

实验题目：用三线摆测物体的转动惯量

学号: 205071 姓名: 葛有 班级: 21203 成绩: _____
同组人: _____ 实验日期、时段: 5月26日第4时段 教师签名: _____

P.5
2013

一、实验目的与要求

① 学习三线摆的构造原理和使用方法。

② 学习用三线摆扭摆测刚体的转动惯量，将实验值与理论值进行比较。

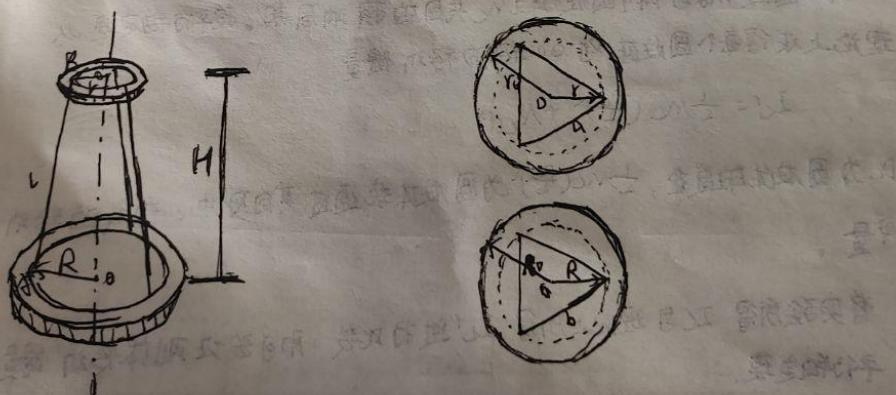
③ 验证转动惯量的平行轴定理。

二、实验仪器

三线摆实验仪，气泡水准器，游标卡尺，米尺，电子秒表以及铁圆环、铁圆柱体各两个。

三、实验原理(用自己的语言组织)

三线摆是一个质圆，以等长的三条线对称地悬挂在一个水平固定的由两个小圆盘下面。下圆盘可绕两圆盘的中心轴线作扭转摆动。扭转的过程也就是圆盘动能与势能的转化过程，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参数就可以测定摆的转动惯量。



由机械能守恒，如果摆角够小 $\theta \leq 5^\circ$ ，下圆盘可看作简谐运动，若各有关几何关系，可得以下公式。

① 下圆盘绕中心 α' 轴 α' 作扭转时的转动惯量

$$I_0 = \frac{m_0 g R}{4\pi^2 H} T_0^2$$

m_0 是圆盘质量， $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ， R 是上、下圆盘中心到各自质心的距离， 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，上下圆盘均水平，盘面是绕中心轴 α' 旋转摆动， $H \approx 1$ 。

② 把质量为 M_A 的圆环放在悬线上，使两者圆心重合，组成一个系统。测得它们绕 α' 轴扭动的周期为 T_A ，根据推导，该系统的转动惯量

$$I_1 = \frac{(m_0 + M_A) g R}{4\pi^2 H} T_A^2 - I_0$$

③ 根据刚体转动惯量平行轴定理，若刚体绕某轴转动惯量为 I ，当该转轴平行移动距离为 d 时，则刚体绕新轴的转动惯量变为 $I' = I + md^2$ 。

将两个质量为 M_C 的相同圆柱体对称地放置在下圆盘的两边，并使其边缘与圆盘上圆心圆刻槽线相切。若实验测得摆动周期为 T_C ，则两圆柱体的转动惯量为 $2I_C = \frac{(m_0 + 2M_C) g R}{4\pi^2 H} T_C^2 - I_0$

T_C 为下圆盘 m_0 与两个圆柱体 $2M_C$ 共同的摆动周期。按平行轴定理从理论上求得每个圆柱体对 α' 轴的转动惯量。

$$I_C' = \frac{1}{2} M_C \left(\frac{D_C}{2}\right)^2 + M_C D_C^2$$

D_C 为圆柱体的直径， $\frac{1}{2} M_C \left(\frac{D_C}{2}\right)^2$ 为圆柱体绕通过其自身中心轴线的转动惯量。

将实验所得 I_1 与理论上所得 I_1' 进行比较，即可验证刚体转动惯量平行轴定理。

周期由周期测定仪或机械秒表来测量。
用水准仪调平上圆盘，使悬线比悬重锤大很多，用水准仪调平下圆盘。

1. 几何参数的测量和质量的记录

① 测下盘直径 D_0 ，圆环 A 的内外直径 $D_{\text{内}}$ 、 $D_{\text{外}}$ ，圆柱体直径 D_L ，圆柱体中心到悬点中心 d 。

四、实验内容与步骤

② 测上下盘距盘 H，上下盘悬点之间的距离 a, b ；求 \bar{a}, \bar{b} ， $\bar{r} = \frac{\bar{a} + \bar{b}}{2}$ ， $R = \frac{\sqrt{3}}{2} \bar{b}$

③ 测下盘质量 m_0 ，圆环质量 M_A ，和 2 个相同圆柱体的质量 m_C 。

2. 测量各刚体的扭转摆动周期

① 待下盘静止，扭动上圆环， $\theta \leq 5^\circ$ ，使圆盘扭动，其质心只能上下动，如果左右动，重新摆摆。

② 用周期测定仪测出 50 次全振动时间，重复 5 次，求 \bar{T}_1 。

③ 在下盘放圆环，使重心与下盘中心重合，按①②测出两者一起摆动的周期 \bar{T}_2 。

④ 取下圆环，将实验仪器中的两圆柱体对称放于圆盘上，按②测其同摆动的周期 \bar{T}_3 。

五、数据记录（数据表格自拟）

测量项目	下圆盘 $m_0 = 1071 \text{ g}$	圆环 $M_A = 395 \text{ g}$	小圆柱 $m_C = 139 \text{ g}$
测量周期次数	30	30	30
总时间 s/s	1 42.823	41.761	45.119
	2 42.458	42.023	44.760
	3 42.408	41.941	44.581
	4 42.617	41.877	45.044
	5 42.599	41.929	44.858
平均时间 $\bar{T} = 50 \text{ s}$	42.681	41.907	44.872
平均周期 /s	1.423	1.397	1.496

测量项目	D_0	$D_{\text{内}}$	$D_{\text{外}}$	D_L	$2d$
均值	1 191.2	100.2	149.8	24.38	161.2
	2 191.0	100.1	149.6	24.40	161.3
	3 191.2	99.9	149.2	24.36	161.8
	4 191.6	100.2	150.2	24.44	161.6
平均值	191.3	100.1	149.4	24.4	161.5

河北工业大学物理实验中心网址：<http://wzxk.hebut.edu.cn>
网上选课地址：<http://202.113.124.190> • 213 •

测量项目	H	a	b	$R = \frac{\pi}{4} a$	$\bar{R} = \frac{\sqrt{3}}{4} b$
				mm	mm
次 数	1	428.8	76.2	157.2	
	2	429.2	76.0	157.1	43.9 90.6
	3	428.9	75.9	157.3	
平均值	429.0	76.0	157.2		

六、数据处理(要有详细过程,包括不确定度计算等)

① 理论值

下圆盘: $I_D = \frac{1}{8} m_D D^2 = \frac{1}{8} \times 1.071 \text{ kg} \times (191.3 \times 10^{-3} \text{ m})^2 \approx 4.899 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2$

圆环: $I_A' = \frac{1}{2} M_A (D_{内}^2 + D_{外}^2) = \frac{1}{2} \times 0.395 \text{ kg} \times [(100 \times 10^{-3} \text{ m})^2 + (149.7 \times 10^{-3} \text{ m})^2] \approx 1.60 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2$

两个圆柱: $2I_C' = \frac{1}{4} M_C d^2 + 2M_C d^2 = \frac{1}{4} \times 0.189 \text{ kg} \times (24.4 \times 10^{-3} \text{ m})^2 + 2 \times 0.189 \text{ kg} \times (\frac{161.5}{2} \times 10^{-3})^2 \approx 1.887 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2$

一个圆柱: $I_C' = 0.447 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2$

② 实验值:

下圆盘: $I_D = \frac{m_D \bar{R}^2}{4\pi^2 H} \bar{R}^2 = \frac{1.071 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 90.6 \times 10^{-3} \text{ m} \times 43.9 \times 10^{-3} \text{ m}}{4\pi^2 \times 429.0 \times 10^{-3} \text{ m}} \approx 4.991 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2$

圆环: $I_A = I_A - I_D = \frac{(m_0 + M_A) \bar{R}^2 F}{4\pi^2 H} \times \bar{R}^2 - I_D = \frac{(1.071 \text{ kg} + 0.395 \text{ kg}) \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 90.6 \times 10^{-3} \text{ m}}{4\pi^2 \times 429.0 \times 10^{-3} \text{ m}} \times 43.9 \times 10^{-3} \text{ m}$

• 214 • 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>

$$\times (1.397)^2 - 4.991 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2 = 6.585 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2 - 4.991 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2 = 1.594 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2$$

物理实验报告

$$\text{两个圆柱体: } I_C = \frac{(m_0 + 2m_C)gR\bar{r}}{4\pi^2 R} \times \bar{r}_C^2 - I_D = \frac{(1.971kg + 2 \times 0.139kg) \times 9.8kg/m^2 \times 9.6 \times 10^{-3} m^2 \times 42.9 \times 10^{-3} m}{4\pi^2 \times 42.9 \times 10^{-3} m}$$

$$\times (1.4965)^2 - 4.991 \times 10^{-3} kg/m^2 = 1.948 \times 10^{-3} kg/m^2 - 4.991 \times 10^{-3} kg/m^2 = 1.957 \times 10^{-3} (kg/m^2)$$

$$I_C = 0.979 \times 10^{-3} kg/m^2$$

$$\textcircled{2} \quad \Delta I_D = |I_D - I_D'| = 0.092 \times 10^{-3} kg/m^2 \quad \Delta I_A = |I_A - I_A'| = \frac{|0.594 \times 10^{-3} kg/m^2 - 1.601 \times 10^{-3} kg/m^2|}{1.601 \times 10^{-3} kg/m^2} = 0.007 \times 10^{-3} kg/m^2$$

$$E_D = \frac{|I_D - I_D'|}{I_D} \times 100\% = \frac{|4.991 \times 10^{-3} kg/m^2 - 4.999 \times 10^{-3} kg/m^2|}{4.999 \times 10^{-3} kg/m^2} \times 100\% \approx 1.88\%$$

$$E_A = \frac{|I_A - I_A'|}{I_A} \times 100\% = \frac{|0.594 \times 10^{-3} kg/m^2 - 1.601 \times 10^{-3} kg/m^2|}{1.601 \times 10^{-3} kg/m^2} \times 100\% \approx 0.44\%$$

$$E_C = \frac{|I_C - I_C'|}{I_C} \times 100\% = \frac{|0.979 \times 10^{-3} kg/m^2 - 0.979 \times 10^{-3} kg/m^2|}{0.979 \times 10^{-3} kg/m^2} \times 100\% \approx 3.38\%$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_D = (4.991 \pm 0.092) \times 10^{-3} kg/m^2 \\ E_D = 1.88\% \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_A = (1.594 \pm 0.007) \times 10^{-3} kg/m^2 \\ E_A = 0.44\% \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_C = (0.979 \pm 0.036) \times 10^{-3} kg/m^2 \\ E_C = 3.38\% \end{array} \right.$$

12

七、实验分析

1. 待测物体的转动惯量比下圆盘转动惯量小得多时，不适宜用三线摆测量。因为如果待测物体质量很小，误差会很大。

2. 三线摆在摆动中受到空气阻力，振幅会越来越小，周期不会变化。

$$mL\theta'' = -mg \sin \theta$$

$$\theta'' + \frac{g \sin \theta}{L} = 0$$

当微小摆动时 $\theta = \sin \theta$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$$

$$\theta'' + \omega^2 \theta = 0$$

$$\theta = A \sin \omega t + \varphi$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

思考题与思维拓展：

1. 当下圆盘静止后，在转角不超过5%的前提下轻轻扭动上圆盘，迅速复位，可以使质心不动。

2. 如果下圆盘不在水平面内，三线摆启动后会产生晃动，已经不是一个简谐运动，周期会比用公式算出的理论值有很大误差。

3. 三线摆在中间位置时，速度最快，误差最小。



河北工业大学
HEBEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

5-1 质量与周期的测量

测量项目	下圆盘	圆环	小圆柱
	$m_0 = 1071 \text{ (g)}$	$M_A = 395 \text{ (g)}$	$M_C = 393.13 \text{ (g)}$
测量周期次数	30	30	30
总时间 t/s	1 42.823 2 42.458 3 42.908 4 42.617 5 42.599	41.767 42.023 41.941 41.877 41.929	45.119 44.760 44.581 45.044 44.858
平均时间 $T = \bar{t}/3$	42.681	41.907	44.872
平均周期 /s	1.4223	1.3978	1.496

表 5-2 圆环、圆柱的几何参数 单位:mm

测量项目	D_O	$D_{O\text{内}}$	$D_{A\text{外}}$	D_C	$2d$
1	191.2	100.2	149.8	24.38	161.2
2	191.0	100.1	149.6	24.45	161.3
3	191.2	99.9	149.2	24.36	161.8
4	191.6	100.2	150.2	24.44	161.6
平均值	191.3	100.1	149.7	24.41	161.5

表 5-3 三线摆的几何参数 单位:mm

测量项目	H	a	b	$\frac{H}{2} - a$	$R = \frac{\sqrt{3}}{2}b$
1	42.88	76.2	157.2		
2	42.92	76.0	157.1	23.9	90.6
3	42.89	75.9	157.3		
平均值	42.90	76.0	157.2		

转动惯量公式 $J = \frac{1}{3}M(H^2 + a^2)$

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

科学出版社
高等教育
E-mail:
销售分部