

“用单摆测重力加速度”实验教具优化研究

张雪晴 许新胜

(安徽师范大学物理与电子信息学院 安徽 芜湖 241002)

(收稿日期:2021-07-07)

摘要:通过分析“用单摆测量重力加速度的大小”实验中摆长、摆角、摆线与摆球等因素对实验结果精度的影响,探讨了传统实验装置的不足,在此基础上设计并制作了可用于测量重力加速度的双线摆装置,并对装置的构成与应用进行了详细阐述.

关键词:单摆测重力加速度 双线摆 自制教具

1 引言

单摆模型是一个重要的物理模型,利用它的“等时性”特征制作出钟表,发现准确的计时方法;通过它测量不同地区重力加速度 g 的值,可以确定地球的形状为扁球形等^[1]。“用单摆测量重力加速度的大小”是《普通高中物理课程标准》(2017年版2020年修订)要求的学生必做实验之一,^[2]该实验对培养学生科学思维和科学探究能力具有重要意义.已有研究表明,影响单摆测重力加速度实验精度的因素主要有摆长、摆角、摆线长度和小球半径的比例、小球质量和摆线的质量比例、空气阻力等^[3~7].

该实验传统的装置由铁架台、小球、细线、燕尾夹、刻度尺和停表构成,这类实验装置虽然结构简单、操作方便,但存在诸多不足:(1)单根摆线容易形成圆锥摆,且小球摆动过程中缺乏角度参照,难以保证其摆角始终在 5° 以内;(2)铁架台高度有限,难以在较大范围内选择不同摆长进行对比实验;(3)因摆线和摆球相连,摆球悬空,刻度尺不能和摆线完全吻合,从而导致摆长测量不够准确;(4)用停表测量单摆周期,存在较大的偶然误差,^[8]这些不足会导致重力加速度的测量结果存在较大误差.有人设计了双线摆测重力加速度的实验装置:将双线的一端分别打结固定在支架上,另一端系住摆球,这种装置解决了圆锥摆的问题,在一定程度上提高了重力

加速度的测量精度,但也存在不足,如由于双线固定端打结,摆长的改变与测量不方便;需要两个支架,实验操作复杂;由于缺乏参照物而不方便控制摆角;没有选取不同摆长进行测量等^[9,10].针对以上不足,作者从开放性、探究性和简便性的角度考虑,对传统双线摆教具进行了改进,制作了一款新型双线摆测重力加速度教具.

2 教具结构设计与制作

自制教具结构如图1所示,主要由横杆部分、支架部分、底板部分和摆动部分等4部分组成.

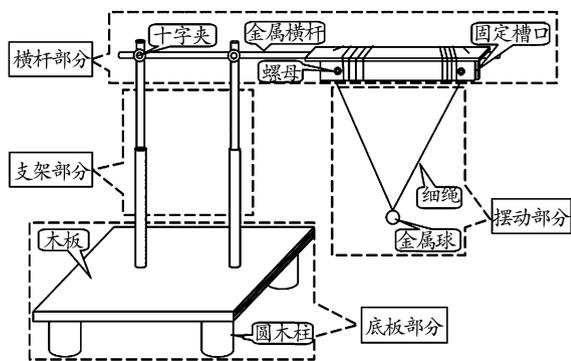


图1 双线摆测重力加速度实验教具结构图

2.1 横杆部分

横杆部分由长为120 cm、直径为1.3 cm的空心金属杆和摆线固定槽组成,如图2所示,它是整个教具的核心部分.空心金属杆左侧用两个十字夹分别

作者简介:张雪晴(1996-),女,在读硕士研究生,研究方向为学科教学(物理).

通讯作者:许新胜(1975-),男,博士,教授,博士生导师,主要从事光解自由基反应、中学竞赛物理教学研究.

固定在两根伸缩竖杆上,右侧伸出约 60 cm 长度用于承接固定双线摆的槽口.摆线固定槽呈 T 型,其作用是在与螺丝和燕尾夹的配合下夹紧细线防止细线滑动,使小球在一次摆动过程中摆长一致.该固定槽由一块水平的 PVC 板和两块竖直的 PVC 板用胶水粘合而成.其中水平 PVC 板的中间部分留有长 60 cm,宽度约 1 mm 的缝隙,可供细线穿过,两块竖直的 PVC 板彼此靠近,中间也仅预留出可穿过细线的宽度,且在其两端钻有直径约为 4 mm 的孔,孔中穿过可调节松紧的螺丝.当细线通过竖直方向的狭缝和水平 PVC 板缝隙后,拧紧螺丝并夹上燕尾夹即可将细线固定,防止其上下或左右滑动.当需要改变摆线长度时,只需取下燕尾夹并松动螺丝,拉动细线选择需要的长度.



图2 横杆部分

2.2 摆动部分

摆动部分由两根细线和一个金属球组成,如图 3 所示.两根细线的一端穿过金属球上的小孔后打结.从小球上端起,利用皮尺对摆线长度进行测量,从“0”刻度开始,每隔 10 cm 做好标记,标记最大处为 200 cm,便于后续实验时读取摆长.两根细线的另一端分别从左右两边穿过摆线固定槽,用螺丝和燕尾夹进行固定.

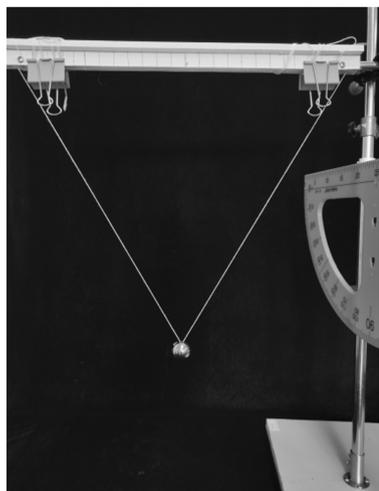


图3 摆动部分

2.3 支架部分

支架部分由两根可伸缩的空心金属管制成,如图 4 所示,其作用主要是支撑横杆部分.每根可伸缩竖杆由两节嵌套的全钢竖管组成,第一节全钢竖管的内径为 19 cm,第二节嵌套内管的内径为 16 cm,两根钢管用加厚护套连接,护套内嵌铜质螺母,使用时可以根据所选摆线长度调节支架高度.

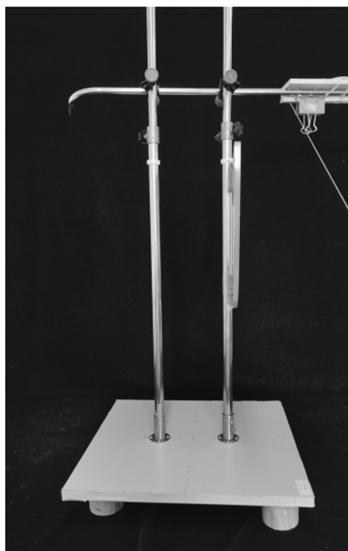


图4 支架部分

2.4 底板部分

底板部分是双线摆教具的基础组成部分,由圆柱体垫脚木块、方形实质木板、固定钢座和大号量角器组成,如图 5 所示.实质方形木板边长为 50 cm,木板底面用热熔胶粘连 4 个直径为 6 cm,高为 5 cm 的圆柱体垫脚木块作为支撑,木板正面的中心两侧距离左右边缘 15 cm 处固定两个钢座,钢座上有螺丝贯穿竖杆,起紧固和稳定支架的作用.另有大号量角器依附在竖直支架上,可以对双线摆的摆角范围起到参照作用.



图5 底板部分

3 实验操作过程

第一,测量小球质量与半径.用高精度电子秤称量小球质量,用游标卡尺测量小球的直径 d ,多次测量取平均值并做好记录.

第二,选取摆长,调节装置.首先选取摆线的标记长度为70 cm,拧紧螺丝固定摆线.接着把横杆调到合适高度并用十字架固定在伸缩杆上.然后利用Phyphox手机APP中的“斜面”工具调节横杆水平,最后放置量角器并调节位置使摆线竖直静止时正对量角器正中间刻度.

第三,释放小球,采集数据.打开近距秒表“允许远程控制”的开关,根据手机页面提供的网址,从电脑端远程访问,方便后续读取和记录周期数据.然后把手机放在小球近距离正下方,按下手机“近距秒表”的开始键,将小球小角度拉离平衡位置释放,量角器作为参照,控制小球的摆角小于 5° ,利用遮光时间记录小球摆动周期.

第四,改变摆长,重复测量.测量结束后,松开双线固定槽的螺丝,取下燕尾夹,通过PVC板槽小孔下放双线增加摆线长度,选取的摆线长度依次为

100 cm,120 cm,150 cm和200 cm,调节横杆到合适高度,重复上述测量过程并记录周期.

第五,分析并处理数据.双线摆测重力加速度与单摆测重力加速度原理类似,不同之处是摆长不再是摆线长度 l ,而是根据勾股定理计算出的等效长度 L .双线固定端的距离记为 s ,双线固定端的连线中点到小铁球上端的距离计算公式是

$$l' = \sqrt{l^2 - \left(\frac{s}{2}\right)^2} \quad (1)$$

可知等效摆长计算公式为

$$L = l' + \frac{d}{2} \quad (2)$$

在双线摆测重力加速度的实验中,用同一个小球做了5组摆长不等的实验,经过多次测量取平均值,测得小铁球的质量是99.25 g,直径是2.902 cm,细线的质量与小球质量相比可以忽略,球的直径与线的长度之比也可以忽略.双线固定端的距离是47.00 cm,小球做简谐运动的周期可以通过电脑或者手机页面读取计算.利用Excel软件插入函数相关结果计算如表1所示(芜湖市的重力加速度的值公认为 $g = 9.7944 \text{ m/s}^2$).

表1 数据处理结果

s/cm	l/cm	d/cm	L/m	T/s	T^2/s^2	$g/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	相对误差 / %
47.00	70.00	2.902	0.673 9	1.644 3	2.703 7	9.839 7	0.46
47.00	100.00	2.902	0.986 5	1.997 1	3.988 4	9.764 7	0.30
47.00	120.00	2.902	1.191 3	2.196 0	4.822 4	9.752 3	0.43
47.00	150.00	2.902	1.496 0	2.456 7	6.035 4	9.785 5	0.09
47.00	200.00	2.902	2.000 7	2.842 5	3.079 8	9.775 3	0.19

在利用改进的双线摆自制教具测量重力加速度的实验中,5组实验测得的 g 值相对误差均小于0.5%; g 的平均值为 9.7835 m/s^2 ,相对误差为0.11%;在双线摆长为150 cm时,测量结果与理论值的相对误差仅为0.09%,测量结果较为准确.

4 总结与反思

(1)结构简单,操作方便,实验结果比较精确.双线摆自制教具结构独立,实验时不需要借助其他支架悬挂双摆线,摆线的固定也不需要打结;摆线长度已经提前测量标记,可以直接读取,然后通过理论公式计算出等效摆长,可以减小摆长测量过程中的

偶然误差;当摆长需要改变时,取下燕尾夹,松开摆线固定槽的紧固螺丝,拉动摆线就可以完成,不需要取下摆球和摆线;每根摆线最大长度可以调节到200 cm,方便探究不同摆长情况下重力加速度的测量结果;摆角可以通过量角器校准控制,利用手机APP使周期测量结果更精准.鉴于以上优化部分,重力加速度测量结果更加精确.

(2)结构开放,功能多样.自制教具不仅可以完成双线摆测量重力加速度实验,还可以通过横杆上的PVC槽固定摆线,做单摆使用,完成其他相关实验,增加实验的开放性与探究性.例如教师可以引导学生设计实验,利用控制变量法探究单摆周期与振

幅、摆球质量、摆长的关系,完成探究影响单摆周期因素的实验;通过对比单摆和双线摆测量重力加速度的优缺点,培养学生的科学思维和科学探究能力.

(3) 自制教具取材于日常生活,制作成本低,利于普及,并且有许多创造教育的因素.教师在教学中适当使用自制教具,可以使学生感到亲切,易于揭示事物本质特征.

参考文献

- 1 迈克尔·马修斯. 科学教学——科学史和科学哲学的贡献(20周年增扩版)[M]. 刘恩山, 郭元林, 黄晓, 译. 北京: 外语教学与研究出版社, 2017
- 2 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017年版 2020年修订). 北京: 人民教育出版社, 2020. 25 ~ 27
- 3 银亚楠, 钱长炎, 殷东强. 单摆摆长的确定及相关问题探

析[J]. 物理教学, 2016(1): 12 ~ 13

- 4 彭金松, 李金舟. 摆角、摆长和摆锤大小对摆的周期影响研究[J]. 河池学院学报, 2011(2): 26 ~ 28
- 5 殷东强, 钱长炎. 单摆偏角及相关问题的分析与探讨[J]. 物理教学, 2013(3): 23 ~ 24
- 6 黄树来, 姜永超, 王娟, 等. 单摆测重力加速度实验的误差分析[J]. 科技视界, 2015(34): 185
- 7 吉恒. 单摆测量重力加速度实验的误差分析[J]. 物理教师, 2010, 31(9): 19 ~ 20
- 8 赖才, 程敏熙, 黄慧敏. 用视频分析软件 Tracker 研究单摆的运动[J]. 物理教师, 2016, 37(12): 67 ~ 69
- 9 林慧金, 何京妮, 李德安. 用双线摆测重力加速度[J]. 物理通报, 2016(8): 89 ~ 91
- 10 庄瑾, 温春媚, 王晰. “双线摆测重力加速度”实验的改进[J]. 实验教学与仪器, 2019(4): 25 ~ 26

(上接第 49 页)

7 结束语

教学中涉及生产生活中的真实问题情境, 引领学生历经科学家的探究过程, 可以激发学生的学习兴趣, 有效地培养学生模型建构、科学推理、解释、论

证、社会责任等物理核心素养.

参考文献

- 1 郭玉英, 苏明义. 新版课程标准解析与教学指导高中物理[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2018
- 2 人民教育出版社. 高中教科书物理·选择性必修 第二册[M]. 北京: 人民教育出版社, 2019. 7 ~ 9

Exploring the Influence of Geomagnetic Field on the Imaging of Color Kinescope

Zhang Linrui Xu Zhen Zhang Ping

(Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Abstract: As for the imaging principle of kinescope TV, physics textbooks for senior high school only focus on the deflection of moving charged particles in the magnetic field provided by the deflection coil. But in real life, the geomagnetic field will also affect the trajectory of moving charged particles in the kinescope. Based on the cognitive ability of senior high school students, this paper analyzes the influence of geomagnetic field on the imaging of color kinescope, refines the modeling process, gives the real parameters, and highlights the application of scientific research methods in teaching, so as to connect the teaching content with modern technology and the reality of life, and implement the cultivation of students' core literacy in daily teaching.

Key words: Lorentz force; magnetic deflection of electron beam; imaging principle of color kinescope; geomagnetic field