

物理实验



自制实验仪对“单摆测重力加速度”实验的再研究*

张应成 彭朝阳

(云南师范大学物理与电子信息学院 云南昆明 650500)

(收稿日期:2015-06-07)

摘要:测量重力加速度的实验教学中,学生利用生活中熟悉的材料制作简单单摆,教师再利用学生自制的单摆进行教学活动,使学生了解实验器材的主要构造,掌握实验原理,同时学会选择恰当的实验仪器,并通过实验探究“单摆测量重力加速度”实验中的无关因素,以及实验误差的来源。

关键词:自制单摆 加速度 创新 探究

利用单摆测量重力加速度的值,这个实验仪器简单,便于操作,但还存在以下不足:由于人为因素,很容易产生摆球的摆动轨迹与摆球平衡时的位置不在同一个平面内,且振幅和摆角的确定不是很精确^[1];实验器材虽然简单,但过于单调,不利于激发学生的学习兴趣,不能培养学生对实验仪器的选择;完成实验后,学习者不能清楚地分析单摆测重力加速度的误差来源,不能探究单摆的周期和哪些因素有关.为了克服上述实验的不足,我们利用自制实验仪来改进与完善“单摆测重力加速度”实验。

先简单介绍一下单摆测量重力加速度的实验,单摆(如图1所示),如果细线的质量与摆球相比可以忽略,球的直径与线的长度相比可以忽略,这样的装置就叫做单摆^[2]。

荷兰物理学家惠更斯确定了单摆的周期公式为

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1)$$

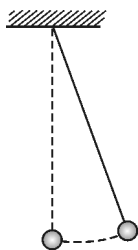


图1 单摆

由单摆周期公式可得

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \quad (2)$$

利用图2的实验装置,测出单摆的摆长 l ,周期 T ,就可以求出当地的重力加速度^[2]。

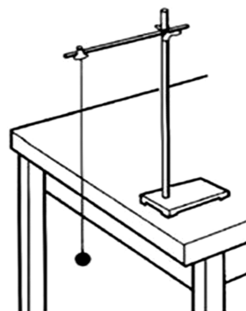


图2 单摆测量重力加速度

1 改进测量重力加速度的单摆

1.1 用身边简易材料制作单摆

所用器材:泡沫盒(30 cm × 25 cm × 8 cm);存放羽毛球的圆筒(高为39 cm;底面圆的直径为6.5 cm);一次性筷子一只(长为22 cm);此外备有摆线,摆球,小刀,胶水。

实验装置制作:

(1) 将存放羽毛球的圆筒安装在泡沫盒上,插放圆筒的小孔尺寸应与圆筒的尺寸一样,小孔可用小刀或电烙铁烫成,圆筒与泡沫盒之间用胶水粘牢。

* 中学物理实验教学研究教学案例建设,编号:YJG2014-A05

作者简介:张应成(1989-),女,在读硕士研究生。

通讯作者:彭朝阳(1971-),男,博士,教授,主要从事物理教育教学研究。

为了使其具有稳固性,可在后方放置一重物.

(2) 将筷子固定在存放羽毛球的圆筒上. 在圆筒从上至下 15 cm 的地方前后各打一个和筷子粗细一样的小孔;将筷子插进已打好的两个小孔里.

(3) 将摆球系在摆线的一端,另一端系在筷子上,如图 3 所示.



图 3 简易单摆

1.2 制作刻度仪和角度仪并加在自制单摆上

所用器材:CD 光盘一个(直径为 12 cm);A3 纸一张.

实验装置制作:

(1) 制作有刻度的纸带. 用小刀在 A3 纸上裁出长 30 cm, 宽 8 cm 的纸带;用刻度尺测出纸带的中点,并将其标记为 0;以 0 为起点,往左右两边同时测量长度,每 2 cm 画一条线作标记,同时往左右两边标记上其距 0 点的长度;并将其贴在泡沫盒上.

(2) 用 CD 制作角度仪. 将半圆上的角度临摹到尺寸和 CD 一样大的白纸上,再将角度的白纸用胶水粘贴在 CD 上.

(3) 将 CD 固定在筷子上. 由于 CD 的小孔比筷子大,需要用小刀制作大小和 CD 小孔大小适宜的泡沫小圆柱体,并将其放在 CD 小孔里;再在泡沫的中心打出一个和筷子粗细适宜的小孔使筷子通过泡沫圆柱,且需保证有角度的一面向前;再用胶水将其固定. 如图 4 所示.



图 4 带有角度仪和刻度仪的单摆支架

1.3 摆球和摆线多样化

将原来一个摆球换成多个,其质量、大小各异. 将原来的一根摆线换成多根,其长短、粗细、材质各异. 同时提供直尺,卷尺,游标卡尺,托盘天平,电子计时器各一个(架).

2 实验内容

(1) 给摆球编号分别为 1 号球(乒乓球)、2 号球、3 号球、4 号球、5 号球,其中:2 号和 3 号球大小一样,质量不等,2 号球和 4 号球的质量相等,大小不一样. 摆线分别为橡皮筋 l_1 , 细棉线 l_2 , 尼龙线(细 l_3 , 粗 l_4 两类).

(2) 用游标卡尺测出摆球直径 d , 即 $2r$, r 为摆球的半径,用托盘天平测出各个摆球的质量 m . 每个数据测量 6 次,求其平均值,并将其平均值记入表格之中. 如表 1 所示.

表 1 测量摆球的直径和摆球的质量

被测量	\bar{d}_1	\bar{d}_2	\bar{d}_3	\bar{d}_4	\bar{d}_5
测量值/cm	3.94	1.60	1.61	3.07	3.20
被测量	\bar{m}_1	\bar{m}_2	\bar{m}_3	\bar{m}_4	\bar{m}_5
测量值/g	2.8	33.1	16.0	33.0	141.6

(3) 选择摆球和摆线.

(4) 在摆线的一端打一个比摆球上的孔径稍大些的结,将细线穿过球上的小孔,制成一个单摆.

(5) 将自制单摆放在实验桌边,使得筷子伸到桌面以外,把做好的单摆固定在筷子上,使摆球自由下垂,如图 5 所示.



图 5 自制单摆测重力加速度

(6) 测量单摆的摆长 l . 用米尺测出从悬点至摆球上端的悬线长 l' , 则摆长 $l = l' + r$.

(7) 把单摆从平衡位置拉开一个小角度,使单摆在竖直平面内摆动,用秒表测量单摆完成全振动

30 次所用的时间, 求出完成一次全振动所用的平均时间, 这就是单摆的周期 T , 并将其摆角的大小及其周期的平均值记入表格。

(8) 将测出的摆长 l 和周期 T , 代入公式 $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$ 求出重力加速度 g 的值。

3 数据处理

通过实验测出摆长 l , 周期 T , 根据公式(2), 计算出的重力加速度及其相对误差。(当地的情况, 理论上的重力加速度的大小应为 $9.783\ 63\ \text{m/s}^2$ 。) 其实验数据如表 2, 表 3 和表 4 所示。

表 2 2 号摆球所得实验数据

摆角的大小 / ($^\circ$)		30	60	100	130	160	200	220	230		
l'_2/m	0.508	\bar{T}/s	1.430 6	1.430 5	1.430 4	1.430 3	1.430 2	1.430 2	1.431 9	1.430 3	
		$g/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	9.789	9.791	9.792	9.793	9.795	9.795	9.795	9.772	9.793
		$\delta/\%$	0.05	0.07	0.08	0.09	0.11	0.11	0.11	0.12	0.09
	0.808	\bar{T}/s	1.804 1	1.804 1	1.803 4	1.804 0	1.805 6	1.806 3	1.805 7	1.805 7	1.805 8
		$g/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	9.791	9.791	9.798	9.792	9.774	9.767	9.773	9.773	9.772
		$\delta/\%$	0.07	0.07	0.05	0.08	0.10	0.17	0.11	0.11	0.12
	1.008	\bar{T}/s	2.014 8	2.014 9	2.014 8	2.014 6	2.014 6	2.017 3	2.014 3	2.017 3	2.017 3
		$g/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	9.793	9.792	9.793	9.795	9.795	9.769	9.798	9.798	9.769
		$\delta/\%$	0.09	0.08	0.09	0.11	0.11	0.15	0.14	0.14	0.15
l'_3/m	0.508	\bar{T}/s	1.431 3	1.431 3	1.430 5	1.430 4	1.430 4	1.430 0	1.430 2	1.430 0	
		$g/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	9.780	9.780	9.791	9.792	9.792	9.798	9.795	9.798	9.798
		$\delta/\%$	0.04	0.04	0.07	0.08	0.08	0.14	0.11	0.11	0.14
	0.808	\bar{T}/s	1.804 4	1.804 4	1.804 2	1.804 0	1.804 1	1.804 0	1.803 3	1.803 3	1.803 5
		$g/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	9.787	9.787	9.790	9.792	9.791	9.792	9.799	9.799	9.797
		$\delta/\%$	0.03	0.03	0.06	0.08	0.07	0.08	0.15	0.15	0.13
	1.008	\bar{T}/s	2.016 3	2.016 6	2.015 2	2.014 8	2.014 7	2.014 6	2.017 2	2.017 2	2.016 7
		$g/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	9.778	9.776	9.789	9.793	9.794	9.795	9.770	9.770	9.775
		$\delta/\%$	0.06	0.08	0.05	0.09	0.10	0.11	0.14	0.14	0.09
l'_4/m	0.508	\bar{T}/s	1.430 4	1.430 3	1.430 4	1.430 2	1.430 2	1.430 2	1.431 9	1.432 0	
		$g/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	9.792	9.793	9.792	9.795	9.795	9.795	9.772	9.770	
		$\delta/\%$	0.08	0.09	0.08	0.11	0.11	0.11	0.12	0.14	
	0.808	\bar{T}/s	1.804 0	1.804 0	1.803 9	1.805 8	1.806 0	1.806 1	1.806 0	1.806 1	1.806 1
		$g/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	9.792	9.792	9.793	9.772	9.770	9.769	9.770	9.769	9.769
		$\delta/\%$	0.08	0.08	0.09	0.12	0.14	0.15	0.14	0.14	0.15
	1.008	\bar{T}/s	2.016 9	2.016 7	2.016 9	2.017 5	2.017 4	2.018 3	2.017 4	2.017 7	2.017 7
		$g/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	9.773	9.775	9.773	9.767	9.768	9.759	9.768	9.765	9.765
		$\delta/\%$	0.11	0.09	0.11	0.17	0.16	0.25	0.16	0.19	

表 3 3 号摆球所得实验数据

摆角的大小 / ($^\circ$)		30	60	100	130	160	200	220	230	
l'_2/m	0.508	\bar{T}/s	1.430 5	1.430 5	1.430 3	1.430 2	1.430 0	1.431 9	1.431 9	1.432 5
		$g/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	9.791	9.791	9.793	9.795	9.798	9.772	9.772	9.763
		$\delta/\%$	0.07	0.07	0.09	0.11	0.13	0.12	0.12	0.21
	0.808	\bar{T}/s	1.804 0	1.803 9	1.803 9	1.805 4	1.803 5	1.806 1	1.805 8	1.805 9
		$g/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	9.792	9.793	9.793	9.776	9.797	9.769	9.772	9.771
		$\delta/\%$	0.08	0.09	0.09	0.08	0.13	0.15	0.12	0.13
	1.008	\bar{T}/s	2.014 7	2.014 9	2.014 6	2.014 4	2.017 6	2.018 2	2.017 3	2.018 5
		$g/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	9.794	9.792	9.795	9.797	9.766	9.760	9.769	9.757
		$\delta/\%$	0.10	0.08	0.11	0.13	0.18	0.24	0.15	0.27

续表 3

摆角的大小 / ($^{\circ}$)			30	60	100	130	160	200	220	230
l'_3/m	0.508	\bar{T}/s	1.430 5	1.430 3	1.430 5	1.430 2	1.430 0	1.431 8	1.430 2	1.432 3
		$g/(m \cdot s^{-2})$	9.791	9.793	9.791	9.795	9.798	9.773	9.795	9.766
		$\delta/\%$	0.07	0.09	0.07	0.11	0.14	0.11	0.10	0.18
	0.808	\bar{T}/s	1.805 3	1.805 2	1.805 4	1.805 5	1.805 6	1.805 7	1.806 2	1.806 3
		$g/(m \cdot s^{-2})$	9.778	9.779	9.776	9.775	9.774	9.773	9.768	9.767
		$\delta/\%$	0.06	0.05	0.08	0.09	0.10	0.11	0.16	0.17
	1.008	\bar{T}/s	2.016 6	2.016 7	2.016 6	2.016 9	2.017 2	2.017 2	2.017 3	2.017 7
		$g/(m \cdot s^{-2})$	9.776	9.775	9.776	9.773	9.770	9.768	9.769	9.765
		$\delta/\%$	0.08	0.09	0.08	0.11	0.14	0.16	0.15	0.19
l'_4/m	0.508	\bar{T}/s	1.431 7	1.431 8	1.431 8	1.432 1	1.432 2	1.432 2	1.432 5	1.432 6
		$g/(m \cdot s^{-2})$	9.774	9.773	9.773	9.769	9.767	9.767	9.763	9.762
		$\delta/\%$	0.10	0.11	0.11	0.15	0.17	0.17	0.21	0.22
	0.808	\bar{T}/s	1.805 8	1.806 1	1.805 6	1.806 1	1.806 5	1.806 3	1.807 0	1.807 3
		$g/(m \cdot s^{-2})$	9.772	9.769	9.774	9.769	9.765	9.767	9.759	9.756
		$\delta/\%$	0.12	0.15	0.10	0.15	0.19	0.17	0.25	0.28
	1.008	\bar{T}/s	2.017 5	2.017 1	2.017 1	2.017 5	2.017 9	2.018 3	2.019 1	2.018 8
		$g/(m \cdot s^{-2})$	9.767	9.771	9.771	9.767	9.763	9.759	9.751	9.754
		$\delta/\%$	0.17	0.13	0.13	0.17	0.21	0.25	0.33	0.30

表 4 4 号摆球所得实验数据

摆角的大小 / ($^{\circ}$)			30	60	100	130	160	200	220	230
l'_2/m	0.515	\bar{T}/s	1.440 1	1.440 0	1.440 2	1.439 8	1.441 7	1.439 6	1.439 6	1.442 4
		$g/(m \cdot s^{-2})$	9.793	9.795	9.792	9.798	9.772	9.800	9.800	9.762
		$\delta/\%$	0.09	0.11	0.08	0.14	0.12	0.16	0.16	0.22
	0.815	\bar{T}/s	1.811 5	1.811 8	1.811 6	1.810 9	1.814 1	1.814 3	1.810 6	1.814 8
		$g/(m \cdot s^{-2})$	9.795	9.792	9.794	9.801	9.767	9.765	9.805	9.759
		$\delta/\%$	0.11	0.08	0.10	0.17	0.17	0.19	0.21	0.25
	1.015	\bar{T}/s	2.021 7	2.023 6	2.024 0	2.024 1	2.024 1	2.025 2	2.025 3	2.025 5
		$g/(m \cdot s^{-2})$	9.794	9.775	9.772	9.771	9.771	9.760	9.759	9.757
		$\delta/\%$	0.10	0.09	0.12	0.13	0.13	0.24	0.25	0.27
l'_3/m	0.515	\bar{T}/s	1.440 1	1.440 1	1.440 0	1.439 8	1.442 1	1.442 4	1.439 0	1.442 6
		$g/(m \cdot s^{-2})$	9.793	9.793	9.795	9.798	9.766	9.762	9.809	9.760
		$\delta/\%$	0.09	0.09	0.11	0.14	0.18	0.22	0.25	0.24
	0.815	\bar{T}/s	1.813 3	1.811 5	1.811 5	1.813 8	1.814 1	1.814 3	1.815 4	1.814 6
		$g/(m \cdot s^{-2})$	9.775	9.795	9.795	9.770	9.767	9.765	9.753	9.762
		$\delta/\%$	0.09	0.11	0.11	0.14	0.17	0.19	0.31	0.22
	1.015	\bar{T}/s	2.021 7	2.021 7	2.021 9	2.021 5	2.020 8	2.020 3	2.020 5	2.020 8
		$g/(m \cdot s^{-2})$	9.794	9.794	9.792	9.796	9.803	9.807	9.805	9.803
		$\delta/\%$	0.10	0.10	0.08	0.12	0.19	0.23	0.21	0.19
l'_4/m	0.515	\bar{T}/s	1.439 6	1.441 8	1.441 9	1.442 1	1.442 1	1.442 4	1.442 2	1.442 4
		$g/(m \cdot s^{-2})$	9.800	9.770	9.769	9.766	9.767	9.762	9.765	9.762
		$\delta/\%$	0.16	0.14	0.15	0.18	0.17	0.22	0.19	0.22
	0.815	\bar{T}/s	1.813 9	1.813 7	1.814 1	1.814 6	1.814 1	1.815 4	1.814 9	1.815 0
		$g/(m \cdot s^{-2})$	9.769	9.771	9.767	9.762	9.767	9.753	9.758	9.757
		$\delta/\%$	0.15	0.13	0.17	0.22	0.17	0.31	0.26	0.27
	1.015	\bar{T}/s	2.019 4	2.021 0	2.020 9	2.025 3	2.020 1	2.024 9	2.025 5	2.025 2
		$g/(m \cdot s^{-2})$	9.816	9.801	9.802	9.759	9.809	9.763	9.757	9.760
		$\delta/\%$	0.32	0.17	0.18	0.25	0.25	0.21	0.27	0.24

4 实验结果讨论与分析

4.1 单摆实验中摆球和摆线的选择

当选择橡皮筋 l_1 或1号球(乒乓球)时,摆球在左右、上下方向都摆动;当选择5号球时,摆球太重,摆线和实验仪无法承受摆球的重量,因此这两类情况都无法开展实验.

当摆球不变,如表2,选择棉线和粗尼龙线作为摆线时,误差比选择细尼龙线时偏大,说明摆线应该选择细而且弹性可忽略不计的材质,有弹性的细线会导致摆球在上下方向也有震动,不满足简谐振动的条件;粗的会影响摆球的摆动,同时产生的阻力会影响实验的结果.

通过2号球和3号球(大小一样,质量不等)的实验数据的对比,可知2号球的相对误差比3号球的小一些;通过2号球和4号球(质量相等,大小不一样)的实验数据的对比,可知2号球的相对误差比4号球的小一些.因此可知,摆球质量需要适当,过小则无法摆动;过大则实验仪器会损坏,同时也会使摆线增长,增加实验误差,因此摆球要尽量选择质量大些的(不能超过仪器能承受的限度),体积小些的.

4.2 单摆的周期与那些因素有关

比较表2和表3可得,当摆线长度一样时,单摆的周期大致一样,由此可知单摆的周期与摆球的质量无关.

比较表2,表3,表4中任意一个表的数据可知,在单摆做简谐运动的范围内改变摆角的大小,单摆的周期不变.由此可知,在一定范围内,单摆的周期与摆角无关.

比较表2,表3,表4中任意一个表的数据,摆球质量相同,当摆线的长度不同时,单摆的周期也不同,且单摆的周期随着摆线的增长而增大.由此可知单摆的周期和单摆的摆长有关.

4.3 单摆测量重力加速度的误差来源

(1) 由于测量工具、测量者等的影响,实验的误差来自于各个物理量的测量过程中.

(2) 由表2~4可知,无论摆球为2号球还是3号球,亦或是4号球,当选择细棉线和粗尼龙线时,相对误差都比细尼龙线作为摆线时大一些;通过2

号球和3号球、2号球和4号球实验数据的对比可知,大小一样的摆球,质量大一些的相对误差小一些;质量一样,大小不一样的摆球,直径小一些的误差也小一些.由此可知,空气阻力、空气浮力所带来的影响也导致了实验存在误差.

(3) 当摆角逐渐增大,超过 10° 时,使摆球在30T内都做简谐运动的成功率降低,因此实验的失败率也随着摆角的增大而增大,误差也随之增大.

5 小结

该实验的优点:

(1) 自制单摆的材料源于身边廉价易得的资源,成本低;制作简单,增强了实验趣味性的同时使学生了解实验仪的结构,掌握实验的原理.

(2) 自制角度仪可以很好地把握摆角的大小.

(3) 自制刻度仪可以确定单摆在摆动过程中是否进行简谐运动.

(4) 提供多个摆球,多根摆线,可以培养学生对实验仪器的选择.

(5) 该实验可探究单摆的周期和摆球的质量无关;当摆角在一定的范围内时,单摆的周期与振幅无关,但是与摆长有关,摆长越长时,周期也越长.

(6) 通过该实验可以明确地分析出误差的来源等.

该实验的缺点:

(1) 实验过程耗时较多;

(2) 摆球数量较多;

(3) 泡沫盒较易损坏,牢固性有待提高等.

以上是我们利用自制实验仪对“单摆测定重力加速度”的实验研究,并总结出该实验仪主要的优缺点.希望广大同行和我们交流经验和体会,一定是不吝赐教的.

参考文献

- 1 王成贵,邵静波,王玉兰,李春广.用单摆测量重力加速度的又一种实验方法.延边大学学报(自然科学版),2003,29(3):233~234
- 2 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材研究开发中心.普通高中课程标准实验教科书物理选修3-4.北京:人民教育出版社,2005.13~17