

利用智能手机研究气垫导轨上的阻尼振动*

胡琦珩 丁益民 李正天 冯一帆 宋伊 李啸越

(湖北大学物理与电子科学学院 湖北 武汉 430062)

(收稿日期:2016-12-19)

摘要:在气垫导轨上探究弹簧振子的阻尼振动实验中,一般采用半衰期法来测量黏性阻尼常量.而半衰期通常是依靠肉眼判断半衰点并利用手动控制电子秒表来测量的,这种方法不仅误差大而且不易操作.利用智能手机传感器和 SPARKvue 软件,通过绘制弹簧振子的“加速度-时间”图像来测量黏性阻尼常量,既提高了实验精度也增强了实验的可操作性.

关键词:阻尼振动 黏性阻尼常量 智能手机 SPARKvue

随着科学技术的高速发展,智能手机在传统物理实验方法的创新、实验仪器的改良、实验数据的优化以及实验精度的提高等方面扮演着越来越重要的角色^[1~3].

本文利用智能手机加速度传感器和 IOS 平台上的 SPARKvue 软件,测量并绘制弹簧振子在水平气垫导轨上做阻尼振动的“ $a-t$ ”图像,再通过图像峰值来确定系统的半衰点,从而计算半衰期,达到测定气垫导轨上阻尼振动实验中的黏性阻尼常量的目的.该方法有效地克服了在传统的气垫导轨上阻尼振动中依靠肉眼判断半衰点,并利用手动控制电子秒表来测量半衰期的困难^[4].

1 实验原理及方法

对于一个自由振动的系统,由于外界和内部原因,其振动的能量会逐渐减少,振幅因之逐渐衰减,最后停止振动,这就是阻尼振动^[5].本实验中的阻尼振动谐振子由水平气垫导轨上的滑块和一对弹簧组成,如图 1 所示.

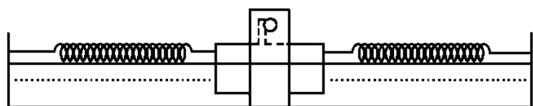


图 1 阻尼振动原理图

振动系统在弹性力和阻尼力的作用下,谐振子的运动方程可以写成

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx - b \frac{dx}{dt} \quad (1)$$

此方程式中的 m 为滑块质量, b 为黏性阻尼常量.若令 $2\delta = \frac{b}{m}$, $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$, 其中 δ 为阻尼因数, ω_0 为振动系统固有频率,则式(1)可以改写为

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\delta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0 \quad (2)$$

若当阻尼较小时,式(2)的解为

$$x = A_0 e^{-\delta t} \cos(\omega_f t + \varphi) \quad (3)$$

其中

$$\omega_f = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$$

因为对数减缩 Δ 可以直观地反映阻尼振动衰减特性,且在弱阻尼情况下,它又能清楚地反映振动系统的振幅及能量衰减的快慢,所以我们可以利用对数减缩 Δ 来进行黏性阻尼常量 b 的动态测量.对数减缩 Δ 是指谐振子在任意时刻 t 的振幅 $A(t)$ 和经过一个周期后的振幅 $A(t+T)$ 之比的对数值,即

$$\Delta = \ln \frac{A_0 e^{-\delta t}}{A_0 e^{-\delta(t+T)}} = \delta T \quad (4)$$

将 $\delta = \frac{b}{2m}$ 代入式(4)可得

$$b = \frac{2m\Delta}{T} \quad (5)$$

所谓半衰期是指谐振子做阻尼振动时的振幅从初值 A_0 减小到 $\frac{A_0}{2}$ 所用的时间,记为 T_h ,则

* 物理学国家级特色专业建设项目,项目编号:TS10985;湖北省大学生创新训练计划项目,项目编号:201610512060

作者简介:胡琦珩(1994-),男,在读硕士研究生.

通讯作者:丁益民(1965-),男,教授,主要从事物理课程与教学论、统计物理与复杂网络的研究.

$$T_h = \frac{\ln 2}{\delta} \quad (6)$$

联立式(4)和(6)可得

$$\Delta = \frac{T \ln 2}{T_h} \quad (7)$$

由式(5)和式(7)可知,在实验中若能利用光电门测出滑块做阻尼振动的周期 T 和利用电子秒表测出阻尼振动的半衰期 T_h 就可以计算出对数减缩 Δ ,再称量出谐振子的总质量 m 便可计算出黏性阻尼常量 b ,这就是传统的实验方法^[5].

我们知道,由式(1)变形可得谐振子阻尼振动时的加速度表达式为

$$a = -\frac{\kappa x}{m} - b \frac{v}{m} \quad (8)$$

由于当谐振子运动到最大振幅时的速度 $v=0$,且加速度 a 达到最大值,即此时式(8)可变形为

$$a_{\max} = -\kappa \frac{x_{\max}}{m} \quad (9)$$

由式(9)可知,系统加速度的峰值与振幅的峰值是一一对应的,故当加速度从初值 a_0 衰减至 $\frac{a_0}{2}$ 所用的时间就等于半衰期 T_h .

可见只要能够得到阻尼振动的“加速度-时间”图像就能够测量半衰期.在本文中,我们是利用智能手机自带的加速度传感器和 SPARKvue 软件^[1],绘制出该系统的“加速度-时间”图像,再根据该图像计算出半衰期的.

2 实验装置及步骤

2.1 实验装置

本实验装置如图2所示,使用的实验器材包括水平气垫导轨、装有 SPARKvue 软件的手机、电子秒表、光电门、滑块、挡光片、弹簧、砝码、电子天平、双面胶等.

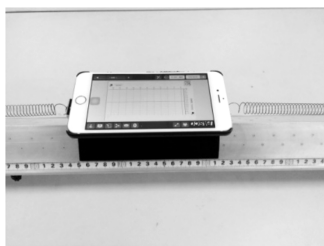


图2 实验装置图

在本实验中,我们在相同的条件下分别用智能手机绘图法和传统方法进行实验,测量滑块做阻尼

振动的半衰期 T_h ,对数减缩 Δ 和黏性阻尼常量 b ,并比较实验结果.

2.2 实验步骤

2.2.1 智能手机法实验步骤

(1) 将装有 SPARKvue 软件的手机用双面胶固定在滑块 A 上,并用电子天平称得谐振子总质量为 m_0 .

(2) 按图2所示组装各实验仪器.

(3) 调节气垫导轨水平并记录系统平衡位置为 x_1 .

(4) 设定初始振幅 $A_0=40$ cm,即用手将谐振子固定在 (x_1+40) cm 处.

(5) 将 SPARKvue 软件数据采集频率设为 500 Hz,按下“开始”键,松手开始实验.

(6) 重复上述步骤,进行多次实验,记录数据.

2.2.2 传统方法实验步骤

(1) 将总质量同样为 m_0 的滑块 B(装有挡光片)按图1所示进行组装.

(2) 调节气垫导轨水平并记录系统平衡位置为 x_2 .

(3) 将光电门固定在滑块平衡位置,用于测定振动周期 T .

(4) 将弹簧振子固定在 (x_2+40) cm 处,松手的同时按下电子秒表开始计时.

(5) 当弹簧振子最后一次经过 $\frac{x_2+40}{2}$ 处时,按下电子秒表停止计时,此时的读数为半衰期 T_h .

(6) 重复上述步骤,进行多次实验,记录数据.

3 数据处理及分析

利用 SPARKvue 软件可以得到如图3所示的“加速度-时间”图像.

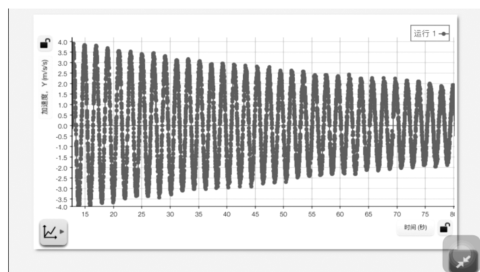


图3 加速度-时间图

由于软件没有相应的图像拟合功能,为了避免

选取实验数据时产生的偶然误差,故笔者将图像中 $\frac{a_0}{2}$ 处附近的连续3个峰值都找出,利用求平均值的方法来求半衰点处的时间坐标 t_h ,并找出图像中加速度最大时对应的的时间坐标 t_0 ,即半衰期为

$$T_h = t_h - t_0 \quad (10)$$

为了更准确地求出系统振动周期 T ,笔者找出图像与横轴 t 的连续11个交点 t_1 和 t_{11} ,故振动周期为

$$T = \frac{t_{11} - t_1}{5} \quad (11)$$

采用以上两种实验方法测量的实验数据及处理结果如表1和表2所示.

表1 智能手机绘图法实验数据

n	T/s	T_h/s	Δ	$b/(g \cdot s^{-1})$
1	2.003	72.410	0.019 2	8.128 6
2	2.010	72.323	0.019 3	8.142 5
3	2.005	72.330	0.019 2	8.126 5
4	2.003	72.410	0.019 2	8.128 6
5	2.006	72.353	0.019 2	8.116 5
6	2.012	72.360	0.019 3	8.134 3
平均值	2.007	72.364	0.019 2	8.129 5

表2 传统方法实验数据

n	T/s	T_h/s	Δ	$b/(g \cdot s^{-1})$
1	2.010	72.30	0.019 3	8.129 9
2	2.010	72.97	0.019 1	8.055 2
3	2.009	72.31	0.019 3	8.128 7
4	2.010	73.01	0.019 1	8.050 8
5	2.010	72.29	0.019 3	8.131 0
6	2.009	72.39	0.019 2	8.119 8
平均值	2.010	72.44	0.019 2	8.102 6

通过对表1和表2两组数据的A类标准不确定度计算可得

$$b_{\text{绘图法}} = (8.129 \pm 0.001) \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$b_{\text{传统方法}} = (8.10 \pm 0.01) \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

这说明两种实验方法结果基本一致,即利用手机的SPARKvue软件研究水平气垫导轨上的阻尼振动是可行的,并且通过A类标准不确定度的计算结果可以进一步说明,利用SPARKvue软件绘图法会使得实验数据的测量更加精确.

4 结束语

在气垫导轨研究阻尼振动实验中,利用智能手机传感器和SPARKvue软件,可以解决传统实验中通过肉眼观测半衰点和利用秒表测定半衰期的不准确的问题.这种方法操作方便、测量精确,同时也增强了实验的趣味性.智能手机传感器和APP软件的应用为改进大学物理实验教学提供了一个很好的思路.

参考文献

- 1 沈昊. 利用手机研究简谐振动. 物理实验, 2014, 34(4): 15 ~ 18
- 2 欧剑雄. 智能手机在多普勒效应实验中的应用. 物理实验, 2015, 35(11): 13 ~ 16
- 3 孙阿明, 刘静. 利用智能手机测空气中的声速. 物理教师, 2016, 37(4): 45 ~ 46
- 4 钟莉, 丁益民, 黄娇, 等. 用DIS位移传感器研究气垫导轨上的阻尼振动. 物理实验, 2011, 31(10): 26 ~ 28
- 5 丁益民, 徐扬子. 大学物理实验(基础与综合部分). 北京: 科学出版社, 2008. 75 ~ 78

Using a Smart Phone to Study Damping Vibration on Air Track

Hu Qiheng Ding Yimin Li Zhengtian Feng Yifan Song Yi Li Xiaoyue

(Faculty of Physics and Electronic Technology, Hubei University, Wuhan, Hubei 430062)

Abstract: The half-life method is usually used to measure the viscous damping constant during the damping vibration experiment of spring on air track, while the half-life is usually determined by the naked eyes to determine the half-point and the use of manual control of electronic stopwatch to measure, this method is not only error and large not easy to operate. In this paper, we use the smartphone sensor and SPARKvue software to measure the viscous damping constant by plotting the "acceleration-time" image of the spring vibrator, which not only improves the experimental precision but also enhances the operability of the experiment.

Key words: damping vibration; viscous damping constant; smart phone; SPARKvue