

预习报告		实验记录		分析讨论		总成绩	
25		30		25		80	

专业：	物理学类	年级：	2023 级
姓名：	姚昊廷	学号：	22322091
日期：	2024.11.7	教师签名：	

转动惯量测量和角动量守恒验证

【实验报告注意事项】

1. 实验报告由三部分组成：
- (a) 预习报告：（提前一周）认真研读实验讲义，弄清实验原理；实验所需的仪器设备、用具及其使用（强烈建议到实验室预习），完成课前预习思考题；了解实验需要测量的物理量，并根据要求提前准备实验记录表格（第一循环实验已由教师提供模板，可以打印）。预习成绩低于 10 分（共 20 分）者不能做实验。

(b) 实验记录：认真、客观记录实验条件、实验过程中的现象以及数据。实验记录请用珠笔或者钢笔书写并签名（用铅笔记录的被认为无效）。保持原始记录，包括写错删除部分，如因误记需要修改记录，必须按规范修改。（不得输入电脑打印，但可扫描手记后打印扫描件）；离开前请实验教师检查记录并签名。

(c) 分析讨论：处理实验原始数据（学习仪器使用类型的实验除外），结合误差理论的课程内容，对所有测量数据进行误差分析，转动惯量理论值、实验值、转动惯量变化前后的角动量测量值均用 $A \pm \delta A$ 的形式表示，分析转动惯量理论值和实验值是否在误差范围内吻合，转动惯量变化前后的角动量测量值是否在误差范围内吻合；按规范呈现数据和结果（图、表），包括数据、图表按顺序编号及其引用；分析物理现象（含回答实验思考题，写出问题思考过程，必要时按规范引用数据）；最后得出结论。

实验报告就是将预习报告、实验记录、和数据处理与分析合起来，加上本页封面。

2. 每次完成实验后的一周内交实验报告（特殊情况不能超过两周）。
3. 除实验记录外，实验报告其他部分建议双面打印。

【实验安全与实验室注意事项】

1. 实验前：要预习，明确实验目的和达成的目标；
2. 实验中：取、放和安装待测物体时要轻拿轻放，不得摔碰；

3. 不得随意拿取其它实验台的部件，如有缺失，请及时举手告知老师；
4. 平台转动前，应注意保持转轴在垂直方向，即注意调节 A 型基座水平；
5. 实验后：仔细分析处理数据，认真撰写实验报告。

目录

1 转动惯量测量和角动量守恒验证 预习报告 4

1.1 实验目的 4

1.2 仪器用具 4

2 转动惯量测量和角动量守恒验证 实验记录 6

2.1 实验过程中遇到的问题记录 8

3 转动惯量测量和角动量守恒验证分析与讨论 9

Appendices 12

转动惯量测量和角动量守恒验证 预习报告

1.1 实验目的

本实验的目的是通过实验测量出圆环和圆盘的转动惯量，并验证这些值与理论值计算值是否一致。

1.2 仪器用具

编号	仪器用具名称	数量	主要参数（型号，测量范围，测量精度等）
1	DataStudio 程序	1	
2	PASCO 接口	1	
3	转动惯量组件	1	ME 8953
4	摄影 /滑轮系统	1	
5	天平	1	最小分度值 0.01g
6	卡钳	1	最小分度值 0.02mm
7	回形针	1	
7	质量块和悬挂装置	1	

【原理概述】

理论上，围绕其质量中心转动的圆环的转动惯量 I 为：

$$I = \frac{1}{2}M(R_1^2 + R_2^2)$$

其中 M 为圆环的质量， R_1 为圆环的内径， R_2 为圆环的外径。

圆盘绕其质心的转动惯量为

$$I = \frac{1}{2}MR^2$$

其中 M 为圆盘的质量， R 为圆盘的半径。绕直径的转动惯量为

$$I = \frac{1}{4}MR^2$$

要通过实验找出转动惯量，需要对物体施加一个已知的扭矩，并测量由此产生的角加速度。由于 $\tau = I\alpha$

$$I = \tau\alpha$$

其中， α 是角加速度，等于 $\frac{a}{r}$ 。 τ 是重物悬挂在缠绕在仪器底座上的线上所产生的扭矩。

$$\tau = Tr$$

其中, r 是缠绕线的圆柱体半径, T 是设备旋转时线的张力。对悬挂质量 m 应用牛顿第二定律, 得出

$$\Sigma F = mg - T = ma$$

根据线的张力求解: $T = m(g - a)$

一旦确定了质量 (m) 的线加速度, 就可以得到扭矩和角加速度, 从而计算出转动惯量。【实验前思考题】

思考题 1.1: 写出你认为实验中需要重点考虑的内容或注意事项

1. 实验装置中的绕线柱应该尽可能调平。
2. 实验三中待稳定后应迅速加上圆盘。
3. 计算绕线半径时应考虑绳粗。
4. 摩擦力平衡需准确。

专业：	物理学类	年级：	2023 级
姓名：	姚昊廷	学号：	22322091
室温：	25.0°C	实验地点：	A507 F2
学生签名：		评分：	
实验时间：	2024.11.7	教师签名：	

转动惯量测量和角动量守恒验证 实验记录

【实验内容、步骤、结果】（按照实验内容和步骤依次简要记录每项实验的“内容、步骤、结果”，注意包含实验数据、现象照片或现象描述等）

表 1: 实验 1 测量结果

测量对象 \ 测量次序						结果 (取置信概率 99%)
	1	2	3	4	5	
圆环质量 (g)	1433.43	1433.46	1433.47	1433.47	1433.47	1433.46±0.03
圆盘质量 (g)	1463.56	1463.59	1463.59	1463.59	1463.6	1463.59±0.03
圆环内径 (mm)	107.4	107.36	107.4	107.38	107.40	107.38±0.04
圆环外径 (mm)	127.42	127.46	127.48	127.48	127.46	127.46±0.05
圆盘直径 (cm)	22.85	22.85	22.90	22.90	22.90	22.88±0.06

表 2: 转动惯量数据

	圆环与圆盘组合	单独圆盘
摩擦质量	12.5g	9.5g
悬挂质量	50g	50g
斜率	0.281293rad/s	0.49071rad/s
半径	8.77mm	8.77mm

表 3: 结果

环盘整体的转动惯量	$0.12912\text{kg} \cdot \text{m}^2$ (实验值), $0.014488\text{kg} \cdot \text{m}^2$ (理论值)
圆盘的转动惯量 (实验值)	$0.8611\text{kg} \cdot \text{m}^2$
圆环的转动惯量 (实验值)	$0.0053\text{kg} \cdot \text{m}^2$
圆盘的转动惯量 (理论值)	$0.009119\text{kg} \cdot \text{m}^2$
圆环的转动惯量 (理论值)	$0.005369\text{kg} \cdot \text{m}^2$
圆盘竖直的转动惯量 (实验值)	$0.00488\text{kg} \cdot \text{m}^2$
圆盘竖直的转动惯量 (理论值)	$0.004559\text{kg} \cdot \text{m}^2$
圆盘转动惯量的百分比差异	-0.025%
圆环转动惯量的百分比差异	-0.0034%
圆盘竖直转动惯量的百分比差异	-0.0161%

验证角动量守恒:

圆盘的转动惯量 (理论值): $0.009119\text{kg} \cdot \text{m}^2$

环盘整体的转动惯量 (理论值): $0.014488\text{kg} \cdot \text{m}^2$

表 4: 验证角动量守恒结果

角速度 rad/s	圆盘	3.749	5.686	6.377
	环盘	2.394	3.581	3.906
角动量 kg · m ² /s	圆盘	0.034186	0.051849	0.05815
	环盘	0.34684	.051881	0.056589
	百分比差异	1.4558%	0.611%	2.684%

误差允许范围内可认为角动量守恒

2.1 实验过程中遇到的问题记录

专业:	物理学	年级:	2023 级
姓名:	姚昊廷	学号:	22322091
日期:	2024.11.7	评分:	

转动惯量测量和角动量守恒验证分析与讨论

【分析与讨论】（按照实验过程依次完成每项实验的“分析和讨论”）以圆盘绕中心轴的转动惯量误差计算为例。分别给出圆盘绕中心轴的转动惯量、圆盘绕直径轴的转动惯量、圆筒的转动惯量、转动惯量变化前后的角动量结果的误差计算过程和分析结果。

* 随机误差合成方法：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l})^2}{n - 1}}$$

n 为测量次数， l_i 为单次测量值， \bar{l} 为测量平均值
多次测量取平均值的随机误差计算方法：

$$\sigma_y = \sqrt{(\frac{\partial f}{\partial x_1})^2 \sigma_{x_1}^2 + (\frac{\partial f}{\partial x_2})^2 \sigma_{x_2}^2 + \cdots + (\frac{\partial f}{\partial x_n})^2 \sigma_{x_n}^2}$$

一、理论值

$$I_t = \frac{1}{2}MR^2$$

测量给出圆盘质量 M ，B 类不确定度即天平精度取 0.1g；测量给出圆盘半径 R ，B 类不确定度若为游标卡尺测量精度取 0.02mm，若为钢尺测量精度取 0.2mm。通过误差传递计算，给出 $I_t \pm \delta I_t$ 。

二、实验值

$$I_e = (m_c - m_f)r^2(\frac{g}{a} - 1)$$

分别测量给出摩擦质量 m_f 和悬挂质量 m_t ，B 类不确定度即天平精度取 0.1g；测量给出圆柱半径 r ，B 类不确定度即游标卡尺测量精度取 0.02mm；重物下落加速度至少测量 5 次，分别给出各 a_i 的测量结果，统计给出其 A 类不确定度。通过误差传递计算，给出 $I_e \pm \delta I_e$ 。

三、结果比较

利用计算数据比较法，判断测量结果是否存在系统误差。如满足下式，则两组结果间不存在系统误差。

$$|\bar{x}_i - \bar{x}_j| < 2\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_j^2}$$

一、(1) 计算理论值

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{1}{2}MR^2 = 9.12 \times 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{m}^2 (\text{水平圆盘}) \\ I_2 &= \frac{1}{4}MR^2 = 4.56 \times 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{m}^2 (\text{竖直圆盘}) \\ I_3 &= \frac{1}{2}M(R_1^2 + R_2^2) = 5.36 \times 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{m}^2 (\text{水平圆环}) \end{aligned}$$

(2)B 类不确定度分析：游标卡尺：0.02mm，钢尺：0.2mm，天平 0.1g。

$$U_{r_1} = \frac{0.02\text{mm}}{\sqrt{3}} = 0.0115\text{mm}$$

$$U_{r_2} = \frac{0.2\text{mm}}{\sqrt{3}} = 0.115\text{mm}$$

$$U_M = \frac{0.1\text{g}}{\sqrt{3}} = 0.058\text{g}$$

水平圆盘：

$$\delta I_1 = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial I_1}{\partial R} U_{r_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial I_1}{\partial M} U_M\right)^2} = \pm 2.4 \times 10^{-6} \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

竖直圆盘：

$$\delta I_2 = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial I_2}{\partial R} U_{r_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial I_2}{\partial M} U_M\right)^2} = \pm 1.2 \times 10^{-6} \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

圆环：

$$\delta I_3 = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial I_3}{\partial R_1} U_{r_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial I_3}{\partial R_2} U_{r_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial I_3}{\partial M} U_M\right)^2} = \pm 1.4 \times 10^{-6} \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

(3) 水平圆盘：\$(9120 \pm 2.4) \times 10^{-6} \text{kg} \cdot \text{m}^2\$

竖直圆盘：\$(4560 \pm 1.2) \times 10^{-6} \text{kg} \cdot \text{m}^2\$

圆环：\$(5360 \pm 1.4) \times 10^{-6} \text{kg} \cdot \text{m}^2\$

二、实验值 (1)

$$I_1 = 8.61 \times 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_2 = 4.88 \times 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_3 = 5.3 \times 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

(2)A 类不确定度：

$$U_{a_1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (I_1 - \bar{I})^2}{3 \times 2}} = 2.7 \times 10^{-4} \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

$$U_{a_2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (I_2 - \bar{I})^2}{3 \times 2}} = 7.5 \times 10^{-4} \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

$$U_{a_3} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (I_3 - \bar{I})^2}{3 \times 2}} = 2.5 \times 10^{-5} \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

B 类不确定度：

$$U_{B_1} = \sqrt{\left(\frac{\partial I_1}{\partial R} U_{r_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial I_1}{\partial M} U_M\right)^2} = 4.2 \times 10^{-5} \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

$$U_{B_2} = \sqrt{\left(\frac{\partial I_2}{\partial R} U_{r_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial I_2}{\partial M} U_M\right)^2} = 2.6 \times 10^{-5} \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

$$U_{B_3} = \sqrt{\left(\frac{\partial I_3}{\partial R} U_{r_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial I_3}{\partial M} U_M\right)^2} = 2.0 \times 10^{-5} \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

合成不确定度：

$$U_{C_1} = \sqrt{U_{a_1}^2 + U_{B_1}^2} = 2.8 \times 10^{-5} \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

$$U_{C_2} = \sqrt{U_{a_2}^2 + U_{B_2}^2} = 7.9 \times 10^{-5} \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

$$U_{C_3} = \sqrt{U_{a_3}^2 + U_{B_3}^2} = 2. \times 10^{-5} \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

水平圆盘： $I_1 = (861 \pm 2.8) \times 10^{-5} \text{kg} \cdot \text{m}^2$

竖直圆盘： $I_2 = (488 \pm 7.9) \times 10^{-5} \text{kg} \cdot \text{m}^2$

圆环： $I_3 = (530 \pm 2.5) \times 10^{-5} \text{kg} \cdot \text{m}^2$

三、结果比较

表 5: 比较

	水平圆盘	竖直圆盘	圆环
$ \bar{x}_i - \bar{x}_j $	5.08×10^{-4}	3.2×10^{-4}	6.9×10^{-4}
$2\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_j^2}$	1.01×10^{-4}	1.58×10^{-4}	5.09×10^{-4}

三组均认为存在系统误差，可能原因有：

1. 摩擦力平衡不准确；
2. 测量工具存在系统误差。

对于角动量守恒实验，则在误差允许范围内认为角动量守恒。

Appendices

原件扫描

DATE.

PAGE.

TAG

圆环质量	1433.43g	1433.46g	1433.47g	1433.47g	1433.47g
圆盘质量	1463.56g	1463.59g	1463.59g	1463.59g	1463.60g
圆环外径	107.40mm	107.36mm	107.40mm	107.38mm	107.40mm
圆盘外径	127.42mm	127.46mm	127.48mm	127.48mm	127.46mm
圆环直径	22.85cm	22.85cm	22.90cm	22.90cm	22.90cm
圆盘直径	1.18mm	1.20mm	1.20mm	1.20mm	1.20mm
传感器直径	30.60mm	30.60mm	30.66mm	30.60mm	30.62mm
圆盘直径	37.54mm	37.52mm	37.52mm	37.50mm	37.56mm
绳径	17.16mm	17.10mm	17.10mm	17.14mm	17.14mm

环盘

盘

摩擦质量	12.5g	9.5g			
悬挂质量	37.5g	40.5g			
斜率	$0.271 \pm 4 \times 10^{-4}$	$0.285 \pm 3.9 \times 10^{-4}$	$0.289 \pm 3.9 \times 10^{-4}$	$0.486 \pm 1.6 \times 10^{-4}$	$0.500 \pm 7.1 \times 10^{-4}$
直径cm	1.756	1.754	1.752		$0.488 \pm 5.2 \times 10^{-4}$
粗直径	3.700	3.740	3.764		
传感器直径	3.080	3.088	3.080		
悬挂质量	1.5g	摩擦质量1.5g			
圆盘竖直面斜率	$0.584 \pm 1.7 \times 10^{-3}$	$0.387 \pm 2.2 \times 10^{-3}$	$0.383 \pm 2.0 \times 10^{-3}$		
角动量守恒					
圆盘W	3.749	5.686	6.377		
圆盘+环 rad/s	2.394	2.581	3.906		

李进

桌面

