

# 三线摆实验

雷逸鸣

## 1 传统实验方法

### 1.1 测量参数：

测量仪器的基本参数。首先使用钢直尺及电子天平测量三线摆处于平衡位置时固定盘下表面到悬盘上表面的距离 $H$ ， $OABC$ 和 $O_1A_1B_1C_1$ 的半径 $r$ 和 $R$ ，悬盘的质量 $m_0$ 。测量或查询当地的重力加速度 $g$ 。

### 1.2 仪器调节：

调节支架的地脚螺丝，至固定盘水平。调节固定盘上装有的调节悬线装置，至悬盘保持水平，使3根悬线长度相等。

### 1.3 实验操作：

不放置待测原件，先测量悬盘的转动惯量。转动固定盘上的扳手，启动悬盘。控制悬盘转角不超过 $15^\circ$ 以满足小角摆动条件。将光电计时器开机通电，设定计时次数 $n$ 为60次，测量30个周期。

代入理论公式：

$$T^2 = \frac{4\pi^2 HI}{m_0 g R r}$$

测得悬盘的转动惯量。

接下来用类似的方法，首先测量待测工件的质量，再重复上述实验操作计算出悬盘和工件的转动惯量之和，并将两者相减算得工件的转动惯量。

## 2 线性回归法

在不测量 $H$ ， $r$ ， $R$ ， $m_0$ ， $g$ 的条件下，通过选用转动惯量可通过测量其几何尺寸和质量获得的系列规则工件，结合配重砝码，使用线性回归法测量工件及悬盘的转动惯量。

### 2.1 线性回归：

将理论公式重新整理如下：

$$m_0 = \frac{4\pi^2 H}{g R r} \cdot \frac{I}{T^2}$$

其中， $m_0 = m_{\text{砝码}} + m_{\text{待测工件}}$ 。故公式可重新写为：

$$m_{\text{砝码}} = \frac{4\pi^2 H}{g R r} \cdot \frac{I}{T^2} - m_{\text{待测工件}}$$

对 $m_{\text{砝码}}$ 与 $\frac{I}{T^2}$ 的关系进行线性回归，其中斜率为仪器

基本参数，与待测原件无关，截距即为悬盘及待测工件的质量之和。

### 2.2 实验操作：

首先分别测量单个砝码的质量，测量规则工件的质量及几何尺寸，计算得其转动惯量。

仪器调节完成后，将规则工件置于悬盘中央，逐个增加（减少）绳圈上的砝码数量，测量三线摆周期并记录。将规则工件取下，重复上述操作。

由于 $I = I_{\text{悬盘}} + I_{\text{规则工件}}$ 。将两次的测量结果中

$\frac{I}{T^2}$ 数据对应相减，即可算得 $\frac{I_{\text{规则工件}}}{T^2}$ 。

将算得的数据代入公式进行线性拟合，得到仪器参数 $\frac{4\pi^2 H}{g R r}$ 的数值。将得到的数值代入取下工件后所测得的数据，算得悬盘质量及转动惯量。

将待测工件放置在悬盘中央，重复上述测量，得到待测工件的转动惯量及质量。

## 3 仪器调节标准

### 3.1 测量仪器：

使用电子天平前，应将其水平放置，并开机预热，而后使用标准砝码对天平校准。

### 3.2 实验装置：

仪器底座水平，不能晃动。调节悬线长度，至悬盘水平，确保悬线没有松弛或弯曲，各选线张力近似相等。调节两盘水平，使用水平仪调节。

## 4 实验要点

1. 三线摆转动时，转角不宜过大，控制在 $15^\circ$ 以内。
2. 验证平行轴定理时，应将两铁饼关于转轴对称放置。
3. 取用砝码时应戴手套，轻拿轻放，避免直接与仪器接触，降低仪器精度。
4. 最好添加砝码，减小砝码分别测量一遍，取平均值。

## 5 本实验优点

通过减少对仪器基本参数（如圆盘半径、两盘间距等误差较大的量）的测量，改为测量质量，尺寸等高精度的物理量，并使用线性拟合，提高了实验精度。

操作方便，省去了对基本参数的测量换为使用光电计时器，提高了实验精度，减少了人为测量引入的误差。

## 6 分析与讨论

6.1 当待测物转动惯量远小于悬盘转动惯量时，用三线摆测量引入的误差较大。由于相对误差是通过 $\frac{\Delta I_{\text{总}}}{I_{\text{总}}}$ 衡量的，所以测量误差 $\Delta I_{\text{总}} +$

$\Delta I_{\text{悬盘}}$ 相较于待测物体转动惯量将较大，因而不宜使用三线摆测量。