过测量多普勒频移，可以测量物体的相对速度，在科学研究和生产生活中有着非常广泛的应用，重要的例子包括物理实验中激光的多普勒频移冷却原子、天文观测中利用多普勒摆动寻找太阳系外行星，军事和气象观测中利用多普勒雷达测量飞行器或大气的运动、医学中利用多普勒效应测量血管中血液的流速(彩超)等.

1 实验原理

1.1 多普勒效应

在声源、观察者在同一方向匀速移动时，观察者接收到的声音频率 f

与声音原频率 f_0 满足：

$$f = \frac{v - v_o}{v - v_s} f_0 \quad (1)$$

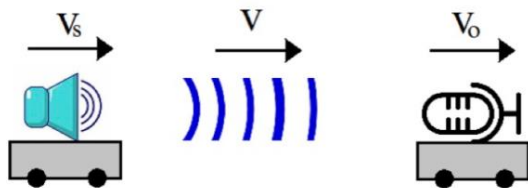


图 1 多普勒效应示意图

即多普勒效应.

多普勒效应在 $|v_o|, |v_s| \ll v$ 时近似成立

1.2 多普勒频移及测量

当声源和观察者的速率远小于声速时，多普勒频移不够大，直接测量接收信号的频率存在精确度上的困难. 此时，直接测量多普勒频移 $\Delta f = f_o/f_s$

更加方便.

为了测量两个正弦信号的频率差，使用了一个混频电路模块. 混频电路包括一个模拟乘法器和一个低通滤波器.

工作原理：设两个输入信号分别为 $x(t) = A \sin \omega t, y(t) = A' \sin \omega' t$ ，则先通过乘法器将其相乘，信号为：

$$z(t) = x(t)y(t) = AA' \sin \omega t \sin \omega' t$$
$$z(t) = \frac{1}{2} AA' (\cos \omega_- t - \cos \omega_+ t) \quad (2)$$

其中 $\omega_- = \omega - \omega'$ 为差频， $\omega_+ = \omega + \omega'$ 为和频.

当 ω 与 ω' 相差不大时， $|\omega_-| \ll \omega_+$. 加一个低通滤波器，如果截止频率合适，则和频信号被滤掉，仅保留差频信号. 此时可以直接通过示波器测量得出频率差.

2 实验内容

2.1 实验仪器

超声发射器与接收器、运动导轨、信号发生器、示波器、光电门和混频器等

2.2 实验要求

1. 利用相位法测量声速
2. 验证多普勒频移公式
3. 利用多普勒频移测量速度

3 实验结果与分析讨论

3.1 利用相位法测量声速

改变接收器的位置，当接收器与发射信号相位差改变 2π 时，代表发射器与接收器距离改变一个 λ .

结合声音频率 ν ，可以求出空气中声速 v 。

声音频率 $\nu = 40\text{kHz}$			
位移测量	1	2	3
$x_0(\text{cm})$	22.63	31.25	20.00
$x_5(\text{cm})$	18.41	27.00	15.80
波长 $\bar{\lambda} = 0.845\text{cm}$			
空气中声速 $\bar{v} = \bar{\lambda}\nu = 337.87\text{m/s}$			

表 1 声速测量实验参数及计算

3.2 验证多普勒频移公式

使用电动机控制器，改变小车速度挡位以改变超声发射器与接收器的相对速度 v_{so} 。分别记录小车的挡光信号和差频信号，在两个挡光信号之间测量经混频电路后差频信号的频率，并计算多普勒频移。

信号发生器 CH1 输出 $f = 40.000\text{kHz}$, $V_{pp} = 20\text{V}$ 的正弦波，CH2 输出频率为 $(f_s - \Delta_0)$ ， $V_{pp} = 1\text{V}$ 的正弦波，接入混频器 Y 端口；超声接收器信号接入混频器 X 端口，完成参数设置。

超声发射器速度朝向接收器时：

两挡光片间距 $D = 10.00\text{cm}$					
$\Delta_0 = 200\text{Hz}$					
速度挡位	5	4	3	2	1
挡光时间 $\Delta t(\text{ms})$	81.4	93.4	111.0	137.6	184.8
平均速度 $v_{so} = \frac{D}{\Delta t}(\text{m/s})$	1.23	1.07	0.90	0.73	0.54
差频信号 10 个周期 时长 $10T(\text{ms})$	29.4	31.0	32.6	35.2	38.0
差频频率	340.1	322.6	306.7	284.1	263.2

$f_D(\text{Hz})$					
多普勒频移 $\Delta f = f_D - \Delta_0$	140.1	122.6	106.7	84.1	63.2

表 2 验证正向多普勒效应实验参数及计算

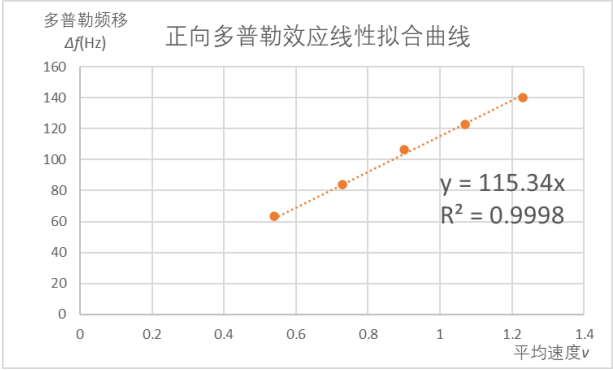


图 2 正向多普勒效应线性拟合曲线

两挡光片间距 $D = 10.00\text{cm}$					
$\Delta_0 = 200\text{Hz}$					
速度挡位	5	4	3	2	1
挡光时间 $\Delta t(\text{ms})$	83.2	96.0	114.2	143.6	224.0
平均速度 $v_{so} = \frac{D}{\Delta t}(\text{m/s})$	1.20	1.04	0.88	0.70	0.45
差频信号 5 个周期 时长 $5T(\text{ms})$	66.0	62.8	52.8	40.6	34.2
差频频率 $f_D(\text{Hz})$	75.6	79.6	94.7	123.2	146.2
多普勒频移 $\Delta f = -f_D + \Delta_0$	124.4	120.4	105.3	76.8	53.8

表 3 验证反向多普勒效应实验参数及计算

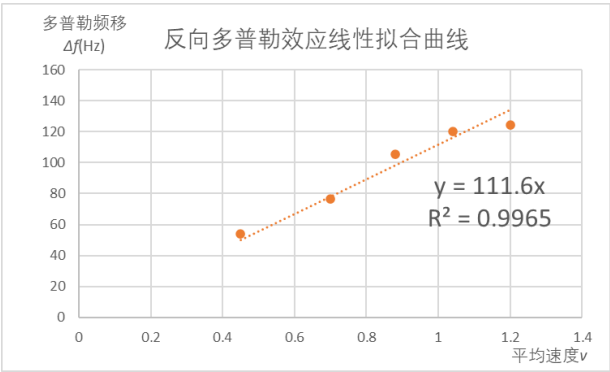


图 3 反向多普勒效应线性拟合曲线

理论值 $\frac{f_s}{v} = 118.39\text{m}^{-1}$. 差距较小.

3.3 利用多普勒效应测量小车速度

使用金属屏代替接收器安装在小车上，把接收器安装到发射器下方的支架上.记录多普勒频移

$\Delta f = \frac{2v_t}{v} f_s$, 测出 Δf , 得出 $v_t = \frac{\Delta f}{2f_s} v$.

速度挡位	5	4	3	2	1
挡光时间 $\Delta t(\text{ms})$	84.0	94.8	112.0	135.4	184.2
平均速度	1.19	1.05	0.89	0.74	0.45

$v_{so} = \frac{D}{\Delta t}(\text{m/s})$					
差频信号 10 个周期 时 长 $10T(\text{ms})$	20.6	22.8	24.8	27.6	31.0
差频频率 $f_D(\text{Hz})$	485.4	438.6	403.2	362.3	322.6
多普勒频 移 $\Delta f = f_D - \Delta_0$	285.4	238.6	203.2	162.3	122.6
小 车 速 度 计 算 值 $v_t(\text{m/s})$	1.21	1.01	0.86	0.69	0.52
相对误差 (%)	1.6	3.8	3.4	6.7	10.5

参考文献:

[1] 北京师范大学近代物理实验讲义