

# 《基础物理实验》实验报告

学号 00000000 姓名 我是谁 实验日期 2025.03.04 星期 二 下午

## 单摆的设计与研究实验

### 一、实验目的

1. 利用经典的单摆公式,依据器材和对重力加速度的测量精度要求,进行设计性实验基本方法的训练。
2. 学习应用误差均分原则,选用适当的仪器和测量方法,完成设计性实验内容。

### 二、实验仪器

游标卡尺,钢卷尺,电子秒表,单摆实验仪

### 三、实验原理

1. 运用单摆周期公式  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ , 推导计算重力加速度的公式  $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$  ( $l = L + \frac{d}{2}$ ;  $T = \frac{t}{N}$  其中  $L$  为所测绳长,  $d$  为所测钢球直径,  $t$  为所测总时长,  $N$  为  $t$  时间内摆球摆动的周期数。由此可得  $g = \frac{4N^2\pi^2\left(L + \frac{d}{2}\right)}{t^2}$ 。(  $L, d, t, N$  均为待测物理量 )
2. 要求  $\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{2\Delta t}{t} < 1\%$ , 根据误差均分原理,  $\frac{\Delta l}{l} < 0.5\%$ ;  $\frac{2\Delta t}{t} < 0.5\%$   
对  $\frac{\Delta l}{l}$  进行估算, 假设摆长  $l \approx 70.00\text{cm}$ , 为满足  $\frac{\Delta l}{l} < 0.5\%$ , 则  $\Delta l < 0.35\text{cm}$ ,  $\Delta l = \Delta L + \frac{1}{2}\Delta D = \Delta_{\text{米}} + \frac{1}{2}\Delta_{\text{卡}} \approx 0.08\text{cm} + \frac{0.002\text{cm}}{2} = 0.081\text{cm} < 0.35\text{cm}$ , 因此若使用米尺测量线长, 用卡尺测量摆球直径, 可以满足  $\frac{\Delta l}{l} < 0.5\%$  的要求。  
对  $\frac{2\Delta t}{t}$  进行估算, 秒表精度  $\Delta_{\text{秒}} \approx 0.01\text{s}$ , 开停秒表的总反应时间  $\Delta_{\text{人}} \approx 0.2\text{s}$ , 则  $\Delta t = \Delta_{\text{秒}} + \Delta_{\text{人}} \approx 0.2\text{s}$ 。  
假设单摆周期  $T = 1.7\text{s}$ , 为了保证  $\frac{2\Delta t}{t} < 0.5\%$ , 利用  $t = N * T$ , 得到  $\frac{2\Delta t}{NT} < 0.5\%$ , 所以  $N > 47$ 。

### 四、实验内容

用误差均分原理和测量精度要求设计单摆实验

1. 将实验器材平放于实验台上,将钢球用细绳连接后置于单摆架上;
2. 游标卡尺测量钢球直径  $d$ , 测量五组数据并记录;
3. 米尺测量摆线长度  $L$ , 测量五组数据并记录;
4. 稳定小球后,用直尺使小球平稳摆动,摆幅不超过  $5^\circ$ ;
5. 等平稳摆动后,测量小球摆动 50 个周期的时间  $t$ , 并记录, 重复五次;
6. 处理数据, 计算平均值后带入算式得到  $g$ 。

## 五、数据记录

列表记录线长、摆球直径、单摆周期等测量量。原始数据见附页。

## 六、数据处理

由实验数据知,  $\bar{L} = 75.70\text{cm}$ ,  $\bar{d} = 20.06\text{mm}$ ,  $\bar{t} = 87.80\text{s}$

### 1. 计算 $g$

$$g = \frac{4\pi^2 \left( \bar{L} + \frac{\bar{d}}{2} \right)}{\left( \frac{\bar{t}}{50} \right)^2} = \frac{4 \times 3.14^2 \times \left( 75.70 \times 10^{-2} + \frac{20.06 \times 10^{-3}}{2} \right)}{\left( \frac{87.80}{50} \right)^2} = 9.810 \text{ m/s}^2$$

深圳重力加速度参考值为  $g_{\text{参}} = 9.7887 \text{ m/s}^2$ , 得出相对误差为  $\frac{|g - g_{\text{参}}|}{g_{\text{参}}} = \frac{|9.810 - 9.789|}{9.789} = 0.00215 < 0.01$ , 误差初步符合实验要求。

### 2. A 类不确定度

$$u_A(L) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (L_i - \bar{L})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(75.68 - 75.70)^2 + \cdots + (75.71 - 75.70)^2}{5 \times 4}} = 7.071 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$u_A(d) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (d_i - \bar{d})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(20.06 - 20.06)^2 + \cdots + (20.06 - 20.06)^2}{5 \times 4}} = 0.00 \text{ mm}$$

$$u_A(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (t_i - \bar{t})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(87.78 - 87.80)^2 + \cdots + (87.81 - 87.80)^2}{5 \times 4}} = 0.013 \text{ s}$$

### 3. B 类不确定度

$$u_B(L) = \frac{\sqrt{\Delta_{\text{估}}^2(L) + \Delta_{\text{仪}}^2(L)}}{C} = \frac{\sqrt{0.5^2 + 0.8^2}}{3} = 0.31 \text{ mm}$$

$$u_B(d) = \frac{\sqrt{\Delta_{\text{估}}^2(d) + \Delta_{\text{仪}}^2(d)}}{C} = \frac{\sqrt{0.02^2 + 0.02^2}}{\sqrt{3}} = 0.01 \text{ mm}$$

$$u_B(t) = \frac{\sqrt{\Delta_{\text{估}}^2(t) + \Delta_{\text{仪}}^2(t)}}{C} \approx \frac{\Delta_{\text{估}}(t)}{C} = \frac{0.2}{3} = 0.07 \text{ s}$$

### 4. 合成不确定度

$$u_{0.95}(L) = \sqrt{(t_{0.95} u_A(L))^2 + (k_{0.95} u_B(L))^2} = \sqrt{(2.78 \times 7.071 \times 10^{-3})^2 + (1.96 \times 0.031)^2} = 0.06 \text{ cm}$$

$$u_{0.95}(d) = \sqrt{(t_{0.95} u_A(d))^2 + (k_{0.95} u_B(d))^2} = \sqrt{(2.78 \times 0.00)^2 + (1.96 \times 0.01)^2} = 0.02 \text{ mm}$$

$$u_{0.95}(t) = \sqrt{(t_{0.95} u_A(t))^2 + (k_{0.95} u_B(t))^2} = \sqrt{(2.78 \times 0.013)^2 + (1.96 \times 0.07)^2} = 0.14 \text{ s}$$

### 5. 不确定度的传递

$$l = L + \frac{D}{2}$$

$$u(l) = \sqrt{(u(L))^2 + \left( \frac{1}{2} u(D) \right)^2} = \sqrt{(0.06)^2 + \left( \frac{1}{2} \times 0.002 \right)^2} = 0.0600 \text{ cm}$$

$$\frac{u(l)}{\bar{l}} = \frac{0.0600}{75.70} \approx 0.00079$$

$$\frac{u(t)}{\bar{t}} = \frac{0.14}{87.80} \approx 0.0016$$

$$\frac{u(g)}{\bar{g}} = \sqrt{\left(\frac{u(l)}{\bar{l}}\right)^2 + \left(\frac{2u(T)}{\bar{T}}\right)^2} \approx 0.0033$$

$$\text{所以 } u(g) = 0.0033 \times 9.810 = 0.032 \text{ m/s}^2 \approx 0.03 \text{ m/s}^2 \quad (p = 0.95)$$

## 七、误差分析

1. 空气阻力干扰小球摆动
2. 空调吹风可能干扰小球
3. 摆线会有很小的伸缩
4. 仪器误差
5. 实验员的反应时长

## 八、实验结论

设计单摆实验, 测得南科大理学院 **P4121** 实验室的重力加速度为  $g = (9.81 \pm 0.03) \text{ m/s}^2$  ( $p = 0.95$ ), 参考值  $g_{\text{参}} = 9.7887 \text{ m/s}^2$ , 相对误差为  $\frac{|g - g_{\text{参}}|}{g_{\text{参}}} = \frac{|9.810 - 9.789|}{9.789} \times 100\% = 0.215\% < 1\%$ , 符合实验要求。