

内蒙古工业大学物理实验报告

姓名	杨昊泽	班级	材20-2	教师签字	2021.10.3
学号	202010401061	组别		成绩	
日期	2021.10.3	题目	扭摆法测定刚体转动惯量	成绩	47

[实验目的]

1. 熟悉扭摆的结构及工作原理
2. 用扭摆测定几种不同形状物体的转动惯量和弹簧的扭转常数, 并与理论值进行比较
3. 验证转动惯量平行轴定理

[实验仪器]

1. 空心金属圆筒
2. 实心塑料圆柱体
3. 木球
4. 验证转动惯量平行轴定理用的金属细杆
5. 转动惯量测试仪

[实验步骤]

一、实验测量准备与调整

1. 测出各待测物体的内径、外径或直径, 记录数据
2. 调整扭摆机脚螺丝, 使水平仪的气泡位于中心

二、测扭摆的扭转常数及塑料圆柱体的转动惯量

1. 在扭摆转轴上装上转动惯量为 I_0 的金属载物圆盘, 调整光电感应器到合适位置, 测量10个摆动周期的时间 $10T_0$, 记录
2. 将转动惯量为 I_1 的塑料圆柱体放在金属载物圆盘上, 总转动惯量为 $I_0 + I_1$, 测10个摆动周期的时间 $10T_1$, 记录

三、测定金属圆筒、木球与金属细杆的转动惯量并验证转动惯量平行轴定理

1. 取下塑料圆柱体, 装上金属圆筒, 测10个摆动周期的时间 $10T_2$
2. 取下金属载物圆盘、装上木球, 测10个摆动周期的时间 $10T_3$ (在计算木球的转动惯量时, 应扣除支座的转动惯量 $I_{支}$)
3. 取下木球, 装上金属细杆, 使金属细杆中央的凹槽对准夹具上的固定螺丝, 并保持水平, 测10个摆动周期的时间 $10T_4$ (也要扣除夹具的转动惯量)
4. 将金属滑块放于金属载物圆盘上, 滑块质心与中心转轴重合, 测10个摆动周期时间 $10T_5$
5. 将金属滑块对称放置在金属细杆两边的凹槽内, 测量不同距离的5个摆动周期所需的时间 $5T$. 验证转动惯量平行轴定理

[实验原理概述]

转动惯量是刚体在转动中惯性大小的量度, 它与刚体的总质量、形状和转轴的位置相关。对于同一转轴而言, 转动惯量具有迭加性。

绕定轴转动的刚体, 其转动惯量等于刚体上各质点的质量与各质点到转动轴的距离平方的乘积之和

$$I = \sum \Delta m_i r_i^2$$

如果刚体是连续分布的, 则可用积分计算

$$I = \int r^2 dm$$

将物体在水平面内转过一角度 θ 后, 根据胡克定律, 弹簧受扭转而产生的恢复力矩 M 与所转过的角度 θ 成正比, 即:

$$M = -K\theta$$

式中, K 为弹簧的扭转常数, 根据转动定律:

$$M = I\beta$$

式中, I 为物体的转动惯量, β 为角加速度, 由上式得:

$$\beta = \frac{M}{I}$$

忽略轴承的摩擦阻力矩, 得:

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

此方程有如下解的形式:

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

此简谐振动的周期为:

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

只要测出周期 T , 并知道 I 和 K 中的一个量, 即可计算出另一个量

此外, 若质量为 m 的物体的转动惯量为 I_0 , 当转轴平行移动距离 x 时, 此物体对新轴线的转动惯量变为

$$I = I_0 + mx^2$$

这称为转动惯量的平行轴定理

[实验数据记录]

	T_1	T_2	T_3	$\bar{T}$	理论值	实验值	误差
圆盘	0.74	0.74	0.74	0.74		3.75×10^{-4}	
圆柱体	1.42	1.68	1.32	1.47	1.11×10^{-3}	1.10×10^{-3}	0.9%
圆筒	1.61	1.59	1.49	1.56	1.55×10^{-3}	1.41×10^{-3}	9.0%
木球	1.33	1.18	1.49	1.33	1.38×10^{-3}	1.21×10^{-3}	12%
细杆	2.11	2.11	2.71	2.31	4.17×10^{-3}	3.65×10^{-3}	12%
平行轴	2.47	2.47	2.48	2.47	5.51×10^{-3}	4.87×10^{-3}	11.6%

木球质量: $m_{\text{球}} = 0.7839 \text{ kg}$

[数据处理及结果表达]

圆柱体的转动惯量理论值为: $I'_{\text{柱}} = \frac{1}{8} m_{\text{柱}} D_{\text{柱}}^2 = 1.11 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
 弹簧扭转常数为: $K = 4\pi^2 \frac{I_{\text{柱}}}{\bar{T}_{\text{柱}}^2 - \bar{T}_0^2} = 0.027$
 金属圆盘转动惯量: $I_0 = K \bar{T}_0^2 / 4\pi^2 = 3.75 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
 圆柱体转动惯量实验值: $I_{\text{柱}} = K \bar{T}_{\text{柱}}^2 / 4\pi^2 - I_0 = 1.10 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
 圆筒理论值: $I'_{\text{筒}} = \frac{1}{8} m_{\text{筒}} (D_{\text{外}}^2 + D_{\text{内}}^2) = 1.55 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
 圆筒实验值: $I_{\text{筒}} = K \bar{T}_{\text{筒}}^2 / 4\pi^2 - I_0 = 1.41 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
 木球理论值: $I'_{\text{球}} = \frac{1}{10} m_{\text{球}} D_{\text{球}}^2 = 1.38 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
 木球实验值: $I_{\text{球}} = K \bar{T}_{\text{球}}^2 / 4\pi^2 = 1.21 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
 细杆理论值: $I'_{\text{杆}} = \frac{1}{12} m_{\text{杆}} L^2 = 4.17 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
 细杆实验值: $I_{\text{杆}} = K \bar{T}_{\text{杆}}^2 / 4\pi^2 = 3.65 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

说明: 实验报告共 50 分。其中前实验目的、实验仪器和实验步骤共 5 分, 这三项要求课前完成; 实验原理概述 15 分 (课后完成); 数据记录 5 分 (课上完成); 数据处理及结果表达 10 分 (课后完成); 思考题 5 分 (课后完成); 实验心得 5 分 (课后完成); 报告整洁度 5 分。上课迟到扣 10 分, 未按时交实验报告扣 10 分, 补做实验扣 10 分。每人必须准备一个“原始实验数据记录本”, 实验数据首先记录于此, 经教师检查确定后再誊抄到实验报告上, 无“原始实验数据记录本”扣 20 分。

平移后细杆理论值: $I'_{\text{平}} = \frac{1}{12} m_{\text{杆}} L^2 + m_{\text{杆}} x^2 = 5.51 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

平移后细杆实验值: $I_{\text{平}} = K \bar{T}_{\text{平}}^2 / 4\pi^2 = 4.87 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

相对误差:

$E_{\text{柱}} = \frac{|I'_{\text{柱}} - I_{\text{柱}}|}{I'_{\text{柱}}} \times 100\% = 0.9\%$ $E_{\text{球}} = 12\%$ $E_{\text{平}} = 11.6\%$ $E_{\text{筒}} = \frac{|I'_{\text{筒}} - I_{\text{筒}}|}{I'_{\text{筒}}} \times 100\% = 9.0\%$ $E_{\text{杆}} = 12\%$

思考题]

1. 不是。转动惯量与选定的轴有关, 对于不同的轴, 同一刚体的转动惯量也是不同的
2. 弹簧的扭摆常数 K 不是固定值, 与扭摆角度略有关系, 扭摆角在 90 度左右基本相同, 远小于 90° 会使 K 偏小
3. 光电门应摆放在挡光棒角速度最大处, 即周期运动的平衡位置, 这样摆放测量的周期是最准确的

实验心得]

处理实验数据时, 我们总喜欢忽略一些看似很小的数, 这种习惯的弊病在这次实验中很明显地体现出来, 很小的数据也会产生很大的误差, 数据必须准之又准, 不能凭自己的主观臆想去忽略。对待科学实验要有严谨的态度。