

## 实验目的

- ①测定当地重力加速度,并计算不确定度(重庆地区的 $g=9.7914\text{m/s}^2$ );
- ②掌握千分尺、游标卡尺的使用和读数;
- ③理解使用累积放大法;
- ④学会虚拟实验软件的使用。

## 实验原理

①单摆周期公式:单摆在角度小于 $5^\circ$ 时,可近似为简谐运动,有 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ ,因此测量出 $T$ 和 $(L+r)$ 就可计算出 $g$ 的值。

②误差均分原理:

$$\Delta d \approx 2\text{cm}$$

根据 $g=\frac{4\pi^2 L}{T^2}$ ,根据最大不确定度计算,有 $\frac{\Delta g}{g}=\frac{\Delta L}{L}+2\frac{\Delta T}{T}$ ;

所以: $\frac{\Delta L}{L} \leq 0.5\%$ ,即 $\frac{\Delta L+0.5\Delta d}{L+0.5d} \leq 0.5\%$ ,有 $\Delta L \leq 0.5\% \times L = 0.35\text{cm} = 0.175\text{cm}$

$\Delta d \leq 0.5\% \times 2 \times d = 0.02\text{mm}$ ,所以: $\frac{\Delta T}{T} \leq 0.25\%$ ,有 $\Delta T \leq 0.25\% \times T = 0.00425$

由此可知: $L$ 应用米尺测量, $d$ 用游标卡尺测量即可。

$\frac{\Delta L}{L} = \frac{0.2}{0.00425} \approx 50$ ,所以单摆周期应该一组测量50个。

( $L$ 用米尺测量, $d$ 用游标卡尺测量)

③不确定度均分原理:

在间接测量,每个独立测量的量的不确定度都会对最终结果的不确定度有贡献,如果已知各测量之间的函数关系,可写出不确定度传递公式,并按均分原理,将测量结果的总不确定度均匀分配到各个分量中,由此分析各物理量的测量方法和使用的仪器,指导实验,一般而言,这样做经济合理。对测量结果影响较大的物理量,应采用精度较高的仪器,而对测量结果影响不大的物理量就不必追求高精度仪器。



## 实验仪器

虚拟实验系统, 包含: 单摆仪 (铁架台、摆球、细线)、游标卡尺、米尺、千分尺、秒表、计算机、大学物理仿真实验软件。

## 实验步骤与数据记录

1. 设计实验方案——选择仪器和测量方法, 利用误差均分理论选择米尺测量摆线长度, 用游标卡尺和螺, 随测微小仪测小球直径, 用秒表测周期。

2. 制定实验步骤:

运行软件 → 调整仪器 → 测量读数

3. 测量:

设置一次摆长, 用米尺测量摆线长 6 次。

转动小球, 用游标卡尺测量小球直径 6 次。

利用电子秒表测量单摆 50 个周期的时间, 共 6 组。

次数	1	2	3	4	5	6	最佳估计值
$L/\text{cm}$	91.98	91.67	92.05	91.88	91.79	91.36	91.79
$D/\text{mm}$	21.11	21.14	21.10	21.08	21.10	21.09	21.10
$t(50T)/\text{s}$	96.47	96.10	96.34	96.44	96.24	96.02	96.27
$T/\text{s}$	1.9294	1.9220	1.9268	1.9288	1.9248	1.9204	1.9254
$\bar{g}$	9.8770						
$\Delta g$	0.5315						
$E$	8.56%						

① 计算  $g$ , 结果表示:  $g = \bar{g} \pm \Delta g$

② 计算测量结果的不确定度。

已知  $\Delta_{\text{米}} \approx 0.05\text{cm}$ ,  $\Delta_{\text{游标卡尺}} \approx 0.002\text{cm}$ ,  $\Delta_{\text{秒表}} \approx 0.01\text{s}$ 。



## 实验数据处理

### 1. 摆长 $L$ :

$$\bar{L} = \frac{91.98 + 91.67 + 92.05 + 91.88 + 91.73 + 91.36}{6} = 91.798 \text{ cm} = 917.88 \text{ mm}$$

$$\bar{D} = \frac{1}{6} (21.11 + 21.14 + 21.10 + 21.08 + 21.10 + 21.09) = 21.10 \text{ mm}$$

$$\bar{L} = \bar{L} + \frac{\bar{D}}{2} = 917.88 + \frac{21.10}{2} = 928.43 \text{ mm}$$

$$S_L^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2 = \frac{1}{6 \times (6-1)} \sum_{i=1}^6 (L_i - \bar{L})^2 = 0.0048$$

$$\Delta L = \sqrt{S_L^2 + \Delta_{\text{仪器}}^2} = \sqrt{0.0048 + 0.05^2} = 0.05 \text{ mm}$$

$$\therefore L = (928.43 \pm 0.05) \text{ mm}$$

### 2. 周期 $T$ :

$$T = \frac{t}{N}, \therefore T_1 = 1.9294 \text{ s}, T_2 = 1.9220 \text{ s}, T_3 = 1.9268 \text{ s}, T_4 = 1.9288 \text{ s},$$

$$T_5 = 1.9248 \text{ s}, T_6 = 1.9204 \text{ s}$$

$$\bar{T} = \frac{1}{6} \times (T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6) = 1.9254 \text{ s}$$

$$S_T^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2 = \frac{1}{6 \times (6-1)} \sum_{i=1}^6 (T_i - \bar{T})^2 = 0.000002$$

$$\Delta T = \sqrt{S_T^2 + \Delta_{\text{仪器}}^2} = \sqrt{0.000002 + 0.01^2} = 0.0100 \text{ s}$$

$$\therefore T = (1.9254 \pm 0.0100) \text{ s}$$

### 3. 重力加速度:

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}, \quad g = \frac{4 \times 3.14^2 \times 0.92843}{1.9254^2} \approx 9.8770 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta g = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial T}\right)^2 \Delta T^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial L}\right)^2 \Delta L^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial \pi}\right)^2 \Delta \pi^2}$$

$$\frac{\partial g}{\partial L} = \frac{4\pi^2}{T^2} = \frac{4 \times 3.14^2}{1.9254^2} = 10.64$$

$$\frac{\partial g}{\partial T} = -\frac{8\pi^2 L}{T^3} = -\frac{8 \times 3.14^2 \times 0.92843}{1.9254^3} = -10.26$$

$$\frac{\partial g}{\partial \pi} = 0$$

$$\therefore \Delta g = \sqrt{(-10.26)^2 \times 0.01^2 + 10.64^2 \times 0.05^2} \approx 0.5315 \text{ m/s}^2$$

$$\therefore g = \bar{g} \pm \Delta g = (9.8770 \pm 0.5315) \text{ m/s}^2$$

### 4. 相对误差 $E$ :

$$E = \frac{g - 9.7914}{9.7914} \times 100\% \approx 8.56\%$$



## 实验结论

1. 重庆地区的重力加速度为  $9.7914 \text{ m/s}^2$ , 实验测得为  $9.8770 \text{ m/s}^2$ , 不确定度为  $0.5315 \text{ m/s}^2$ .
2. 掌握了千分尺、游标卡尺的使用读数.
3. 学会了虚拟实验软件的使用方法.
4. 理解了使用累积分大法.

## 实验讨论

1. 影响重力加速度测量结果的因素有哪些, 并说明原因.  
答: ① 摆角大于  $5^\circ$ : 当摆角大于  $5^\circ$  时, 就不再是简谐运动了, 和理论值差别较大; ② 测量摆长时存在读数误差: 由公式  $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$  可知  $l$  的读数会影响  $g$  的大小; ③ 测量时间(周期)时存在读数误差: 同样由公式  $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$  可知  $T$  的取值误差会影响  $g$  的数据.
2. 其他测重力加速度的方法:  
答: 气垫导轨测重力加速度、打点计时器测重力加速度、自由落体测重力加速度.
3. 测重力加速度模型的修正:  
① 复摆的修正: 单摆周期公式中, 我们假定摆球是一个质点, 不计体积, 而且不计线的质量. 实际上, 任何一个单摆都不是理想的, 在考虑摆球质量、体积、摆线质量后, 可看成一个复摆.  
② 浮力的修正: 如果考虑空气浮力, 则:  $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \left[ 1 + \frac{\rho}{\rho_0} \left( 1 + \frac{m_0}{m} \right) + \frac{\rho_0}{\rho} \right]$ .  
③ 摆角的修正: 根据振动理论, 单摆从平衡位置移开一个角度  $\theta$ , 然后在重力作用下, 在竖直平面内自由摆动时, 遵从的运动方程为:  $\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{l} \sin\theta = 0$ .  
④ 阻尼修正: 实际上, 单摆摆动时存在因空气的粘滞力及其他因素引起的阻力, 使单摆不是简谐振动而是作阻尼振动, 修正后为:  $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \left( 1 + \frac{D^2}{T^2} \right) \approx \frac{4\pi^2 l}{T^2} \left( 1 + \frac{0.11^2}{1^2 - 0.11^2} \right)$ .



## 思考题

与常规实验相比，虚拟仿真实验有何优点？有何缺点？

答：① 优点：a. 成本低：在实验教学中，实验器材及实验所需材料由于价格~~格~~的限制，有的实验无法普及。但在虚拟仿真实验中，这就不成问题了。

b. 安全性高、便捷。

② 缺点：a. 虚拟实验不能完全呈现真实情境，容易出现对知识的片面理解，导致实验准确度不高。

b. 有些虚拟实验效果不明显，得出的结论不一定完全可靠。