

两弹簧串并联等效劲度系数的研究*

——基于多普勒效应综合实验仪

何香林 刘竹琴

(延安大学物理与电子信息学院 陕西 延安 716000)

(收稿日期:2020-12-14)

摘要:利用多普勒效应综合实验仪,研究竖直方向两根柱形单弹簧,及其串并联时振子的运动情况,通过Excel线性拟合求出劲度系数,找出规律,有效提高了测量精度,帮助学生理解并熟练掌握多普勒效应,以及两弹簧串并联的等效劲度系数.

关键词:多普勒效应综合实验仪 两弹簧串并联 等效劲度系数

在中学物理探究胡克定律的教学中,劲度系数仅被一带而过,因此,很多学生对这一物理概念理解不够^[1].有学者利用焦利秤研究弹簧的劲度系数,其过程需要人工计时,且不能直观显示运动速度的波形图^[2].也有学者利用智能手机研究弹簧串并联的规律,其操作简单但误差略大^[3].而在实际测量中,需要更精密、直观的仪器.

本文利用多普勒效应综合实验仪,研究两弹簧串并联的等效劲度系数.该方案能够直观显示运动速度波形图,精确测量运动速度与周期,避免人工计时、无需测量弹簧伸长量,从而减小测量误差.且有助于拓展学生思维,进一步帮助学生在电容串并联、电阻串并联以及弹簧串并联三者之间建立起区别与联系.

1 实验原理与实验装置

1.1 实验原理

在弹性限度内,弹簧遵守胡克定律.弹簧弹力 F 大小与弹簧形变量 x 成正比,方向与形变方向相反,即: $F = -\kappa x$, κ 为弹簧劲度系数,是弹簧的一种属性,单位为N/m,其大小通常与弹簧的形状、材料、弹簧丝的粗细以及弹簧所处的温度有关^[4].则两弹簧串并联等效劲度系数必定与单弹簧劲度系数有一定的联系.

1.1.1 周期测量

利用多普勒效应综合实验仪测量运动周期,需在其操作面板调节采样步距与采样次数,并在仪器

记录的数据中找出第 a 次与第 b 次速度最大且方向相同所对应的采样次数.为减小误差, a 取1、第 b 次为最后一次.本次实验将采样步距设置为100 ms,则周期等于相邻最大且方向相同的速度所对应的采样次数之差乘以采样步距.即

$$T = \frac{N_b - N_1}{b - 1} \times 0.1 \text{ s} \quad (1)$$

1.1.2 劲度系数测量

本文弹簧振子在竖直方向上做简谐振动.实验分为自身质量 m_1 为10.8 g, m_2 为11.0 g的两单弹簧,两者并联质量 m_3 为21.8 g的组合弹簧,两者串联质量 m_4 为21.8 g的组合弹簧.令劲度系数为 κ ,振子质量为 M ,弹簧等效质量为 m .再根据周期公式^[5]

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M+m}{\kappa}} \quad (2)$$

由式(2)得

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{\kappa} M + \frac{4\pi^2}{\kappa} m \quad (3)$$

可知 T^2 与 M 成正比,根据斜率可分别求出劲度系数 $\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3, \kappa_4$.

1.2 实验装置

实验装置包含多普勒效应综合实验仪、导轨、导轨底座及发生器组件、自由落体接收器保护盒、自由落体组件、红外接收组件、电磁阀及挡块、砝码、两原

* 2019年延安大学研究生教育教学改革研究项目,项目编号:YDYJG2019018

作者简介:何香林(1997-),女,在读硕士研究生,研究方向为学科教学(物理).

长相同的柱形弹簧以及电子天平,注意将发射器、接收器与电磁阀组件组装在一条直线上.测量单个弹簧劲度系数的实验装置如图1所示,测量串并联弹簧等效劲度系数时,只需将单个弹簧调整为两个弹簧并联、串联即可,实验原理图分别如图2和图3所示.



图1 测量单个弹簧劲度系数实物图

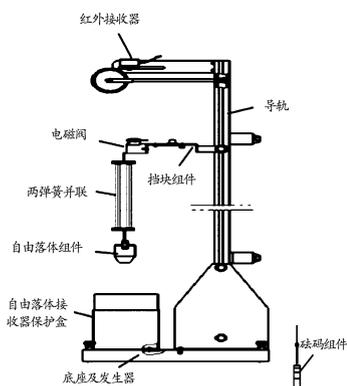


图2 测量两并联弹簧劲度系数实验原理图

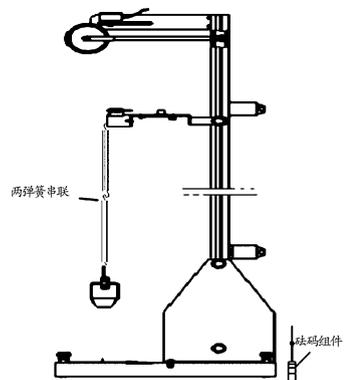


图3 测量两串联弹簧劲度系数实验原理图

注意:由于导轨长度有限,两弹簧串联时接近底座,所以未放置保护盒,操作宜轻、宜慢,以防止振子落地受损.

2 实验方法与测量举例

2.1 实验方法

(1) 测量单弹簧劲度系数时,其操作步骤如下.

1) 利用天平分别称量弹簧与振子的质量为 m_1 和 M ,将弹簧振子悬挂于电磁阀上方的挂钩孔中.在多普勒效应综合实验仪器的液晶显示屏上,利用▶调整仪器所处实验室的室温,并按“确认”.

2) 用▼选中“变速运动测量实验”,并按“确认”.用▶调节“采样点总数”为150,用▼切换到“采样步距”,并用▶调节“采样步距”到100 ms,确认调整无误.

3) 将弹簧振子下拉合适位置,使其做简谐运动,当其运动稳定后,用▼切换到“开始测试”,按下“确认”.

4) 液晶屏上会显示出 $v-t$ 的函数图像,如图4所示,观察图像是否有效(即图像是否为一个漂亮的三角函数图像).若无效,重复上述操作内容,直至得出有效图像;若有效,用▶选中“数据”,找出第1次与第 b 次最大且方向相同的速度所对应的采样次数,利用公式(1)算出周期并填入表中.



图4 多普勒实验仪显示 $v-t$ 的图像

5) 振子质量 M 变化,重复上述操作步骤,算出与 M 对应的周期平方并填入表中,直到测量完所有振子.注意:若出现失锁警告,及时给自由落体组件充电.

6) 在 Excel 中作出 $T^2 - M$ 曲线图像,根据其曲线斜率求出弹簧劲度系数.

(2) 测量两弹簧并联等效劲度系数时,其操作步骤同上.

(3) 测量两弹簧串联等效劲度系数时,其操作步骤同上.

2.2 测量举例

2.2.1 数据记录

1) 单弹簧1,质量 m_1 为10.8 g,振子质量 M 分别为101.3 g,109.9 g,121.7 g,133.6 g,145.6 g,157.7 g 进行实验测量, b 取11.为确保实验数据更精确,周期以及周期平方取小数点后4位,测得数据如表1所示.

表1 单弹簧1的测量数据记录表

M/g	101.3	109.9	121.7	133.6	145.6	157.7
N_1	5	7	9	13	11	14
N_{11}	109	115	123	132	135	143
T/s	1.040 0	1.080 0	1.140 0	1.190 0	1.240 0	1.290 0
T^2/s^2	1.081 6	1.166 4	1.299 6	1.416 1	1.537 6	1.664 1

单弹簧2,质量 m_2 为11.0 g进行实验测量,振子质量同上, b 取11,测得数据如表2所示.

表2 单弹簧2的测量数据记录表

M/g	101.3	109.9	121.7	133.6	145.6	157.7
N_1	6	11	13	6	12	11
N_{11}	102	111	118	115	126	130
T/s	0.960 0	1.000 0	1.050 0	1.090 0	1.140 0	1.190 0
T^2/s^2	0.921 6	1.000 0	1.102 5	1.188 1	1.299 6	1.416 1

2)两弹簧并联质量 m_3 为21.8 g,振子质量 M 分别为101.3 g,120.1 g,130.4 g,140.6 g,150.9 g,156.6 g进行实验测量, b 取11,测得数据如表3所示.

表3 两弹簧并联的测量数据记录表

M/g	101.3	120.1	130.4	140.6	150.9	156.6
N_1	7	2	4	2	4	4
N_{11}	79	80	85	86	91	92
T/s	0.720 0	0.780 0	0.810 0	0.840 0	0.870 0	0.880 0
T^2/s^2	0.518 4	0.608 4	0.656 1	0.705 6	0.756 9	0.774 4

3)两弹簧串联质量 m_4 为21.8 g,振子质量 M 分别为101.5 g,109.9 g,115.6 g,120.2 g,126.0 g,136.2 g进行实验测量,周期偏大, b 不能都取11,测得数据如表4所示.

表4 两弹簧串联的测量数据记录表

M/g	101.5	109.9	115.6	120.2	126.0	136.2
N_1	5	8	10	5	2	15
b	11	10	10	10	10	9
N_b	149	143	148	145	146	147
T/s	1.440 0	1.500 0	1.533 3	1.555 6	1.600 0	1.650 0
T^2/s^2	2.073 6	2.250 0	2.350 1	2.419 9	2.560 0	2.722 5

2.2.2 数据处理

1)所测两单弹簧实验数据在Excel中作出的线性回归曲线,如图5和图6所示.其相关系数 R^2 分

别为0.999 7和0.998 4趋近于1,趋势线可靠性很高.

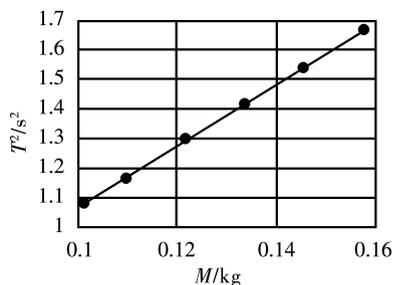
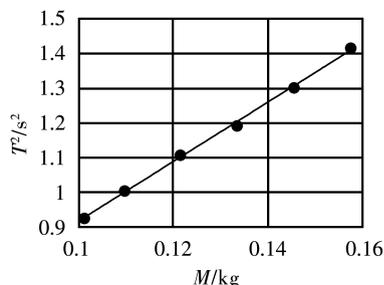
图5 单弹簧1的 T^2-M 曲线图图6 单弹簧2的 T^2-M 曲线图

图5和图6所对应的线性回归方程分别为

$$T^2 = 10.33M + 0.0356 \quad (4)$$

$$T^2 = 8.6213M + 0.0485 \quad (5)$$

分别联立方程(3)解得

$$\kappa_1 = 3.8217$$

$$\kappa_2 = 4.5792$$

2)所测两弹簧并联实验数据在Excel中作出的线性回归曲线,如图7所示.其相关系数 R^2 为0.999趋近于1,趋势线可靠性很高.

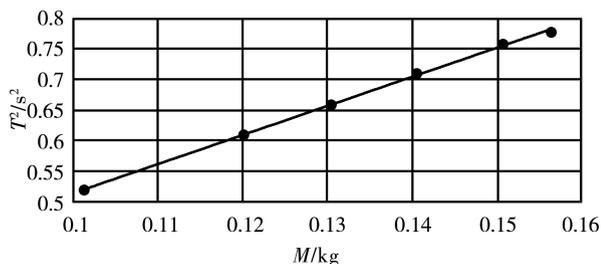
图7 两弹簧并联的 T^2-M 函数曲线

图7所对应的线性回归方程为

$$T^2 = 4.6987M + 0.0435 \quad (6)$$

联立方程(3)解得

$$\kappa_3 = 8.4020$$

3)所测两弹簧串联实验数据在Excel中作出的线性回归曲线,如图8所示.其相关系数 R^2 为0.996 9趋近于1,趋势线可靠性很高.

静电飞花激发高中生物理探究实验的兴趣

孔志蕾

(南宫市南宫中学 河北 邢台 055750)

(收稿日期:2020-12-15)

摘要:利用静电飞花激发学生进行物理探究实验的兴趣,在探究过程中以学生为中心,学生通过观察现象会发现并提出问题,依据实验操作步骤设计实验探究方案,由实验现象总结出实验结论.探究过程中教师只是起引导作用,对于探究过程中发现的新问题,引导学生通过进一步实验寻求答案.以探究实验的形式进行科学探究,培养科学思维,渗透科学态度与责任.

关键词:静电飞花 科学探究 摩擦起电 静电感应

学生在学过高中物理必修(第三册)第九章静电场及其应用和第十章静电场中的能量这两章之后,知道自然界中有两种电荷,使物体带电的方式有摩擦起电、感应起电等.静电飞花装置可以作为拓展实

验,通过引导学生探究静电飞花实验中起电盘和取电盘的电性及纸屑飞起来的原因,提升学生的探究能力.科学探究是学生学习科学知识、发展科学思维、形成科学态度的手段和途径.

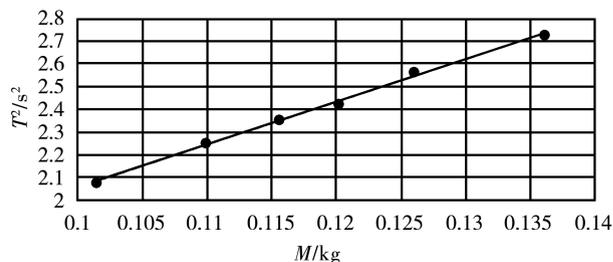


图8 两弹簧串联的 $T^2 - M$ 函数曲线

图8所对应的线性回归方程为

$$T^2 = 18.724M + 0.1822 \quad (7)$$

联立方程(3)解得

$$\kappa_4 = 2.1084$$

由以上测量数据得

(1) $\kappa_1 + \kappa_2 = 8.4009$, 则 $\kappa_1 + \kappa_2 \approx \kappa_3$, 其百分误差为 0.01%.

$$(2) \frac{1}{\frac{1}{\kappa_1} + \frac{1}{\kappa_2}} = 2.0831, \text{ 则}$$

$$\frac{1}{\frac{1}{\kappa_1} + \frac{1}{\kappa_2}} \approx \kappa_4$$

其百分误差为 1.21%.

综上,两并联弹簧等效劲度系数为两单弹簧劲度系数之和,两串联弹簧等效劲度系数为两单弹簧劲度系数倒数和的倒数,此结论与文献相符^[6].

3 结束语

本文利用多普勒效应综合实验仪,分别测得 $\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3, \kappa_4$ 的值,得出两并联弹簧的等效劲度系数为两单弹簧劲度系数之和,两串联弹簧等效劲度系数为两单弹簧劲度系数倒数和的倒数.该方案精确度较高,对研究更加复杂的组合弹簧的等效劲度系数与解答相关中学物理题目以及研究弹簧自身质量对简谐振动的影响具有一定的参考价值^[7].

参考文献

- 1 吴广国,邹斌.“胡克定律”实验探究课堂教学案例[J].中学物理教学参考,2019(12):21~24
- 2 刘艳峰.串并联弹簧等效劲度系数的实验研究[J].延安大学学报(自然科学版),2015(3):28~32
- 3 苏栓,程敏熙.利用智能手机研究弹簧的串并联规律[J].物理通报,2020(6):101~103
- 4 陈学志,罗莹.探究弹簧劲度系数的影响因素[J].中国现代教育装备,2011(8):86~87
- 5 郑金.复杂弹簧振子的等效质量和劲度系数[J].物理教学,2018(6):49~52
- 6 周李宜.由电阻、电容串并联到弹簧串并联问题的探究[J].实验教学与仪器,2019(4):69~70
- 7 陈玉军,董芳芳.弹簧串并联特点及应用[J].物理通报,2014(1):40~43