

单摆测量重力加速度

姓名：涂嫒 学号：PB22020603 班级：22级物理学院4班 日期：2023年3月30日

1.实验目的

利用单摆周期与摆长的平方根成正比的等时性原理，即单摆的周期公式

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

测定合肥当地的重力加速度 g ，要求误差不超过 1%。

其中" T "为单摆的周期，" l "是单摆的摆长。

2.实验原理

实际条件下单摆的周期公式为：

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}\left[1 + \frac{d^2}{20l^2} - \frac{m_0}{12m}\left(1 + \frac{d}{2l} + \frac{m_0}{m}\right) + \frac{\rho_0}{2\rho} + \frac{\theta^2}{16}\right]}$$

一般情况下，摆球的质量和几何形状、空气阻力与浮力、摆角（当摆角 $\theta < 5^\circ$ 时），对摆动周期 T 的修正都小于0.1%。

本实验的精度要求是 $\Delta g/g < 1\%$ ，故修正项可以忽略不计。

在一级近似下，单摆周期公式为：

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

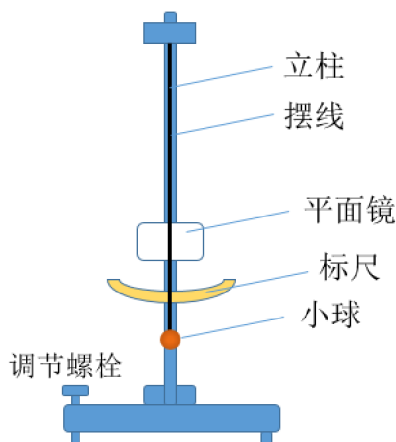
变换可得：

$$g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2}$$

即可通过周期 T 、摆长 l 求出重力加速度 g 。

3.实验仪器

钢卷尺、游标卡尺、千分尺、电子秒表、单摆（长度可调）



4.实验设计

(1) 利用不确定度均分原理设计的过程 (精度要求: $\Delta g/g < 1\%$)

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta l}{l} + 2 \frac{\Delta T}{T}$$

要使 $\frac{\Delta g}{g} < 1\%$, 需 $\frac{\Delta l}{l} < 0.5\%$ 且 $2 \frac{\Delta T}{T} < 0.5\%$ 。

(2) 摆长至少需要多长? 增加摆长是否可以提高测量精度?

由于 $\frac{\Delta l}{l} < 0.5\%$, $\Delta l = 0.2\text{cm}$, 故 $l > 40\text{cm}$, 可取合理摆长为 60cm 。

适当增加摆长好处: 可使小球在相同的 θ 条件下获得更大的摆动线速度, 有利于实验的观察; 使小球对摆线的相对线度减小, 有利于将小球视为质点。

过度增加摆长后果: 导致摆线的弹力, 空气阻力对实验的影响增大, 造成误差; 导致周期过长, 实验时间较长。

(3) 摆长用什么仪器测量? 需要用游标卡尺测量摆球直径吗?

由于 $\frac{\Delta l}{l} < 0.5\%$, 且选择摆长约为: 摆线长度+摆球半径 $= 60\text{cm} + 1\text{cm} = 61\text{cm}$ 。

此时 $\Delta l < 0.155\text{cm}$, 而钢卷尺最大B类不确定度为 0.2cm , 大于 0.155cm , 故用钢卷尺测量摆长。

摆球同样需满足 $\frac{\Delta r}{r} < 0.5\%$, 此时需 $\Delta r < 0.005\text{cm}$, 但摆球相对摆线长度不大, 需要的精度不高, 故可用钢卷尺测量, 若需更高的精度, 可用游标卡尺 (不确定度约 0.002cm)。

(4) 至少需要测多少个周期?

由于 $2 \frac{\Delta T}{T} < 0.5\%$, $\Delta T = \Delta T_{\text{秒}} + \Delta T_{\text{人}} = 0.2\text{s} + 0.01\text{s} = 0.21\text{s}$

故 $T > 84\text{s}$ 即可。又由前估算数据, T_0 约为 $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 1.55\text{s}$, $\frac{T}{T_0} \approx 54$, 故至少需要 55 个周期。

5.实验步骤

1. 按照实验要求组装实验仪器, 利用调节螺栓将摆调整至竖直位置, 判据: 摆线与立柱平行。将电子秒表示数归零。
2. 利用钢卷尺测量摆球的直径 d , 摆线的长度 $l_{\text{绳}}$, 并计算摆长 l 。注意钢卷尺的估读。
3. 将摆球小幅度拉离平衡位置, 无初速度地释放, 使其在小角度 (小于 5°) 平面内摆动。

- 4. 用电子秒表测量单摆 55 次周期性振动所需要的时间。
- 5. 重复上述实验操作 3 到 5 次，记录有关数据。
- 6. 整理仪器，调整支架平衡、标尺及平面镜位置。
- 7. 数据处理和误差分析。

6.思考题： 分析实验测量误差的主要来源，提出可能的改进方案。

实验误差的主要来源为摆绳的弹力，空气的阻力。

解决方法：控制摆绳长度从而降低离心加速度，减小弹力对于摆长及周期的影响；适当提高小球密度，减小绳的粗度，从而降低空气阻力对于实验的影响。

7.数据记录

数据类型/实验次数	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
摆线长度 l/cm					
摆球直径 d/mm					
振动总时间 t/ms					