



北京航空航天大学 实验报告

实验名称： 拉伸法测钢丝弹性模型扭摆法测定转动惯量

一、实验目的

1. 熟悉扭摆的构造及使用方法，掌握数字式计时器的准确适用；
2. 用扭摆测定几种不同形状物体的转动惯量，并与理论值进行比较；
3. 验证转动惯量平行轴定理；
4. 学习光杠杆法测弹性模量；
5. 熟练使用千分尺和游标卡尺，正确读取游标；

二、实验原理

实验 1. 拉伸法测钢丝弹性模量

一条金属棒（丝），原长为 L ，截面积为 A ，在外力 F 作用下伸长 δL 。在弹性限度内，按照胡克定律有应力 ($\sigma = \frac{F}{A}$) 与应变 $\varepsilon = \frac{\delta L}{L}$ 成正比，即 $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ ， E 称为该金属的弹性模量，只取决于棒的材料性质。若金属棒为圆柱体，直径为 D ，则

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A}{\delta L/L} = \frac{4FL}{\pi D^2 \delta L}$$

其中 F 、 L 、 D 可以用一般的方法测得。而 δL 需要用光杠杆法测量。

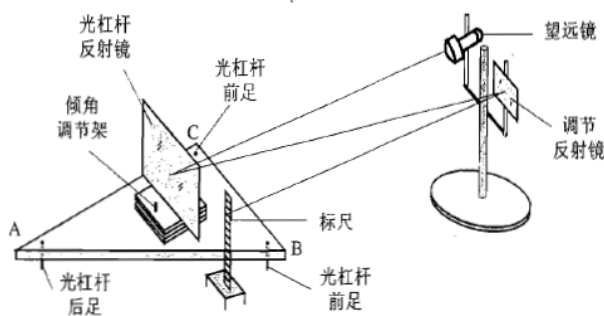


图 4.1.1 光杠杆及其测量系统

光杠杆的结构如图 4.1.1 所示。开始时光杠杆反射镜与标尺在同一平面，在望远镜上读到的标尺读数为 r_0 ，当光杠杆反射镜的后足尖下降 δL 时，产生一个微小的偏角

θ ，在望远镜上读到的标尺读数为 r_i ，则放大后的钢丝伸长量 $C_i = r_i - r_0$ 。由图 4.1.2 可知

$$\delta L_i = b \cdot \tan \theta \approx b\theta$$

式中， b 为光杠杆前后足间的垂直距离，称光杠杆常数。

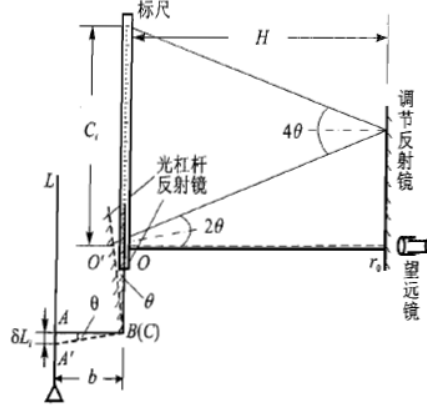


图 4.1.2 光杠杆工作原理图

由于经光杠杆反射而进入望远镜的光线方向不变，故当平面镜旋转一定角度 θ 之后，入射到光杠杆的光线方向就要偏转 4θ ，因 θ 甚小， OO' 也甚小，故可认为平面镜到标尺的距离 $H \approx O'r_0$ ，并有

$$2\theta \approx \tan 2\theta = \frac{C_i/2}{H}, \theta = \frac{C_i}{4H}$$

因此有

$$\delta L_i = \frac{bC_i}{4H} = WC_i, W = \frac{b}{4H}$$

代入可得：

$$E = \frac{16FLH}{\pi D^2 b C_i}$$

实验 2. 扭摆法测转动惯量

扭摆在其垂直轴 1 上装有一根薄片状的螺旋弹簧，用以产生恢复力矩。在轴的上方可以装上各种待测物体。将物体在水平面内转过一角度 θ 后，在弹簧的恢复力矩作用下，物体就开始绕垂直轴作往返扭转运动。根据胡克定律，弹簧受扭转而产生的恢复力矩 M 与所转过的角度 θ 成正比，即

$$M = -K\theta$$

式中， K 为弹簧的扭转常数。根据转动定律 $M_{\text{总}} = I \beta$ (I 为物体绕转轴的转动惯量， β 为角加速度)，忽略轴承的摩擦阻力矩，则有 $M_{\text{总}} = M$ 。由 $\beta = \ddot{\theta}$ ，并令 $\omega^2 = \frac{K}{I}$ ，得

$$\beta = \frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{K}{I}\theta = -\omega^2\theta$$

上述方程表示扭摆运动具有角谐振动的特性：角加速度与角位移成正比，且方向相反。此方程的解为

$$\theta = A \cos(\omega t + \varphi)$$

式中，A 为谐振动的角振幅， φ 为初相位角， ω 为角（圆）频率。此谐振动的周期为

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{K}}$$

利用上式，测得扭摆的摆动周期后，在 I 和 K 中任何一个量已知时即可计算出另一个量。

本实验用一个几何形状规则的物体（圆柱），其转动惯量（ I_1 ）可以根据它的质量和几何尺寸用理论公式直接计算得到，再算出本仪器弹簧的 K 值。若要测定其他形状物体的转动惯量，只需将待测物体安放在本仪器顶部的各种夹具上，测定其摆动周期，由上式即可换算出该物体绕转动轴的转动惯量。理论分析证明，若质量为 m 的物体绕过质心轴的转动惯量为 I_c ，当转轴平行移动距离 x 时，则此物体对新轴线的转动惯量变为 $I_c + mx^2$ 。这称为转动惯量的平行轴定理。

三、实验仪器

细钢丝、光杠杆、望远镜、标尺、拉力测量装置、钢卷尺、游标卡尺、螺旋测微器、扭摆、塑料圆柱体、金属空心圆筒、实心塑料（或木）球、金属细长杆（两个滑块可在上面自由移动）、数字式计时器、电子天平；三线摆、钢卷尺、电子秒表、圆环、气泡水平仪。

四、实验步骤

实验 1. 拉伸法测钢丝弹性模量

(1) 调整测量系统

1. 目测粗调
2. 调焦找尺
3. 细调光路水平

(2) 测量数据

1. 首先预加 10kg 拉力，将钢丝拉直，然后逐次改变钢丝拉力，测量望远镜水平叉丝对应的标尺读数。
2. 根据量程及相对不确定度大小，选择合适的长度测量仪器，分别用卷尺、游标卡尺或千分尺测 L、H、b 各一次，测钢丝直径 D 若干次。

(3) 数据处理

选择用逐差法、一元线性回归法或图解法计算弹性模量并估算不确定度。

1. L 的误差限为 0.3cm
2. H 的误差限为 0.5cm
3. b 的误差限为 0.02cm

实验 2. 扭摆法测转动惯量

(1) 调整测量系统

用水准仪调整仪器水平，设置计时器。

(2) 测量数据

1. 装上金属载物盘，测定其摆动周期 T_0 ；将塑料圆柱体垂直放在载物盘上，测出摆动周期 T_1 ，测定扭摆的弹簧扭转常数 K 。
2. 测定金属圆筒、塑料（或木）球与金属细长杆的转动惯量。列表时注意给出各待测物体转动惯量的测量公式（金属圆筒 I_2 、塑料球 I_3 以及金属细长杆 I_4 ）和理论计算公式（金属圆筒 J_2 、塑料球 J_3 以及金属细长杆 J_4 ）。
3. 验证转动惯量平行轴定理。将滑块对称地放置在细杆两边的凹槽内（此时滑块质心离转轴的距离分别为 5.00 、 10.00 、 15.00 、 20.00 、 25.00 （单位： cm ））测出摆动周期 T_{5i} 。若时间许可，还可以将两个滑块不对称放置（例如分别取 5.00 与 10.00 ， 10.00 与 15.00 ， 15.00 与 20.00 ， 20.00 与 25.00 （单位： cm ）），这样采用图解法验证此定理时效果更好。
4. 测量其他常数。利用电子天平，测出塑料圆柱、金属圆筒、塑料（或木）球与金属细长杆的质量，并记录有关物体的内、外径和长度。

(3) 数据处理

1. 设计原始数据记录表格；
2. 算出金属圆筒、塑料（或木）球和金属细长杆的转动惯量 I_2 、 I_3 、 I_4 ，并与理论计算值 J_2 、 J_3 、 J_4 比较，求百分差；
3. 验证平行轴定理。