

# 实验报告

20

课程名称: 实验名称: 转动惯量实验 实验日期: 2023 年 4 月 14 日 晚上  
班 级: 特立2222 教学班级: 吴汉春老师 学 号: 120221173 姓 名: 陈奕林

## 一、实验目的

1. 学习刚体转动惯量的方法
2. 用实验方法验证平行轴定理

## 二、实验仪器

刚体转动惯量实验仪, 通用电脑式毫秒计, 铝环, 铝板, 小钢柱, 牵引砝码, 游标卡尺和天平等

## 三、实验原理

刚体转动惯量实验仪的结构如2-1所示。对于空实验台, 转动时体系对转轴的转动惯量记为  $I_0$ 。本实验的待测物体为铝环、铝盘等, 要测其对于中心轴的转动惯量  $I_x$ , 可以将其放在实验台上。这时转动体系的转动惯量记为  $I$ ,  $I = I_0 + I_x$ , 则  $I_x = I - I_0$ 。一般情况下  $a \ll g$ , 所以可以近似认为细绳中张力为:  $T \approx mg$ , 由转动定律得:  $\begin{cases} m \cdot g \cdot r - M\mu = I\beta & (\text{匀加速运动}) \\ -M\mu = I\beta' & (\text{匀减速运动}) \end{cases}$ , 所以有  $I = \frac{m \cdot g \cdot r}{\beta - \beta'}$ , 可以看出, 测出转动惯量的关键是确定角加速度  $\beta$  和  $\beta'$ 。

在转动过程中, 转动体系作匀变速转动, 所以有  $\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \beta t^2$ 。从同一起始点转过两个不同角位移  $\theta_1, \theta_2$ , 所用时间为  $t_1, t_2$ , 分别代入式(2-4)可推得匀加速角加速度  $\beta = \frac{2(\theta_1 t_2 - \theta_2 t_1)}{t_1^2 t_2 - t_2^2 t_1}$ , 匀减速角加速度  $\beta' = \frac{2(\theta_1 t_2' - \theta_2 t_1')}{t_1'^2 t_2' - t_2'^2 t_1'}$ 。

把式(2-5)、(2-6)代入式(2-3), 即可得到  $I$ 。在式(2-4)中, 若初角速度  $\omega_0 = 0$ , 则有  $\beta = 2\theta/t^2$ 。由式(2-2)可推得:  $m_1 = \frac{2I\theta}{gr} \cdot \frac{1}{t^2} + \frac{M\mu}{gr} = k \frac{1}{t^2} + m_\mu$ 。当  $\theta, r$  确定,  $M\mu$  视为常数, 则  $m_1$  和  $\frac{1}{t^2}$  呈线性关系。通过测量出  $\frac{m_1}{t^2}$  关系曲线即可确定转动惯量  $I$ 。这种确定转动惯量的方法称为直线拟合法。

## 四、实验内容及操作步骤

为了产生不同的力臂, 塔轮上有5个不同半径的绕线轮, 从下到上为15mm, 20mm, 25mm, 30mm, 35mm共5档。光电门由发光器件和光敏器件组成, 发光器件的电源由毫秒计提供, 它们构成一个光电探测器, 光电门将细棒每次经过时的遮光信号转换成电脉冲信号, 送到通用电脑式毫秒计。毫秒计记录并存储遮光次数和每次遮光的时刻。

注意: (1) 线绕不要重叠

(2) 线与塔轮轴线  $OO'$  垂直, 并且要顺着滑轮槽过线

联系方式:



# 实验报告

课程名称: \_\_\_\_\_ 实验名称: \_\_\_\_\_ 实验日期: \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日  
班 级: \_\_\_\_\_ 教学班级: \_\_\_\_\_ 学 号: \_\_\_\_\_ 姓 名: \_\_\_\_\_

## 1. 测铝环对中心轴的转动惯量

(1) 把铝环放置在承物台上, 先测  $I$ 。  $m$  为砝码与钩的总质量,  $r$  取 25mm。毫秒计设置“0129”, 按下“计时”键, 然后该系统在外力矩  $M$  和摩擦力矩  $M_f$  的作用下从静止开始转动。注意保证砝码在第 9 次计数后才落地。砝码落地后, 系统在  $M_f$  的作用下继续转动, 直到毫秒计停止计数。

取时间值:  $t_1$ : (3 次 - 1 次),  $t_1'$ : (23 次 - 21 次), 角位移均为  $2\pi$ 。  
 $t_2$ : (9 次 - 1 次),  $t_2'$ : (29 次 - 21 次), 角位移均为  $8\pi$ 。

按一下“ $\beta$ ”键: 显示“1---”得到  $\beta$  值, 再按一下“ $\beta$ ”键: 显示“2---”得到  $\beta'$  值, 注意为防止将  $t_1, t_2, t_1', t_2'$  和  $\beta, \beta'$  记录下来。重复以上步骤, 进行多次测量, 一共得到了 7 组表对居测量并记录铝环的质量、内径和外径。推导转动惯量的不确定度公式进行计算, 得到  $I(u)$ 。

(2) 把铝环取下, 测量  $I_0$ 。

测量  $I_0$  的步骤同测量  $I$ 。根据式 (2-1) 得到  $I_0$ 。用理论公式计算铝环的转动惯量并与实验结果进行比较。  $I_0 = \frac{1}{2} m_2 (r_i^2 + r_o^2)$ , 其中  $m_2$  是铝环的质量,  $r_i$  和  $r_o$  分别是铝环的内半径和外半径。

## 2. 测铝盘对中心轴的转动惯量

(1) 测量  $I$

把铝盘放在承物台上, 角位移定为  $8\pi$ , 绕线轮半径取  $r = 25\text{mm}$ ,  $m_1$  值取 15g, 20g, 25g, ..., 80g 共 8 个值。分别用毫秒计测出时间值  $t$ , 注意为使  $\omega_0 = 0$ , 体系由静止一开始运动就要计时, 须放好遮光细棒的位置。测出  $\frac{m_1}{t^2}$  关系曲线, 用直线方程拟合, 可得斜率  $k$ , 进而求出  $I = kgr/2\theta$ 。

(2) 测量  $I_0$

把铝盘从承物台上取下, 实验步骤及数据处理与 (1) 相同。

(3) 计算转动惯量  $I_x$

根据式 (2-1) 计算出铝盘对中心轴的转动惯量  $I_x$ , 并与理论结果进行比较。

## 3. 验证平行轴定理

平行轴定理:  $I_d = I_c + md^2$  式中,  $I_d$  为物体绕转轴的转动惯量,  $I_c$  为转轴通过物体质心时的转动惯量,  $d$  为物体的质心到转轴的距离。

把两个同质量  $m_0$  的小钢柱分别放在承物台上的 1 孔 2 和 2 孔 2 处。两个小钢柱体系的质心在转动轴上, 它们绕轴转动时的转动惯量记为  $I_c$ , 用测铝环转动惯量的同样方法可测出:  $I_1 = I_0 + I_c$ , ... 然后再把两个小钢柱放到 1 和 3 (或 1' 和 3') 的孔位置上, 这时, 两个小钢柱系

# 实验报告

课程名称: \_\_\_\_\_ 实验名称: \_\_\_\_\_ 实验日期: \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日

班 级: \_\_\_\_\_ 教学班级: \_\_\_\_\_ 学 号: \_\_\_\_\_ 姓 名: \_\_\_\_\_

的质心和转轴的垂直距离变为  $d$ 。用  $I_d$  表示小钢性体系对转轴的转动惯量, 也用同样的方法测出:  $I_2 = I_0 + I_d$ 。

按平行轴定理:  $I_d = I_c + 2m_0 d^2$ , 有  $I_2 - I_1 = 2m_0 d^2$ , 分别测出  $I_1, I_2, m_0$  和  $d$ , 验证平行轴定理。

## 原始数据

25g 6次

$\beta$	2.34337	2.43159	2.34856	2.34925	2.35176	2.34954
$\beta'$	-0.23892	-0.24364	-0.24045	-0.22975	-0.23638	-0.25026
$\beta$	0.58917	0.58396	0.60075	0.60230	0.60268	0.60607
$\beta'$	-0.05991	-0.05883	-0.05444	-0.05515	-0.05533	-0.06058

(Sung)

15g ~ 50g

94g	6.8608	6.4029	5.4525	3.9326	3.5652	3.3247
94g	12.3317	9.3492	8.5492	7.7684	7.1965	6.6886
	3.2292	3.0184				
	5.4047	4.9275				

(468g)

联系方式: \_\_\_\_\_

指导教师签字: \_\_\_\_\_



## 实验二 刚体的转动惯量

### 1. 铝环对中心轴转动惯量:

铝环半径:  $R_{\text{内}} = 105.00(0.02) \text{ mm}$ ,  $R_{\text{外}} = 120.00(0.02) \text{ mm}$

砝码+钩质量:  $m_1 = 25.0(0.5) \text{ g}$ , 塔轮半径:  $r = 25.00(0.02) \text{ mm}$ , 包含因子  $K=1.645$

有铝环时:  $\theta_1 = 2\pi$ ,  $\theta_2 = 8\pi$ ; 铝环质量:  $m_2 = 500.11 \text{ g}$  ( $\beta$ 和 $\beta'$ 只算A类不确定度)

	$t_1/\text{s}$	$t_2/\text{s}$	$\beta/\text{rad}\cdot\text{s}^{-2}$	$t'_1/\text{s}$	$t'_2/\text{s}$	$\beta'/\text{rad}\cdot\text{s}^{-2}$
1			0.58917			-0.05996
2			0.58396			-0.05883
3			0.60075			-0.05444
4			0.60230			-0.05515
5			0.60268			-0.05538
6			0.60607			-0.06058
平均值	$\bar{\beta} = 0.59749 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-2}$			$\bar{\beta}' = -0.05739 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-2}$		
不确定度 A 类分量	$u_A = 0.004 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-2}$			$u_A = 0.0011 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-2}$		
$\beta(u)$	$0.597(0.004) \text{ rad}\cdot\text{s}^{-2}$			$\beta'(u) = -0.0574(0.0011) \text{ rad}\cdot\text{s}^{-2}$		

系统加铝环转动惯量:  $I(u_1) = 0.00935(0.00019) \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

无铝环时:

	$t_1/\text{s}$	$t_2/\text{s}$	$\beta/\text{rad}\cdot\text{s}^{-2}$	$t'_1/\text{s}$	$t'_2/\text{s}$	$\beta'/\text{rad}\cdot\text{s}^{-2}$
1			2.34337			-0.23892
2			2.43159			-0.24364
3			2.34856			-0.24048
4			2.34925			-0.22975
5			2.35176			-0.23638
6			2.34954			-0.25026
平均值	$\bar{\beta} = 2.36234 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-2}$			$\bar{\beta}' = -0.23990 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-2}$		
不确定度 A 类分量	$u_A = 0.014 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-2}$			$u_A = 0.0028 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-2}$		
$\beta(u)$	$2.362(0.014) \text{ rad}\cdot\text{s}^{-2}$			$\beta'(u) = -0.2399(0.0028) \text{ rad}\cdot\text{s}^{-2}$		

系统转动惯量:  $I_0(u_{I_0}) = 0.00235(0.00005) \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

铝环对中心轴的转动惯量: (注意有效数字、科学计数法和单位)

实验值:  $I_x = I - I_0$ ,  $u_{I_x} = \sqrt{u_I^2 + u_0^2}$ ,  $I_x(u_{I_x}) = 0.0070(0.0002) \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

理论值:  $I_{\text{理}} = m_2(R_{\text{内}}^2 + R_{\text{外}}^2)/2$ ,  $I_{\text{理}}(u_{I_{\text{理}}}) = 0.006356(0.00008) \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

## 2. 铝盘对中心轴转动惯量:

铝盘半径:  $R = 120.00(0.02) \text{ mm}$ , 绕线轮半径:  $r = 25.00(0.02) \text{ mm}$

有铝盘时:  $\omega_0 = 0$ ,  $\theta = 8\pi$ , 铝盘质量:  $m_3 = 468(1) \text{ g}$

m/g	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0
t/s	12.3317	9.3492	8.5492	7.7684	7.1965	6.6886	5.4047	4.9275
(1/t <sup>2</sup> )/s <sup>-2</sup>	0.00658	0.01203	0.01368	0.01657	0.01931	0.02235	0.03423	0.04118

用最小二乘法拟合  $m \sim 1/t^2$  曲线 (不作图)

直线方程:  $m(\text{kg}) = 1.0072 \cdot \frac{1}{t^2} + 0.011609$  斜率  $k = 1.0072$

系统加铝盘转动惯量:  $I = kgr/(2\theta) = 0.004910 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$

无铝盘时:  $\omega_0 = 0$ ,  $\theta = 8\pi$

m/g	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0
t/s	6.8608	6.4029	5.4525	3.9326	3.5652	3.3247	3.2292	3.0184
(1/t <sup>2</sup> )/s <sup>-2</sup>	0.02124	0.02439	0.03364	0.06466	0.07867	0.09047	0.09589	0.10976

用最小二乘法拟合  $m \sim 1/t^2$  曲线 (不作图)

直线方程:  $m(\text{kg}) = 0.3482 \cdot \frac{1}{t^2} + 0.009924$  斜率  $k = 0.3482$

系统转动惯量:  $I_0 = k_0gr/(2\theta) = 0.001697 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$

铝盘对中心轴的转动惯量: (注意有效数字、科学计数法和单位)

实验值:  $I_x = I - I_0 = 0.003223 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$

理论值:  $I_{\text{理}} = m_3 R^2 / 2 = 0.00337 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$

思考题: 1, 2

1. 解: 取消  $T \approx m_1 g$

$$\begin{cases} T r - M \mu = I \beta \\ -M \mu = I \beta' \\ m_1 g - T = m_1 a \\ a = \beta r \end{cases}$$

$$\therefore I = \frac{m_1 g r - m_1 a r}{\beta - \beta'}$$

$$\therefore I < \frac{m_1 g r}{\beta - \beta'} \quad \text{近似后数据偏大}$$

2. 解:



$(T_1 - T_2)$  绕 I 轮  $\beta$  轮

$\beta$  轮  $r$  轮  $= \beta r$

$$T_2 r - M \mu = I \beta$$

$$-M \mu = I \beta'$$

$$m_1 g - T_1 = m_1 a = m_1 \beta r$$

$$I = \frac{T_2 r}{\beta - \beta'}$$

$$\because T_2 < T_1 < m_1 g$$

$\therefore$  会使实验数据偏大