

# 4 实验 M-3 杨氏弹性模量的测定

姓名: 林继申 学号: 2250758 成绩: 100 合作者: 梁继尧

指导教师: 实验编号: 周三第1-2节B组15号

## 一、实验目的

- 用拉伸法测定金属丝的杨氏弹性模量。
- 掌握光杠杆镜尺法测定长度微小变化的原理。
- 熟练掌握望远镜调节方法。
- 学习处理数据的两种方法: 图解法、逐差法。

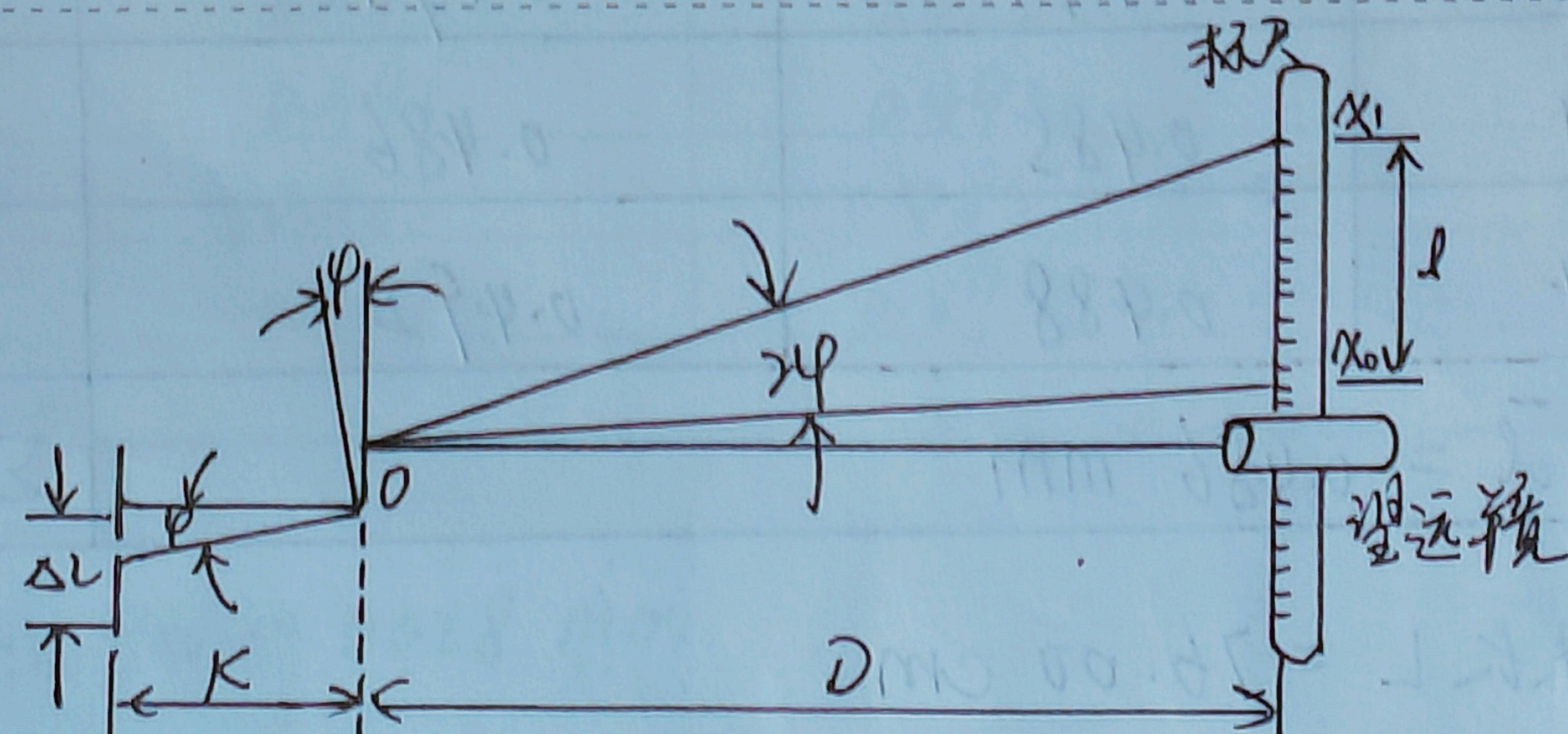
## 二、实验原理知识准备与预习自测

### 1. 拉伸法

在拉伸法中, 杨氏弹性模量  $Y = \frac{mg}{S} \cdot \frac{L}{\Delta L}$ , 其中,  $m$  为 金属丝下端悬挂砝码的重量,  $S$  为 截面积,  $L$  为 金属丝的长度,  $\Delta L$  为 金属丝受外力伸长的距离

### 2. 光杠杆镜尺法

光杠杆镜尺的放大倍数  $\beta = \frac{l}{\Delta L} = \frac{2D}{K}$ , 请在下框作图说明式中各量。



本实验测量杨氏弹性模量  $Y$  计算式为  $Y = \frac{8LD^2g}{\pi d^2 K l}$ , 国际制单位中其单位为  $N/m^2$

## 3. 逐差法

逐差法是针对自变量等量变化，因变量也做等量变化时，所测得有序数据等间隔相减后取其逐差平均值得到的结果。计算方法如表 4-1 所示（表中  $n$  为偶数）。

表 4-1

逐 差 法

$x_i$	$x_{n/2+i}$	$\Delta x_i = x_{n/2+i} - x_i$	公式
$x_1$	$x_{n/2+1}$	$x_{n/2+1} - x_1$	
$x_2$	$x_{n/2+2}$	$x_{n/2+2} - x_2$	
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
$x_{n/2}$	$x_n$	$x_n - x_{n/2}$	$\overline{\Delta X}_{\frac{n}{2}} = \frac{\sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} (\Delta x_i)}{\frac{n}{2}}$

本实验每次增加砝码 0.500 kg，连续增加 9 次，可读得 10 个标尺读数，它们分别为  $x_0$ ,  $x_1$ ,  $x_2$ , ...,  $x_9$ ，则每增加  $5 \times 0.500$  kg 砝码，标尺读数变化的平均值

$$\overline{\Delta X}_5 = \frac{(x_5 - x_0) + (x_6 - x_1) + (x_7 - x_2) + (x_8 - x_3) + (x_9 - x_4)}{5}$$

## 4. 图解法

科学实验中常常通过图线反映各物理量的相互关系以及变化趋势，根据所画出的图线进行定量推测实验结果或相应的经验公式，则称为图解法。

作图的五个要素为：①坐标纸的选取：选取和裁剪坐标纸的主要依据是实验数据的取值范

②坐标轴的比例和标度：标记：单位长度、刻度值、坐标轴的名称和单位

③数据点的描点与连线：一般不用实心小圆点，在曲线峰值、谷值等极值点往往测其点取值更为密

④曲线的描绘：若两个物理量之间为曲线关系，作图描绘的光滑曲线有体现其平均趋势效

⑤图名与图例：图的名称，并可按需标注实验条件的说明。若有几条不同的图线画在同一张图上时，往往会标注图例加以区分。

1. 调节测定仪底脚调平螺丝，使支架铅直（目测判断）。
2. 在钩码上添加若干本底砝码（不宜超过 2 kg），使钢丝拉直。
3. 调节光杠杆与望远镜，从望远镜中清楚地看到标尺读数  $x_0$ ，读数值在标尺上高低位置处于望远镜筒附近为宜。

步骤：①调节光杠杆与望远镜在同一高度上

②调节杆只在望远镜旁边一定高度

③移动望远镜位置

④调节目镜及调焦手轮至无视差为止。

4. 依次增加砝码从  $0.500 \text{ kg}$  至  $9 \times 0.500 \text{ kg}$ , 记录下每次望远镜中标尺读数  $x'_i$ 。然后将砝码逐次减少, 相应地记录望远镜读数  $x''_i$ 。如果增荷与减荷过程中读数  $x'_i$  与  $x''_i$  相差较大, 应检查实验装置和测量过程中存在的问题, 纠正后重新测量。
5. 测定光杠杆至标尺的垂直距离  $D$  以及光杠杆后脚至前两脚的垂直距离  $K$ 。
6. 测量钢丝初始长度  $L$  及钢丝不同部位直径  $d$ 。

教师签名:

蒋 11.23

#### 四、实验仪器

主要实验仪器名称	规格型号	仪器误差 $\Delta_{\text{仪}}$
米尺	5m 1mm	0.5mm
游标卡尺	0-125mm 0.02mm	0.02mm
螺旋测微器	0-25mm 0.01mm	0.004mm
天顶望远镜	JWC-1	

#### 五、注意事项(在开始实验操作前请仔细阅读以下说明)

1. 光杠杆与望远镜的目镜和物镜属光学器件, 禁止用手触摸镜片。光杠杆必须放置稳妥, 以防掉落, 打碎镜子。
2. 调节望远镜时, 要注意消除视差, 即要求做到眼睛上下移动时, 标尺读数相对十字叉丝无相对位移。
3. 在加减砝码时要格外小心, 做到轻拿轻放, 避免震动产生较大的实验误差。光杠杆与望远镜调整好之后, 实验过程中二者位置不能有任何移动。

## 六、实验现象观察与数据记录

### 砝码质量与望远镜中目标读数记录

i	$m_i/kg$	增荷时 $x_i'/cm$	减荷时 $x_i''/cm$	$x_i = \frac{x_i' + x_i''}{2}/cm$	$l_i =  x_i - x_0 /cm$	$l_{i+5} - l_i/cm$	$v_i^2/cm^2$
0	2.0	2.60	2.62	2.61	0	1.99	0.0001
1	2.5	3.00	2.98	2.99	0.38	2.03	0.0025
2	3.0	3.42	3.40	3.41	0.80	2.00	0.0004
3	3.5	3.82	3.84	3.83	1.22	1.96	0.0004
4	4.0	4.19	4.17	4.18	1.57	1.92	0.0036
5	4.5	4.59	4.61	4.60	1.99		
6	5.0	5.03	5.01	5.02	2.41		
7	5.5	5.42	5.40	5.41	2.80		
8	6.0	5.83	5.75	5.79	3.18		
9	6.5	6.10	6.10	6.10	3.49		

钢丝直径  $d$  的测量.

i	初读数 $d_i'/mm$	末读数 $d_i''/mm$	$d_i = (d_i'' - d_i')/mm$	$v_i^2 = (d_i - \bar{d})^2/10^{-6} mm^2$
1	-0.002	0.479	0.481	25
2	0.001	0.481	0.480	36
3	0	0.491	0.491	25
4	-0.001	0.485	0.486	0
5	-0.004	0.488	0.492	36
	平均值 $\bar{d} = 0.486 mm$			$\sum v_i^2 = 0.000122 mm^2$

$$L = 76.03 \text{ cm}$$

$$D = 101.89 \text{ cm}$$

$$K = 57.44 \text{ mm}$$

教师签名:

蒋 11.23

## 七、实验数据处理

上海地区重力加速度为  $g = 9.794 \text{ m/s}^2$ 。

表 4-2

砝码质量与望远镜中标尺读数记录

$i$	$m_i/\text{kg}$	增荷时 $x'_i/\text{cm}$	减荷时 $x''_i/\text{cm}$	$x_i = \frac{1}{2}(x'_i + x''_i)/\text{cm}$	$l_i =  x_i - x_0 /\text{cm}$	$l_{i+5} - l_i/\text{cm}$	$v_i^2/\text{cm}^2$
0	2.0	2.60	2.62	2.61	0	1.99	0.0001
1	2.5	3.00	2.98	2.99	0.38	2.03	0.0025
2	3.0	3.42	3.40	3.41	0.80	2.00	0.0004
3	3.5	3.82	3.84	3.83	1.22	1.96	0.0004
4	4.0	4.19	4.17	4.18	1.57	1.92	0.0036
5	4.5	4.59	4.61	4.60	1.99	1.98 cm	$\sum v_i^2 = 0.0070 \text{ cm}^2$
6	5.0	5.03	5.01	5.02	2.41		
7	5.5	5.42	5.40	5.41	2.80		
8	6.0	5.83	5.75	5.79	3.18		
9	6.5	6.10	6.10	6.10	3.49		

实验所用钢丝的杨氏弹性模量参考值:  $Y' = 1.85 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$

$$L = (76.03 \pm 0.1) \text{ cm}; U_{rL} = 0.13\%$$

$$D = (101.89 \pm 0.2) \text{ cm}; U_{rD} = 0.20\%$$

$$K = (5.744 \pm 0.02) \text{ cm}; U_{rK} = 0.35\%$$

表 4-3

钢丝直径  $d$  的测量

$i$	初读数 $d'_i/\text{mm}$	末读数 $d''_i/\text{mm}$	$d_i = (d''_i - d'_i)/\text{mm}$	$v_i^2 = (d_i - \bar{d})^2 / 10^{-6} \text{ mm}^2$
1	-0.002	0.479	0.481	25
2	0.001	0.481	0.480	36
3	0	0.491	0.491	25
4	-0.001	0.485	0.486	0
5	-0.004	0.488	0.492	36
平均值 $\bar{d} = 0.486 \text{ mm}$				$\sum v_i^2 = 0.000122 \text{ mm}^2$

$$u_{dA} = 1.14 \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n(n-1)}} = 0.0028 \text{ mm}$$

$$u_{dB} = \Delta_{\text{仪}} / \sqrt{3} = 0.0023 \text{ mm}$$

$$U_d = \sqrt{u_{dA}^2 + u_{dB}^2} = 0.0023 \text{ mm}$$

$$U_{rd} = \frac{U_d}{d} \times 100\% = 0.47\%$$

$$U_{lA} = 1.14 \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n(n-1)}} = 0.021 \text{ cm}$$

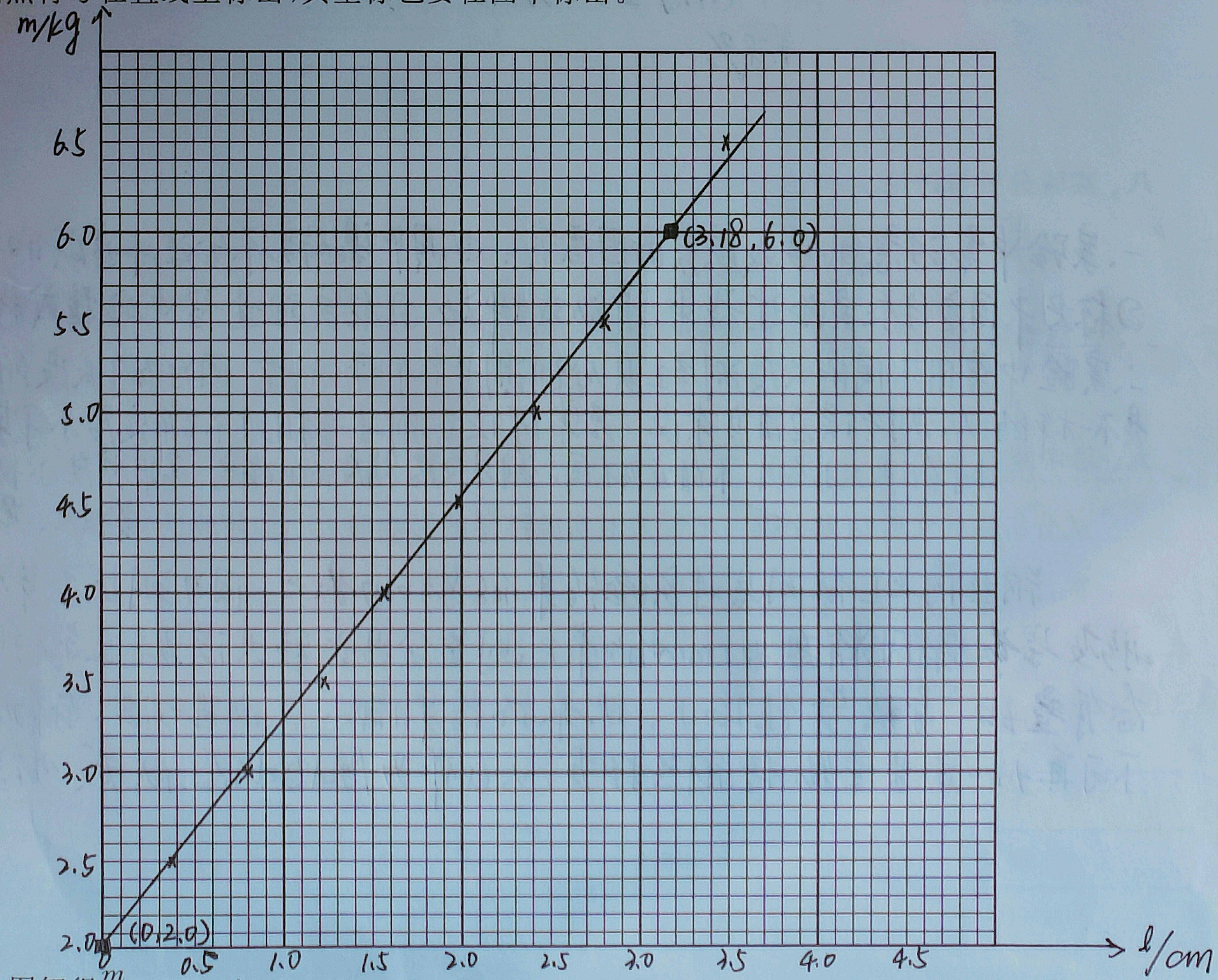
$$U_{lB} = \frac{\Delta l}{\sqrt{3}} = 0.029 \text{ cm}$$

$$U_l = \sqrt{u_{lA}^2 + u_{lB}^2} = 0.029 \text{ cm}$$

$$U_{rl} = \frac{U_l}{l_{i+5} - l_i} \times 100\% = 1.5\%$$

### 1. 用图解法处理实验数据

在以下毫米方格纸内绘制  $m-l$  关系图, 用图解法求出比值  $m/l$ 。求斜率的两点要以不同描点符号在直线上标出, 其坐标也要在图中标出。



图解得  $\frac{m}{l} = 1.26 \text{ kg/cm}$

求得钢丝的杨氏弹性模量  $Y_1 = \frac{8LDg}{\pi d^2 K} \cdot \frac{m}{l} = 1.79 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$

$$\text{百分差 } E_0 = \frac{|Y_1 - Y'|}{Y'} \times 100\% = 3.2\%$$

## 2. 用逐差法处理实验数据

$$\frac{m}{l} = \frac{5 \times 0.500}{l_{i+5} - l_i} = 1.26 \text{ kg/cm}$$

$$Y_2 = \frac{8LDg}{\pi d^2 K} \cdot \frac{m}{l} = 1.79 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

$$\text{百分差 } E_0 = \frac{|Y_2 - Y'|}{Y'} \times 100\% = 3.2\%$$

## 3. 不确定度估算

$$U_{rY_2} = \frac{U_{Y_2}}{Y_2} = \sqrt{U_{rL}^2 + U_{rD}^2 + U_{rK}^2 + 4U_{rd}^2 + U_{rl}^2} = 1.8\%$$

$$U_{Y_2} = U_{rY_2} \cdot Y_2 = 3.2 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

$$\text{结果表示为 } Y_2 \pm U_{Y_2} = (1.79 \pm 0.03) \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

$$U_{rY_2} = 1.8\%$$

## 八、实验分析与讨论

一、实验中需注意的造成误差的因素有：①调节望远镜不合理而造成的视差  
 ②标尺未固定住，在实验过程中滑动或抖动 ③在实验过程中碰撞或移动仪器。  
 二、实验中要用不同的长度测量工具分别测量各个待测量，因为各个长度所带的精度  
 是不一样的。从测量误差角度来说，若需保证各测量量相对不确定度小于某特定值  
 九、思考题 由于各长度大小不同，不确定度不同，测量仪器精度由此确定。若用精度小仪器测小长度则

试分析你的实验结果中哪一项误差对实验结果的影响最大？如何改进？

答：钢丝原长 L 的测量对实验结果的影响最大，因为钢丝本身在实验中  
 形变量小，而用仪器误差为 0.5mm 的米尺测量会造较大误差。且钢丝原始状  
 态有弯曲，会导致  $\frac{m}{l}$  值偏小，使最终结果偏小，改进方法：在初始状态  
 下可再加一定量重物将钢丝拉直，以此作为原始状态以减少误差。

教师签名：

## 十、实验拓展

### 利用 PSD 位置敏感传感器测量固体材料的杨氏模量

PSD 又称坐标光电池，它可以将光敏面上的入射光点位置信息转化成电信号。利用 PSD 位置敏感传感器可以准确地测定微小位移的变化。本实验为测得金属丝的微小长度变化  $\Delta L$ ，采用激光-光杠杆- PSD 传感器系统。实验装置如图 4-1 所示，将准直后的激光入射光杠杆镜面，激光被反射后入射一维 PSD 位置敏感传感器的光敏面。当金属丝被拉伸  $\Delta L$  时，光杠杆镜面随之转动，反射激光束的方向将改变，PSD 传感器光敏面上的光点位置将随之而变。最终金属丝微小长度变化  $\Delta L$  被放大为入射光点在 PSD 光敏面上的位置  $x$  的变化为  $\Delta x = \frac{2D\Delta L}{K}$ 。

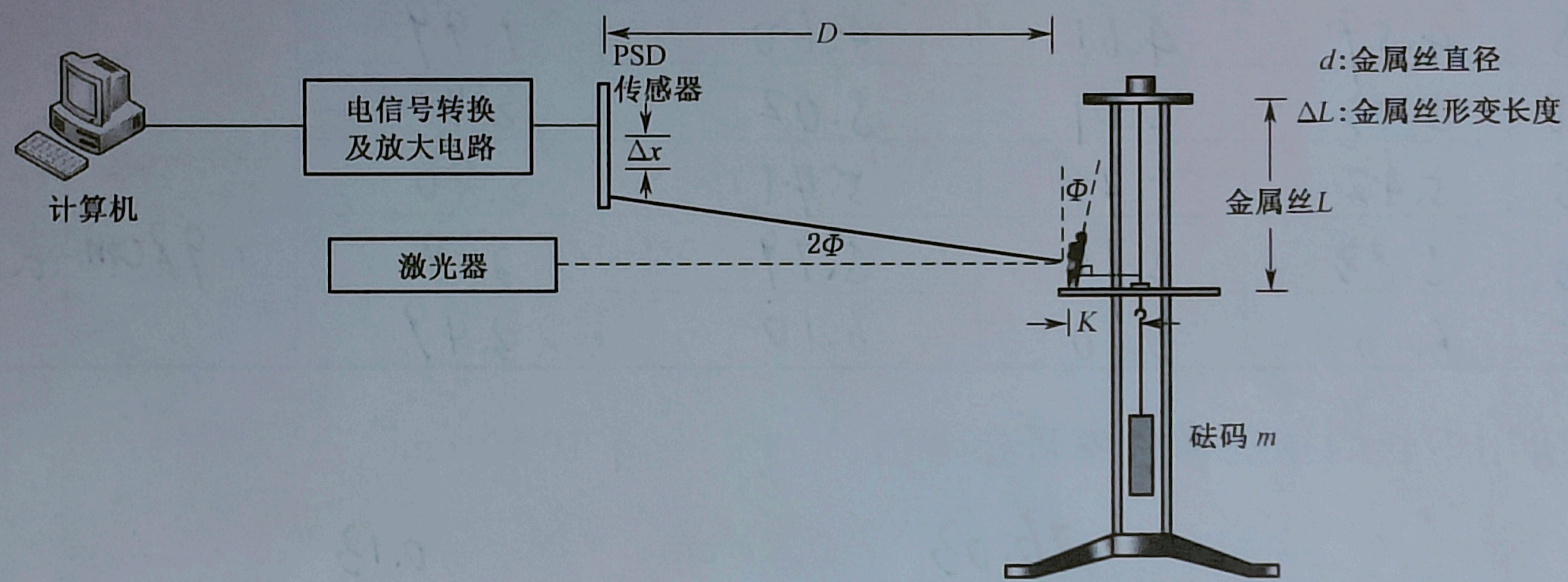


图 4-1 基于 PSD 的测量杨氏弹性模量实验装置简图

### [附] 常温下部分固体的杨氏弹性模量

表 4-4

常温下部分固体的杨氏弹性模量

名称	弹性模量 $Y / (10^{10} \text{ N} \cdot \text{m}^{-2})$	名称	弹性模量 $Y / (10^{10} \text{ N} \cdot \text{m}^{-2})$
金	8.1	熔融石英	7.31
银	8.27	玻璃(冕牌)	7.1
铂	16.8	玻璃(火石)	8.0
铜	12.9	尼龙	0.35
铁(钢)	20.1~21.6	聚乙烯	0.077
铝	7.03	聚苯乙烯	0.36
锌	1.6	橡胶(弹性)	$(1.5\sim 5) \times 10^{-4}$