

基于 Phyphox 的气垫导轨上阻尼振动的研究^{*}

程文睿 丁益民 邹兆轩 刘沁 苏鹏

(湖北大学物理学院 湖北 武汉 430062)

(收稿日期:2023-05-15)

摘要:传统的阻尼振动实验中,人们需要靠肉眼观测,用电子秒表记录半衰期,才能求出对数减缩等一系列关键数据.然而,肉眼观测和电子秒表记录必然带来较大的偶然误差.本实验中我们利用 Phyphox 深度传感器对整个阻尼振动过程进行测量,可以直接呈现振动物体的位移与时间关系图像,进而得到每个周期的振幅和半衰期的数据,该方法在一定程度上提高了实验精度.

关键词:Phyphox;深度传感器;阻尼振动

气垫导轨上阻尼振动的研究是大学物理中常见的实验.其改进实验也有很多,例如用 DIS 位移传感器研究气垫导轨上的阻尼振动^[1].利用 Tracker 软件分析气垫导轨上弹簧振子的阻尼振动也是火热的研究方向^[2].同时,也出现了改进光电门和改进实验方法思路的研究^[3].

近几年,随着科技的发展,智能手机对实验改进的帮助越来越大^[4].本实验选用手机软件 Phyphox 的深度传感器对该实验进行了改进.在本实验之前,已经出现了 Phyphox 外接深度传感器进行实验的方法^[5].与之相比,本实验方法的优点是采用了 Phyphox 自带的深度传感器,所以操作起来更加简单方便,且不会有兼容性问题,缺点则是测量精度是确定的,不能更换精度更高的外置传感器,但是在实验中证明目前的精度已经比较高了,能够满足实验需要.与传统实验方法相比,本实验方法的优点在于:

(1) 可以得到阻尼振动中谐振子完整的运动图像,更加直观,可视化程度高;

(2) 用几乎人人都有手机或者平板来代替光电门也能得到周期数据,而且也可以得到半衰期时间数据;

(3) 减少了传统方法用肉眼观测半衰期所带来的误差,而且操作简单,测量结果精确度高.

1 实验原理

1.1 阻尼振动相关数据的测量

本实验的阻尼谐振子由气垫导轨上的滑块和一对相同规格的弹簧组成.将气垫导轨通气后,滑块会在弹簧回复力和黏性阻力的共同作用下做阻尼振动.气垫导轨上由滑块和一对弹簧组成的振动系统,在弹性力 κx 和阻尼力 $F_{\text{阻}}$ 作用下,滑块的运动方程为

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

式中 b 为黏性阻尼常量, m 为滑块质量.令 $2\delta = \frac{b}{m}$, $\omega_0^2 = \frac{\kappa}{m}$, 其中常数 δ 为阻尼因数, ω_0 为振动系统的固有频率,则式(1)可改为

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

经过推导计算可知

$$\Lambda = \ln \frac{A_0 e^{-\delta t}}{A_0 e^{-\delta(t+T)}} = \delta T \quad (3)$$

阻尼因数 δ 的相关公式为

$$\delta = \frac{b}{2m} \quad (4)$$

对数减缩 Λ 是描述阻尼振动中谐振子振幅衰减特性的参数.将式(4)代入式(3),得

^{*} 湖北省教育科学规划课题资助,课题编号:2020ZB35.

作者简介:程文睿(1995-),男,硕士,主要从事物理课程与教学论方面的研究.

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

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

测出对数减缩 Δ , 就能求得阻尼因数 δ 和黏性阻尼常量 b .

半衰期法是指阻尼振动的振幅从初值 A_0 减到

$\frac{A_0}{2}$ 时所经历的时间, 记为 T_h , 则

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

联立式(3)和式(6)可得

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

传统的实验测量方法半衰期法, 是通过肉眼观测振幅衰减到一半的位置, 用电子秒表记录半衰期 T_h 和周期 T , 利用电子天平测量出谐振子的总质量 m , 从而计算阻尼振动的对数减缩 Δ 和黏性阻尼常量 b ^[6].

1.2 利用 Phyphox 软件测量阻尼振动的对数减缩

Phyphox 是一款物理实验手机软件, 可以在手机或者平板上使用. 这个工具根据手机的运动情况和周围环境进行相应的数据测量. 由于传感器的种类繁多, 因此通过巧妙的设计, 就可以应用于力学、声学、电磁学和光学等多种实验. 因为手机和平板现在几乎人人都有, 所以利用该软件进行物理实验的推广价值较高.

本实验中我们主要利用了该软件的 depth sensor(深度传感器)功能, 可以得出谐振子的每一个周期的振幅和位移与时间关系图像. 因此可以得到初始的双振幅数据, 将其除以 2, 再在图像中找到最接近半衰期时的位置, 即振幅衰减为初始振幅一半时的时间位置, 从而获得半衰期的时间数据 T_h . 通过图像, 我们也能得到 $10T$, 从而算出周期 T . 该方法跳过了传统方法中的肉眼观测和电子秒表记录这一步骤, 减小了误差. 通过实际实验发现, iPad 在使用 Phyphox 深度传感器时比起手机操作更容易, 精度更高, 所以本实验用 iPad 进行测量.

2 实验仪器及实验方案

2.1 利用 Phyphox 软件测量阻尼振动的对数减缩

基于 Phyphox 软件的阻尼振动实验装置如图 1 所示, 实验的器材有 iPad(安装 Phyphox 应用程序)、连接到气泵的气垫导轨、铜片、滑块、电子天平、

双面胶等.

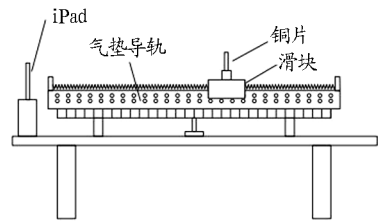


图 1 基于 Phyphox 软件的阻尼振动实验装置示意图

2.2 实验方案

(1) 打开气源, 利用静态或动态调整法将气垫导轨调整至水平状态;

(2) 将铜片通过双面胶安装在滑块上方, 使其垂直于水平面;

(3) 在气垫导轨上安装弹簧振子系统, 在气垫导轨一端的外侧竖立放置 iPad, 使其摄像头对准滑块上的铜片位置;

(4) 打开 iPad 中 Phyphox 软件的 depth sensor(深度传感器)功能, 测量阻尼振动过程中铜片与 iPad 间的深度变化, 测量出滑块每个周期的振幅 A ;

(5) 在 Phyphox 软件上获取数据, 通过数据处理获得半衰期的时间数据 T_h , 同时在图像中找到连续振动 10 次的周期 $10T$;

(6) 测量谐振子的总质量 m ;

(7) 计算阻尼振动的对数减缩 Δ 、黏性阻尼常量 b 和它的不确定度.

3 实验数据记录及处理

利用 Phyphox 软件可以得到如图 2 所示的位移-时间图像.

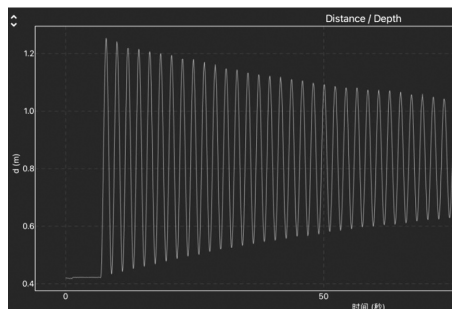


图 2 位移-时间图像

在 Phyphox 软件上获取数据并进行处理, 获得半衰期的时间数据 T_h . 同时在图像中找到连续振动 10 次的周期 $10T$, 并算出周期 T . 该数据如表 1 所示.

表1 利用 Phyphox 所得实验数据

实验	初始 $2A/m$	初始 $\frac{2A}{2}/m$	半衰期 $2A/m$	T_h/s	$10T/s$	T/s
1	0.823 6	0.411 8	0.411 9	64.51	21.148	2.114 8
2	0.833 1	0.416 6	0.418 9	65.51	21.148	2.114 8
3	0.829 6	0.414 8	0.412 0	65.45	21.148	2.114 8
4	0.836 1	0.418 1	0.418 8	65.58	21.148	2.114 8
5	0.823 5	0.411 8	0.414 5	65.51	21.148	2.114 8
6	0.826 7	0.413 4	0.415 5	65.45	21.148	2.114 8

由表1可以发现, $10T$ 的一致性非常好, 误差几乎为零, 说明该方法精度很高. 同时, 我们用电子天平测出质量 m 为 0.261 kg. 由表1数据得, $T_1 = 2.114 8$ s, $\Delta_1 = 0.022 4$.

由式(5)可算出 $b_1 = 5.54$ g/s, b_1 的 A 类不确定度为 0.01 g/s.

同样的实验器材, 用传统方法进行实验, 得到的数据如表2所示.

表2 传统方法所得实验数据

实验	T_h/s	$10T/s$	T/s
1	59.41	21.333	2.113 3
2	59.56	21.333	2.113 3
3	59.51	21.333	2.113 3
4	57.15	21.335	2.113 5
5	59.41	21.338	2.113 8
6	61.90	21.338	2.113 8

由表2数据得, $T_2 = 2.113 5$ s, $\Delta_2 = 0.024 6$.

由式(5)可算出 $b_2 = 6.08$ g/s, b_2 的 A 类不确定度为 0.06 g/s.

通过比较新的方法和传统方法的实验数据, 发现两者测得的数据基本保持一致, 证明该创新方法可行; 改进后的 A 类不确定度 0.01 g/s 明显小于相同测量条件下传统方法的不确定度, 表明改进后的实验结果可信度更高.

4 结论

如今, 用手机软件改进气垫导轨上阻尼振动实验已并不少见, 但多为测量加速度-时间图像, 或者是需要额外装置和软件才能得到位移-时间图像, 而本实验采用 Phyphox 的深度传感器能直接得到位移-时间图像. 同时, 本实验方法求得的 b 还具有较高精确度. Phyphox 的深度传感器在其他实验中的应用还有待进一步探索.

参考文献

- [1] 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[J]. 物理实验, 2011, 31(10): 26-28.
- [2] 郭雪如, 丁益民, 徐瑶, 等. 基于 Tracker 软件研究竖直方向阻尼振动的居家实验[J]. 物理通报, 2021(3): 103-104.
- [3] 李啸越, 胡琦珩, 冯一帆, 等. 巧用光电门改进阻尼振动实验[J]. 大学物理实验, 2017, 30(3): 99-101.
- [4] 胡琦珩, 丁益民, 李正天, 等. 利用智能手机研究气垫导轨上的阻尼振动[J]. 物理通报, 2017(7): 70-72.
- [5] 陈剑峰. 基于 ESP32 与 Phyphox 的多功能振动实验装置的设计与实验[J]. 物理教师, 2022, 43(8): 49-51.
- [6] 丁益民, 徐杨子. 大学物理实验: 基础与综合部分[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 75-78.

Research on the Damping Vibration on Air Track Based on Phyphox

CHENG Wenrui DING Yimin ZOU Zhaoxuan LIU Qin SU Peng

(School of Physics, Hubei University, Wuhan, Hubei 430062)

Abstract: In the traditional damped vibration experiment, people need to observe with the naked eye and record the half-life with an electronic stopwatch to obtain a series of key data such as logarithmic reduction. However, naked eye observation and electronic stopwatch recording will inevitably bring large accidental errors. In this experiment, we use the Phyphox depth sensor to measure the whole damping vibration process, which can directly present the displacement and time relationship image of the vibrating object, and then obtain the amplitude and half-life data of each period. This method improves the accuracy of the experiment to a certain extent.

Key words: Phyphox; depth sensor; damp vibration