

对重力加速度几种测量方法的比较研究

胡 飞 黄邦蓉

(云南师范大学物理与电子信息学院 云南 昆明 650500)

(收稿日期:2016-04-29)

摘 要:重力加速度 g 是物理学中的一个重要物理量,它受物体所处位置的纬度、海拔以及地质构造等因素影响.因此,不同地区的 g 值一般都不相同.就本科阶段的 g 值测量方法进行归纳总结,结合实验室所能提供的仪器,从单摆法、自由落体运动法、倾斜气垫导轨法以及平衡法 4 个测量 g 值的实验出发,通过对其实验原理、器材选择、实验数据处理以及误差分析等方面进行比较和研究,找出适合昆明地区实验室测量 g 值的最佳方法.

关键词:重力加速度 单摆法 自由落体运动法 倾斜气垫导轨法 平衡法

1 引言

重力加速度是物体受重力作用的情况下所具有的加速度,也称为自由落体加速度,通常指地球表面附近物体受地球引力作用在真空中下落的加速度,在物理学中用 g 来表示.重力加速度 g 的方向总是竖直向下的,在同一位置,任何物体的重力加速度 g 值都是相同的.事实上,由于不同地区的地理纬度、海拔高度以及地质构造等存在差异,导致不同地区的重力加速度 g 值不相同.一般来说,重力加速度 g 的数值会随海拔高度的升高而减小.当物体距离地面高度远远小于地球半径时,重力加速度 g 的数值变化不大,但是当物体距离地面高度远远大于地球半径时,重力加速度 g 的数值将显著减小,此时就不能认为 g 是一个常量^[1].另外,处于相同海拔高度的物体的重力加速度 g 值也会随着地理纬度的增大而增大,通常地球赤道处的重力加速度最小,地球两极处的重力加速度最大.由于不同地区的重力加速度 g 值不同,使得重力加速度 g 成为一个重要的地球物理学参数.

在地震预报、地质勘探、空间气象和大地物理学

等领域的研究中都需要精确测量重力加速度 g 值.目前,国内外对重力加速度 g 值的测量已经向着高精度的方向发展,随着冷原子物理技术的发展与成熟,原子干涉仪被应用在了高精度重力加速度 g 值测量领域^[2].1999年,朱棣文小组利用原子干涉仪获得的绝对重力加速度精度为 $3 \times 10^{-9} g$ ^[2,3].2002年,耶鲁大学的 Kasevich 小组使用两个原子干涉仪测得重力加速度梯度的精度为 $40E(1E = 10^{-9}/s^2)$ ^[2,4].但是现代普通生产技术条件下所使用的重力加速度 g 值对精度要求不高,一般使用经典力学物理实验室常用测量手段就可以满足.经典力学物理实验室条件下测量重力加速度 g 值的常见方法有以下几种:基于阿基米德定律测量重力加速度、利用多普勒效应测定重力加速度、单摆法、自由落体运动法(落球法)、倾斜气垫导轨法、平衡法等.本文将结合我院普通力学实验室基本设施,针对这些经典力学物理实验室测量重力加速度 g 值的常用方法以及自主设计的测量方法进行探讨,通过实验操作,数据记录与处理计算出昆明地区的重力加速度 g 值,最后从测量方法的可行性、操作的复杂程度、实验数据处理的难易程度以及实验结果的误差大小等

作者简介:胡飞(1994-),男,本科在读,物理学专业.

通讯作者:黄邦蓉(1974-),女,硕士,讲师,主要从事大学物理相关专业的教学及研究.

方面来进行综合比较和研究,并最终找出在经典力学物理实验室中测量昆明地区重力加速度 g 值的最佳方法.

2 测量重力加速度 g 的方法

2.1 单摆法

2.1.1 实验原理

将一根不可伸长的轻绳一端固定,在轻绳的另一端上悬挂一金属小球.若轻绳的质量远远小于金属小球的质量,并且金属小球的直径又比轻绳长度小得多,金属小球做幅角 θ 很小的摆动,这样的装置就是一个单摆.在忽略空气阻力、摆线质量和伸长等因素对实验结果的影响,同时单摆幅角很小 ($\theta < 5^\circ$) 的情况下,单摆摆动可看作简谐振动,该简谐振动的振动周期为

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

式中 l 是单摆的摆长(摆线长加金属小球半径), g 是重力加速度, T 是单摆摆动周期.因此,只要测出单摆的摆长 l 和摆动周期 T ,就可以计算得出重力加速度 g .

实验中,只测量一个周期时的相对误差较大,通常需要通过测量连续摆动 n 个周期的时间 t 来确定摆动周期 T ,即 $t = nT$,代入式(1)中整理得重力加速度 g 的计算公式为

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

2.1.2 实验仪器和用具

单摆,钢卷尺,游标卡尺,停表.

2.1.3 实验步骤

(1) 安装实验仪器,用游标卡尺测量出金属小球直径,记为 d ,反复测量 6 次,取平均;

(2) 用钢卷尺测出摆线长度,记为 L ,反复测量 6 次,取平均;

(3) 拉开单摆的金属小球,使单摆自由摆动.测量在幅角 $\theta < 5^\circ$ 的情况下单摆连续摆动 $n=50$ 次所需要的时间,记作 t ,重复测量 6 次,取平均;

(4) 根据测量数据,计算得出摆长 l ,最后参照式(2)计算得到重力加速度 g 值.

2.1.4 实验记录与结果

实验数据如表 1 所示.

表 1 单摆法测重力加速度

项目	1	2	3	4	5	6	平均值
d/cm	1.982	1.980	1.984	1.982	1.982	1.984	1.982
L/cm	99.02	99.01	99.03	98.98	98.99	99.01	99.01
l/cm	100.011	100.001	100.021	99.971	99.981	100.001	100.00
t/s	100.22	100.19	100.21	100.20	100.23	100.18	100.205
$g/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	9.829 2 \pm 0.006 0						

2.2 自由落体运动法(落球法)

2.2.1 实验原理

忽略空气阻力不计,物体只受重力作用由静止开始下落的运动,叫作自由落体运动.自由落体运动是初速度为零、加速度为 g 的匀加速直线运动.

测量时,设两光电门 1 和 2 之间的距离为 s ,金属球下落至光电门 1 时的速度为 v_1 ,通过两光电门的时间为 t ,由匀加速直线运动规律得

$$s = v_1 t + \frac{1}{2} g t^2 \quad (3)$$

两边同除以 t ,得

$$\frac{s}{t} = v_1 + \frac{1}{2} g t \quad (4)$$

令 $x = t, y = \frac{s}{t}$,则

$$y = v_1 + \frac{1}{2} g x \quad (5)$$

式(5)为一直线方程,只需要测出若干不同的 s

和 t 值,用 $x=t, y=\frac{s}{t}$ 进行直线拟合,设该拟合直线

斜率为 b ,则由 $b=\frac{1}{2}g$ 可求得重力加速度 g 为

$$g=2b \quad (6)$$

2.2.2 实验仪器和用具

自由落体装置,数字毫秒计,光电门(2个),金属小球.

2.2.3 实验步骤

(1) 调节实验装置立柱成铅直,使金属小球能通过光电门1和2的中点;

(2) 将上面的光电门1调节至离小球下落起点

0.1 m处,即 $x_1=0.1$ m;

(3) 将下面的光电门2调节至离小球下落起点0.6 m处,无初速度释放金属小球,使用毫秒计0.1 ms挡测6次时间 t .然后,将光电门2依次下移0.2 m,每次测6次时间 t ,直至光电门2移到 $x_2=1.0$ m为止;

(4) 计算各组测量的 s 和 t 对应的 x 和 y 值,采用最小二乘法作直线拟合,计算得出斜率 b ,最后参照式(6)求出重力加速度 g 值.

2.2.4 实验记录与结果

实验数据如表2所示.

表2 自由落体运动法测量重力加速度

s/m	t/ms							$\frac{s}{t}/(m \cdot s^{-1})$
	1	2	3	4	5	6	平均值	
0.5	215.54	215.52	215.59	215.55	215.51	215.56	215.54	2.319 76
0.7	270.70	270.69	270.73	270.79	270.81	270.80	270.75	2.585 41
0.9	319.34	319.16	319.40	319.30	319.14	319.16	319.25	2.819 11

采用最小二乘法对数据进行处理

$$F_f = b\bar{v} \quad (8)$$

$$\hat{b} = \frac{s_{xy}}{s_{xx}} = 4.819 70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$\hat{r} = \frac{s_{xy}}{\sqrt{s_{xx}s_{yy}}} = 0.999 7$$

上式中的比例系数 b ,称为等效粘性阻尼系数.考虑此阻力后,式(7)改为

$$ma = mg \sin \theta - b\bar{v} \quad (9)$$

整理后,重力加速度 g 等于

$$g = \frac{a + \frac{b\bar{v}}{m}}{\sin \theta} \quad (10)$$

计算 b 的标准偏差为

$$s_b = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}} \cdot \frac{b}{r} = 0.118 08 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

由式(6)求得重力加速度 g 值为

$$g = 2b = 9.639 40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$u_{(g)} = 2s_b = 0.236 16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

实验中参照式(10)去求重力加速度 g .

2.3 倾斜气垫导轨法

2.3.1 实验原理

滑块在倾斜导轨上的加速度 a 和重力加速度 g 的关系:设导轨倾斜角为 θ ,滑块质量为 m ,则

$$ma = mg \sin \theta \quad (7)$$

式(7)只有在滑块运动时不受阻力的情况下才成立.事实上,滑块在气垫导轨上运动时虽然没有接触摩擦,但其与空气层之间存在内摩擦,其阻力 F_f 和平均速度 \bar{v} 成比例^[5],即

2.3.2 实验仪器和用具

气垫导轨,滑块,数字毫秒计,游标卡尺,垫块.

2.3.3 实验步骤

(1) 导轨调平.调平导轨本应是将平直的导轨调成水平方向,但是实验室现有的导轨都存在一定的弯曲,因此,此处“调平”的意义是指将光电门A和B所在两点,调到同一水平线上.检查调平的要求:1)滑块从A向B运动时, $v_A > v_B$;相反时, $v_A < v_B$.2)由A向B运动时的速度损失 Δv_{AB} ,要和相反运动时的速度损失 Δv_{BA} 尽量接近.

(2) 测粘性阻尼系数 b .调平导轨后,测量两个

方向的速度损失 Δv_{AB} 和 Δv_{BA} , 由 $\Delta v = \frac{bs}{m}$ 可得

$$b = \frac{m}{s} \frac{\Delta v_{AB} + \Delta v_{BA}}{2} \quad (11)$$

(3) 测量加速度 a . 保持 m, s, d 不变, 将导轨一端垫高 H , 测出两支点间的距离为 L , 如图 1 所示.

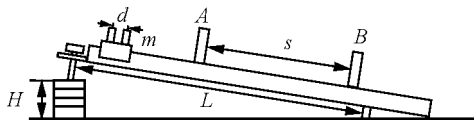


图 1 倾斜气垫导轨法测量重力加速度

组织测量 6 组 t_A 和 t_B , 计算得出加速度 a 和 \bar{v}

$$a = \frac{\left(\frac{d}{t_A}\right)^2 - \left(\frac{d}{t_B}\right)^2}{2s} \quad (12)$$

$$\bar{v} = \frac{d}{2} \frac{t_A + t_B}{t_A t_B} \quad (13)$$

(4) 参照式(10) 计算得出昆明地区的重力加速度 g 值及其标准不确定度.

2.3.4 实验记录与结果

(1) 粘性阻尼系数 b

测粘性阻尼系数 b 相关数据如表 3 所示.

表 3 测量气垫导轨的粘性阻尼系数 b

项目	$m = 0.1811 \text{ kg}$		$s = 0.610 \text{ m}$		$d = 1.004 \text{ cm}$	
	1	2	3	4	5	
t_A/ms	24.95	26.48	29.06	29.50	32.81	
t_B/ms	25.35	26.94	29.56	30.12	33.72	
t'_B/ms	26.32	27.87	30.52	31.28	35.11	
t'_A/ms	26.68	28.36	31.11	31.78	36.03	
$b/(\times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1})$	1.707	1.885	1.794	1.790	2.308	

注:根据式(11) 计算得出气垫导轨的粘性阻尼系数 b .

参照表 3 可得

$$\bar{b} = \frac{b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + b_5}{5}$$

代入数据得

$$\bar{b} = 1.8968 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

(2) 重力加速度 g

测量重力加速度 g 实验数据如表 4 所示.

表 4 倾斜气垫导轨法测量重力加速度

项目	$L = 0.856 \text{ m}$		$H = 0.085 \text{ m}$		$\sin \theta = \frac{H}{L} = 0.09930$		
	1	2	3	4	5	6	平均值
t_A/ms	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10
t_B/ms	10.97	10.98	10.97	10.99	10.97	10.98	10.98
$\bar{v}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	2.329	2.328	2.329	2.327	2.329	2.328	2.328
$a/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	0.952	0.954	0.952	0.955	0.952	0.954	0.954

参照式(10), 计算得出昆明地区的重力加速度 g 为

$$g = 9.852 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

2.4 平衡法

2.4.1 实验原理

用弹簧测力计和已知质量的铁块测量重力加速

度 g , 将已知质量为 m 的铁块悬挂在弹簧测力计上, 保证弹簧测力计和铁块的重心在同一铅垂线上, 待弹簧测力计平衡后, 读出弹簧测力计示数为 $F = G = mg$. 即物体的重力加速度 g 为

$$g = \frac{F}{m} \quad (14)$$

2.4.2 实验仪器和用具

弹簧测力计(2 N),分析天平,铁块.

2.4.3 实验步骤

- (1) 使用分析天平测出铁块的质量 m ;
- (2) 对弹簧测力计调零,然后将铁块竖直悬挂

在弹簧测力计上,待弹簧测力计平衡后,读出弹簧测力计示数 F ;

- (3) 参照式(14),求出重力加速度 g .

2.4.4 实验记录与结果

平衡法测重力加速度数据如表5所示.

表5 平衡法测重力加速度

项目	1	2	3	4	5	6	平均值
m/kg	0.166 20	0.166 23	0.166 22	0.166 21	0.166 21	0.166 22	0.166 21
F/N	1.60	1.59	1.61	1.60	1.61	1.59	1.60
$g/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	9.626 38						

3 实验误差分析

3.1 昆明地区重力加速度 g 标准值的获取

计算物体重力加速度 g 值在地球表面引力场中的分布主要有两种理论模型.一种是应用在精密的地球科学和军事领域内的模型计算,它需要考虑到地球内部各处密度的差异以及陆地与海洋的差异等诸多因素,然后建模计算.另一种是由潘留仙教授提出来的,其理论将地球近似看成一个圆形的球体,不考虑地球各处的密度及其表面的陆地海洋的分布差异,认为地球是一个质量分布均匀的球体,通过建立模型推导计算得出不同海拔高度和纬度处的重力加速度 g 值,公式为

$$g = g_0 \frac{1 - 0.002\ 65 \cos \varphi}{1 + \frac{2H}{R}} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (15)$$

其中 g_0 表示地球标准重力加速度,公认值为 $9.806\ 65 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$; φ 表示测量点的地球纬度; H 表示测量点的海拔高度; R 表示地球的平均半径,其公认值为 $6\ 370 \text{ km}$. 经查阅资料得知昆明地区的纬度为 $\varphi = 25^\circ 02' 11''$, 相对海拔高度为 $H = 1\ 891 \text{ m}$, 参照式(15), 计算可得昆明地区的标准重力加速度 g 值, 记作 $g_{\text{标}} = 9.783\ 6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

3.2 单摆法测量误差分析

3.2.1 理论分析

在用单摆法测重力加速度的测量过程中,误差的主要来源大致有如下几个方面:

(1) 在测量细绳长度时,钢卷尺会弯曲,导致测量结果偏大. 停表本身也不准确;

(2) 对仪器的操作不准确;

(3) 仪器测量读数不准确;

(4) 理想单摆的摆线质量要求为零,但是事实上摆线质量不为零;

(5) 理想单摆的摆球要求可看作一质点,但事实上摆球体积不为零;

(6) 单摆测量重力加速度的周期为

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

事实上其应该为

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left(1 + \frac{1}{4} \sin^2 \theta + \dots \right)$$

在 $\theta < 5^\circ$ 时,才能忽略公式中的高次项,但实际操作中很难保证幅角 θ 每次都小于 5° , 所以幅角 θ 大小引入测量结果的误差是不可忽略的;

(7) 理论上,单摆实验要求无外力作用,但事实上实验环境中存在空气阻力和空气浮力;

(8) 支点状态不理想;

(9) 支架震动或空气流动.

3.2.2 不确定度的计算

单摆法测重力加速度 g 的不确定度传递公式为

$$u_{(g)} = g \sqrt{\left[\frac{u_{(l)}}{l} \right]^2 + \left[2 \frac{u_{(t)}}{t} \right]^2} \quad (16)$$

(1) 求 l 的 $u(l)$: 钢卷尺 $\Delta_{\text{ins}} = 0.001 \text{ m}$; 游标卡尺 $\Delta_{\text{ins}} = 0.000\ 02 \text{ m}$, 经计算

$$u(l) = \sqrt{u_{(A)}(l)^2 + u_{(B)}(l)^2} = 0.00058 \text{ m}$$

(2) 求 t 的 $u(t)$: 停表 $\Delta_{\text{ins}} = 0.01 \text{ s}$, 经计算

$$u(t) = \sqrt{u_{(A)}(t)^2 + u_{(B)}(t)^2} = 0.0096 \text{ s}$$

最后参照式(16), 求得

$$u_{(g)} = g \sqrt{\left[\frac{u(l)}{l}\right]^2 + \left[2\frac{u(t)}{t}\right]^2} = 0.0060 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

3.3 自由落体运动法测量误差分析

3.3.1 理论分析

在用自由落体运动法测重力加速度的测量过程中, 测量误差主要来源有如下几个方面:

- (1) 实验仪器自身引入的系统误差;
- (2) 实验装置的铅直程度调节不到位;
- (3) 支架震动和空气流动引入的误差;
- (4) 吹气皮球吸住小球时, 小球在重力作用下掉落, 事实上小球并不是无初速度下落, 因为吹气皮球中剩余的空气对小球存在推力, 使小球下落时就具有一定的初速度, 此时引入的误差不可忽略;

(5) 人为因素引入的误差, 即仪器测量读数不准确;

(6) 小球下端的位置和光电门上指示的位置不一致而使测得的 s 有比较大的误差。

3.3.2 不确定度的计算

实验数据处理过程采用最小二乘法, 其中设 $x =$

$t, y = \frac{s}{t}, x$ 和 y 互不独立, 这不符合最小二乘法的要求, 但可近似使用. 由最小二乘法计算得到斜率 b 的标准偏差 s_b , 为 b 的 A 类不确定度. 但是一般 b 的 B 类不确定度较小, 可以忽略不计.

计算 b 的标准偏差为

$$s_b = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}} \cdot \frac{b}{r} = 0.11808 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

参照式(6)求得重力加速度 g 值和不确定度 $u(g)$ 为

$$g = 2b = 9.63940 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$u(g) = 2s_b = 0.23616 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

3.4 倾斜气垫导轨法测量误差分析

3.4.1 理论分析

在用倾斜气垫导轨法测重力加速度的实验过程

中, 测量误差主要来源有如下几个方面:

(1) 光电计时系统的光电转换不等时性^[6];

(2) 滑块在运动过程中所受的各种阻尼. 导轨和滑块之间由于气流的相对运动而产生的一种内摩擦力(粘滞性阻力)的影响, 使得实验结果往往和理论上所预期的结果偏离较大^[6];

(3) 用平均速度 $\frac{d}{t}$ 代替瞬时速度 v 而引起的系统误差^[7];

(4) 气源提供的空气流量、气压不稳定造成空气膜(气垫)不均匀而引起的系统误差;

(5) 气垫导轨弯曲带来的系统误差. 理想气垫导轨实验中, 总是将导轨看成一根平直的导轨来看待, 但在现有实验室条件下由于长时间使用导轨, 导轨有不同程度的损坏, 都存在一定的弯曲, 对实验结果造成了不容忽视的系统误差.

3.4.2 不确定度的计算

参照式(10)推导得出倾斜气垫导轨法测重力加速度 g 的不确定度传递公式为

$$u(g) =$$

$$\left\{ \left[\frac{u(a)}{\sin \theta} \right]^2 + \left[\frac{\bar{v}u(b)}{m \sin \theta} \right]^2 + \left[\frac{bu(\bar{v})}{m \sin \theta} \right]^2 + \left[\frac{b\bar{v} - a}{\frac{m}{\sin^2 \theta} u(\sin \theta)} \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

直接计算比较复杂, 可先计算间接结果.

最后参照式(10)和式(17)求得重力加速度 g 值和不确定度 $u(g)$ 为

$$g = (9.852 \pm 0.031) \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$u(g) = 0.031 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

3.5 平衡法测量误差分析

3.5.1 理论分析

平衡法测量重力加速度实验原理简单, 实验仪器也比较常见, 但是误差较大, 主要误差来源有:

(1) 弹簧测力计老化, 导致弹簧的劲度系数发生变化, 致使测量得到的 F 不准确;

(2) 分析天平称量不准确, 致使测量得到的小

铁块 m 不准确;

(3) 人为读数误差对实验结果影响也比较大。

3.5.2 不确定度的计算

参照式(14)推导得出平衡法测重力加速度 g 的不确定度传递公式为

$$u(g) = \sqrt{\left[\frac{u(m)}{m}\right]^2 + \left[\frac{u(F)}{F}\right]^2} \quad (18)$$

(1) 求 m 的 $u(m)$: $\Delta_{\text{ins}} = 0.00001 \text{ kg}$, 经计算

$$u(m) = \sqrt{u_{(A)}(m)^2 + u_{(B)}(m)^2}$$

代入数据得

$$u(m) = 2.40 \times 10^{-6} \text{ kg}$$

(2) 求 F 的 $u(F)$: $\Delta_{\text{ins}} = 0.01 \text{ N}$, 经计算

$$u(F) = \sqrt{u_{(A)}(F)^2 + u_{(B)}(F)^2}$$

代入数据得

$$u(F) = 4.36 \times 10^{-3} \text{ N}$$

最后参照式(18), 求出

$$u(g) = \sqrt{\left[\frac{u(m)}{m}\right]^2 + \left[\frac{u(F)}{F}\right]^2} = 0.00027 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

4 4种重力加速度 g 的测量方法的比较与评价

4.1 实验结果比较与评价

在实验环境相似条件下, 通过规范实验操作, 保证上述测量结果都具有较高的可信度. 现将4种测量结果与昆明地区重力加速度标准值 $g_{\text{标}} = 9.7836 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 进行比较, 如表6所示.

表6 实验结果比较表

项目	单摆法	自由落体运动法	倾斜气垫导轨法	平衡法
$g/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	9.829	9.639	9.852	9.626
$u(g)/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	0.006	0.236	0.031	
$\epsilon = g - g_{\text{标}} / (\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	0.045	0.145	0.068	0.158
$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{g_{\text{标}}} / \%$	0.46	1.48	0.70	1.61

参照表6, 可以看出使用平衡法测量重力加速度的数据离散程度最大, 实验结果误差最大, 所以平衡法只适用来对 g 进行粗测; 自由落体运动法测重力加速度实验中的理论模型为理想化模型, 但是实验环境中存在空气阻力、浮力, 其对实验结果的影响不容忽视, 同时处理数据时采用最小二乘法, 只能近似使用, 也会导致计算结果存在偏差, 整体而言, 自由落体运动法测量不确定度较大, 误差也较大; 虽然单摆法和倾斜气垫导轨法的测量结果误差相近, 但是单摆法的测量数据离散程度较小, 测得的重力加速度也更接近标准值, 所以使用单摆法来测量重力加速度的实验结果更精确、可靠.

4.2 测量方法的比较与评价

将上述4种重力加速度测量方法从实验原理的难易程度, 器材选择的简便程度, 实验数据获取和处理的复杂程度以及测量结果的可信度等多方位来进行综合比较评价, 结果如表7所示.

表7 测量方法综合比较表

项目	从易到难(从简到繁或从少到多或从低到高)顺序			
	1	2	3	4
实验原理的难易程度	平衡法	单摆法	自由落体运动法	倾斜气垫导轨法
器材选择的简便程度	平衡法	单摆法	自由落体运动法	倾斜气垫导轨法
实验操作的方便程度	平衡法	自由落体运动法	单摆法	倾斜气垫导轨法
数据处理的难易程度	平衡法	单摆法	自由落体运动法	倾斜气垫导轨法
测量结果的可信度	单摆法	倾斜气垫导轨法	自由落体运动法	平衡法

参照表7, 综合考量, 选择单摆法测量重力加速度是昆明地区实验室中测量重力加速度最佳的一种实验方法.

5 结束语

本文结合经典力学物理实验室中常用的重力加速度的测量方法,借助我院力学实验室基本设施,对单摆法、自由落体运动法、倾斜气垫导轨法、平衡法4种测量方法进行综合比较与分析,得到以下几点结论:

(1) 使用单摆法测量 g 值时操作相对简单,误差最小,并且可重复性高;

(2) 平衡法测量 g 值最简单,但实验误差较大,只适合对 g 值进行粗测或估测;

(3) 自由落体运动法和倾斜气垫导轨法测量过程较为复杂,并且测量结果受实验环境和仪器自身的影响较大。

综合考量,推荐昆明地区实验室测量重力加速度时采用单摆法。

参考文献

- 1 朱建军. 重力对我们世界的影响. 新高考: 高一物理, 2015(10):54 ~ 54
- 2 董光兴,王新兴,张鹏,等. 重力加速度的测量方法与实验分析. 河西学院学报,2015,31(5):31 ~ 36
- 3 Peters A., Chung K. Y., Chu S.. High - precision gravity measurements using atom interferometry . Metrologia,2001,38(1):25 ~ 26
- 4 McGuirk J. M., Foster G. T., Fixler J. B., et al. Sensitive absolute - gravity gradiometry using atom - interferometry . Phys. Rev. A,2002,65(3):033608 - 15
- 5 杨述武,赵立竹,沈国土. 普通物理实验1·力学、热学部分(第4版). 北京:高等教育出版社,2007,3 ~ 66
- 6 李爱琴,董鹏娜. 气垫导轨实验中误差分析及修正. 郑州铁路职业技术学院学报,2011,23(2):20 ~ 22
- 7 陈皓,杨梅,魏海光. 气垫导轨上碰撞实验的误差分析及修正. 沈阳师范大学学报(自然科学版),2012,30(2):208 ~ 211

Comparative Study on Several Methods of Measuring Acceleration of Gravity

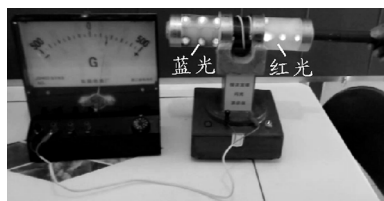
Hu Fei Huang Bangrong

(Physical and Electronic Information College, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650500)

Abstract: Gravitational acceleration (g) is an important physical quantity which is influenced by various factors such as location, latitude and geological structure and other factors of the object. It varies in different regions. In article it is summarized g value measurement adopted by an undergraduate course, considering equipments laboratory could offer, We utilized methods of simple pendulum, free - fall motion, inclined air cushion guide rail, to compare and research on the experiment principle, equipment selection, data processing and error analysis, in order to find out a most suitable laboratory measurement of g value in Kunming region.

Key words: acceleration of gravity; simple pendulum method; the free fall motion method; inclined air cushion guide rail; equilibrium method

(上接第92页)



(c)

图3 组装结构图

图4是演示仪外形图,线圈线路以及延时整形电路及信号放大闪光电路均隐藏在底座盒内,盒面上有电源开关及对应工作指示灯.整个电路在静态时,工作电流约为10 mA,如用大号干电池,能工作很长时间,可谓经济耐用.整体结构简单稳固,容易自制,实验现象显著,课堂实践效果好。

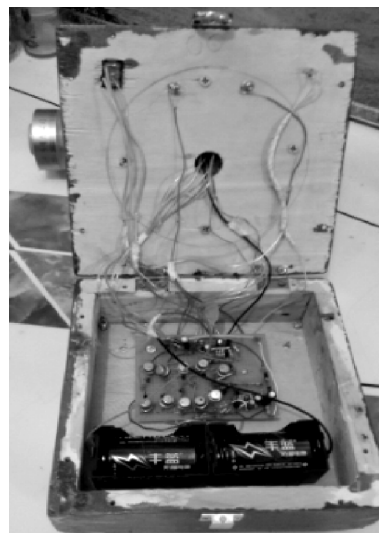


图4 演示仪外形图