

## 实验题目: 用三线摆法测物体的转动惯量

学号: 3 姓名: 姚 班级: 203 成绩: 9.0  
 同组人: 实验日期、时段: 月 26 日 时段 教师签名: (12)

## 一、实验目的与要求

1. 了解三线摆原理, 并用它测量圆盘、圆环绕对称轴的转动惯量;
2. 学会游标卡尺等测量工具的正确使用方法, 掌握测周期的方法;
3. 验证转动惯量的平行轴定理。

## 二、实验仪器

DH4601 转动惯量测试仪, 计时器, 游标卡尺, 电子天平, 卷尺。

## 三、实验原理(用自己语言组织)

三线摆是一个匀质圆盘, 以长为  $l$  的三条线对称地悬挂在一个水平固定的小圆盘下面。如图 1 所示, 下圆盘可绕两圆盘的中心轴线  $OO'$  作扭转摆动。扭转的过程也就是圆盘位能与动能的转化过程。扭转的周期由下圆盘(包括置于摆上的待测物体)的转动惯量决定。根据摆动周期和摆的有关几何参数可以测定摆(或“摆上物体”)的转动惯量。

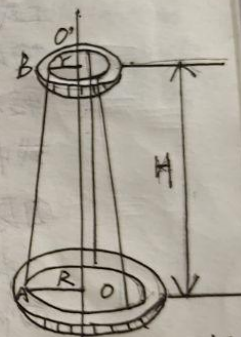


图 1: 三线摆结构示意图

依照机械能守恒定律, 如果摆角足够小 ( $\theta_0 \leq 5^\circ$ ),

下圆盘的运动可以看成简谐运动。结合有关的  $m, g$  关系可得如下公式:

① 下圆盘绕中心  $OO'$  轴作扭转时的转动惯量: 
$$I_0 = \frac{m_0 g R^2}{4\pi^2 H} T_0^2$$

其中  $m_0$  圆盘质量,  $g$  是重力加速度 ( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ),  $r, R$  分别指上、下圆盘中心到各悬线点的距离;  $H$  是上下圆盘之间的距离;  $T_0$  是圆盘转动周期。

此时, 悬线上张力相等, 上下盘均水平, 盘面是绕中心轴  $OO'$  扭转摆动, 且  $H \gg l$ 。

② 把质量为  $M$  的圆环放在摆盘上, 使两者圆心重合, 组成一个系统,

## 实验题目：用三线摆法测物体的转动惯量

学号：205608 姓名：张婉婉 班级：计2003 成绩：  
 同组人： 实验日期、时段：5月26日 时段 教师签名：

## 一、实验目的与要求

1. 了解三线摆原理，并用它测量圆盘、圆环绕对称轴的转动惯量；
2. 学会游标卡尺等测量工具的正确使用方法，掌握测周期的方法；
3. 验证转动惯量的平行轴定理。

## 二、实验仪器

DH4601转动惯量测试仪，计时器，游标卡尺，电子天平，卷尺。

## 三、实验原理(用自己语言组织)

三线摆是一个质圆盘，以长为的三条线对称地悬挂在一个水平固定的小圆盘下面。如图示，下圆盘可绕两圆盘的中心轴线 $OO'$ 作扭转摆动。扭转的过程也就是圆盘位能与动能的转化过程。扭转的周期由下圆盘(包括置于摆上的待测物体)转动惯量决定。根据摆动周期和摆的有关几何参数可以测定摆(或“摆上物体”)的转动惯量。

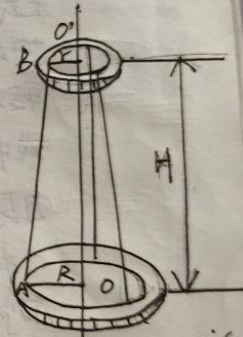


图1：三线摆结构示意图

依照机械能守恒定律，如果摆角足够小( $\theta_0 \leq 5^\circ$ )，

下圆盘的运动可以看成简谐运动。结合有关的 $mg$ 关系可得如下公式：

① 下圆盘绕中心 $OO'$ 轴作扭转时的转动惯量：
$$I_0 = \frac{m_0 g R^2}{4\pi^2 H} T_0^2$$

其中 $m_0$ 圆盘质量， $g$ 是重力加速度( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ )， $r, R$ 分别指上、下圆盘中心到各悬线点的距离； $H$ 是上下圆盘之间的距离； $T_0$ 是圆盘转动周期。

此时，悬线上张力相等，上下盘均水平，摆面是绕中心轴 $OO'$ 扭转摆动，且 $H \gg l$ 。

② 把质量为 $M$ 的圆环放在摆盘中，使两者圆心重合，组成一个系统，



## 四、实验内容与步骤

## 1. 几何参量的测量与质量的记录

- (1) 按照直接测量工作流程进行下列测量：测出下圆盘的直径 $D_0$ ，测出圆环A的内外直径 $D_{A外}$ 和 $D_{A内}$ ；测出圆柱体的直径 $D_c$ 和柱体中心与圆盘中心的距离 $d$ 。
- (2) 测出上下两圆盘间的垂直距离 $h$ ，再分别测出上圆盘和下圆盘的三个悬点之间的距离 $a$ 和 $b$ ，各取其平均值 $\bar{a}$ 和 $\bar{b}$ 。
- (3) 记录下圆盘质量 $m_0$ ，圆环质量 $M_A$ 和两个相同圆柱体的质量 $M_C$ 。

## 2. 测量各刚体扭转摆动的周期

- (1) 按下盘待下圆盘静止后，轻轻扭动上圆盘，在最大转角不超过 $5^\circ$ 的条件下，使下圆盘扭动，下圆盘扭动时，其质心只能上下移动。如果质心有左右摆动就必须重新启动扭摆。
- (2) 用周期测定仪(a)或秒表(b)测出50次全振动所需的时间，重复5次，计算出 $T_0$ 。

- (3) 将圆环放在下圆盘上，使重心通过下圆盘中心，按步骤(1)、(2)测出两者一起摆动的周期 $T_A$ 。
- (4) 取下圆环，把质量相同、形状相同的两圆柱体对称地置于下圆盘上，再按步骤(1)、(2)测出它们共同摆动的周期 $T_C$ 。

## 五、数据记录(数据表格自拟)

列表记录所有实验数据，并进行数据处理。

测量项目		下圆盘 (g)	圆环 $M_A = 402$ (g)	小圆柱 $M_C = 138$ (g)
测量周期次数		50 30	50 30	50 20
总时间 $t(s)$	1	39.8	41.07 41.0	42.2
	2	39.7	41.5	42.4
	3	39.5	42.3	43.8
	4	39.6	41.4	43.4
	5	40.8	41.2	43.6
$\bar{t} = 50T$ 平均时间		39.9	41.5	43.0
平均周期		1.33	1.38	1.43

表1 质量与周期的测量

河北工业大学物理实验中心网址: <http://wlzx.hebut.edu.cn>网上选课地址: <http://202.113.124.190>

测量项目	$D_A$	$D_B$	$D_C$	$2d$
1	99.5	149.8	243.2	170.1
2	99.6	149.7	244.5	170.0
3	99.4	149.8	243.0	170.2
4	99.5	149.9	243.0	170.1
平均值	99.5	149.8	243.4	170.1

单位: mm

表2: 圆柱、圆锥的几何参数

测量项目	$H$	$D_0$	$a$	$b$	$r = \frac{\sqrt{a^2+b^2}}{2}$	$R = \frac{D_0}{2}$
1	390.4	189.2	76.5	158.2		
2	390.2	189.3	77.2	158.5		
3	390.4	189.4	76.8	158.2	44.4	91.4
4	390.5	189.2	77.5	158.2		
平均值	390.4	189.3	77.0	158.3		

单位: mm

六、数据处理(要有详细过程, 包括不确定度计算等)

(1) 反求值:

① 下圆盘

$$I_0 = \frac{m_0 g R^2}{4\pi^2 H} \cdot \frac{1}{T^2}$$

$$= \frac{1062 \times 10^{-3} \times 9.8 \times 91.4 \times 10^{-3} \times 44.4 \times 10^{-3}}{4\pi^2 \times 390.4 \times 10^{-3}} \times 1.332$$

$$= 4.85 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

② 圆柱

$$I_A = I - I_0 = \frac{(m_0 + m_0) g R^2}{4\pi^2 H} T_A^2 - I_0$$

$$= \frac{(1062 + 442) \times 10^{-3} \times 9.8 \times 91.4 \times 10^{-3} \times 44.4 \times 10^{-3}}{4\pi^2 \times 390.4 \times 10^{-3}} \times 1.38^2 - 4.85 \times 10^{-3}$$

$$= 1.75 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

③ 两个圆柱

$$2I_C = \frac{(m_0 + 2m_0) g R^2}{4\pi^2 H} T_C^2 - I_0$$

$$= \frac{(1062 + 2 \times 138) \times 10^{-3} \times 9.8 \times 91.4 \times 10^{-3} \times 44.4 \times 10^{-3}}{4\pi^2 \times 390.4 \times 10^{-3}} \times 1.43^2 - 4.85 \times 10^{-3}$$

$$= 2.22 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

一个圆柱

$$I_C = 1.11 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$



12) 理论值.

$$\text{① 下圆盘: } I_0' = \frac{1}{8} m_0 D_0^2 = \frac{1}{8} \times 1063 \times 10^{-3} \times (189.3 \times 10^{-3})^2 \\ = 4.76 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$\text{② 圆盘A: } I_A' = \frac{1}{8} M_A (D_{A内}^2 + D_{A外}^2) \\ = \frac{1}{8} \times 402 \times 10^{-3} \times (99.5^2 \times 10^{-6} + 149.8^2 \times 10^{-6}) \\ = 1.62 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$\text{③ 两个圆柱体: } 2I_C' = \frac{1}{2} M_C D_C^2 + 2M_C d^2 \\ = \frac{1}{2} \times 138 \times 10^{-3} \times (24.24 \times 10^{-3})^2 + 2 \times 138 \times 10^{-3} \times (\frac{170.1}{2} \times 10^{-3})^2 \\ = 2.01 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$\text{一个圆柱体: } I_C' = \frac{1}{8} M_C D_C^2 + M_C d^2 \\ = \frac{1}{8} \times 138 \times 10^{-3} \times (24.24 \times 10^{-3})^2 + 138 \times 10^{-3} \times (\frac{170.1}{2} \times 10^{-3})^2 \\ = 1.01 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

	实验值	理论值	$E = \frac{ I - I' }{I'} \times 100\%$
下圆盘	$4.85 \times 10^{-3}$	$4.76 \times 10^{-3}$	1.9%
圆盘A	$1.7 \times 10^{-3}$	$1.62 \times 10^{-3}$	8.0%
圆柱	$1.11 \times 10^{-3}$	$1.01 \times 10^{-3}$	9.9%

张桂华:

## 七、实验分析

- ① 当待测物体的转动惯量比下圆盘的转动惯量小得多时，不宜用三线摆测量。因为三线摆工作原理是先单独测出圆盘的转动惯量，然后总的转动惯量，最后相减，即可算出待测物体的转动惯量。如果待测物体质量很小，误差会很大。
- ② 三线摆在扭动中受到阻力，振幅会越来越小，但周期不变。

## 思考题与思维拓展：

1. 待下圆盘静止后，轻轻扭动上圆盘，使下圆盘摆动。这样操作，使下圆盘的质心没有左右摆动，要求转动角度最大不超过 $5^\circ$ 。
2. 使用光电门计时时，在最中间时，速度最快，误差最小，如果取在两边，无法认清一个完整的周期。





## 1. 质量与周期的测量

下圆盘 $m_b = 1063 \text{ g}$ 圆盘 $M_A = 402 \text{ g}$ 小圆盘 $M_c = 138 \text{ g}$			
测量次数	50	30	30
1	39.8	41.05	42.8
2	39.7	41.6	42.4
3	39.5	41.5	42.8
4	40.8	42.3	43.4
5	39.6	41.4	43.6
平均时间 $\bar{T} = 39$	39.9	41.5	43.0
平均周期	1.33	1.38	1.43

## 2.

	$D_{\text{内}}$	$D_{\text{外}}$	$D_c$	$2d$
1	99.5	149.8	24.32	170.1
2	99.6	149.7	24.15	170.0
3	99.4	149.8	24.20	170.2
4	99.5	149.9	24.30	170.1
平均值	99.5	149.8	24.24	170.1

## 3.

	$H$	$D_0$	$a$	$b$	$r = \frac{\sqrt{3}}{3} a$	$R = \frac{\sqrt{3}}{3} b$
1	390.4	189.2	76.5	158.2		
2	390.3	189.3	77.2	158.5	44.4	91.4
3	390.4	189.4	76.8	158.3		
4	390.3	189.2	77.5	158.2		
平均值	390.4	189.3	77.0	158.3		