

用双线摆测重力加速度

林慧金 何京妮 李德安

(华南师范大学物理与电信工程学院 广东 广州 510006)

(收稿日期:2016-04-10)

摘要:在应用单摆测量重力加速度时,造成误差的主要因素有实验仪器引起的系统误差和实际测量引起的随机误差.文中针对单摆做圆锥摆引起的系统误差,采用了双线摆代替单摆的方法来改进实验装置,巧用万能板来固定双线摆,并使其与 DISLab 通用软件相结合,能更精确地测量出重力加速度.

关键词:重力加速度 系统误差 双线摆 实验装置

1 引言

重力加速度是一个重要的物理常量,精确测量重力加速度在力学、热学、电学、天文学等方面都有广泛的应用^[1].用单摆测重力加速度是传统的方法,此方法简单、容易操作,但该方法却存在多种因素造成的误差,针对这些因素,本文着重讨论单摆做圆锥摆运动对实验结果造成的影响,并由此对实验装置进行改进,即利用双线摆精确测量重力加速度.

2 实验装置

2.1 传统单摆测重力加速度的实验装置

在传统的单摆测重力加速度实验中,实验装置是用一不可伸长的轻线将小铁球悬挂在支架上,支架下端放置有光电门,恰好让小球自然悬挂于光电门的两片感应器中.由钢卷尺测出铁球边缘到摆的支点 O 的距离 L ,用螺旋测微器测量铁球直径 d .当小球做小角度周期摆动时,通过数据采集器采集数据,再通过 DISLab 通用软件得到单摆的周期 T 和重力加速度 g .

由检索文献发现,单摆由于其速度方向和重力方向不共面,很容易变圆锥摆.对比单摆和圆锥摆的周期公式得到的重力加速度,发现圆锥摆带来的系统误差使得重力加速度的测量值偏大^[2].

2.2 实验装置的改进——双线摆

基于传统单摆测重力加速度引起圆锥摆的现

象,笔者由此提出采用双线摆来改进实验仪器.

在一个摆球的小孔上系有两根等长的不可伸长的轻线,轻线的两端分别系在一根水平直杆的两端上,若让摆球绕铅垂线转过一角度,则摆球绕其平衡位置往复摆动,那么该系统就构成了双线摆^[3](如图1).其主要优势有4方面.

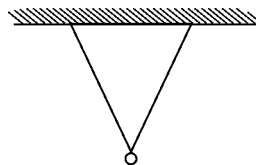


图1 双线摆示意图

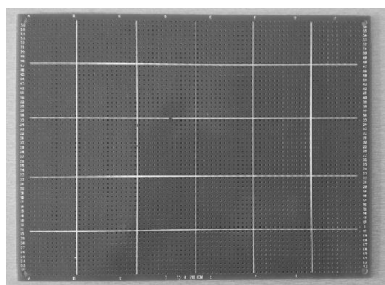
(1) 有效避免小球做圆锥摆运动

利用双线摆的两根线将小球限制在图1中的三角形平面内做简谐振动,可以有效避免实验中出现的圆锥摆.具体原因有:其一,根据前人研究,双线摆采用微角摆动法来测量的相对误差小于1%,而且结合长摆线更能减少测量误差^[4].其二,双线摆的小球受到3个力的作用而达到平衡,即在竖直和水平方向上,整个双线摆系统都是很稳定的,不容易受到周围环境轻微振动的影响,如人的呼吸、风等.而单摆只有两个力维持平衡,在水平方向上比较容易受到外界干扰而变成圆锥摆.

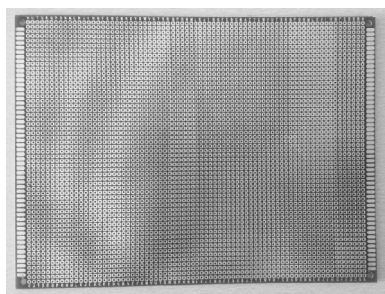
(2) 巧妙运用万能板,打结固定双线

在双线摆测量重力加速度的时候,如何将此摆的两根轻线固定好且不影响其简谐振动是最关键的问题.笔者一开始是直接利用原装置的,但是由于铁

架台难以使直杆保持水平,且轻线两端距离容易因外界因素改变,实验不够严谨.笔者经过多次尝试,结合物理学科特色发现,空白的万能板是比较适合作为固定双线摆的材料,如图2(a)、(b)所示.因为万能板上有分布均匀的小孔,且孔与孔的间隔是固定的,可方便调节并测量两根线的距离;且孔的大小与线的直径差不多,通过打一小结在板上,就能避免小球在摆动过程中轻线的移动.使用两个铁架台将万能板固定,通过调节即可保证万能板水平,从而确保小球以预期的等效摆长摆动.



(a) 万能板正面



(b) 万能板反面

图2 空白的万能板

(3) 操作简易,适用于课堂教学

在课堂教学演示中,双线摆装置足够简单,且实验效果好.通过与传统单摆对比,可以帮助学生弄清小球做简谐振动的摆长如何确定,并引导学生分析传统单摆测重力加速度的不足,同时拓展学生测量思路,实验装置示意图如图3所示.

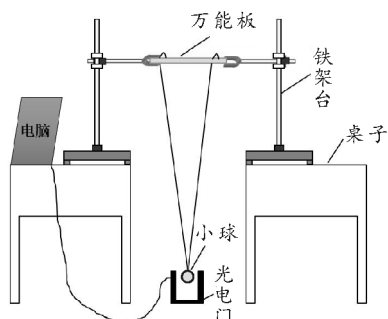


图3 实验装置示意图

(4) 精确度高

使用数据采集器和DISLab通用软件相结合,能有效地提高实验效率和实验结果的精确度.此外,根据测量结果,传统单摆测量重力加速度的相对误差为1.2%,而改进的双线摆测量重力加速度的相对误差减小到0.064%,精确度大大提高.

3 实验原理与步骤

3.1 实验原理

本实验采用单摆法测重力加速度.重力加速度公式

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$$

只需测量出小球的直径 d ,双线的长度 l 和双线两个固定端的距离 s ,计算得出等效摆长 L ,即可由DISLab通用软件得到周期 T 和重力加速度 g ^[5].

3.2 实验步骤

(1) 计算等效摆长 L .用螺旋测微器测量小铁球的直径 d ,用钢卷尺测量出双线的长度 l 和双线两个固定端的距离 s ,利用勾股定理计算出两个固定端连线的中心到小铁球的距离 L' ,从而得到等效摆长 L .

(2) 组装实验装置(如图4).测出双线的长度后,在线上做好标志,将线穿过万能板的小孔并在标志处打结.调整两个桌子和铁架台达到水平状态,将万能板水平固定在两个铁架台之间,小铁球悬挂在光电门的两片感应器中.

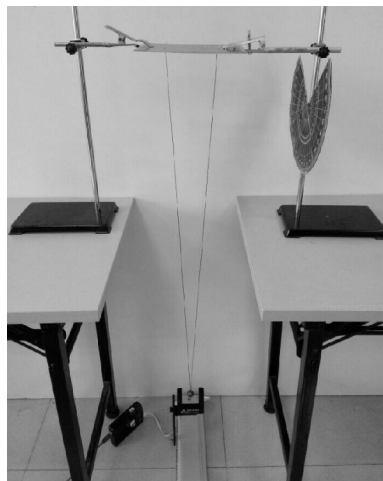


图4 实验装置图

(3) 测定重力加速度 g .组装完装置后,让双线摆在摆角小于 5° 的条件下做往复运动.利用数据采

集器采集数据,通过DISLab通用软件得到周期 T 和重力加速度 g .

3.3 数据处理

(1) 小铁球直径 $d=19.460\text{ mm}$,两线的长度均为 $l=100.10\text{ cm}$,双线的两个固定端的距离 $s=9.00\text{ cm}$,则双线两个固定端连线的中点到小铁球的距离为

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

代入数据得

$$L'=1.000\text{ 0 m}$$

那么,等效摆长为

$$L=L'+\frac{d}{2}=$$

$$1.000\text{ 0 m}+\frac{0.0194\text{ 60}}{2}\text{ m}=1.010\text{ 0 m}$$

(2) 结合数据采集器和DISLab通用软件,操作一次得到10组周期 T 和重力加速度 g 的实验数据,将每次得到的10组 T 和 g 的实验数据取平均值.重复3次实验步骤(3),得到实验数据如表1.

表1 双线摆法测 g 实验数据表

次数	T/s	L/m	$g/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$
1	2.008 18	1.010 0	9.789 4
2	2.008 07	1.010 0	9.790 5
3	2.008 55	1.010 0	9.785 7
平均值			9.788 5

由此可知,用双线摆测得的重力加速度平均值

$$g=9.788\text{ 5 m/s}^2$$

(3) 在该装置下,利用单摆法测量重力加速度,得到实验数据如表2.

表2 单摆法测 g 实验数据表

次数	T/s	L/m	$g/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$
1	1.997 25	1.010 0	9.896 8
2	1.997 42	1.010 0	9.895 1
3	1.997 61	1.010 0	9.893 2
平均值			9.895 0

由此可知,用单摆测得的重力加速度平均值

$$g=9.895\text{ 0 m/s}^2$$

(4) 本实验是在广州完成的,广州位于北纬 23.1° ,平均海拔高度为 43.4 m .由重力加速度理论值计算公式

$$g_0=(980.616-2.592\text{ 8cos}\varphi+0.006\text{ 9cos}^2\varphi-3.086\times10^{-6}H)\text{ cm/s}^2=978.22\text{ cm/s}^2=9.782\text{ 2 m/s}^2$$

其中, φ 是纬度, H 为海拔高度^[6].

(5) 双线摆的实验相对误差为

$$E_{r1}=\frac{(9.788\text{ 5}-9.7822)\text{ m/s}^2}{9.782\text{ 2 m/s}^2}\times100\%=0.064\%$$

单摆的实验相对误差为

$$E_{r2}=\frac{(9.895\text{ 0}-9.782\text{ 2})\text{ m/s}^2}{9.782\text{ 2 m/s}^2}\times100\%=1.2\%$$

由实验误差可得,采用双线摆的方法所得数据较为准确.

4 结论

相对于传统的单摆法,采用不平行的对称双线摆的方法来改进实验仪器,可以通过简单的操作,有效地避免圆锥摆的出现,使得测量的重力加速更加精准.当然,双线摆的测量方法也存在一些不足,如摆线长度的测量存在人为误差、摆角的误差等.本文只在双线摆测量重力加速度的改进方面做深入研究,但还未对双线摆的两线张开的角度做进一步的研究,两线张开的角度过大可能阻碍小球运动,也会对实验结果造成影响.

参考文献

1 盛虹.单摆测重力加速度的研究.延安大学学报(自然科学版),2014(02):28~30
2 王金德.“单摆测重力加速度”的实验研究与误差分析.铜仁学院学报,2011(03):126~128
3 吴秀芳,柳涛.双线摆的周期及其测定.广西物理,1998(02):40~43
4 于治会.一般双线摆的振动特性分析.强度与环境,1990(04):13~17
5 张海军.测量重力加速度的五种方法.中学物理教学参考,2012(04):24~25
6 张冠芬.单摆智能化测量重力加速度实验的研究.菏泽学院学报,2012(02):50~55