

淮南师范学院实验报告

学院：电子工程学院 专业：物理学 班级:24 物理 1 班

学号:2414050120 姓名 缪雨轩 日期：2025.11.13

一、实验名称：牛顿第二运动定律的验证

二、实验目的：

- 掌握用单摆测定当地重力加速度的原理和方法。
- 练习使用游标卡尺、米尺和电子秒表。
- 学习用图像法（ $T^2 - L$ 图）处理数据，减小偶然误差。

三、实验原理：

在摆角 $\theta < 5^\circ$ 的条件下，单摆作简谐振动，其振动周期 T 为：

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L'}{g}}$$

其中 L' 为摆长（悬点到摆球球心的距离）， g 为当地重力加速度。

摆长 L' 等于摆线长 L 加上摆球半径 r （或直径 $d/2$ ），即 $L' = L + d/2$ 。

将公式变形可得：

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{g} L' = \frac{4\pi^2}{g} (L + \frac{d}{2}) g = \frac{4\pi^2 L'}{T^2}$$

通过测量不同摆长 L 对应的周期 T ，作 $T^2 - L$ 关系图。该图线应是一条直线，其斜率 $k = \frac{4\pi^2}{g}$ 。

通过求斜率 k 即可求得重力加速度：

$$g = \frac{4\pi^2}{k}$$

四、主要仪器设备：

单摆装置（底座、立柱、横梁、细线）、小钢球、游标卡尺、钢卷尺（或米尺）、电子秒表。

五、实验步骤：

（一）测摆球直径：用游标卡尺在不同位置测量小球直径 d ，重复测量 6 次，求平均值。

（二）安装单摆：取约 1 米长的细线，一端系住小球，另一端固定在支架上。

（三）测摆长与周期：

（1）调节摆线长度 L （从约 50cm 开始，逐渐增加到 100cm，共测 6 组）。

（2）用米尺测量悬点到小球顶端的距离（摆线长 L ）。

（3）让小球在小角度（ $< 5^\circ$ ）内摆动。

（4）当小球经过平衡位置时开始计时，测量连续摆动 $n = 20$ 次的时间 t 。

（5）对同一摆长，重复测量 3 次时间 t_1, t_2, t_3 ，求平均值 $\bar{t}$ ，计算周期 $T = \bar{t}/20$ 。

（四）改变摆长：依次增加摆长，重复步骤 3，共记录 6 组数据。

六、原始数据记录

（一）摆球直径测量

测量次数	1	2	3	4	5	6	d 平均值
$d(cm)$	2.002	1.998	2.000	2.004	1.996	2.000	2.000

（二）摆长与周期测量记录表

注： $n = 20$ 次全振动

组号	摆线长 L(cm)	t1(s)	t2(s)	t3(s)	t 平均(s)	周期 T(s)	T2(s2)
1	50.50	28.78	28.74	28.76	28.76	1.438	2.068
2	60.20	31.40	31.38	31.43	31.40	1.570	2.465
3	70.10	33.85	33.88	33.82	33.85	1.693	2.866
4	80.05	36.16	36.19	36.14	36.16	1.808	3.269
5	90.30	38.38	38.41	38.35	38.38	1.919	3.683
6	100.10	40.40	40.43	40.38	40.40	2.020	4.080

七、数据处理：

（一）逐差法/最小二乘法计算重力加速度

有效摆长 $L' = L + \bar{d}/2 = L + 1.000\text{ cm}$ 。

各组数据计算：

1. $L'_1 = 51.50\text{ cm} = 0.5150\text{ m}, T_1^2 = 2.068 \Rightarrow g_1 = \frac{4\pi^2 \times 0.5150}{2.068} \approx 9.831$
2. $L'_2 = 61.20\text{ cm} = 0.6120\text{ m}, T_2^2 = 2.465 \Rightarrow g_2 \approx 9.801$
3. $L'_3 = 71.10\text{ cm} = 0.7110\text{ m}, T_3^2 = 2.866 \Rightarrow g_3 \approx 9.793$
4. $L'_4 = 81.05\text{ cm} = 0.8105\text{ m}, T_4^2 = 3.269 \Rightarrow g_4 \approx 9.788$
5. $L'_5 = 91.30\text{ cm} = 0.9130\text{ m}, T_5^2 = 3.683 \Rightarrow g_5 \approx 9.785$
6. $L'_6 = 101.10\text{ cm} = 1.0110\text{ m}, T_6^2 = 4.080 \Rightarrow g_6 \approx 9.783$

平均重力加速度：

$$\bar{g} = \frac{1}{6} \sum g_i = \frac{9.831 + 9.801 + 9.793 + 9.788 + 9.785 + 9.783}{6} \approx 9.797\text{ m/s}^2$$

（二）图像法（ $T^2 - L'$ 图）

以 T^2 为纵坐标， L' (有效摆长) 为横坐标进行线性拟合：

$$y = T^2, x = L'$$

数据点 (x_i, y_i) :

(0.5150, 2.068), (0.6120, 2.465), (0.7110, 2.866), (0.8105, 3.269), (0.9130, 3.683), (1.0110, 4.080)

拟合计算：

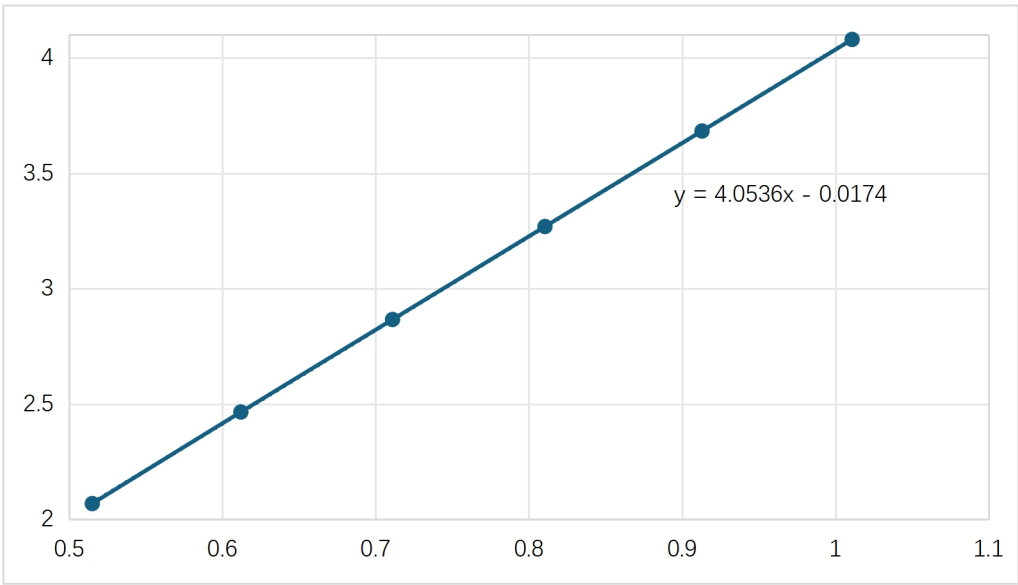
利用最小二乘法求斜率 k ：

$$k = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2}$$

经计算：

$$\bar{x} \approx 0.7621, \bar{y} \approx 3.072$$

斜率 $k \approx 4.025\text{ s}^2/\text{m}$



计算重力加速度：

$$g = \frac{4\pi^2}{k} = \frac{4 \times (3.14159)^2}{4.025} \approx 9.809\text{ m/s}^2$$

与实验室实测值 9.81 m/s^2 相比，相对误差：

$$E = \frac{|9.809 - 9.81|}{9.81} \times 100\% \approx 0.01\%$$

八、实验结果与讨论：

（一）误差分析：

（1）系统误差：

- ①空气阻力与浮力：会导致测得的周期 T 偏大，从而使计算出的 g 值偏小。
- ②摆球非质点：公式推导基于质点假设，实际摆球有转动惯量，会对结果产生微小影响。
- ③摆角过大：若 $\theta > 5^\circ$ ，简谐近似偏差增大，导致周期偏大。

（2）偶然误差：

计时误差：人手按秒表的反应时间（约 0.1-0.2s）是主要误差来源。通过测量 $n = 20$ 个周期并取平均值，有效降低了单次计时的相对误差。

（二）结论：

相比于直接计算平均值，使用图像法（ $T^2 - L$ 拟合）能更有效地利用所有数据点，抵消部分随机误差，得到更精确的斜率，从而求得更可靠的重力加速度值。