

实验题目：用三线摆测物体的转动惯量

学号：3 姓名：姚 班级：2023 成绩：
同组人： 实验日期、时段：月26日一时间段 教师签名：

P₁₀

(12)

一、实验目的与要求

1. 了解三线摆原理并用它测量圆盘、圆环统对称轴的转动惯量；
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3条对称地悬挂在
一个水平固定的小圆盘下面。如图所示，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移与动能的转化过程。扭
转的周期由下圆摆（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。

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。结合有关的物理关系可得如下公式：
① 下圆盘绕中心OO'轴作扭转时的转动惯量： $I_0 = \frac{m_0 g R}{4\pi^2 H} T_0^2$
其中 m_0 圆盘质量， g 是重力加速度 ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$)， R 、 H 分别指上、下圆盘中心
到各悬点的距离； 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，且是绕中心轴OO'扭转摆动，
且 $H \gg L$ 。
② 把质量为 m_1 的圆环放在悬盘中，使两者圆心重合，组成一个系统。

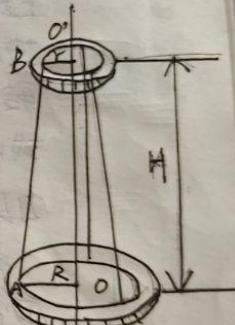


图1：三线摆结构示意图

实验题目：用三线摆测物体的转动惯量

学号：205608 姓名：张晓燕 班级：计2003 成绩：
同组人： 实验日期、时段：5月26日一时间段 教师签名：

P₁₀

(12)

一、实验目的与要求

1. 了解三线摆原理并用它测量圆盘、圆环统对称轴的转动惯量；
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3条对称地悬挂在
一个水平固定的小圆盘下面。如图所示，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
转的周期由下圆摆（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。

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。结合有关的物理关系可得如下公式：
① 下圆盘绕中心OO'轴作扭转时的转动惯量： $I_0 = \frac{m_0 g R}{4\pi^2 H} T_0^2$
其中 m_0 圆盘质量， g 是重力加速度 ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$)， R 、 H 分别指上、下圆盘中心
到各悬点的距离； 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，且是绕中心轴OO'扭转摆动，
且 $H \gg L$ 。
② 把质量为 m_1 的圆环放在悬盘中，使两者圆心重合，组成一个系统。

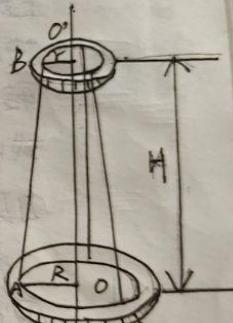


图1：三线摆结构示意图

四、实验内容与步骤

1. 几何参数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 和柱体重心与悬点中心的距离 d 。
- (2) 测出上下两圆盘间的垂直距离 a ，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) 按图所示将下圆盘静止后，轻轻扭动上圆盘，在最大转角不超过 5° 的条件下，使下圆盘扭动，下圆盘运动时，其重心只能上下移动。如果重心有左右摆动就必须重新启动扭摆。
- (2) 用周期测定仪(或秒表)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、形状相同的两个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 。

3. 列表记录所有实验数据，并进行数据分析。

测量项目	(g) 下圆盘 $m_0=106.2$	圆环 $M_A = 402$ (g)	小圆柱 $M_C = 138$ (g)
测量周期次数	50.30	50.30	50.30
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
$\bar{t} = 50\bar{T}$ 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	$D_{内}$	$D_{外}$	D_c	2d
1	99.5	149.8	24.32	70.1
2	99.6	149.7	24.15	70.0
3	99.4	149.8	24.20	70.2
4	99.5	149.9	24.20	70.1
平均值	99.5	149.8	24.24	70.1

表2: 圆环、圆柱的几何参数

六、数据处理(要有详细过程,包括不确定度计算等)

① 实验值

$$I_0 = \frac{m_0 g R \bar{r}}{4\pi^2 H} \bar{r}_0$$

$$= \frac{1063 \times 10^{-3} \times 9.8 \times 91.4 \times 10^{-3} \times 446 \times 10^{-3}}{4\pi^2 \times 390.4 \times 10^{-3}} \times 1.332$$

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

② 固定 A

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

$$= \frac{(1063 + 402) \times 10^{-3} \times 9.8 \times 91.4 \times 10^{-3} \times 446 \times 10^{-3}}{4\pi^2 \times 390.4 \times 10^{-3}} \times 1.38^2 - 4.85 \times 10^{-3}$$

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

③ 两个圆柱体

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

$$= \frac{(1063 + 2 \times 138) \times 10^{-3} \times 9.8 \times 91.4 \times 10^{-3} \times 446 \times 10^{-3}}{4\pi^2 \times 390.4 \times 10^{-3}} \times 1.48^2 - 4.85 \times 10^{-3}$$

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

220

一个圆柱体:

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

(2) 理论值

$$\text{①下圆盘: } I_0' = \frac{1}{8} M_0 D_0^2 = \frac{1}{8} \times 1063 \times 10^{-3} \times (189.3 \times 10^{-3})^2 \\ = 4.76 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

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

$$\text{③两个圆柱体: } 2I_C' = \frac{1}{4} M_C D_C^2 + 2M_C d^2 \\ = \frac{1}{4} \times 138 \times 10^{-3} \times (24.24 \times 10^{-3})^2 + 2 \times 138 \times 10^{-3} \times (\frac{170.1}{2} \times 10^{-3})^2 \\ = 2.01 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

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

	实验值	理论值	$E = \frac{ I - I' }{I'} \times 100\%$
下圆盘	4.85×10^{-3}	4.76×10^{-3}	1.9%
圆环A	1.65×10^{-3}	1.62×10^{-3}	2.0%
圆柱	1.11×10^{-3}	1.01×10^{-3}	9.9% 9.9%

孙伟华:

孙伟华

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。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° 。
2. 使用数显万能计时时，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。



河北工业大学

HEBEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

13

1. 质量与周期的测量

	下圆盘 $m_b = 1063 \text{ g}$	圆环 $M_a = 402 \text{ g}$	小圆柱 $M_c = 138 \text{ g}$
测量周期次数	50 30	50 30	50 30
1	39.8	41.05	42.2
2	39.7	41.5	42.4
3	39.5	42.3	43.8
4	40.8	41.4	43.4
5	39.6	41.2	43.6
平均时间 $T = 30\pi$	39.9	41.5	43.0
平均周期	1.33	1.38	1.43

2.

	$D_{A内}$	$D_{A外}$	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_o	a	b	$\bar{r} = \frac{\sqrt{3}}{3} \bar{a}$	$\bar{R} = \frac{\sqrt{3}}{3} \bar{b}$
次数 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	390.5	189.2	77.5	158.2		
平均值	390.4	189.3	77.0	158.3		