

教育技术应用

利用智能手机研究弹簧的串并联规律

苏 栓 程敏熙

(华南师范大学物理与电信工程学院 广东 广州 510006)

(收稿日期:2019-09-17)

摘 要:利用智能手机中 phyphox 软件中的 Spring 功能研究竖直方向两根弹簧串联、并联时振子的运动情况,通过 Origin 线性拟合求得劲度系数,验证了弹簧的串并联规律.

关键词:弹簧的串联和并联 智能手机 Origin 线性拟合

目前,有不少利用手机传感器来做实验并记录数据的 App. 利用智能手机完成物理实验,不仅方便快捷、节约成本,而且趣味性强、成本低廉.

胡克定律是研究弹簧弹力与伸长量关系的重要定律. 本研究利用智能手机软件 phyphox 中的 Spring 功能研究竖直方向单根弹簧以及两根弹簧串并联的劲度系数.

1 实验原理

在弹性限度内,弹簧遵循胡克定律,弹簧的弹力大小跟弹簧伸长(或缩短)的长度成正比,即 $F = kx$. 式中 F 为弹簧所受的拉力, k 为弹簧的劲度系数, x 为弹簧伸长的长度.

弹簧通过串联或者并联的连结方式组成新的弹簧组系统,其等效劲度系数存在一定的数学关系.

1.1 弹簧串联 并联等效劲度系数

当两个弹簧串联的时候,设串联后的弹簧组等效劲度系数为 k_C ,那么 $k_C = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}} = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$. 当两

个弹簧并联的时候,设并联后的弹簧组等效劲度系数为 k_B ,那么 $k_B = k_1 + k_2$.

1.2 弹簧劲度系数的测量

一定质量的弹簧振动周期 $T = 2\pi \sqrt{\frac{m + \frac{m_0}{3}}{k}}$, 式

中, m 是振子质量, m_0 是弹簧质量, k 是弹簧劲度系数^[1]. 等式两边平方可得 $T^2 = \frac{4\pi^2}{k} (m + \frac{m_0}{3})$. 由此可知 T^2 与 $(m + \frac{m_0}{3})$ 成线性关系,故只要求出斜率 b , 根据 $b = \frac{4\pi^2}{k}$ 则可以求得弹簧的劲度系数 k . 在本实验中,利用手机 Spring 功能可以直接得到弹簧的振动周期.

2 实验内容

2.1 实验装置

2.1.1 单根弹簧实验装置

弹簧上端固定在铁架台上,下端挂着手机和钩码.

2.1.2 弹簧串联实验装置

如图 1 所示,两根弹簧串联,上端固定在铁架台上,下端挂着手机和钩码.



图 1 两根弹簧串联

作者简介:苏栓(1996-),女,在读硕士研究生,研究方向为物理学科教学.

通讯作者:程敏熙(1962-),男,博士,副教授,研究方向为光电技术与系统、物理实验设计.

2.1.3 弹簧并联实验装置

如图2所示,两根弹簧并联,上端固定在铁架台上,下端挂着手机和钩码。



图2 两根弹簧并联

2.2 实验操作

(1) 用电子秤分别测量两根弹簧的质量 m_{01} 和 m_{02} , 初始弹簧振子(包括夹子、手机, 并联时还包括联动的杆) 质量 m_1 。

(2) 安装实验装置, 利用 iPhone 手机自带的水平仪调节铁架台水平, 如图3所示。

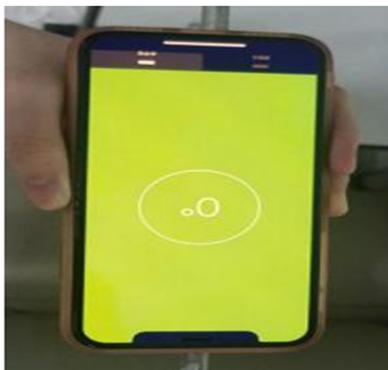


图3 利用手机的水平仪调节水平

(3) 将手机挂在第一根弹簧下端, 打开 phyphox 软件, 进入 Spring 界面, 点击运行按钮, 并记录数据如图4所示。

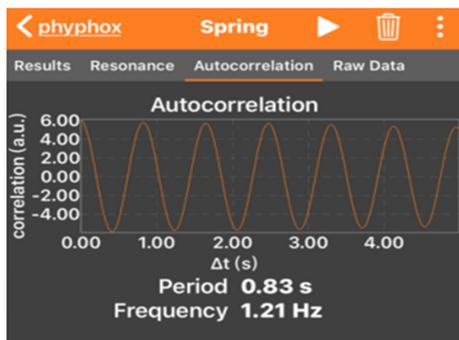


图4 利用 Spring 功能记录数据

(4) 向下拉伸弹簧让其做简谐运动, 则手机可记录下弹簧做简谐运动的周期, 即弹簧的振动周期 T_1 。

(5) 通过增加钩码来改变弹簧振子质量 m , 重复步骤(3), (4), 可以得到 m_2, m_3, \dots, m_n , 以及对应的振动周期 T_2, T_3, \dots, T_n 。

(6) 将第二根弹簧固定在铁架台上, 将两根弹簧下端调成水平, 再挂上手机, 重复步骤(4), (5), 可得到 m_1, m_2, \dots, m_n 以及对应的振动周期 T'_1, T'_2, \dots, T'_n 。

(7) 将弹簧串联成弹簧组, 把手机挂在弹簧下端, 重复步骤(4), (5), 可以得到串联时不同振子质量 $m_{C1}, m_{C2}, \dots, m_{Cn}$ 以及对应的振动周期 $T_{C1}, T_{C2}, \dots, T_{Cn}$ 。

(8) 将弹簧并联成弹簧组, 利用小细杆将两根弹簧的下端连接起来, 把手机挂在小细杆上, 重复步骤(4), (5), 可得到弹簧振子质量 $m_{B1}, m_{B2}, \dots, m_{Bn}$ 以及对应的振动周期 $T_{B1}, T_{B2}, \dots, T_{Bn}$ 。

2.3 数据处理

2.3.1 单根弹簧数据处理

记录下第一根弹簧、第二根弹簧实验数据, 如表1所示为第一根弹簧的数据记录表。

表1 弹簧1数据记录表

弹簧1质量 m_{01}/g	振子质量 m/g	T/s	$m + \frac{m_{01}}{3}/$ kg	T^2/s^2
29.6	207.5	0.83	0.217 37	0.688 9
	257.5	0.92	0.267 37	0.846 4
	307.5	1.00	0.317 37	1.000 0
	357.5	1.07	0.367 37	1.144 9
	407.5	1.14	0.417 37	1.299 6
	457.5	1.20	0.467 37	1.440 0

利用 Origin 软件线性拟合 T^2 和 $\left(m + \frac{m_0}{3}\right)$ 的实验数据, 可得到第一根弹簧的线性拟合直线, 如图5所示, 以及第二根弹簧的线性拟合直线. 由图5第一根弹簧的线性拟合结果可得, 斜率 $b_1 = 3.005 71$, 则弹簧1的劲度系数 $k_1 = \frac{4\pi^2}{b_1} = 13.1 \text{ N/m}$. 同理, 由第二根弹簧的线性拟合结果可得, 斜率 $b_2 = 2.597 83$, 则弹簧2的劲度系数 $k_2 = \frac{4\pi^2}{b_2} = 15.2 \text{ N/m}$.

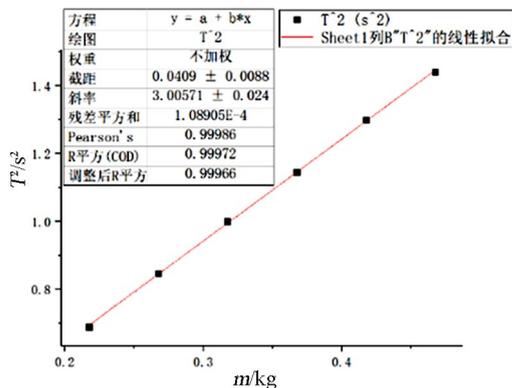


图5 第一根弹簧的线性拟合直线

2.3.2 弹簧串联、并联数据处理

记录下两根弹簧串联、并联的实验数据,如表2所示为弹簧串联数据记录表。

表2 弹簧串联数据记录表

弹簧串联 质量 m_c/g	振子质量 m/g	T_c/s	$m + \frac{m_c}{3}/kg$	T_c^2/s^2
59.6	207.5	1.16	0.227 37	1.345 6
	257.5	1.28	0.277 37	1.638 4
	307.5	1.38	0.327 37	1.904 4
	357.5	1.48	0.377 37	2.190 4
	407.5	1.55	0.427 37	2.402 5
	457.5	1.65	0.477 37	2.722 5

利用 Origin 软件线性拟合 T^2 和 $(m + \frac{m_c}{3})$ 的实验数据,可得弹簧串联的线性拟合直线(如图6所示)、弹簧并联的线性拟合直线。由图6两根弹簧串联的线性拟合结果可得,斜率 $b_c = 2.597 83$,则弹簧串联的等效劲度系数 $k_c = \frac{4\pi^2}{b_c} = 7.30 \text{ N/m}$ 。同理,由两根弹簧并联的线性拟合结果可得,斜率 $b_B = 2.597 83$,则弹簧串联的等效劲度系数 $k_B = \frac{4\pi^2}{b_B} = 27.0 \text{ N/m}$ 。

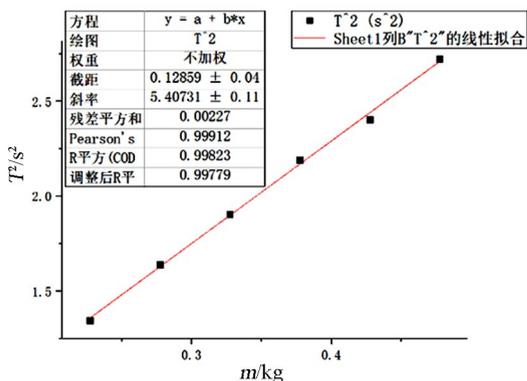


图6 弹簧串联的线性拟合直线

2.4 结果分析

2.4.1 弹簧串联偏差分析

$$\text{由 } k_c = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}} = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$$

可得

$$k'_c = \frac{13.1 \times 15.2}{13.1 + 15.2} = 7.04 \text{ N/m}$$

而由手机直接测得的串联等效劲度系数为 $k_c = 7.30 \text{ N/m}$,则偏差为

$$E = \frac{|7.30 - 7.04|}{7.04} \times 100\% = 3.7\%$$

2.4.2 弹簧并联偏差分析

由 $k_B = k_1 + k_2$ 可得 $k'_B = 13.1 + 15.2 = 28.3 \text{ N/m}$,而由手机测得的并联等效劲度系数为 $k_B = 27.0 \text{ N/m}$,则偏差为 $E = \frac{|27.0 - 28.3|}{28.3} \times 100\% = 4.6\%$ 。

3 结束语

本实验利用智能手机 Spring 功能来验证弹簧串并联的等效劲度系数公式,操作简单,而且运动情况、图像直观。Spring 功能可以使研究简谐运动更加简单方便。但由于手机体积较大,在弹簧作用下做简谐运动的过程中存在一定的空气阻力。在本实验中,笔者已经考虑了弹簧质量,而且振子质量是弹簧折合质量的 20 倍,若振子质量太大会超出拉伸范围,振子质量太小会使弹簧振动变快,空气阻力更明显。该手机软件在实验过程中获得的振动周期是通过振动时间进行累积取平均得到的结果,在振动 30 次(本实验的弹簧振动次数)的时候能有稳定的周期,不足之处是软件的计时秒数有效数字偏少。此外,由于误差传递的原因,最后结果的误差略大(5%之内)。

参考文献

- 张春斌,王妍琳,周少娜,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(07): 15 ~ 19
- 杨述武,赵立竹,沈国土. 普通物理实验(力学、热学部分)[M]. 北京:高等教育出版社,2007. 95 ~ 99
- 赵荣俊,刘应开. 用智能手机加速度传感器分析弹簧振动现象[J]. 物理教师,2017,38(01):54 ~ 58
- 黄兆梁. 对有质量弹簧的振子系统振动周期的探讨[J]. 大学物理,2011,30(05):32 ~ 34,38
- 黄潮华. 用 Origin 和肖维勒准则剔除粗值和线性拟合实验数据[J]. 物理教师,2002, 23(12):36 ~ 38