

利用智能手机研究弹簧振子简谐运动规律^{*}

张金波

(扬州大学物理科学与技术学院 江苏 扬州 225009)

王霖

(燕山大学材料科学与工程学院 河北 秦皇岛 066004)

徐秀莲 赵新丽

(扬州大学物理科学与技术学院 江苏 扬州 225009)

(收稿日期:2023-06-20)

摘要:智能手机拥有普及度高、便于携带、传感器种类丰富、功能强大等特点,这些特点使得智能手机可以运用在实验教学中.基于传统的简谐运动实验方法,利用Phyphox软件设计并进行了基于智能手机的横向振动、弹簧串并联振动的实验,测量弹簧劲度系数及其串并联规律.

关键词:手机物理工坊;物理实验;智能手机

1 研究背景

信息技术的发展在辅助物理实验教学的过程中起到了非常关键的作用,例如,在一些物理现象难以测量或发现时,学生可以利用信息技术手段获取更直观的实验数据或现象,这让学生更加直观、便捷地参与到实验过程中^[1].目前广泛应用于物理信息化实验教学的实验仪器DIS传感器,可以测量采集多种物理量,如距离、位移、力、速度、温度、压强、电压、电流,并将其转换为电信号输送给计算机,许多难度较高的实验都需要通过DIS传感器完成.虽然DIS传感器在物理实验教学中已经得到广泛运用,但是DIS传感器的价格十分昂贵,即使是高校也不能做到广泛普及,并且学生基本无法利用DIS传感器自己开发完成实验.随着信息科技的发展,手机已经成为我们生活的必需品,但每当提起手机,除了其基本的通讯功能外,大部分人却只将它视为一个娱乐产品、消费平台,这一现象在学生群体中尤为明显,大量的小说、视频、游戏软件充斥在学生的视野里,手机主宰控制学生的行动,使得学生沉迷于手机网络,成为手机的“傀儡”,手机俨然成为影响学生学习成绩、影响身心健康的“罪魁祸首”,所以家长及教师严格控制学生对手机的使用.但殊不知,手机强大的

娱乐功能正是由其强大的传感器功能得以实现的.在手机普及度和使用率如此高的今天,只要对学生善加引导,积极辅导,利用手机强大的传感器功能来为枯燥无趣的文字学习提供帮助,便能使影响学习的玩具变成获取知识的好帮手,让学生摆脱手机游戏,真正成为手机的主人,让手机服务于自己的学习.

Phyphox是德国亚琛工业大学研发的一款手机应用,它充分发掘智能手机丰富强大的传感器功能,囊括了电磁、压力、声音、光照、加速度等各方面传感器,使手机成为了一个移动物理实验室^[1-3].Phyphox的功能非常完善,它在进行物理量测量的同时计算数据,将结果以图形或数字的形式直观呈现在使用者面前,直接反映物理现象,并且可以和多个电脑程序进行交互,将数据直接转换成Excel表格或者绘图格式导出,电脑或者其他终端也可对其进行远程、定时控制,它也有自己的数据文件保存格式,可以随时保存进行中的实验状态,方便物理工作者核对实验信息^[4-6].比如在多普勒效应实验中,学生需要使用声音发生器、示波器等设备开展实验,实验数据也需要通过手工描绘示波器的波形来进行记录,在这些过程中难免会有人为的误差影响实验结果,这让实验在教学效果上不尽如人意,利用智能手

^{*} 扬州大学教改项目“‘四新’背景下《大学物理实验》课程体系教育改革与实践”,项目编号:YZUJX2021-A3.

机进行实验,引入新的观测、记录方法让此类问题迎刃而解.基于传感器的手机软件应用能够在测量实验的同时采集、记录并高效处理数据,将数据以图形或数字的形式直观地呈现在学生面前,帮助学生更直观地感受、观测物理现象,加深对知识的印象. Phyphox 还有一大优点,就是开放源码,它允许物理工作者自主开发手机的传感器功能并设计对应的物理实验模型,这为学生及教师自行设计全新的实验创造了契机.

本文基于传统的简谐运动实验方法,利用智能手机传感器和 Phyphox 软件,设计并进行了弹簧劲度系数测量实验案例,供实验教师参考.

2 弹簧振子简谐运动与胡克定律的探究实验设计

2.1 实验原理

在传统的实验教学中,利用弹簧振子进行横向简谐运动的实验大部分是在气垫导轨上进行的^[3],并且其周期的测量还需要使用光电门、数字秒表等实验设备,整个实验过程较为繁琐,若使用装有 Phyphox 的手机代替弹簧振子进行横向简谐运动实验,将大大简化实验的整体流程,并且所使用的实验器材也会减少,仅仅需要弹簧组与铁架台,实验装置如图 1 所示.

我们将手机视为弹簧振子,竖直方向用细绳悬挂于铁架台上,水平方向用固定在杆上的两个劲度系数都为 κ 的弹簧分别连接手机,如图 1(a) 所示.手机的中心位置为坐标原点 O ,此时设两根弹簧距离平衡位置的伸长量都为 x_0 ,以水平向右为 x 轴的正方向,将手机沿水平方向向某一侧拉动很小一段距离 x ,则此时手机在水平方向上所受到的力分别为

$$F_1 = -\kappa(x + x_0) \quad F_2 = -\kappa(x - x_0)$$

根据牛顿第二定律有

$$-\kappa(x + x_0) - \kappa(x - x_0) = m \frac{d^2 x}{dt^2}$$

$$\text{令} \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{2\kappa}{m}}$$

则有

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0$$

由上式可知弹簧振子在水平方向上的运动为简谐运动,而根据简谐运动 T 与 ω_0 的关系,则可以得到

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{2\kappa}}$$

即

$$\kappa = \frac{2\pi^2 m}{T^2} \quad (1)$$

只要能测量出弹簧振子简谐运动的周期 T ,就能得出弹簧的劲度系数 κ .为了比较实验的可行性,我们通过竖直方向上悬挂手机,根据弹簧的伸长量来计算弹簧的劲度系数,对比两组结果来验证利用水平弹簧振子简谐运动测量弹簧劲度系数的可行性,实验装置如图 1(b) 所示.

除此之外,还可以在竖直方向上利用两根弹簧来探究弹簧在串联和并联后弹簧组的总劲度系数的变化规律,实验装置如图 1(c) 和图 1(d) 所示.

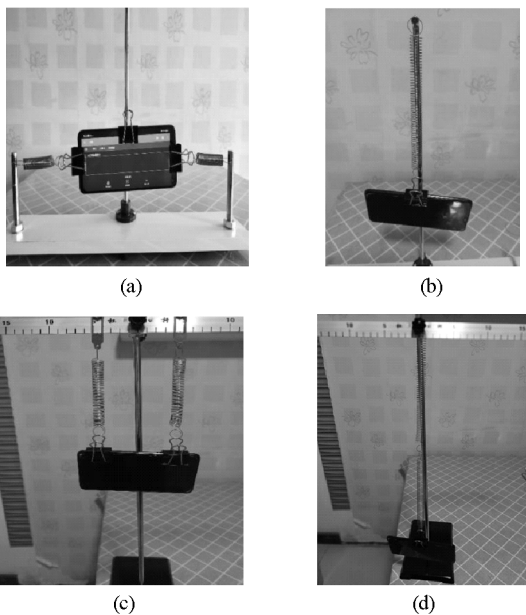


图 1 弹簧振子简谐运动探究实验装置图

当手机在竖直方向上运动时,如图 1(b) 所示,设处于平衡位置时弹簧的伸长量为 x_0 ,以弹簧与铁架台的固定点为坐标原点 O ,以竖直向下为 x 轴正方向,此时手机的受力为

$$mg = \kappa x_0$$

沿重力方向拉动手手机产生位移 x ,根据牛顿第二定律有

$$mg - \kappa(x + x_0) = m \frac{d^2 x}{dt^2}$$

即

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{\kappa}{m} x = 0$$

令

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{\kappa}{m}}$$

所以弹簧振子在竖直方向上的运动依然为简谐运动,并且其弹簧劲度系数 κ 的表达形式为

$$\kappa = \frac{4\pi^2 m}{T^2} \quad (2)$$

当两根弹簧并联时,设两根弹簧的共同伸长量为 y ,劲度系数为 κ_1 与 κ_2 ,根据胡克定律,可得到

$$\kappa_{\text{总}} = \kappa_1 + \kappa_2 \quad (3)$$

当两根弹簧串联时,设两根弹簧的各自伸长量为 y_1 和 y_2 ,由于弹簧串联,所以两根弹簧所受力都为弹力 F ,根据胡克定律,可得到

$$\frac{1}{\kappa_{\text{总}}} = \frac{1}{\kappa_1} + \frac{1}{\kappa_2} \quad (4)$$

2.2 实验内容与实验步骤

第一部分:弹簧横向振动劲度系数的测量

(1) 用电子秤称量手机重量(若没有电子秤可以通过手机说明书查询手机重量);

(2) 如图1(a)所示搭构铁架台,使用夹子将弹簧和手机连接起来,需要尽量保持手机中心与弹簧处在同一水平线上;

(3) 将手机沿水平某一方向拉动至某一位置,启动 Phyphox 的弹簧功能,自然释放手机,记录弹簧简谐运动的数据,将数据制成 Excel 格式并进行后续处理;

(4) 把两根弹簧拆下,将其中一根弹簧竖直地挂在铁架台上,标记它自然状态下的长度 x_0 ,将手机悬挂在弹簧上,标记弹簧的长度 x_1 ;

(5) 利用式(1)计算弹簧的劲度系数,并与竖直方向振动中得到的劲度系数对比;

(6) 重复实验.

第二部分:弹簧串、并联劲度系数的测量

(1) 将铁架台的顶端装上杠杆尺,如图1(c)所示,将两根弹簧分别挂在杠杆尺的两端,制成并联弹簧组,将手机竖直拉动,启动 Phyphox 软件的弹簧功能,自然释放手机,记录弹簧简谐运动的数据,将数据制成 Excel 格式并进行后续处理;

(2) 将两根弹簧取下,在杠杆尺的中点处串联悬挂,如图1(d)所示,组成串联弹簧组,将手机竖直拉动,启动 Phyphox 软件的弹簧功能,自然释放手机,记录弹簧简谐运动的数据,将数据制成 Excel 格式并进行后续处理;

(3) 用两组数据计算弹簧组劲度系数,判断两

个弹簧组的劲度系数是否符合弹簧串、并联的劲度系数变化规律;

(4) 重复实验.

2.3 注意事项

(1) 手机中心和弹簧一定要尽量保持在同一水平线上,否则手机竖直方向上的受力将会极大影响实验结果;

(2) 弹簧一定要完好地固定在铁架台两端,以免拉动弹簧时弹簧脱落回弹造成受伤;

(3) 塑料夹或者燕尾夹的夹力需适中,避免发生夹子夹力太轻在实验过程中与手机分离或夹力太大导致手机受损的情况发生;

(4) 因为能量损耗,实验时间不易过长,减少空气阻力、摩擦力等因素对实验的误差,但实验时间也不能过短,导致手机的运动周期无法确定;

(5) 选择劲度系数适合的弹簧(劲度系数 $5 \sim 20 \text{ N/m}$);

(6) 在进行弹簧的并联实验时,两根弹簧需要持续保持竖直状态,否则将会影响手机的受力,导致实验结果无效.

2.4 实验结果与误差分析

第一部分:弹簧劲度系数的测量

经电子秤称量,笔者实验所用手机的质量 $m = 0.196 \text{ kg}$.图2为实验中手机简谐运动时所测量到的加速度数据图像,可以看出其近似为一条正弦曲线,符合简谐运动加速度运动规律.

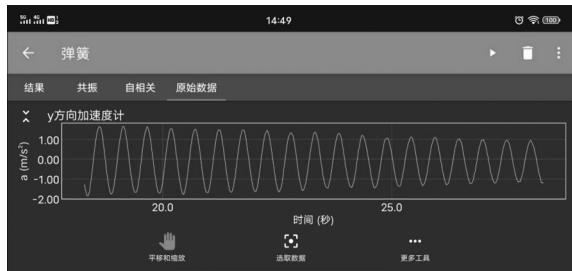


图2 手机上实验数据的截图

在实验结束后,将整个实验数据制成 Excel 格式并导出至电脑,对其进行函数图形处理,简谐运动图像如图3所示.由手机测量结果图4知其运动的周期 $T = 0.58 \text{ s}$,将手机质量及振动周期代入式(1),可以计算求得本次实验中弹簧的劲度系数为

$$\kappa = \frac{2\pi^2 \times 0.196}{0.58^2} \text{ N/m} = 11.50 \text{ N/m}$$

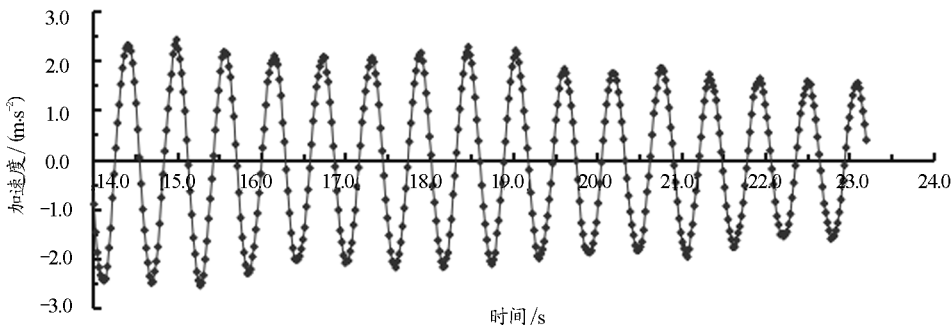


图3 电脑进行数据处理的函数图像



图4 手机简谐运动的周期和频率

对于竖直方向简谐振动时,计算得到挂上手机后弹簧伸长量 $\Delta x = 0.191 \text{ m}$,根据胡克定律,通过 $mg = \kappa \Delta x$ 求得弹簧的劲度系数 $\kappa_0 = 10.26 \text{ N/m}$,百分误差为 12%。

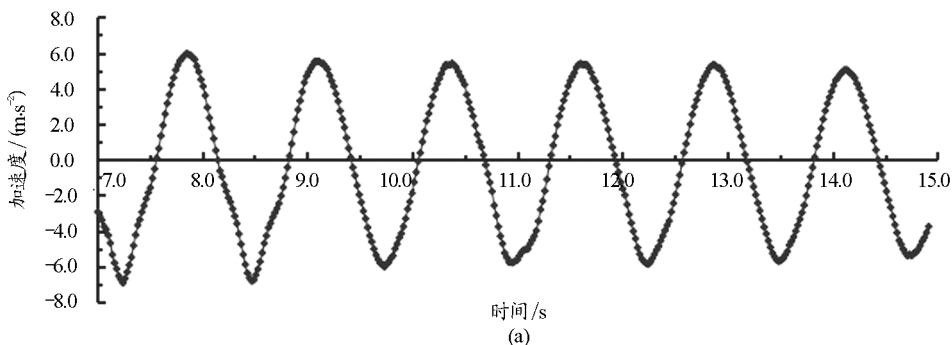


图5 弹簧串联时手机简谐运动的加速度图像及周期



(b)

当两根弹簧并联时,产生的简谐运动图像及周期如图6所示。本次简谐运动的周期 $T_2 = 0.64 \text{ s}$,则由式(2)可得,并联弹簧组的实测劲度系数

$$\kappa_{\text{并测}} = \frac{4\pi^2 \times 0.196}{0.64^2} \text{ N/m} = 18.90 \text{ N/m}$$

由式(3)可得并联弹簧组的理论劲度系数为

$$\kappa_{\text{并理}} = 20.52 \text{ N/m}$$

百分误差为 7.9%。

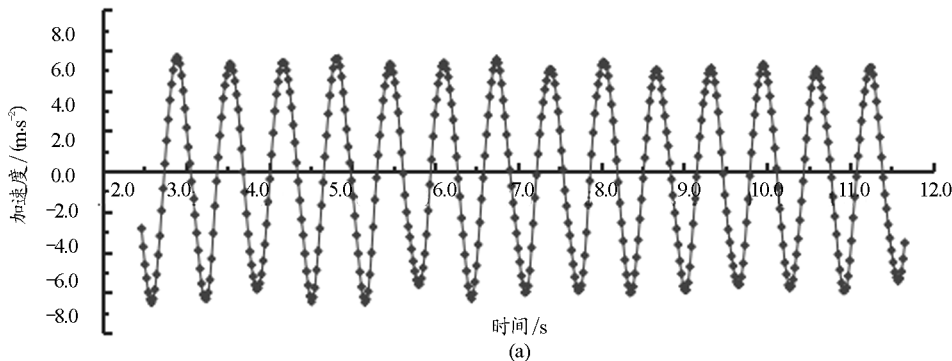


图6 弹簧并联时手机简谐运动的加速度图像及周期



(b)

综上实验结果可以看到,单个弹簧、两个弹簧串联及并联,实测的劲度系数的百分误差分别为12%、3.5%和7.9%。实验结果存在着一定的误差,分析原因主要有手机位置的放置、弹簧位置放置及周围环境等因素的影响,后续还需要对实验操作及装置进一步改进。希望在以后的工作实践中与学生共同完善修改实验方法,为教学突发情况、为信息化物理教学模式的改革提供力所能及的帮助。

3 总结

运用智能手机进行实验,打破学生对于手机的传统认知,加强学生利用手机进行学习的观念,增加了实验的趣味性,激发了学生自己动手探究物理知识的兴趣,促进学生自主探究的积极性,打破传统实验的时间、空间限制,拓展了物理实验教学的灵活性。总之,将智能手机融入物理实验教学中这一新兴

(上接第91页)

题任务:在图3中为自己或他人挑选1双能有最佳运动表现的篮球鞋。

在实际教学中,首先让学生在左边3双和右边3双中作选择,绝大部分学生选择的是左边3双中的1双,也能够从接触面的粗糙程度角度给出合理解释。左边3双依次是国产品牌李宁、安踏、匹克,右边3双依次是国外品牌阿迪达斯、乔丹、安德玛,让学生感受到中国制造的优秀之处,渗透爱国主义文化教育。

接下来请班级体重较大的学生,结合学科知识,学以致用地解释一下自己的鞋底为何容易磨损,将学科知识与生活实际相联系,关注学生的体验、感悟与实践。

最后让学生发散思考,鞋子的哪些设计是增大摩擦力,有没有鞋子是为了减小摩擦力而设计的,它采用了什么方法。

3 教学反思

本节课以球鞋的挑选为情境主线,从初步认识

实验方法为物理教学模式的改革提供了新思路。

参考文献

- [1] J A Sans, F J Manjón, A L J Pereira, J A Gomez-Tejedor, J A Monsoriu. Oscillations studied with the smartphone ambient light sensor[J]. *European Journal of Physics*, 2013, 34(6).
- [2] 徐钱欣, 丁益民, 范兵, 等. 利用智能手机测物体转动惯量的居家DIY实验[J]. *物理与工程*, 2020, 30(6): 95-99.
- [3] 李立民, 张勇. 用智能手机研究弹簧振子的横向简谐运动[J]. *湖南中学物理*, 2020, 35(7): 51-52, 23.
- [4] 赖桂琴. 智能手机在中学物理实验教学中的研究[D]. 汉中: 陕西理工大学, 2020.
- [5] 刘伟龙, 赵海发, 李俊庆, 等. “真做实测, 寓教于乐”的居家DIY物理实验教学设计、实践与启示[J]. *物理实验*, 2020, 40(11): 28-34, 40.
- [6] 蒋国. 基于移动学习的物理课堂教学研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2020.

摩擦力,到模拟鞋子磨损,再到探究滑动摩擦力影响因素等,侧重从“问题”“证据”“解释”3个要素构思,通过一系列的问题设计,由浅入深,环环相扣,不断加深学生对于滑动摩擦力的理解。

由情境任务的创设,将相对碎片化与孤立化的教学内容,进行有效串联组织,驱动学生主动思考,让学生对学习的内容形成结构化与系统化的认识,收到了不错的教学效果。

基于真实问题情境驱动下的物理教学,可激发学生学习的兴趣,引导学生从生活走向物理,在问题情境中探索与发现知识,掌握技能,发展物理学科核心素养,是今后初中物理教学值得研究与探讨的方向。

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 义务教育物理课程标准(2022年版)[S]. 北京: 北京师范大学出版社, 2022.
- [2] 邢红军. 初中物理高端备课[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014: 6-10.
- [3] 李刚. 科学探究中“控制变量法”的教学策略[J]. *物理教师*, 2022(12): 43-46.
- [4] 刘炳升, 李容. 义务教育课程标准实验物理八年级下册[M]. 南京: 江苏科技出版社, 2022: 53-56.