

实验报告

课程名称: _____

班级: _____

实验名称: 刚体的转动惯量

教学班级: _____

实验日期: 2023 年 4 月 4 日 下午

学号: _____

姓名: _____

3号

一. 实验目的

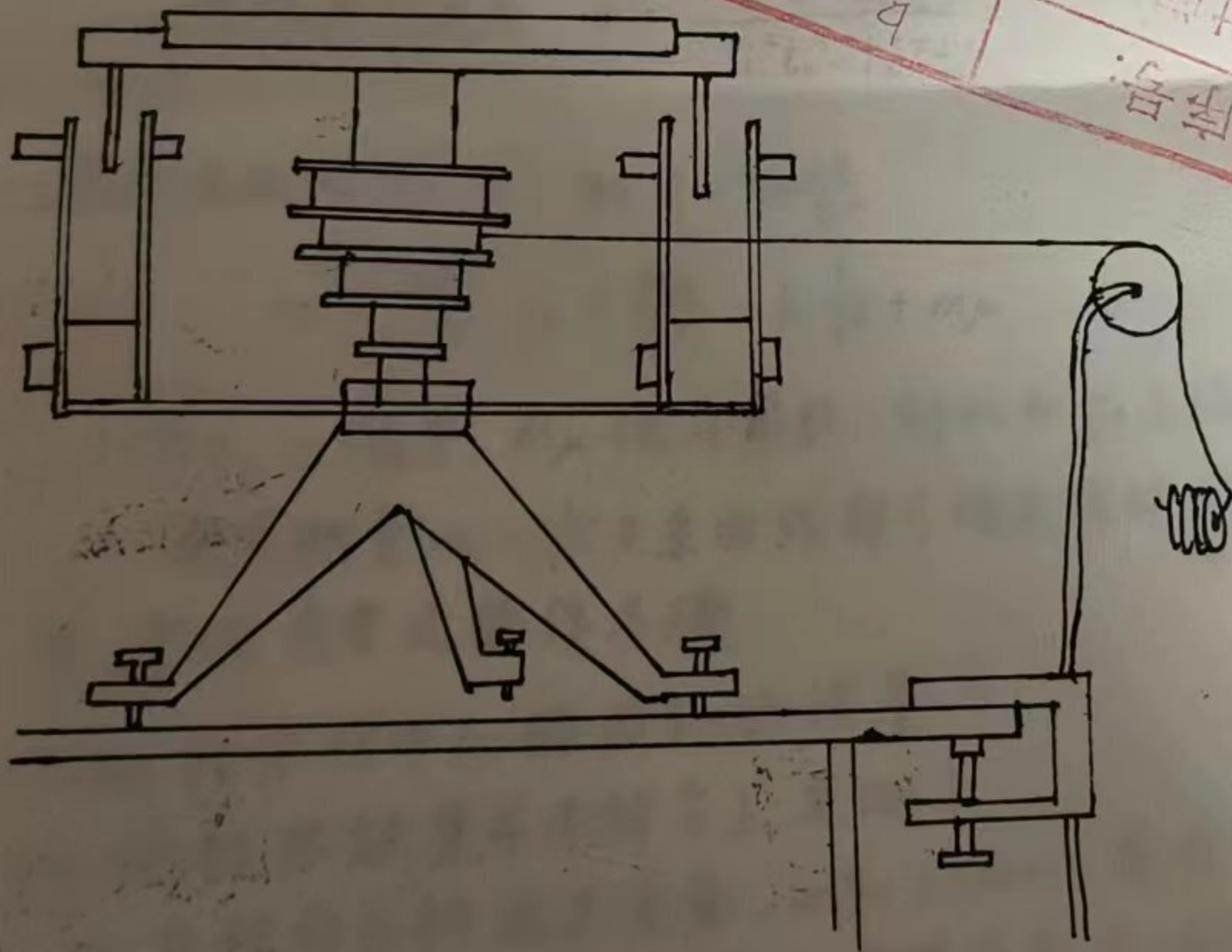
- (1) 学习测量刚体转动惯量的方法
- (2) 用实验方法验证平行轴定理

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.

三. 实验原理

刚体转动惯量实验仪结构如图:



对于空实验台, 转动时体系对转轴的转动惯量记为 I_0 ,
对体系对中心轴的转动惯量 I_x , 将其放在承物台上,
体系的转动惯量记为 I , $I = I_0 + I_x$.

$$I_x = I - I_0$$

指导教师签字: _____

联系方式: _____

北京理工大学良乡校区管理处监制

电话: _____

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: _____

$$\begin{cases} m_1 gr - M_\mu = I \cdot \beta & (\text{匀加速}) \\ -M_\mu = I \cdot \beta' & (\text{匀减速}) \end{cases}$$

$$I = \frac{m_1 gr}{\beta - \beta'}$$

$$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \beta t^2$$

从同一个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 ,

$$\text{匀加速角速度 } \beta = \frac{2(\theta_1 t_2 - \theta_2 t_1)}{t_1^2 t_2 - t_2^2 t_1}$$

$$\text{匀减速角速度 } \beta' = \frac{2(\theta_1 t_2' - \theta_2 t_1')}{t_1'^2 t_2' - t_2'^2 t_1'}$$

若初角速度 $\omega_0 = 0$, 则 $\beta = \frac{2\theta}{t^2}$

$$m_1 = \frac{2I\theta}{gr} \cdot \frac{1}{t^2} + \frac{M_\mu}{gr} = k \cdot \frac{1}{t^2} + m_\mu$$

当 θ, r 确定, M_μ 视为常数, 则 m_1 和 $\frac{1}{t^2}$ 呈线性关系.

通过测量 $m_1 - \frac{1}{t^2}$ 关系曲线即可确定转动惯量

四. 实验内容及操作步骤

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_1 为砝码与钩的总质量, r 取 25mm. 毫秒计设置为 "0129", 按下 "计时" 键, 然后令系统在外力矩 M 和摩擦转矩 M_μ 的作用下从静止开始转动

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 β' 为负值

指导教师签字: _____

联系方式: _____

北京理工大学良乡校区管理处监制 电话: 81382088

实验报告

课程名称: _____

班 级: _____

实验名称: _____

教学班级: _____

实验日期: _____

年 _____

月 _____

日 _____

学 号: _____

姓 名: _____

姓 名: _____

将 t_1, t_2, t_1', t_2' 和 β, β' 记录下来

重复上述步骤, 得到 7 组数据

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并计算, 得到 $I(u_1)$

(2) 把铝环取下, 测量 I_0 .

测量 I_0 的步骤同测量 I .

$$I_x = \frac{1}{2} m_2 (r_i^2 + r_o^2)$$

其中 m_2 为铝环质量, r_i 和 r_o 分别为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, 转角位移定为 8π , 线绕线轮半径

取 $r = 25 \text{ mm}$, m_1 值取 $15 \text{ g}, 20 \text{ g}, 25 \text{ g}, \dots, 50 \text{ g}$ 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。测出 $m_1 - \frac{1}{t^2}$ 关系曲线, 用直线方程拟合, 得斜率 k ,

进而求出 $I = kgr/20$

(2) 测量 I_0

(3) 计算出铝盘对中心轴的转动惯量 I_x

3. 验证平行轴定理

$I_d = I_c + md^2$, 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

把同质量两个为 m_0 的小钢柱放在小孔 2 和 2', 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

量的同样方法测出 $I_1 = I_0 + I_c$ 。然后把两个小钢柱放在 1 和 3' 上, 这时,

质心与转轴距离为 d , 用 I_d 表示小钢柱对转轴的转动惯量, $I_2 = I_0 + I_d$

由 $I_d = I_c + 2m_0 d^2$, 有 $I_2 - I_1 = 2m_0 d^2$, 测出 I_1, I_2, m_0, d 进行验证

联系方式: _____

北京理工大学良乡校区管理处监制 电话: 81382088

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____
班 级: _____ 教学班级: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日
 $m_2 = 494g$ 学 号: _____ 姓 名: _____
有铅环 $\beta / \text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$

0.64814	$\beta' / \text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$
0.64675	-0.06500
0.65077	-0.06354
0.65164	-0.06349
0.65189	-0.06262
0.65740	-0.06389
	-0.06227

无铅环

2.47877
2.50290
2.51157
2.48638
2.48486
2.49057

0.28861
-0.28255
-0.28829
-0.28864
-0.29043
-0.29091

$m_3 = 422g$ 有铅盘

m/g 15.0g 20.0 25.0 30.0 35.0 40.0 45.0 50.0

t/s ~~8.4043~~
8.5828 7.2664 6.5255 5.8535 5.3611 4.9587 4.6811 4.4722

无铅盘

m/g 15.0 20.0 25.0 30.0 35.0 40.0 45.0 50.0

t/s 5.4765 4.6406 4.1225 3.7578 3.4365 3.2975 3.0392 2.8909

联系方式: _____ 指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: _____

班级: _____

实验名称: _____

教学班级: _____

实验日期: _____

年

月

日

学号: _____

姓

名: _____

$$\bar{\beta} = \frac{0.64814 + 0.64675 + 0.65077 + 0.65164 + 0.65189 + 0.65740}{6}$$

$$= 0.65110 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-2})$$

$$u_A = \sqrt{\frac{(0.64814 - 0.65110)^2 + (0.64675 - 0.65110)^2 + (0.65077 - 0.65110)^2 + (0.65164 - 0.65110)^2 + (0.65189 - 0.65110)^2 + (0.65740 - 0.65110)^2}{6 \times 5}}$$

$$= 0.0015 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-2})$$

$$\bar{\beta}' = \frac{0.06500 + 0.06354 + 0.06349 + 0.06262 + 0.06389 + 0.06227}{6}$$

$$= 0.06347 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-2})$$

$$u_A = \sqrt{\frac{(0.06500 - 0.06347)^2 + (0.06354 - 0.06347)^2 + (0.06349 - 0.06347)^2 + (0.06262 - 0.06347)^2 + (0.06389 - 0.06347)^2 + (0.06227 - 0.06347)^2}{6 \times 5}}$$

$$= 0.0004 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-2})$$

$$I = \frac{0.025 \times 9.8 \times 0.025}{0.06347 + 0.65110} = 0.008572 \text{ (kg} \cdot \text{m}^2) \quad I = \frac{m_1 g r}{\beta - \beta'}$$

$$u = \sqrt{\left(\frac{\partial I}{\partial \beta}\right)^2 u(\beta)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial \beta'}\right)^2 u(\beta')^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial m_1}\right)^2 u(m_1)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial r}\right)^2 u(r)^2}$$

$u(m) = 0.5 \text{ g}$
 $u(r) = 0.02 \text{ g}$

$$= \sqrt{\frac{(-m_1 g r)^2}{(\beta - \beta')^2} u(\beta)^2 + \frac{(m_1 g r)^2}{(\beta - \beta')^2} u(\beta')^2 + \frac{(g r)^2}{(\beta - \beta')^2} u(m)^2 + \frac{(m g)^2}{(\beta - \beta')^2} u(r)^2}$$

$$= \cancel{0.00012} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2) \quad 0.00017 \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$$

指导教师签字: _____

联系方式: _____

北京理工大学良乡校区管理处监制

电话: 81382088

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: _____

石砝环

$$\bar{\beta} = \frac{2.47877 + 2.50290 + 2.51157 + 2.48486 + 2.49057 + 2.48638}{6}$$

$$= 2.49251 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-2})$$

$$u_A = \sqrt{\frac{(2.47877 - 2.49251)^2 + (2.50290 - 2.49251)^2 + (2.51157 - 2.49251)^2 + (2.48486 - 2.49251)^2 + (2.49057 - 2.49251)^2 + (2.48638 - 2.49251)^2}{6 \times 5}}$$

$$= 0.005 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-2})$$

$$\bar{\beta}' = \frac{0.28861 + 0.28255 + 0.28829 + 0.28864 + 0.29043 + 0.29091}{6}$$

$$= 0.28824 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-2})$$

$$u_A = \sqrt{\frac{(0.28861 - 0.28824)^2 + (0.28255 - 0.28824)^2 + (0.28829 - 0.28824)^2 + (0.28864 - 0.28824)^2 + (0.29043 - 0.28824)^2 + (0.29091 - 0.28824)^2}{6 \times 5}}$$

$$= 0.0012 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-2})$$

$$I = \frac{0.025 \times 0.025 \times 9.8}{0.28824 + 2.49251} = 0.002203 \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$$

$$u = \sqrt{\left(\frac{\partial I}{\partial \beta}\right)^2 u(\beta)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial \beta'}\right)^2 u(\beta')^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial m}\right)^2 u(m)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial r}\right)^2 u(r)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{-m_1 g r}{\beta - \beta'}\right)^2 u(\beta)^2 + \left(\frac{m_1 g r}{\beta - \beta'}\right)^2 u(\beta')^2 + \left(\frac{g r}{\beta - \beta'}\right)^2 u(m)^2 + \left(\frac{m_1 g}{\beta - \beta'}\right)^2 u(r)^2}$$

$$= 4.6 \times 10^{-5} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$$

指导教师签字: _____

联系方式: _____

北京理工大学良乡校区管理处监制 电话: 81382088

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: _____

$$I_x = I - I_0 = \frac{0.0063690}{0.000126883} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$$

$$U_{I_x} = \sqrt{\left(\frac{\partial I_x}{\partial I}\right)^2 u^2(I) + \left(\frac{\partial I_x}{\partial I_0}\right)^2 u^2(I_0)}$$

$$= \sqrt{u^2(I) + u^2(I_0)}$$

$$= 0.00018 \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$$

$$I_{\text{理}} = \frac{m_2 \times (R_{\text{内}}^2 + R_{\text{外}}^2)}{2}$$

$$= \frac{0.494 \times [(0.105)^2 + (0.120)^2]}{2}$$

$$= 0.0062799 \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$$

$$U_{I_{\text{理}}} = \sqrt{\left(\frac{\partial I_{\text{理}}}{\partial m_2}\right)^2 u^2(m_2) + \left(\frac{\partial I_{\text{理}}}{\partial R_{\text{内}}}\right)^2 u^2(R_{\text{内}}) + \left(\frac{\partial I_{\text{理}}}{\partial R_{\text{外}}}\right)^2 u^2(R_{\text{外}})}$$

$$u(m_2) = \frac{0.5}{1.645} = 0.304 \times 10^{-3} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$$

$$u(R_{\text{内}}) = 0.00002 \text{ (m)}$$

$$u(R_{\text{外}}) = 0.00002 \text{ (m)}$$

$$U_{I_{\text{理}}} = \sqrt{\left(\frac{R_{\text{内}}^2 + R_{\text{外}}^2}{2}\right)^2 u^2(m_2) + (m_2 R_{\text{内}})^2 u^2(R_{\text{内}}) + (m_2 R_{\text{外}})^2 u^2(R_{\text{外}})}$$

$$= 1.7 \times 10^{-6} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$$

指导教师签字: _____

联系方式: _____

北京理工大学良乡校区管理处监制

电话: 81382088

实验报告

课程名称: _____

班级: _____

实验名称: _____

教学班级: _____

实验日期: _____

学号: _____

年

月

日

姓

名: _____

~~$t_0 = 5.4765$~~

~~4.6406~~ ~~4.1~~ 有铅盘

$$\frac{1}{t_1^2} = \frac{1}{(8.5828)^2} = 0.013575068 \quad s^{-2}$$

$$\frac{1}{t_2^2} = \frac{1}{(7.2664)^2} = 0.01893919 \quad s^{-2}$$

$$\frac{1}{t_3^2} = \frac{1}{(6.5255)^2} = 0.023484018 \quad s^{-2}$$

$$\frac{1}{t_4^2} = \frac{1}{(5.8535)^2} = 0.029185609 \quad s^{-2}$$

$$\frac{1}{t_5^2} = \frac{1}{(5.3611)^2} = 0.034793025 \quad s^{-2}$$

$$\frac{1}{t_6^2} = \frac{1}{(4.9587)^2} = 0.040669078 \quad s^{-2}$$

$$\frac{1}{t_7^2} = \frac{1}{(4.6811)^2} = 0.045635642 \quad s^{-2}$$

$$\frac{1}{t_8^2} = \frac{1}{(4.4722)^2} = 0.049998568 \quad s^{-2}$$

~~$\hat{b} = 0.941431751$~~ $\frac{1}{t_2} = \frac{\frac{1}{t_1^2} + \frac{1}{t_2^2} + \dots + \frac{1}{t_8^2}}{8} = 0.032035025 \quad s^{-2}$

$$\hat{a} = \hat{b} = \frac{0.013575068 \times 0.0215 + 0.01893919 \times 0.020 + \dots + 0.049998568 \times 0.050}{-8 \times 0.032035025 \times 0.035}$$

$$\frac{(0.013575068)^2 + \dots + (0.049998568)^2}{-8 \times (0.032035025)^2}$$

$$= \frac{0.941431751}{1.041431751}$$

$$\hat{a} = 0.035 - \frac{0.941431751 \times 0.032035025}{1.041431751} = 0.000341211$$

~~$m = 0.94 \frac{1}{t_2} + 0.0023$~~

$$I_h = \frac{0.941431751 \times 9.8 \times 0.025}{2 \times 8\pi} = 0.004890979$$

无铅盘

$$\frac{1}{t_1^2} = 0.033342167 \quad s^{-2}$$

$$\frac{1}{t_5^2} = 0.084677359 \quad s^{-2}$$

$$\frac{1}{t_2^2} = 0.046435671 \quad s^{-2}$$

$$\frac{1}{t_6^2} = 0.091966655 \quad s^{-2}$$

$$\frac{1}{t_3^2} = 0.058840814 \quad s^{-2}$$

$$\frac{1}{t_7^2} = 0.108263344 \quad s^{-2}$$

$$\frac{1}{t_4^2} = 0.070816209 \quad s^{-2}$$

$$\frac{1}{t_8^2} = 0.119655829 \quad s^{-2}$$

指导教师签字: _____

联系方式: _____

北京理工大学良乡校区管理处监制

电话: 81382088

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:

$$\frac{1}{T^2} = 0.033342167 + 0.04643567 + 0.058840814 + 0.070816209 + \dots + 0.119655829$$

8

$$= 0.076749756 \text{ s}^{-2}$$

$$\bar{b} = \frac{0.015 \times 0.033342167 + \dots + 0.119655829 \times 0.05 - 8 \times 0.076749756 \times 0.0325}{(0.015)^2 + \dots + (0.05)^2 - 8 \times (0.0325)^2}$$

$$= 0.348177522$$

$$\frac{I_0}{2\theta} = \frac{k_0 g r}{2\theta} = a = 0.004672475$$

$$I_0 = \frac{k_0 g r}{2\theta} = \frac{0.408177522 \times 9.8 \times 0.025}{2 \times 8\pi} = 0.001690515 \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$$

$$\cancel{I_x} I_x = I - I_0 = \cancel{0.00260463} 0.003200463 \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$$

$$I_{\text{理}} = m_3 R^2 / 2 = 0.0030384 \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$$

指导教师签字:

联系方式:

北京理工大学良乡校区管理处监制 电话: 81382088

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: _____

思考题

1.
$$Tr - M\mu = I\beta$$
$$- M\mu = I\beta'$$

$$T = mg - ma$$

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

原本为 $I = \frac{m_1gr}{\beta - \beta'}$

则会使实验结果偏高

2. 滑轮的转动惯量也需要动力矩来提供, 所以物体整体的转动惯量含有滑轮的转动惯量, 且滑轮转动惯量越大, 测量物体的转动惯量也越大, 误差越大

指导教师签字: _____

联系方式: _____

北京理工大学良乡校区管理处监制 电话: 81

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

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: $m_2 = 494 \text{ g}$ (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			0.64814			
2			0.64675			-0.06500
3			0.65077			-0.06354
4			0.65164			-0.06349
5			0.65189			-0.06262
6			0.65740			-0.06389
平均值 $\bar{\beta} = 0.65110 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-2})$				$\bar{\beta}' = 0.06347 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-2})$		
不确定度 A 类分量 $u_A = 0.0015 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-2})$				不确定度 A 类分量 $u_A = 0.0004 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-2})$		
$\beta(u) = 0.6511(0.0015) \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$				$\beta'(u) = 0.0635(0.0004) \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$		

系统加铝环转动惯量: $I(u_I) = 0.00857(0.00017) \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

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			2.47877			0.28861
2			2.51157			0.28255
3			2.48486			0.28829
4			2.49057			0.28864
5			2.48638			0.29043
6			2.50290			0.29091
平均值 $\bar{\beta} = 2.49251 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-2})$				$\bar{\beta}' = 0.28824 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-2})$		
不确定度 A 类分量 $u_A = 0.005 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-2})$				不确定度 A 类分量 $u_A = 0.0012 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-2})$		
$\beta(u) = 2.492(0.005) \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$				$\beta'(u) = 0.2882(0.0012) \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$		

系统转动惯量: $I_0(u_{I_0}) = 0.00220(0.00005) \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

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: $I_x = I - I_0$, $u_{I_x} = \sqrt{u_I^2 + u_{I_0}^2}$, $I_x(u_{I_x}) = 0.00637(0.00018) \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

理论值: $I_{理} = m_2(R_{内}^2 + R_{外}^2)/2$, $I_{理}(u_{I_{理}}) = 0.0062799(0.0000017) \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

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: $m_3 = 422 \text{ g}$

m / g	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0
t / s	8.5828	7.2664	6.5255	5.8633	5.3611	4.9587	4.6811	4.4722
(1/t ²) / s ⁻²	0.0136 0.0136	0.0189	0.0235	0.0292	0.0348	0.0407	0.0456	0.0500

用最小二乘法拟合 $m \sim 1/t^2$ 曲线 (不作图)

直线方程: $m = 1.0414318 \frac{1}{t^2} + 0.0003341$

斜率 $k = 1.0414318$

系统加铝盘转动惯量: $I = mgr/(2\theta) = 0.0048909 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

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	5.4765	4.6406	4.1225	3.7578	3.4365	3.2975	3.0392	2.8909
(1/t ²) / s ⁻²								

用最小二乘法拟合 $m \sim 1/t^2$ 曲线 (不作图)

直线方程: $m = 0.348178 \frac{1}{t^2} + 0.00461$

斜率 $k = 0.348178$

系统转动惯量: $I_0 = k_0 gr/(2\theta) = 0.00169 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

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: $I_x = I - I_0 = 0.0032005 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

理论值: $I_{\text{理}} = m_3 R^2 / 2 = 0.0030384 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

思考题: 1, 2