

# 南開大學

## 大学物理 课程实验报告

### 杨氏模量实验



学院 人工智能学院

专业 工科试验班（信息类）

姓名 黄子豪（组号 I8）

学号 2413989

2025 年 5 月 16 日

## 目录

1 实验目的 .....	3
2 实验仪器 .....	3
3 实验原理 .....	3
4 实验步骤 .....	4
5 实验计算 .....	5
5.1 数据记录 .....	5
5.2 杨氏模量的计算 .....	6
5.3 关于 $D$ 的不确定度计算 .....	6
5.4 关于 $\Delta h$ 的不确定度计算 .....	7
5.5 综合不确定度计算 .....	7
6 误差分析 .....	8
7 思考题 .....	8

## 图表

## 1 实验目的

1. 用伸长法测定金属丝的杨氏模量。
2. 了解望远镜尺组的结构及使用方法。
3. 掌握用光杠杆放大原理测量微小长度变化量的方法。
4. 学习用对立影响法消除系统误差的思想方法
5. 学习用环差法处理数据。
6. 用作图法处理数据。
7. 用最小二乘法处理数据。

## 2 实验仪器

杨氏模量测定仪、螺旋测微仪、游标卡尺、钢卷尺。

## 3 实验原理

若长为  $L$ 、截面积为  $S$  的均匀金属丝，在其长度方向上施加作用力  $F$  使其伸长  $\Delta L$ ，根据胡克定律：在弹性限度范围内，正应力  $F/S$ （单位面积上的垂直作用力）与线应变  $\Delta L/L$ （金属丝相对伸长）成正比，即

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta L}{L} \quad (3.1)$$

式中比例系数  $E$  即为该金属丝的杨氏模量。

$$E = \frac{FL}{S\Delta L} \quad (3.2)$$

式中  $F$ 、 $S$  及  $L$  比较容易测量，由于金属的杨氏模量一般较大，因此， $\Delta L$  是一个微小的长度变化，很难用普通测量长度的仪器将它测准。

放大法是一种应用十分广泛的测量技术，我们将在本次实验中接触到机械放大，光放大等放大测量技术。如螺旋测微器是通过机械放大而提高测量精度的；光杠杆属于光放大技术，且其被广泛地应用到许多高灵敏度仪器中，如光电反射式检流计、冲击电流计等。

若微小变化量用  $\Delta L$  表示，放大后的测量值为  $N$ ，则

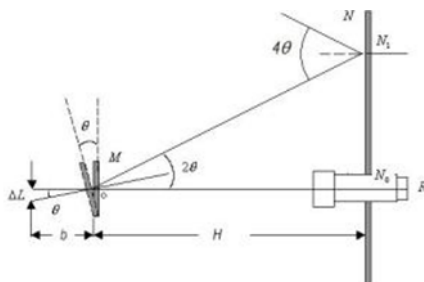
$$A = \frac{N}{\Delta L} \quad (3.3)$$

为放大器的放大倍数，原则上  $A$  越大，越有利于测量，但往往会引起信号失真。  
杨氏模量的计算：

$$\begin{aligned}\Delta h &= |P_3 - P_0| = |P_3 - P_2| + |P_2 - P_1| + |P_1 - P_0| \\ &= B \tan(4\theta) + B \tan(2\theta) + B \tan(2\theta)\end{aligned}\tag{3.4}$$

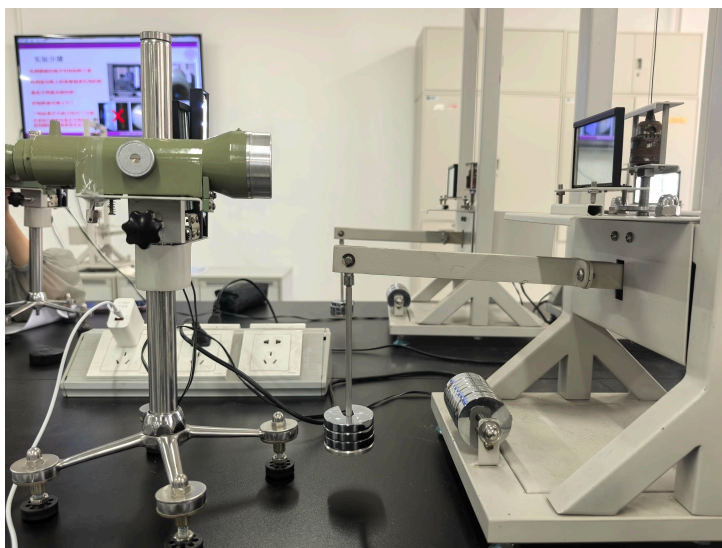
因为  $\theta$  很小，可做近似  $\tan(\theta) \approx \theta = \frac{\Delta L}{b}$  所以  $\Delta h = 8B\theta = 8B\frac{\Delta L}{b}$ ,  $(\Delta L) = \frac{b\Delta h}{8B}$ , 代入可得

$$E = \frac{32BLmg}{\pi D^2 h \Delta h} \quad (3.5)$$



## 4 实验步骤

1. 调节伸长仪和光杠杆使之达到备用状态,平面镜竖直或略向前倾;
2. 移动望远镜尺组,使标尺距平面镜略大于最短视距;调节望远镜的高度及方向,使其与平面镜等高,且其瞄准方向应对正欲观测目标(反射镜中标尺的像);
3. 以灯光照明标尺,参照望远镜调节及使用方法,迅速准确地找到标尺的像,使成像清晰,且应使分划板准线所对应的标尺刻度数略低于望远镜轴线所在刻度读数。(即使平面镜略呈前倾,相应地后足尖略高出水平面,但反射镜面仍应与光杠杆三足尖所成的平面垂直。)
4. 首先添加砝码 300g,进行预拉伸,间隔两分钟,记下相应示数 $L_1$ ,依次添加砝码 100g,等待两分钟,记录此时刻度尺的读数 $L_i$ ,直至 1.2kg;然后仍按照等时间间隔依次减少 100g,记下刻度尺示数 $L'_i$ (对立影响法);
5. 以米尺测 L 及 B 各一次,以千分尺在金属丝不同部位的互垂方向上测直径 D 六次;
6. 测光杠杆常量 b。方法是:将光杠杆放在平纸上,轻印三足尖之痕迹,然后以游标卡尺测量印痕间距离一次。



## 5 实验计算

### 5.1 数据记录



# 南开大学

Nankai University

$$B = 38.12 \text{ cm}$$

$$L = 38.20 \text{ cm}$$

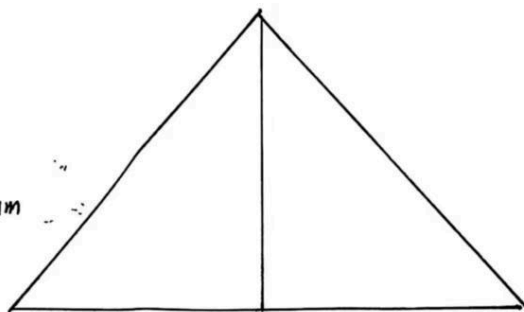
$$b = 4.510 \text{ cm}$$

$$D. \text{ 分度值: } 0.00/\text{mm} \quad D_0 = 0.000 \text{ mm}$$

$$D_1 = 0.791 \text{ mm} \quad D_2 = 0.797 \text{ mm}$$

$$D_2 = 0.795 \text{ mm} \quad D_3 = 0.793 \text{ mm}$$

$$D_3 = 0.792 \text{ mm} \quad D_4 = 0.796 \text{ mm}$$



次数	拉力示数(kg)	标尺读数(mm)			$N_i = P_{i5} - P_i$	平均
		加载	减载	平均		
1	0.3	4.57	4.54	4.555	$N_1 = 1.325$	
2	0.4	4.90	4.86	4.880		
3	0.5	5.14	5.13	5.135	$N_2 = 1.245$	
4	0.6	5.34	5.35	5.345		
5	0.7	5.55	5.61	5.580	$N_3 = 1.245$	$N = 1.272$
6	0.8	5.81	5.95	5.880		
7	0.9	6.05	6.20	6.125	$N_4 = 1.255$	
8	1.0	6.30	6.46	6.380		
9	1.1	6.50	6.70	6.600	$N_5 = 1.290$	
10	1.2	6.90	6.90	6.900	加分	

## 5.2 杨氏模量的计算

$$E = \frac{32BLmg}{\pi D^2 b \Delta h} = \frac{32 * 0.3812 * 0.3820 * 0.3 * 9.8}{3.14 * 0.794 * 0.794 * 0.001 * 0.001 * 0.004510 * 1.272 * 0.001} \quad (5.6)$$

$$= 1.793 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

## 5.3 关于 D 的不确定度计算

$$\begin{aligned}
\mu_{AD} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (D_i - \bar{D})^2}{(n-1)n}} t_{(0.683, k)} \\
&= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (D_i - \bar{D})^2}{(6-1)6}} 1.14 = 0.000966 * 1.14 = 0.0011013 \\
&= 1.1013 \times 10^{-3} \\
\mu_{BD} &= \frac{0.001}{\sqrt{3}} = 0.00057735 = 0.5774 \times 10^{-3} \\
\mu_D &= \sqrt{\mu_{AD}^2 + \mu_{BD}^2} = \sqrt{(0.0011013^2 + 0.0005774^2)} = 0.0012 \\
D &= 0.794 \pm 0.0012 mm = 0.794 \pm 0.0012 cm = 0.00794 \pm 0.000012 m
\end{aligned} \tag{5.7}$$

#### 5.4 关于 $\Delta h$ 的不确定度计算

$$\begin{aligned}
\mu_{Ah} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (h_i - \bar{h})^2}{(n-1)n}} t_{(0.683, k)} \\
&= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (h_i - \bar{h})^2}{(5-1)5}} 1.14 = 0.01562 * 1.14 = 0.0178 cm \\
\mu_{Bh} &= \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.0057735 = 5.774 \times 10^{-3} \\
\mu_h &= \sqrt{\mu_{Ah}^2 + \mu_{Bh}^2} = \sqrt{(0.0178^2 + 0.005774^2)} = 0.0187 \\
\Delta h &= 1.2720 \pm 0.0187 cm
\end{aligned} \tag{5.8}$$

#### 5.5 综合不确定度计算

$$\begin{aligned}
\mu_D &= 0.0012 cm \\
\mu_L &= \frac{0.5}{3} = 0.01667 cm \\
\mu_B &= \frac{0.5}{3} = 0.01667 cm \\
\mu_E &= \bar{E} \sqrt{\left(\frac{\mu_B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\mu_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{2\mu_D}{\bar{D}}\right)^2 + \left(\frac{\mu_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\mu_{\Delta h}}{\bar{\Delta h}}\right)^2} \\
&= 0.012 \times 10^{-3} Pa \\
E &= (1.793 \pm 0.012) \times 10^{11} N/m^2
\end{aligned} \tag{5.9}$$

## 6 误差分析

1. 金属丝弹性形变的滞后导致的系统误差；
2. 测量的金属丝不是标准的圆柱形，故测出的直径存在系统误差和随机误差。
3. 米尺测量的两个距离难以保证真正与被测物平行,可能造成较大误差。

## 7 思考题

1. 本实验中,哪两个量的测量误差较大?在测量和数据处理中采取了什么措施?

金属丝长度的微小变化和其直径。

采取了光杠杆放大法、逐差法处理数据、对立影响法和多次测量取平均值等措施。

1. 根据光杠杆放大原理: $\Delta h = 8BAL/b$ ,能否以增大  $B$  减小  $b$  的方法来提高放大倍率?这样做有无好处?有无限度?应怎样考虑之?

能，有好处，有限度，应在限度范围内增大  $B$ 。