

文章编号:1005-4642(2020)03-0055-05



基础教育

## 利用智能手机测量弹簧劲度系数与重力加速度

林奕晖,李德安

(华南师范大学物理与电信工程学院,广东 广州 510006)

**摘要:**利用智能手机中多种传感器进行竖直方向弹簧振子实验.在振子上安装自制光源或弱小轻磁铁,将手机水平放置在弹簧振子正下方,利用手机光线传感器软件或磁传感器软件得到弹簧振子做简谐运动时手机所在位置的光强或磁场强度变化图像.通过分析简谐运动光强或磁场强度变化图像可分别得出弹簧的劲度系数与当地重力加速度.

**关键词:**简谐运动;弹簧劲度系数;重力加速度;智能手机

中图分类号:G633.7

文献标识码:A

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2020.03.012

随着信息时代的发展,智能手机的普及率越来越广,其自带的各种传感器(如光线传感器、磁传感器、压力传感器等)的灵敏度、实用性越来越高<sup>[1-3]</sup>.故利用智能手机传感器进行物理实验的设计与探究近年来成为普遍的趋势,越来越多的物理教师利用智能手机传感器进行实验<sup>[4-6]</sup>,从而更好进行物理教学,帮助学生更好地理解物理现象与物理规律.例如,利用手机线性加速度传感器采集运动物体的加速度计算摩擦系数<sup>[7]</sup>,利用手机角加速度传感器采集做圆周运动物体的角加速度研究角加速度与角速度的关系,利用手机压力传感器采集不同高度的空气压力探究大气压与高度之间的关系<sup>[8]</sup>.

本文利用智能手机传感器软件(Phyphox<sup>[9]</sup>)针对竖直方向的弹簧振子系统进行实验,利用手机光线传感器和磁传感器可得到弹簧振子系统进行简谐运动<sup>[10]</sup>时手机所在位置光强或磁场强度的变化图像.通过对图像进行分析得到简谐运动的规律,利用 Matlab 软件对图像进行深入分析可测量弹簧的劲度系数与重力加速度.

### 1 实验原理

当弹簧振子竖直放置时,给弹簧振子较小的初始振幅,弹簧振子可做简谐运动.有质量的弹簧做简谐运动时,其固有周期为

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m + \frac{M}{3}}{k}}, \quad (1)$$

式中, $T$ 为弹簧振子做简谐运动时的周期, $m$ 为振子的质量, $M$ 为弹簧的质量, $k$ 为弹簧的劲度系数.式(1)可得

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{k} \left( m + \frac{M}{3} \right). \quad (2)$$

由式(2)可以看出在简谐运动中, $T^2$ 与  $m + \frac{M}{3}$  成线性关系,斜率  $b = \frac{4\pi^2}{k}$ .因此只要求出  $T^2$  与  $m + \frac{M}{3}$  的斜率则可以求出弹簧的劲度系数  $k$ .

当勾码挂于竖直弹簧下方并处于静止时,由牛顿第三定律与胡克定律可得

$$mg = kx, \quad (3)$$

式中, $m$ 为振子的质量, $g$ 为重力加速度, $k$ 为弹簧的劲度系数, $x$ 为弹簧的伸长量,由此可得重力加速度  $g$  与弹簧的伸长量  $x$  及振子的质量  $m$  的关系为

$$g = \frac{x}{m} k. \quad (4)$$

将由式(2)算得的弹簧劲度系数  $k$  代入式(4)中,求出斜率  $c = \frac{x}{m}$ ,则可以算得当地的重力加速

收稿日期:2019-11-29

作者简介:林奕晖(1997—),女,广东揭东人,华南师范大学物理与电信工程学院2019级研究生,研究方向为学科教学(物理).

通讯作者:李德安(1974—),男,广东五华人,华南师范大学物理与电信工程学院副教授,硕士,研究方向为中学物理实验教学.



度. 由式(2)和式(4)可以看出, 可以利用 Phyphox 手机传感器软件进行数据的采集, 对数据进行处理与分析可得出弹簧简谐运动周期  $T$ , 利用 Matlab 软件对  $T^2$  与  $m + \frac{M}{3}$  进行线性回归拟合, 再对弹簧的伸长量  $x$  与振子质量  $m$  进行拟合, 则可以求出弹簧劲度系数  $k$  与重力加速度  $g$ .

在本实验中, 当弹簧振子发生改变时, 弹簧振子简谐运动的周期会随之变化. 利用手机光线传感器 (Phyphox-light) 手机磁传感器 (Phyphox-magnetometer) 分别进行多次数据采集, 对图像进行分析并用 Matlab 软件对  $T^2$  与  $m + \frac{M}{3}$ ,  $x$  与  $m$  进行最小二乘法拟合出斜率, 就可以求出弹簧劲度系数与当地重力加速度.

## 2 实验装置

实验装置如图 1 所示, 在铁架台顶端挂上弹簧并在其下方挂上钩码, 钩码的下方安装自制的光源(或轻小弱磁铁), 在弹簧的正下方放置智能手机, 手机传感器可以采集光强与磁场强度实时变化的数据并输出实时图像.



图 1 实验装置图

## 3 实验内容

利用 2 种不同的传感器分别对相同的研究对象进行探究, 再将实验结果与理论值进行比较从而验证 2 种实验方法的可行性与结果的精确性.

### 3.1 利用光线传感器测弹簧劲度系数和重力加速度

1) 利用天平测出弹簧的质量  $M$ 、初始振子(包括钩码与自制光源)的质量  $m_1$ , 将弹簧竖直放置, 测出弹簧原长  $L_0$ .

2) 在弹簧下方挂初始振子, 测出此时弹簧的长度  $L$ (如图 2 所示).

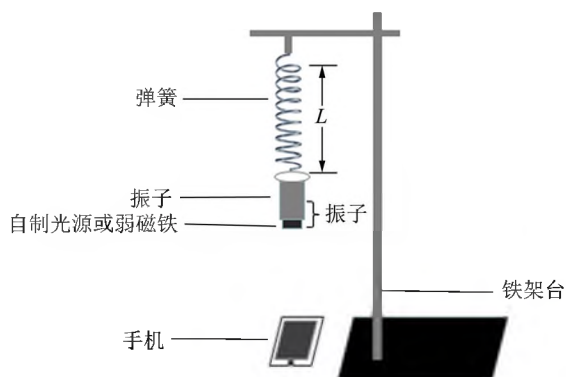


图 2 实验原理图

3) 在手机上打开光线传感器软件 (Phyphox-light), 接入电脑按下运行按钮; 打开自制光源, 给弹簧  $0.01 \text{ m}$  的振幅, 使弹簧做简谐运动, 此时光线传感器记录的光强变化周期则为弹簧的振动周期  $T_1$ .

4) 改变振子质量为  $m_2$  和  $m_3$ , 重复步骤 3) 进行实验与数据采集, 如图 3(a) 所示, 则可以得到对应的振动周期  $T_2$  和  $T_3$ .

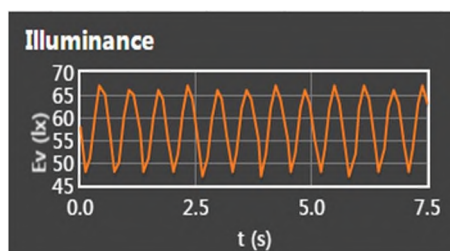
### 3.2 利用磁传感器测弹簧劲度系数和重力加速度

1) 利用天平测出弹簧的质量  $M$ 、初始振子(包括钩码与弱磁铁)的质量  $m_1$ , 将弹簧竖直放置, 测出弹簧原长  $L_0$ .

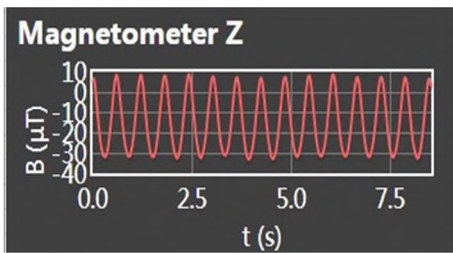
2) 在弹簧下方挂上初始振子, 测出此时弹簧的长度  $L$ (如图 2 所示).

3) 在手机上打开磁传感器软件 (Phyphox-magnetometer), 接入电脑按下运行按钮; 给弹簧  $0.01 \text{ m}$  振幅, 使弹簧做简谐运动, 此时磁传感器记录的  $z$  方向上的磁场强度变化周期则为弹簧的振动周期  $T_1$ .

4) 改变振子质量为  $m_2$  和  $m_3$ , 重复步骤 3) 进行实验与数据采集, 如图 3(b) 所示, 则可以得到对应的振动周期  $T_2$  和  $T_3$ , 如图 3 所示.



(a) 光强变化数据采集图



(b) 磁场强度变化数据采集图  
图 3 光强与磁场强度数据采集图

### 4 数据处理

利用手机传感器 Phypox-light 软件与 Phypox-magnetometer 软件得到弹簧简谐运动的周期,对所得图像分析,同时利用 Matlab 软件对数据进行处理,可计算弹簧劲度系数与当地重力加速度. 分别利用手机光线传感器与手机磁传感器采集所得数据见表 1 和表 2.

表 1 利用光线传感器研究弹簧简谐运动实验数据记录表

M/kg	m/kg	x/m	10 T <sub>测</sub> /s	T/s	T <sup>2</sup> /s
0.022	0.207	0.073 9	6.103 96	0.610 396	0.372 583
	0.227	0.081 6	6.338 97	0.633 897	0.401 826
	0.237	0.084 1	6.453 27	0.645 327	0.416 447
	0.257	0.091 1	6.655 10	0.665 510	0.442 904
	0.277	0.098 8	6.874 61	0.687 461	0.472 603

表 2 利用磁传感器研究弹簧简谐运动实验数据记录表

M/kg	m/kg	x/m	10 T <sub>测</sub> /s	T/s	T <sup>2</sup> /s
0.022	0.204	0.072 5	6.115 34	0.611 534	0.373 973
	0.224	0.080 9	6.349 90	0.634 990	0.403 216
	0.234	0.085 0	6.464 03	0.646 403	0.417 838
	0.254	0.090 1	6.675 23	0.667 523	0.445 587
	0.274	0.098 1	6.883 85	0.688 385	0.473 874

#### 4.1 弹簧劲度系数的计算

利用 Matlab 软件最小二乘法拟合  $T^2$  与  $(m + \frac{M}{3})$  实验数据,如图 4~5 所示. 从拟合结果可以得出,利用手机光线传感器采集数据拟合得直线斜率  $b = 0.704 9$ ,拟合相关系数为  $r = 0.996$ ,此时  $k_1 = 4\pi^2 b = 27.82 \text{ N/m}$ . 拟合直线斜

率不确定度<sup>[11]</sup>为  $u_{b1} = 0.012$ ,则此时弹簧劲度系数不确定度为  $u_{k1} = 0.46 \text{ N/m}$ . 故利用手机传感器进行实验的所得弹簧劲度系数  $k_1 = (27.82 \pm 0.46) \text{ N/m}$ . 弹簧劲度系数厂家值为  $k = 27.7 \text{ N/m}$ ,则  $k_1$  的计算最佳估值与厂家值的相对偏差为  $E_r = 0.43\%$ .

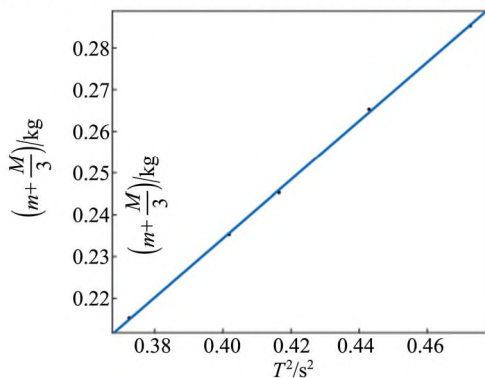


图 4 利用光线传感器采集弹簧振动  $T^2$  与  $(m + \frac{M}{3})$  的线性拟合

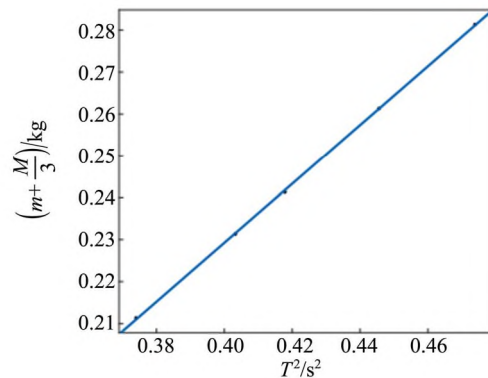


图 5 利用磁性传感器采集弹簧振动  $T^2$  与  $(m + \frac{M}{3})$  的线性拟合

同理,利用手机磁传感器采集数据并处理数据可得  $k_2 = (27.72 \pm 0.37) \text{ N/m}$ , 相对偏差为 0.07%.

比较上述利用 2 种手机传感器进行实验所得弹簧劲度系数结果可知,测量结果与理论值较为符合,因此无论是利用手机光传感器还是手机磁传感器测量弹簧的劲度系数都是可行的.

#### 4.2 重力加速度的计算

利用 Matlab 软件对数据  $x$  与  $m$  进行拟合,拟合结果如图 6~7 所示. 由  $x$  与  $m$  的拟合结果可以得出,利用手机光线传感器研究弹簧简谐运动时斜率  $c = 0.3503$ , 纵截距为 0.0015 可忽略不计,拟合相关系数为 0.9978, 计算得  $\mu_c = 0.0134$ , 则当地重力加速度  $g = ck_1 = 9.7453 \text{ m/s}^2$ , 其不确定度为  $\mu_g = k_1 \mu_k + c \mu_c = 0.47 \text{ m/s}^2$ . 故采用手机光线传感器进行实验测得当地重力加速度为  $g_1 = (9.75 \pm 0.47) \text{ m/s}^2$ , 广州本地重力加速度为  $g_{\text{广州}} = 9.784 \text{ m/s}^2$ , 则利用手机光线传感器测得重力加速度的相对偏差为 0.3%.

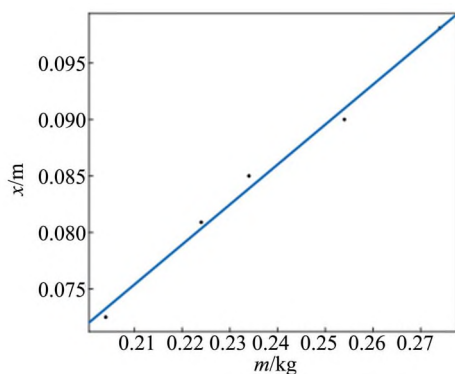


图 6 利用光线传感器采集弹簧简谐运动  $x$  与  $m$  的线性拟合

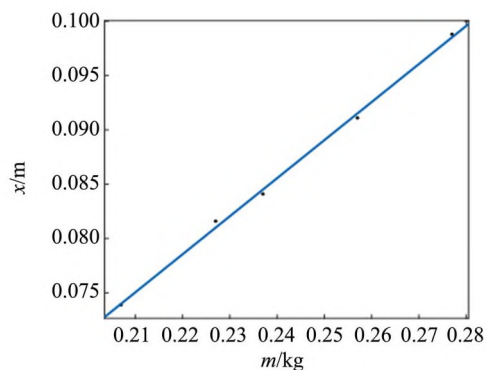


图 7 利用磁传感器采集弹簧简谐运动  $x$  与  $m$  的线性拟合

同理可得,利用磁传感器研究弹簧简谐运动时可得  $g_2 = (9.81 \pm 0.37) \text{ m/s}^2$ , 相对偏差为 0.02%.

比较所得结果与广州本地重力加速度理想值可知,实验结果与理想值较为吻合,因此无论是利用手机光线传感器还是利用手机磁传感器来测量重力加速度都是可行的.

#### 5 结束语

利用生活中普及率高的智能手机与教学中易得的器材对竖直方向弹簧振子的简谐运动进行探究,通过手机光线传感器获得的竖直方向弹簧振子作简谐运动的光强变化图像,手机磁传感器获得的竖直方向弹簧振子作简谐运动的磁场强度变化图像,得出弹簧劲度系数与重力加速度. 本研究利用多种手机传感器对同一物理量进行实验且皆得出与理想值符合度高的结果. 利用多种方法研究同一对象思想和方式可启发学生思考,培养学生的发散性思维与创造力. 相对于传统的实验方法,利用手机传感器进行实验存在以下优点:直观的图像可以使学生们更好地理解物理现象;手机传感器灵敏度、采集数据准确性高,手机快速采集多组;同时手机传感器相比数据采集器更加易操作、易获取、使用成本更低.

#### 参考文献:

- [1] 齐利萍,王栋轩,王静一. 传感器在智能手机中的应用及发展趋势[J]. 科技视界,2018(3):140-141.
- [2] 陈梓宁. 智能手机中传感技术的发展与应用[J]. 电子技术与软件工程,2016(21):106-108.
- [3] Dilek U, Kaya S. A new position sensor to analyze rolling motion using an iPhone [J]. Physics Education, 2019,54(4):043005.
- [4] 丁彦龙,马广平,付静,等. 利用手机加速度传感器探究加速度与力、质量的关系[J]. 物理实验,2019,39(9):61-63.
- [5] 刘利澜,练永宝,周少娜,等. 基于手机传感器的单摆实验研究[J]. 物理通报,2018(8):64-67.
- [6] Pili U, Violanda R. Measuring a spring constant with a smartphone magnetic field sensor [J]. The Physics Teacher, 2019,57:198-199.
- [7] Coban A, Erol M. Teaching and determination of kinetic friction coefficient using smartphones [J]. Physics Education, 2019(24):025019.
- [8] Monteiro M, Stari C, Cabeza C. Physics experiments

- using simultaneously more than one smartphone sensors [J]. *Physics Education*, 2019(15):05068.
- [9] Staacks S, Hütz S, Heinke H, et al. Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox [J]. *Physics Education*, 2018, 53(4):06239.
- [10] 张春斌,王妍琳,肖化,等. 利用手机加速度传感器探究竖直方向弹簧振子运动[J]. *大学物理*, 2015, 34(7):15-19.
- [11] 刘庆,邵志新. 回归分析的直线拟合不确定度探讨[J]. *中国测试*, 2009, 35(3):41-44.

## Measuring spring stiffness coefficient and gravity acceleration using smartphone

LIN Yi-hui, LI De-an

(School of Physics and Telecommunication Engineering,  
South China Normal University, Guangzhou 510006, China)

**Abstract:** A method of measuring spring stiffness coefficient and gravity acceleration using smartphone was developed. Placing smartphone below a harmonically oscillating spring attached with a light source or a magnet. Changes of the light intensity or the magnetic field intensity were recorded with the light or magnetic sensor of the smartphone. By analyzing the changes, the spring stiffness constant and the local gravity acceleration could be obtained respectively.

**Key words:** harmonic oscillation; spring stiffness coefficient; gravity acceleration; smartphone

[责任编辑:尹冬梅]

(上接 54 页)

### 参考文献:

- [1] Saad M A. Compressible fluid flow [D]. California: University of Santa Clara, 1985:501-514.
- [2] Speak G S, Walters D J. Optical considerations and limitations of the schlieren method [J]. *Aeronautical Research Council, R & M*, 1954, 2859:1-25.
- [3] Barden W A. Armed services technical information agency [J]. *Journal of the Association for Information Science & Technology*, 2010, 7(3):188-200.
- [4] Mazumdar A. Principles and techniques of schlieren imaging [D]. New York: Department of Computer Science Columbia University, 2013:1-6.
- [5] 赵凯华,钟熙华. 光学[M]. 北京:北京大学出版社,1982:284-359.
- [6] 母国光,战元令. 光学[M]. 北京:人民教育出版社,1978:260-297.

## Schlieren photography and density visualization

DONG Jia-hao, XU Qian, YU Zhi-jun, WANG Si-hui, ZHOU Hui-jun

(School of Physics, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** Schlieren photography was a method to measure subtle changes of the density of gas. Traditional schlieren photography was based on the refraction law in geometrical optics, relying on scaling relation between the gray levels of image and the deflection angle, which limited its application. In the present work, Fourier optics was applied to the optical field. Coherent light was used as the light source and the fringelike pattern was obtained in the screen. Theoretical analysis showed that the fringelike pattern corresponds to the phase distribution of the density field, and the density distribution could be calculated. This method was more universal since the scaling relation was not needed.

**Key words:** schlieren photography; Fourier optics; density field reconstruction

[责任编辑:郭伟]