



用单摆测量重力加速度

厉 位 阳

浙江大学物理实验教学中心



主要内容

- 一、实验背景
- 二、实验目的
- 三、实验原理
- 四、实验内容
- 五、实验思考

一、实验背景

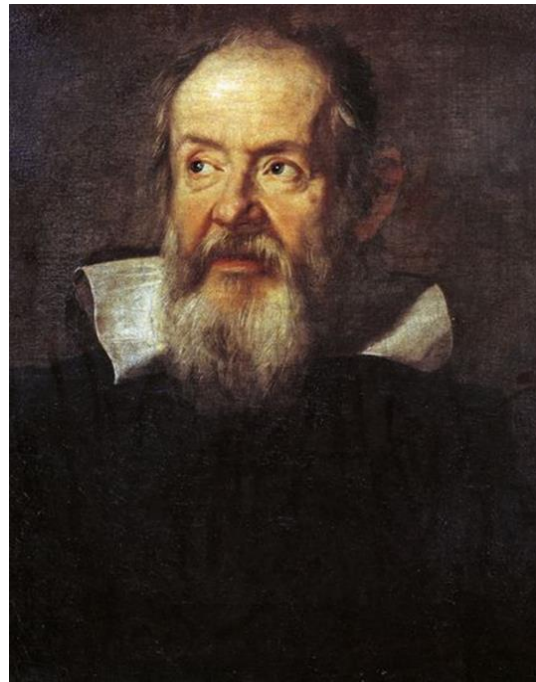
1.1 伽利略简介

伽利略·伽利雷（Galileo di Vincenzo Bonauti de Galilei）（1564年～1642年）意大利天文学家、物理学家和工程师、欧洲近代自然科学的创始人。伽利略被称为“观测天文学之父”、“现代物理学之父”、“科学方法之父”、“现代科学之父”。

伽利略理想斜面实验

伽利略比萨斜塔实验

伽利略天文望远镜





1.2 重力加速度

伽利略：约在1590年，他利用斜面将 g 的测定改为测定微小加速度 $a = g \sin \theta$ ， θ 是斜面的倾角。

重力加速度 g 值的准确测定的意义：计量学、精密物理计量、地球物理学、地震预报、重力探矿和空间科学等。

在高度为 H 的重力加速度 g （1930年国际重力公式）同 H 和有关

$$g = 978.049(1 + 0.005288 \sin^2 \varphi - 0.000006 \sin^2 2\varphi - 0.0003086H) \text{ 厘米/秒}^2$$

海平面上 g 随纬度变化的公式（1967年国际重力公式）

$$g = 978.03185(1 + 0.005278895 \sin^2 \varphi + 0.000023462 \sin^4 \varphi)$$



二、实验目的

- 1) 掌握基本量具的使用。
- 2) 理解误差均分原则设计实验方案，选用适当仪器和测量方法。
- 3) 学习**累积放大法**的原理和应用。
- 4) 学会用单摆法测量重力加速度。

三、实验原理

3.1 公式推导

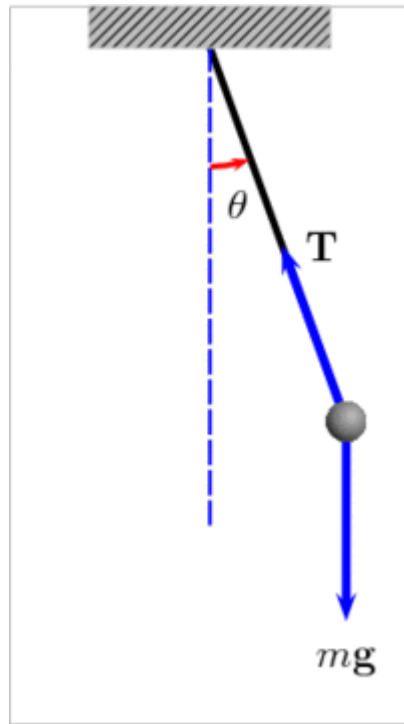
由单摆的一级近似的周期公式，由此通过测量周期 T ，摆长

1、求重力加速度.

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{l} \sin \theta = 0$$

当 θ 为小角时, $\sin \theta \approx \theta$, $\rightarrow \frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{l} \theta = 0$

单摆为角谐振动，振动周期为： $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$





3.2 不确定度均分原理

在间接测量中，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，这样做比较经济合理。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。



测量重力加速度，若测量精度要求： $\frac{\Delta g}{g} \leq 1\%$ ，该如何来设计实验？

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}, \text{ 不确定度传递公式得 } \Rightarrow \frac{\Delta g}{g} = \sqrt{\left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta T}{T}\right)^2}$$

不确定度均分原理要求：

$$\frac{\Delta l}{l} \sim \frac{2\Delta T}{T} \sim \frac{0.5}{100} \sim \frac{1mm}{200mm} \sim \frac{0.2s}{40s}$$

假设摆长 $l_1 \approx 70.00\text{cm}$; 摆球直径 $D \approx 2.00\text{cm}$; 摆动周期 $T \approx 1.700\text{s}$;
米尺精度 $\Delta_{\text{米}} \approx 0.05\text{cm}$; 卡尺精度 $\Delta_{\text{卡}} \approx 0.002\text{cm}$; 千分尺精度 $\Delta_{\text{千}} \approx 0.001\text{cm}$; 秒表精度 $\Delta_{\text{秒}} \approx 0.01\text{s}$; 根据统计分析, 实验人员开或停秒表反应时间为 0.1s 左右, 所以实验人员开, 停秒表总的反应时间近似为 $\Delta t_{\text{人}} \approx 0.2\text{s}$.

由此可知，摆长相对误差容易满足，单摆周期相对误差约需测30个周期



四、实验内容

1、游标卡尺的使用

使用游标卡尺，测量**5**次单摆摆球的直径，记录数据，计算平均值。

2、螺旋测微计的使用

使用螺旋测微计，测量**5**次单摆摆球的直径，记录数据，计算平均值。**记录已定系统误差（零位误差），并修正。**

3、电子秒表的使用

使用电子秒表测量单摆摆动**5**个周期的时间，记录数据，计算平均值**和不确定度**。

秒表精度 $\Delta t \approx 0.01\text{s}$;根据统计分析,实验人员开或停秒表反应时间为**0.1s**左右。



四、实验内容

4、根据不确定度均分原理，设计单摆测量重力加速度 g

(1) 根据误差均分原理,自行设计试验方案,合理选择测量仪器和方法.

(2) 测量重力加速度 g ,测量精度要求 $\Delta g/g < 1\%$.

5、利用单摆测量重力加速度 g

利用实验室提供的单摆仪，调整并确定合适的摆线长度，测量重力加速度。

$$\text{估测算} \Delta l = ?, \Delta T = ? \text{ 不确定度传递} \Rightarrow \frac{\Delta g}{g} \approx ? \Rightarrow g = \bar{g} \pm \Delta g$$



五、实验思考

1. 测量单摆周期要测几十次，而不是一次为什么？
2. 摆长是指哪两点间距离？如何测量？
3. 为什么计时应以摆球通过平衡位置开始计时？



实验拓展

在上述单摆实验中，若摆球为一个质量非均匀的球体，其**质心不在球体中心**，并且实验中不使用游标卡尺和螺旋测微计，**摆球的半径不可知**。请设计一个方案，用作图法测量重力加速度。

提示：
$$T^2 = \frac{4\pi^2}{g}(l + l_0)$$