

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:

教学班级: 吴汉春老师 学号

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 β 和 β' 。

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 θ_1, θ_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 θ, 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 $m_1 - \frac{1}{t^2}$ 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 2π 。

t_2 : (9 次 - 1 次), t_2' : (29 次 - 21 次), 角位移均为 8π 。

按一下 "β" 键: 显示 "1---" 得到 β 值, 再按一下 "β" 键: 显示 "2---" 得到 β' 值, 注意防碰。将 t_1, t_2, t_1', t_2' 和 β, β' 记录下来, 重复以上步骤, 进行多次测量, 一共得到了 7 组表对层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 8π , 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

β	2.34337	2.43159	2.34856	2.34925	2.35176	2.34954
β'	-0.23892	-0.24364	-0.24045	-0.22975	-0.23638	-0.25026
β	0.58917	0.58396	0.60075	0.60230	0.60268	0.60607
β'	-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: $m_2 = 500.11 \text{ g}$ (β 和 β' 只算A类不确定度)

	t_1/s	t_2/s	$\beta/\text{rad}\cdot\text{s}^{-2}$	t'_1/s	t'_2/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/s	t_2/s	$\beta/\text{rad}\cdot\text{s}^{-2}$	t'_1/s	t'_2/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: $I_x = I - I_0$, $u_{I_x} = \sqrt{u_I^2 + u_{I_0}^2}$, $I_x(u_{I_x}) = 0.0070(0.0002) \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

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 ²)/s ⁻²	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: $I = mgr/(2\theta) = 0.004910 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$

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 ²)/s ⁻²	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: $I_0 = k_0 gr/(2\theta) = 0.001697 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$

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

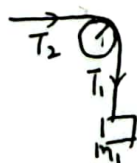
1. 解: 取消 $T \approx m_1 g$

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

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

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

2. 解:



$(T_1 - T_2)$ 和 I 轮 β 轮

β 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