

南昌大学物理实验报告

课程名称： 大学物理实验

实验名称： 扭摆法测定物体转动惯量

学院： 理学院 专业班级： 应用物理学 152 班

学生姓名： 马文青 学号： 5502215035

实验地点： 基础实验大楼 B107 座位号： 24

实验时间： 第九周星期四上午十点十分开始



南昌大学实验报告

学生姓名: 马文青 学号: 5502215035 专业班级: 应用物理学152班

实验类型: ☐验证 ☐综合 ☐设计 ☐创新 实验日期: 2016.4.28 实验成绩: _____

一、实验名称: 扭摆法测定物体转动惯量

二、实验目的: 1. 测定扭摆的仪器常量(弹簧的扭转常量) k 。

2. 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。

三、实验原理:

在扭摆垂直轴上装有一根薄片状的螺旋弹簧, 以产生恢复力矩。轴上可装各种待测物体, 垂直轴与支座间装有轴承, 以降低摩擦力矩。水平仪调整系统平衡。

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绕垂直轴做往返扭转运动。由胡克定律可知 $M = -k\theta$, M 为恢复力矩, k 为弹簧的扭转常量, 根据转动定律, $M = I\beta$, 即, $\beta = \frac{M}{I}$ 。
式中, I 为物体绕转轴的转动惯量, β 为角加速度, 由上式得

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

上式 $\omega^2 = \frac{k}{I}$, 忽略轴承的摩擦阻力矩。

上述方程表示扭摆运动具有角简谐振动的特性, 角此方程的解为

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

式中, A 为谐振动的角振幅, ϕ 为初相位, ω 为角速度, 此谐振动的周期为

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

由上式可知, 只要测得物体扭摆的摆动周期, 并在 I 和 k 中任何一个量



南昌大学实验报告

学生姓名: 马文青 学号: 502215035 专业班级: 应用物理学1522班

实验类型: ☐验证 ☐综合 ☐设计 ☐创新 实验日期: 2016.4.28 实验成绩: _____

已知时即可计算出另一个量。

转动惯量组合定理: 若一个物体由几部分组成, 每一部分相对转轴的转动惯量分别为 I_1, I_2, I_3, \dots , 那么整个物体对转动轴的转动惯量为: $I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$

本实验用一个几何形状规则的物体, 它的转动惯量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, 由之前的公式即可算出物体绕转动轴的转动惯量:

$$I = \frac{k}{4\pi^2} T^2 - I_0$$

理论分析证明, 若质量为 m 的物体绕通过质心轴的转动惯量为 I_0 时, 当转轴平行移动距离为 x 时, 则此物体对新轴线的转动惯量变为 $I_0 + mx^2$ 。称为转动惯量的平行轴定理。

四、实验仪器:

扭摆、几种待测转动惯量的物体[空心金属圆柱体、塑料球、实心塑料圆柱体、验证转动惯量平行轴定理用的细金属杆(杆上有两块可以自由移动的金属滑块)]、电子天平、游标卡尺、转动惯量测试仪。

五、实验步骤:

1. 测出塑料圆柱体的外径、金属圆筒的内、外径、塑料球直径、金属细长杆长度及各物体质量(各测3次)。



南昌大学实验报告

学生姓名: 马文青 学号: 5502215035 专业班级: 应用物理学152班

实验类型: ☐验证 ☐综合 ☐设计 ☐创新 实验日期: _____ 实验成绩: _____

2. 调整扭摆底座脚螺丝, 使水平仪的气泡位于中心。

3. 装上金属载物盘, 并调整光电探头的位置, 使载物盘上的挡光杆处于其缺口中央且能遮住发射、接收红外线的小孔。测定摆动周期 T_0 , 将数据填入表中。

4. 将塑料圆柱体垂直放在载物盘上, 测定摆动周期 T_1 , 将数据填入表中。

5. 用金属圆筒代替塑料圆柱体, 测定摆动周期 T_2 , 将数据填入表中。

6. 取下载物金属盘, 装上塑料球, 测定摆动周期 T_3 , 将数据填入表中。

7. 取下塑料球, 装上金属细杆 (金属细杆中心必须与转轴重合), 测定摆动周期 T_4 , 将数据填入表中。

8. 将滑块对称放置在细杆两边的凹形槽内, 此时滑块质心离转轴的 distances 分别为 5.00 cm, 10.00 cm, 15.00 cm, 20.00 cm, 25.00 cm, 测定摆动周期 T 并将数据填入表中, 验证转动惯量平行轴定理。

由转动惯量组合定理, 有

$$I = I_{\text{杆}} + I_{\text{滑轮}} + 2m_{\text{滑块}} \times \text{滑块质心与转轴距离}^2 + 2I_{\text{滑块相对质心}}$$

$$I_{\text{滑块相对质心轴}} = 2 \left[\frac{1}{12} m_{\text{滑块}} (D_{\text{滑块外}}^2 + D_{\text{滑块内}}^2) + \frac{1}{12} m_{\text{滑块}} L_{\text{滑块}}^2 \right]$$

六、实验数据与处理

实验数据见下表:

$$\text{其中 } k = 4\pi^2 \frac{I_1'}{T_1^2 - T_0^2} = 3.775 \times 10^{-2} \text{ (N}\cdot\text{m)}$$



南昌大学实验报告

学生姓名: 马文青 学号: 1502115035 专业班级: 应用物理学15级1班

实验类型: ☐验证 ☐综合 ☐设计 ☐创新 实验日期: 实验成绩:

表 1:

物体名称	质量/kg	几何尺寸/ 10^{-2}m	周期/s	转动惯量理论值/ $(10^{-4}\text{kg}\cdot\text{m}^2)$	实验值/ $(10^{-4}\text{kg}\cdot\text{m}^2)$
金属载物盘			T_0	0.717	$I_0 = \frac{I_1 T_0^2}{T_1^2 - T_0^2} = 4.929$
			T_0	0.717	
			T_0	0.717	
			T_0	0.717	
塑料圆柱	小: 0.356 大: 0.72	$D_{\text{小}} = D_{\text{大}} = 10$	T_1	0.990: 1.20 0.991: 1.20 0.990: 1.20 0.990: 1.20	$I_1 = \frac{1}{8} m D^2$ $I_1 = \frac{K T_1^2}{4\pi^2} - I_0$ $= \begin{cases} 4.450 (\text{小}) \\ 8.900 (\text{大}) \end{cases}$ $I_1 = \frac{K T_1^2}{4\pi^2} - I_0$ $= \begin{cases} 4.443 (\text{小}) \\ 8.864 (\text{大}) \end{cases}$
			T_1	0.990: 1.20	
			T_1	0.990: 1.20	
			T_1	0.990: 1.20	
金属圆筒	0.650	$D_{\text{外}} = 10$ $D_{\text{内}} = 9.4$	T_2	1.461 1.462 1.461 1.461	$I_2 = \frac{1}{8} m (D_{\text{外}}^2 + D_{\text{内}}^2)$ $I_2 = \frac{K T_2^2}{4\pi^2} - I_0$ $= 15.304$ $= 15.482$
			T_2	1.461	
			T_2	1.462	
			T_2	1.461	
塑料球	1.000	$D_{\text{球}} = 3.4$	T_3	1.324 1.324 1.324 1.324	$I_3 = \frac{1}{10} m D_{\text{球}}^2$ $I_3 = \frac{K T_3^2}{4\pi^2} - I_0$ $= 17.956$ $= 16.744$
			T_3	1.324	
			T_3	1.324	
			T_3	1.324	
金属细杆	0.134	$L = 60$	T_4	2.080 2.080 2.079 2.080	$I_4 = \frac{1}{12} m L^2$ $I_4 = \frac{K T_4^2}{4\pi^2} - I_0$ $= 40.20$ $= 41.34$
			T_4	2.080	
			T_4	2.079	
			T_4	2.080	

表 2:

$X/10^{-2}\text{m}$	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00
摆动周期	2.390	3.080	3.980	4.966	6.002
	2.390	3.079	3.976	4.972	6.001
	2.387	3.080	3.978	4.968	6.004
T/s	2.387	3.080	3.978	4.968	6.004
\bar{T}/s	2.389	3.080	3.978	4.969	6.002
实验值/ $(10^{-4}\text{kg}\cdot\text{m}^2)$ $I = \frac{K T^2}{4\pi^2}$	53.863	89.528	149.344	233.021	391.977
理论值/ $(10^{-4}\text{kg}\cdot\text{m}^2)$ $I = I_4 + I_{\text{载物盘}} + I_{\text{塑料圆柱}} + I_{\text{塑料球}}$	52.904	88.604	148.104	231.404	378.504
百分差	1.81%	1.04%	0.84%	0.70%	0.44%

表 2 的百分差表明平行轴定理是成立的

七、误差分析



南昌大学实验报告

学生姓名: 马文青 学号: 5502215035 专业班级: 应用物理学152班

实验类型: ☐验证 ☐综合 ☐设计 ☐创新 实验日期: _____ 实验成绩: _____

1. 圆盘转动角度相差较大导致误差。

2. 仪器水平调节不到位。

3. 固定螺丝没有拧紧。

4. 物体未摆正也会导致误差。

八、思考题。

1. 在用扭摆测定物体转动惯量实验中, 实验验证扭摆系统角位移的方式是否为简谐振动。

是。因为开始时的振动周期基本不变, 一段时间后会逐渐减弱。即刚开始时角位移方式可近似为简谐振动。

2. 在用扭摆测定物体转动惯量实验中, 实验分析弹簧扭转常量与摆动周期的关系。

平方反比关系, $K = \frac{4\pi^2}{T^2}$, $\alpha = 4\pi^2 I$ 。

原始数据:

马文青 5502215035 应用物理学152班 座位号 24

数据记录 T_1 T_2 T_3 $\bar{T} = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3}$

1 金属载物盘	0.717	0.717	0.717
2 塑料圆柱(小)	0.990	0.991	0.990
3 塑料圆柱(大)	1.202	1.201	1.201
4 金属圆筒	1.461	1.462	1.461
5 塑料球	1.324	1.324	1.324
6 金属细杆	2.080	2.080	2.079
7 滑块位置 5cm	2.390	2.390	2.387
8 滑块位置 10cm	3.080	3.079	3.080
9 滑块位置 15cm	3.980	3.976	3.978
10 滑块位置 20cm	4.966	4.972	4.968
11 滑块位置 25cm	6.002	6.001	6.004

$R_{柱} = 5 \text{ cm}$

$m_{球} = 1000 \text{ g}$

$R_{球} = 6.7 \text{ cm}$

$m_{杆} = 134 \text{ g}$

金属杆长 60 cm

$m_{滑块} = 238 \text{ g}$

$m_{柱1} = 356 \text{ g}$

$m_{金属筒} = 650 \text{ g}$

$m_{柱2} = 712 \text{ g}$

金属筒 $L_{外} = 10 \text{ cm}$

球支撑 $I = 0.0187 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

$D_{内} = 9.4 \text{ cm}$

$I_s = 0.772 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

细杆夹具 $I = 0.0321 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$