

# 《普通物理实验》实验报告

实验名称 测量金属的杨氏模量 实验日期 2023 年 10 月 20 日  
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 134

## 第一部分 数据处理

### 1 CCD 成像系统测量金属的杨氏模量

#### 1.1 数据测量

表 1: 测量金属丝受外力拉伸后的伸展变化数据表

$i$	$m_i/(g)$	$\delta m_i = m_i + \dots + m_{i+4}/(g)$	$r_i/(mm)$	$r'_i/(mm)$	$\bar{r}_i/(mm)$	$\delta L = r_{i+5} - r_i/(mm)$	$\frac{\delta m}{\delta L}/(g/mm)$
1	199.92	999.46	2.85	2.86	2.855	0.575	1738.19
2	199.97	999.21	2.98	2.98	2.980	0.565	1768.51
3	199.91	999.82	3.08	3.10	3.090	0.565	1769.59
4	199.70	999.62	3.19	3.21	3.200	0.570	1753.72
5	199.96	999.48	3.30	3.34	3.320	0.560	1784.79
6	199.67	/	3.41	3.45	3.430	/	/
7	199.58	/	3.53	3.56	3.545	/	/
8	199.71	/	3.64	3.67	3.655	/	/
9	199.56	/	3.76	3.78	3.770	/	/
10	/	/	3.86	3.90	3.880	/	/

表 2: 测量金属丝直径数据表

次数 i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
直径 $d'/mm$	0.322	0.321	0.321	0.321	0.320	0.323	0.323	0.322	0.320	0.321

零点读数为  $d_0 = 0.002mm$ , 允差为  $e = 0.004mm$ , 计算得到  $\bar{d} = (0.319 \pm 0.004)mm$

使用木尺测得金属丝长度为  $L = (79.04 \pm 0.15)cm$ , 查得北京地区  $g = 9.8015m/s^2$ ,  $m$  的不确定度较小, 可以忽略。

#### 1.2 逐差法处理数据

计算得到:

$$\sigma_{\frac{\delta m}{\delta L}}^{(r)} = 7.9g/mm$$

$$\sigma_{\delta L} = 0.005mm$$

$$\sigma_{\frac{\delta m}{\delta L}} = 12mm$$

$$\frac{\delta m}{\delta L} = (1.763 \pm 0.012) \times 10^3 g/mm$$

$$\sigma_{\bar{E}} = \bar{E} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\frac{\delta m}{\delta L}}}{\frac{\delta m}{\delta L}}\right)^2 + (\sigma_l/l)^2 + (2\sigma_d/d)^2} = 4.4 \times 10^9 Pa$$

$$\bar{E} = \frac{4gL\delta m}{\pi d^2 \delta L} = (1.71 \pm 0.04) \times 10^{11} Pa$$

### 1.3 最小二乘法处理数据

令

$$M_i = \sum_1^i m_i$$

拟合图如下:

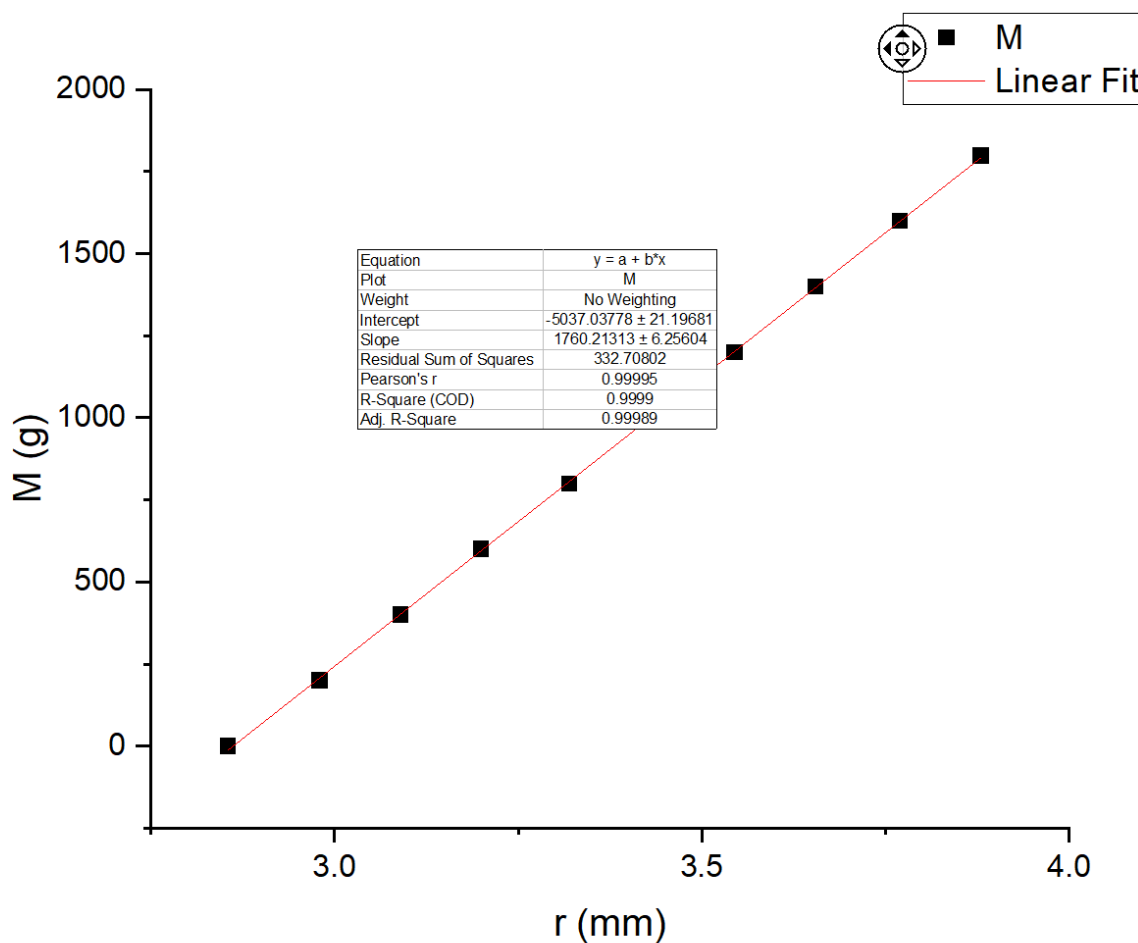


图 1: M-r 关系线性拟合图

拟合得到:

$$\bar{k} = 1760.2g/mm$$

$$\sigma_k^{(r)} = 6.3g/mm$$

$$r = 0.99995$$

$$\sigma_r = 0.005mm$$

$$\sigma' = \sigma_r \left( \sum_{i=1}^{10} (m_i - \bar{m}) \right)^{-1/2} k^2 = 8.6g/mm$$

$$\sigma_k = \sqrt{(\sigma')^2 + \sigma_k^{(r)2}} = 10.7g/mm$$

$$\sigma_E = \bar{E} \sqrt{\sigma_k^2/k^2 + \sigma_L^2/L^2 + (2\sigma_d/d)^2} = 4.4 \times 10^9 Pa$$

$$\bar{E} = \frac{4gLk}{\pi d^2} = (1.71 \pm 0.04) \times 10^{11} Pa$$

## 2 光杠杆法测量金属的杨氏模量

注: 虽然没要求计算不确定度, 但是为了确定保留位数, 还是计算了不确定度。

## 2.1 数据测量

表 3: 光杠杆法测量金属丝受外力拉伸后的伸展变化数据表

$i$	$m_i/(\text{g})$	$\delta m_i = m_i + \dots + m_{i+3}/(\text{g})$	标尺读数 $l_i/(\text{cm})$	$l'_i/(\text{cm})$	$\bar{l}_i/(\text{cm})$	$\delta L = r_{i+5} - r_i/(\text{cm})$	$\frac{\delta m}{\delta L}/(\text{g/cm})$
1	200.13	799.64	13.33	13.33	13.330	1.275	627.2
2	200.12	799.18	13.64	13.66	13.650	1.240	644.5
3	199.72	799.33	13.99	13.97	13.980	1.225	652.5
4	199.67	799.67	14.29	14.29	14.290	1.250	639.7
5	199.99	799.94	14.60	14.61	14.605	1.215	658.4
6	199.67	/	14.89	14.89	14.890	/	/
7	200.27	/	15.18	15.23	15.205	/	/
8	200.01	/	15.52	15.56	15.540	/	/
9	/	/	15.82	15.82	15.820	/	/

使用木尺测得测量望远镜标尺到反光镜的距离  $R = (141.50 \pm 0.09)\text{cm}$ , 金属丝长度为  $L = (72.47 \pm 0.09)\text{cm}$ ;  
使用游标卡尺和数据记录纸测得光杠杆底脚到刀口直线的距离为  $D = (8.490 \pm 0.010)\text{cm}$ .

表 4: 测量金属丝直径数据表 2

次数 $i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
直径 $d'/\text{mm}$	0.326	0.325	0.323	0.322	0.320	0.321	0.321	0.320	0.323	0.323

零点读数为  $d_0 = 0.000\text{mm}$ , 允差为  $e = 0.004\text{mm}$ , 计算得到  $\bar{d} = (0.322 \pm 0.004)\text{mm}$ 。

## 2.2 逐差法处理数据

由于组数为偶数, 只能利用四组数据, 这里采用后四组

$$\sigma_{\frac{\delta m}{\delta L}}^{(r)} = 4.15\text{g/cm}$$

$$\sigma_{\delta L} = 0.03\text{cm}$$

$$\sigma_{\frac{\delta m}{\delta L}} = 16\text{g/cm}$$

$$\frac{\delta m}{\delta L} = (6.49 \pm 0.16) \times 10^2\text{g/cm}$$

$$\sigma_{\bar{E}} = \bar{E} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\frac{\delta m}{\delta L}}}{\frac{\delta m}{\delta L}}\right)^2 + (\sigma_L/L)^2 + (\sigma_R/R)^2 + (\sigma_D/D)^2 + (2\sigma_d/d)^2} = 6.6 \times 10^9\text{Pa}$$

$$\bar{E} = \frac{8gRL\delta m}{\pi d^2 D \delta L} = (1.89 \pm 0.07) \times 10^{11}\text{Pa}$$

## 2.3 最小二乘法处理数据

令

$$M_i = \sum_1^i m_i$$

拟合图如下:

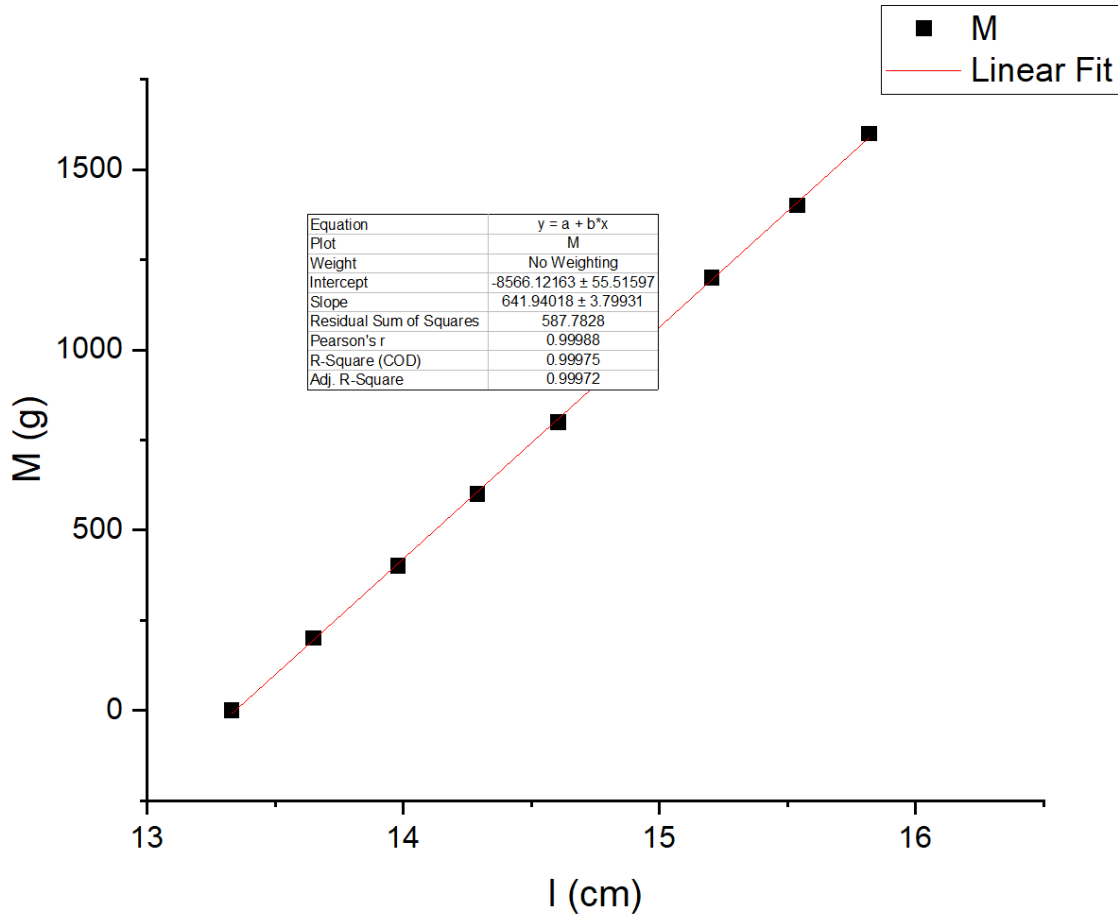


图 2: M-r 关系线性拟合图

拟合得到:

$$\bar{k} = 641.9g/cm$$

$$\sigma_k^{(r)} = 3.8g/cm$$

$$r = 0.99966$$

$$\sigma_l = 0.03cm$$

$$\sigma' = \sigma_l k^2 / (\bar{m}) = 8.0g/cm$$

$$\sigma_k = \sqrt{(\sigma')^2 + \sigma_k^{(r)2}} = 8.8g/mm$$

$$\sigma_E = \bar{E} \sqrt{(\frac{\sigma_k}{k})^2 + (\sigma_L/L)^2 + (\sigma_R/R)^2 + (\sigma_D/D)^2 + (2\sigma_d/d)^2} = 5.3 \times 10^9 Pa$$

$$\bar{E} = \frac{8gRLk}{\pi d^2 D} = (1.87 \pm 0.05) \times 10^{11} Pa$$

## 第二部分 分析与讨论

### 1 开始加第一、二个砝码时 $r$ 的变化量大于正常的变化量可能的原因

1. 金属丝未夹紧,开始增加砝码时金属丝与夹具之间有一定的下滑。
2. 钢丝在自然状态下略有弯曲,并没有完全伸直,开始加砝码时,金属丝不但被拉伸,而且被拉直,由于由弯变直产生的额外伸长量导致测得  $r$  的变化量大于正常值。

### 2 开始加第一、二个砝码时 $r$ 的变化量小于正常的变化量可能的原因

1. 金属丝发生扭转或测量时没有制动稳定。
2. 限位螺丝扭得过紧或支架调节不当,造成小圆柱与支架系统摩擦力过大,导致实际作用在钢丝上的力小于  $mg$ ,故伸长量也小于  $mg$  对应的伸长量。

### 3 收获与感想

1. 关于数据处理:本实验涉及了三种数据处理方法:图像法,逐差法,最小二乘法,图像法较为直观,逐差法较为简单方便,最小二乘法精确度较高,各有其优点,后两者都能充分利用数据,减小数据处理带来的误差。
2. 关于仪器调节:本次实验中,仪器调节非常重要,提高测量的准确度的核心就在于金属丝竖直无摩擦的实现,另外,由于实验距离较远,望远镜的调节也比较困难,需要进行良好的粗调和一些调节技巧才能顺利完成实验。
3. 关于砝码:由于砝码的重量与标准值有一定偏差,为了测量的准确,应当重新测量,测量时要注意测量重量和实验时放砝码的顺序,以保证测量数值的正确对应。