

物理实验报告纸



SUSTech

明德求是
日新自强

学号: 12313124

姓名: 奚达洋

日期: 2023.9.26

星期 二

☐ 上午
☒ 下午

1. 实验名称

单摆的设计与研究实验

2. 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。

3. 实验仪器

游标卡尺, 钢卷尺, 电子秒表, 单摆实验仪

4. 实验原理

① 单摆周期的理论公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

$$\Rightarrow g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} = \frac{4\pi^2 l}{(t/N)^2} = \frac{4\pi^2 N^2 l}{t^2}$$

其中 g 为重力加速度, l 为摆长, T 为单摆周期, t 为测量时间, N 为周期数

待测物理量为 l, t , 其中 $l = L + \frac{1}{2}D$, L 为绳长, D 为小球直径。

② 由于要求 $\frac{\Delta g}{g} < 1\%$, 根据均分原理有 $\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{2\Delta t}{t}$, 即 $\frac{\Delta l}{l} < 0.5\%$, $\frac{2\Delta t}{t} < 0.5\%$ 。
对 l 估算知 $l \approx 70.00 \text{ cm}$, 若满足 $\frac{\Delta l}{l} < 0.5\%$ 则 $\Delta l < 0.35 \text{ cm}$ 。由 $\Delta l = \Delta L + \frac{1}{2}\Delta D$, 利用测量仪器的最大允差估算知 $\Delta L \approx 0.05 \text{ cm}$, $\Delta D \approx 0.002 \text{ cm}$, $\Delta l = 0.05 \text{ cm} + \frac{1}{2} \times 0.002 \text{ cm} \approx 0.051 \text{ cm} < 0.35 \text{ cm}$, 因此使用钢卷尺测绳长, 游标卡尺或千分尺测球直径符合实验要求。

~~对 $\frac{2\Delta t}{t} < 0.5\%$ 则有 $\frac{2\Delta t}{t} < 0.5\%$ 得出 $N > 47$ 即至少测~~

对 $\frac{2\Delta t}{t}$ 估算知秒表精度 $\Delta t \approx 0.01 \text{ s}$, 人的反应时间 $\Delta t \approx 0.2 \text{ s}$, 估算知 $T \approx 1.7 \text{ s}$, 则
为保证 $\frac{2\Delta t}{t} < 0.5\%$ 则有 $\frac{2\Delta t}{N T} < 0.5\%$ 得出 $N > 47$ 即至少测量 48 个周期。

5. 实验内容

用游标卡尺测量钢球直径 d , 钢卷尺测量线长 L , 秒表测量 N 次周期时间 t , N 取 50. (以上设计依据见实验原理) 使摆角不超过 5° ($\angle < 5^\circ$ 时周期与摆角无关).
记录数据, 每个物理量测量 6 次取平均值 (以减小随机误差)

根据 $g = \frac{4\pi^2 N^2 l}{t^2}$ 计算重力加速度 g .



扫描全能王 创建

物理实验报告纸



SUSTech

明德求是
日新自强

学号: _____ 姓名: _____ 日期: _____ 星期: _____ ☐ 上午 ☐ 下午

6. 数据记录

原始数据见附表1.

7. 数据处理

① 重力加速度 g 的计算见附表1下方的计算, 得 $\frac{\Delta g}{g} = 0.02\% < 1\%$, 符合设计要求.

② A类不确定度的计算: ~~计算~~

$$u_A(L) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(76.31-76.37)^2 + \dots + (76.50-76.37)^2}{6 \times 5}} = 0.03 \text{ cm}$$

$$u_A(D) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(50.00-50.00)^2 + \dots + (20.00-50.00)^2}{6 \times 5}} = 0$$

$$u_A(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(88.37-88.27)^2 + \dots + (88.35-88.27)^2}{6 \times 5}} = 0.02 \text{ s}$$

B类不确定度的计算:

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

$$u_B(D) = \frac{\sqrt{u_A^2(D) + u_{\text{仪}}^2(D)}}{C} = \frac{\sqrt{0.02^2 + 0.02^2}}{\sqrt{3}} = 0.01 \text{ mm}$$

测量时间的估计误差为实验人员开、停秒表的人手反应时间, 秒表的仪器误差远小于估计误差, 故也可忽略:

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

③ 不确定度的合成. $P=0.95$. $u_{0.95} = \sqrt{(t_{0.95} u_A)^2 + (k_{0.95} u_B)^2}$

对于 L : $n=6$, $t_{0.95}=2.57$, $k_{0.95}=1.96$

$$u_{0.95}(L) = \sqrt{(2.57 \times 0.03)^2 + (1.96 \times 0.03)^2} = 0.10 \text{ cm}$$

对于 D : $n=6$, $t_{0.95}=2.57$, $k_{0.95}=1.65$

$$u_{0.95}(D) = \sqrt{(2.57 \times 0)^2 + (1.65 \times 0.01)^2} = 0.02 \text{ mm}$$

对于 t : $n=6$, $t_{0.95}=2.57$, $k_{0.95}=1.96$

$$u_{0.95}(t) = \sqrt{(2.57 \times 0.02)^2 + (1.96 \times 0.07)^2} = 0.15 \text{ s}$$



扫描全能王 创建

物理实验报告纸



SUSTech

明德求是
日新自强

学号: _____ 姓名: _____ 日期: _____ 星期: _____ ☐ 上午 ☐ 下午

④ 不确定度的传递 $p=0.95$

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

$$u(t) = \sqrt{(u(L))^2 + (\frac{1}{2}u(D))^2} = \sqrt{(0.10)^2 + (\frac{1}{2} \times 0.002)^2} = 0.1049 \text{ cm}$$

$$\frac{u(t)}{t} = \frac{0.1049}{77.37}, \quad \frac{u(t)}{t} = \frac{0.15}{88.27} \approx 0.0017$$

$$\frac{u(g)}{g} = \sqrt{\left(\frac{u(t)}{t}\right)^2 + \left(\frac{2u(t)}{t}\right)^2} \approx 0.0037$$

$$u(g) = 0.0037 \times 9.791 = 0.036 \text{ m/s}^2 \quad p=0.95$$

⑤ 实验结论 测得重力加速度为 $(9.79 \pm 0.04) \text{ m/s}^2$ ($p=0.95$)

8. 误差分析

- ① 实验在非真空条件下进行, 因此存在空气阻力造成误差.
- ② 摆线存在一定质量和伸缩, 不同角度下绳长存在细微差别.
- ③ 利用二次项展开时, 单摆的周期公式为

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \left(1 + \frac{1}{16}\theta_0^2 + \frac{11}{3072}\theta_0^4 + \frac{173}{737280}\theta_0^6 + \frac{22931}{132120576}\theta_0^8 + \dots\right)$$

当 $\theta_0 \rightarrow 0$ 即 $\theta_0 < 5^\circ$ 时, 该式可近似化为 $T \approx 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$, 在近似过程中产生误差.

- ④ 线与支架接触点存在摩擦
- ⑤ 小球在释放时不可避免出现前后晃动.

9. 实验结论

利用单摆公式和单摆实验仪, 测得重力加速度为 $(9.79 \pm 0.04) \text{ m/s}^2$, $p=0.95$.

且 $\frac{\Delta g}{g} = 0.02\% < 1\%$, 符合设计要求.



扫描全能王 创建

物理实验报告纸



明德求是
日新自强

学号: 12313124 姓名: 张海洋 日期: 2023.9.26 星期 二 ☐ 上午 ☒ 下午

	1	2	3	4	5	6	平均值
摆线长度 $L(\text{cm})$	76.31	76.30	76.31	76.39	76.42	76.50	76.37
摆球直径 $D(\text{mm})$	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
50个单摆周期 $t(\text{s})$	88.37	88.31	88.22	88.22	88.25	88.25	88.27

附表1

$$\text{摆长 } \bar{L} = \bar{L} + \frac{\bar{D}}{2} = 0.7637 + \frac{0.0200}{2} = 0.7737 \text{ m}.$$

$$\bar{g} = \frac{4\pi^2 \bar{L}}{T^2} = \frac{4\pi^2 \bar{L}}{(\frac{t}{50})^2} = \frac{4 \times 3.14^2 \times 0.7737}{(\frac{88.27}{50})^2} = 9.7905 \text{ m/s}^2$$

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{|\bar{g} - g|}{g} = \frac{|9.7905 - 9.7887|}{9.7887} = 0.02\%$$

H. Zhang
26 SEP 2023



扫描全能王 创建