

# 实验九 刚体转动实验 实验报告

1400012141

邵智轩

周二下午3组11号

2016年11月1日

## 一 数据及处理

### 1 测量数据列表

#### 1.1 利用 $m$ 与 $\frac{1}{t^2}$ 的变化关系测量转动惯量

保持 $r, h, m_0, M_\mu$ 不变, 改变 $m$ 。

$r = 2.50\text{cm}$ , 测得 $h = 85.5\text{cm}$ , 小钢圆柱位于刚体两臂的(5,-5)处。

表1.1: 保持 $r, h, m_0, M_\mu$ 不变, 改变 $m$

序号	$m/g$	$t_1/s$	$t_2/s$	$t_3/s$	$\bar{t}$	$t^{-2}/s^{-2} \times 10^{-3}$
1	5.00	21.22	20.94	22.32	21.49	2.17
2	10.00	12.41	12.50	12.49	12.47	6.43
3	15.00	9.82	9.63	9.75	9.73	10.56
4	20.00	8.22	8.25	8.19	8.22	14.80
5	25.00	7.19	7.10	7.25	7.18	19.40
6	30.00	6.63	6.69	6.72	6.68	22.41
7	35.00	6.09	6.16	6.09	6.11	26.76

#### 1.2 利用 $r$ 与 $\frac{1}{t^2 r}$ 的变化关系测量转动惯量

保持 $m, h, m_0, M_\mu$ 不变, 改变 $r$ 。

$m = 20.00\text{g}$ , 测得 $h = 85.5\text{cm}$ , 小钢圆柱位于刚体两臂的(5,-5)处。

表1.2: 保持 $m, h, m_0, M_\mu$ 不变, 改变 $r$

序号	$r/\text{cm}$	$t_1/s$	$t_2/s$	$t_3/s$	$\bar{t}$	$\frac{1}{t^2 r}/(s^{-2}\text{cm}^{-1}) \times 10^{-3}$
1	1.00	31.17	31.22	31.42	31.27	1.02
2	1.50	16.44	16.35	16.49	16.43	2.47
3	2.00	11.83	11.88	11.88	9.73	3.55
4	2.50	8.69	8.85	8.75	8.76	5.21
5	3.00	7.13	7.19	7.25	7.19	6.45

## 2 数据处理

### 2.1 作图法

$m - \frac{1}{t^2}$  曲线见Figure 1,  $r - \frac{1}{t^2 r}$  曲线见Figure 2。

两组数据的线性度都不够理想, 个别数据明显不够合理、准确。如Figure 1 中的第5、6两点, Figure 2 中第3个点, 都与直线有较大的偏离。产生误差的原因我将在“三 收获与感想”中讨论。

### 2.2 最小二乘法线性拟合

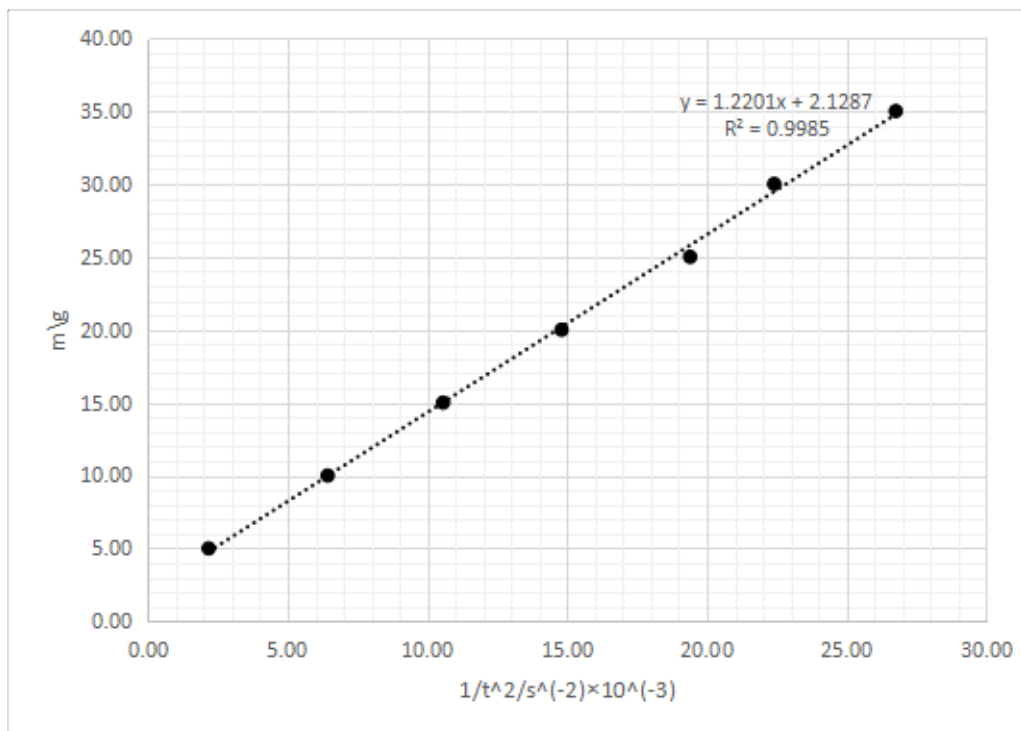


Figure 1:  $m - \frac{1}{t^2}$  曲线

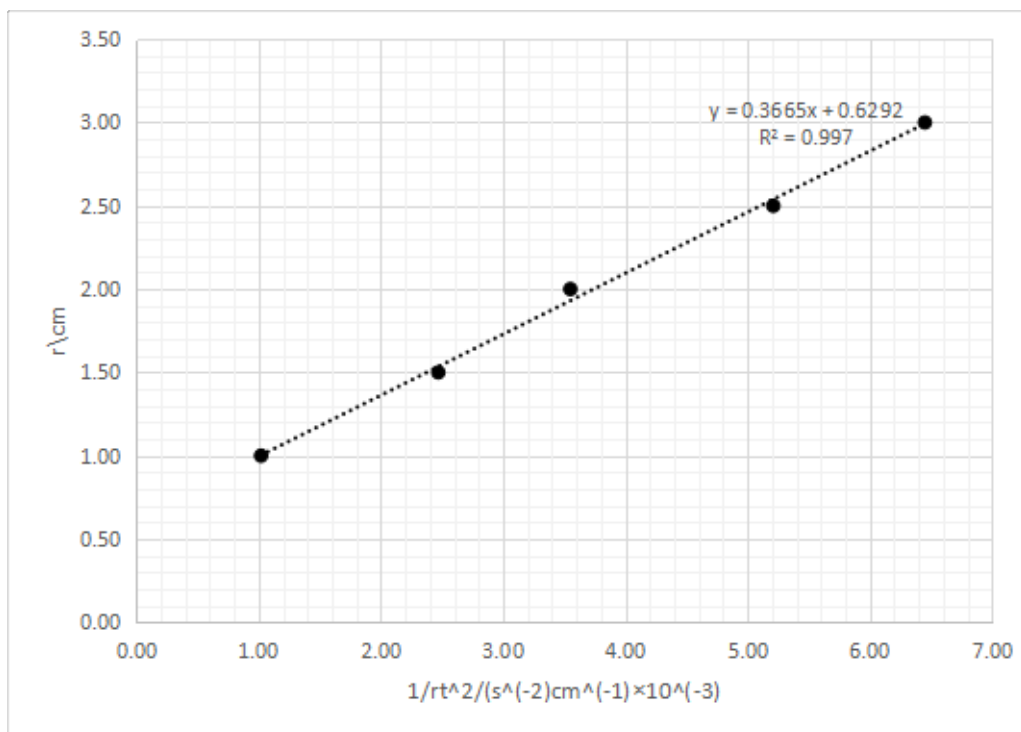


Figure 2:  $r - \frac{1}{t^2_r}$  曲线

### 2.2.1 利用 $m$ 与 $\frac{1}{t^2}$ 的变化关系测量转动惯量

与 $t_i$ 的测量误差相比， $m_i$ 的误差可忽略不计，故选择 $m_i$ 为自变量， $t_i^{-2}$ 为因变量。

利用自变量等间距时 $a_1$ 的简便算法 $k_1' = \frac{1}{k_1} = \frac{6}{(k-1)(k+1)d}(2\bar{y}_i - (k-1)\bar{y})$ ,

其中 $\bar{y} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_i$ ,  $\bar{y}_i = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k i y_i$ 。

实验中， $k = 7$ ,  $d = 5.00g$ ,  $\bar{y} = 14.65$ ,  $\bar{y}_i = 74.96$ ,  
代入，得 $k_1 = 1.22 \times 10^3 g \cdot s^2$ ,  $c_1 = 2.13g$ ,  $r_1 = 0.9992$ 。

由 $k_1 = \frac{2hI_1}{gr^2}$ ,  $c_1 = \frac{M_{\mu 1}}{gr}$ ,

解得 $I_1 = 4.37 \times 10^{-3} kg \cdot m^2$ ,  $M_{\mu 1} = 5.22 \times 10^{-4} kg \cdot m^2/s^2$ 。

斜率的不确定度有公式 $\frac{\sigma_k}{k} = \sqrt{\frac{1/r^2-1}{n-2}} = 0.02$ ,

由于实验条件限制， $h$ 的极限误差 $e_h$ 估计为 $0.5cm$ ， $r$ 的极限误差 $e_r$ 为 $0.01cm$ 。  
故 $I_1$ 的不确定度为：

$$\sigma_{I_1} = I_1 \sqrt{\left(\frac{\sigma_k}{k}\right)^2 + \frac{1}{3}\left(\frac{e_h}{h}\right)^2 + \frac{1}{3}\left(\frac{2e_r}{r}\right)^2} = 0.09 \times 10^{-3} kg \cdot m^2。$$

所以， $I_1 = (4.37 \pm 0.09) \times 10^{-3} kg \cdot m^2$ 。

### 2.2.2 利用 $r$ 与 $\frac{1}{t^2 r}$ 的变化关系测量转动惯量

与 $t_i$ 的测量误差相比， $r_i$ 的误差可忽略不计，故选择 $r_i$ 为自变量， $\frac{1}{t^2 r}$ 为因变量。

利用与2.1.1中同样的公式，代入表1.2中的数据，得  
 $k_2 = 0.367 \times 10^3 cm^2 \cdot s^2$ ,  $c_2 = 0.63cm$ ,  $r_2 = 0.9985$ 。

由 $k_2 = \frac{2hI}{mg}$ ,  $c_2 = \frac{M_{\mu}}{mg}$ ,

解得 $I_2 = 4.21 \times 10^{-3} kg \cdot m^2$ ,  $M_{\mu} = 1.2 \times 10^{-3} kg \cdot m^2$ 。

斜率的不确定度有公式 $\frac{\sigma_k}{k} = \sqrt{\frac{1/r^2-1}{n-2}} = 0.03$ ,

由于实验条件限制， $h$ 的极限误差 $e_h$ 估计为 $0.5cm$ ， $m$ 的极限误差 $e_m$ 为 $0.01g$ 。  
故 $I_2$ 的不确定度为：

$$\sigma_{I_2} = I_2 \sqrt{\left(\frac{\sigma_k}{k}\right)^2 + \frac{1}{3}\left(\frac{e_h}{h}\right)^2 + \frac{1}{3}\left(\frac{e_m}{m}\right)^2} = 0.1 \times 10^{-3} kg \cdot m^2。$$

所以， $I_2 = (4.2 \pm 0.1) \times 10^{-3} kg \cdot m^2$ 。

## 二 分析与讨论

1 总结从调节实验装置和操作两个方面，怎样做才能减小在实验中产生的系统误差和随机误差。

调节实验装置方面：

- 1 台架尽量放得离滑轮远一点，以减小塔轮转动时细线与滑轮的夹角变化。
- 2 实验前要用竖直准钉将台架调至水平，且实验过程中要保持台架位置不变。
- 3 塔轮各连接处都要拧紧，台架上的螺母也要固定，保证满足“刚体”条件，且系统稳定，颠簸小。
- 4 调节滑轮高度使绳子与塔轮转轴保持垂直。

5 绕线要尽量密排，使得 $r$ 不随塔轮转动变化。

6 尽量减小转动摩擦。（这一点我感觉尤为困难，在第一个实验中， $m = 5g$ 时下落很缓慢，时间误差很大；在第二个实验中 $r = 1.00cm$ 时 $t$ 甚至达到 $30s$ 以上。由计算结果也可看出直线截距（摩擦力矩 $M_\mu$ ）相当大，使得系统不够稳定，大大增加了系统误差。）

操作方面：

1 实验过程中要不断检查塔轮是否为“稳定的刚体”，例如螺丝、固定处等有没有松动，刚体的转动是否稳定。

2 改变 $r$ 的大小时要改变滑轮的高度，保持细线水平。

3 通过滑轮台架上的标记保证每次下落高度一致。

4 实验过程中不要移动台架或调节螺丝的松紧，保证 $M_\mu$ 不变。5 及时检查数据的准确性、合理性。三次测量的时间要达到一定的重复性， $t$ 的变化趋势是否合理。如不满足，则应考虑重新测量，或者调整仪器从头开始实验。

### 三 收获与感想

从数据上来看，我本次实验完成得不够理想。有些数据明显不够合理。如表1.1中第6、7组的时间差竟然大于第5、6组的时间差，这在测量时就应该要及时注意到。总体来看，相关系数 $r$ 不够高（线性度不够好）。

问题一方面肯定来源于我的操作，造成实验过程中存在很大的系统误差。比较重要的一个问题是实验前没有把摩擦力矩 $M_\mu$ 调到尽可能小，摩擦力矩过大，势必导致塔轮的转动不够稳定，过程中 $M_\mu$ 也很难保持不变。此外，实验过程中塔轮常常偏离刚体”要求，时常发现小圆柱或长细柱松动。

另一方面在实验过程中没有及时对数据作粗略的合理性判断，直到最后整组数据测完，分析数据时才发现数据不合理，未免为时已晚；若能在测量过程中及时地发现数据不够合理，就来得及立即调整，重新测量。

尽管如此，本次实验的收获依然很大。体会了把不易测量的物理量转换成易测物理量的实验思想。也深刻认识到提升动手能力的重要性。本次实验涉及很多基本操作，如调整仪器、绑细线、计时等，看似简单，其实有种种细节值得注意，否则就会造成不小的人为误差。操作的熟练与否，也与实验速度有很大关系。