实 验 报 告 评分：

少年班学院 系 20 级 学号******** 姓名******** 日期 2021-4-25

实验 3-测量金属丝的杨氏模量

实验目的

1.理解杨氏模量的物理意义及定义。

2.理解光杠杆的放大原理。

3.初步了解杨氏模量实验仪实验装置的工作原理。

实验原理

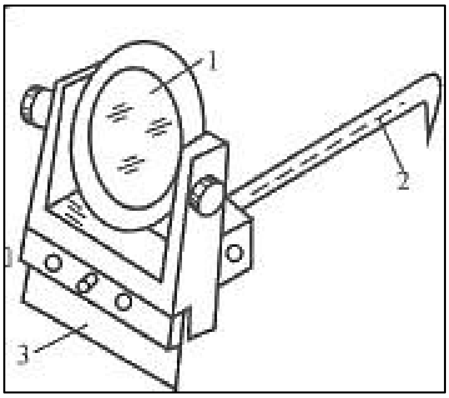
在材料弹性限度内，应力 F/S （即法向力与材料横截面积之比）和应变 $\Delta L/L$ (即长度的相对延长量)之比是一个常数，即

$$E = \frac{F/S}{\Delta L/L} \quad ①$$

为常数。这个数值叫做杨氏模量。

如果采用常规、直接的方法，由于金属丝杨氏模量大，施加常规大小的应力时，产生的△L 很小，不易被测量。因此需要对△L 采用放大的方法，比如光杠杆放大法。

光杠杆是一个带有可旋转的平面镜的支架，平面镜的镜面与三个足尖决定的平面垂直，其后足即杠杆的支脚与被测物接触，结构图如下图 3.1 所示：



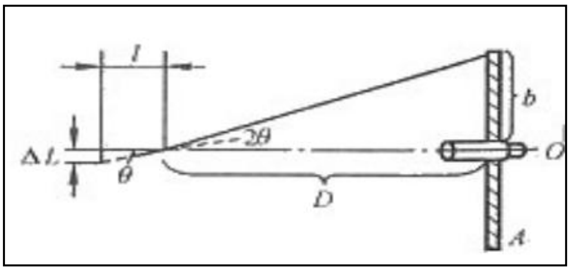
▲图 3.1 光杠杆示意图

设光杠杆部位 2 的长度为 l.当光杠杆的两个前脚固定后，后脚如果绕前脚转动一个极小的距离△L，那么光杠杆将整体转动，转动的角度为

$$\theta = \frac{\Delta L}{l} \quad ②$$

如果一束光入射到平面镜上，因为平面镜转动的角度为 θ，因此其反射光转动的角度为

2θ，如图 3.2 所示：



▲图 3.2 光杠杆原理示意图

在离光杠杆距离为 D 的地方放置一个标尺。如果光杠杆转动的角度很小，那么入射光光源在标尺上的距离为

$$x = b = 2\theta D = \frac{2D\Delta L}{l} \tag{③}$$

由于 d 很大而 l 较小，因此 x 较大。如果使用一个望远镜对标尺刻度 x 进行读数，那么可以看到比较精确的读数。

本实验中，通过对金属丝的直径的测量获得面积：

$$S = \frac{1}{4}\pi \mathrm{d}^2 \tag{④}$$

通过增减一些重量相同的砝码（设添加了 n 个）改变施加的力 F 的大小：

$$\Delta F = M\mathrm{g} = nmg \tag{⑤}$$

那么带入公式②知

$$E = \frac{8DL\mathrm{mg}}{\pi \mathrm{d}^2 l} \cdot \frac{\Delta n}{\Delta x} \tag{⑥}$$

如果测量了 D、L、m、d、l 等，参考 $g=9.8m/s^2$，那么只需要几组标尺读数 x 与砝码个数 n 的数据，对此进行线性拟合求出其斜率，就可以算出杨氏模量 E.

实验器材

杨氏模量实验仪器一套（金属丝，支架，砝码盘，砝码，标尺，望远镜）

实验步骤

一、调节仪器

1.调整光杠杆，拧紧螺丝，使后脚底部与三个脚构成的平面垂直；调整平面镜与该

平面垂直。

2.调节支架使中央平台水平。使用水平仪在不同方向测量水平性，使其最终水平。

3.轻拉金属丝，发现金属丝发现弹性形变。

4.将光杠杆放在已调节水平的中央平台上，使其前脚卡在平台的卡槽里，后脚卡在固定金属丝的机构的卡槽里，此时光杠杆水平。

5.调节镜尺组。调整望远镜目镜，使分划板上的十字刻线呈现清晰的像；粗调望远镜的位置、高度和方向，使得望远镜上端的两个标志物与光杠杆平面镜上方顶点共线；调整望远镜物镜，使光杠杆的平面镜轮廓在视野中呈现清晰的像；将望远镜对准平面镜中央。

6.调整标尺的位置、高度与方向，使得标尺出现在视野中；调整望远镜目镜使标尺呈现清晰的像；调整标尺与望远镜位置与方向，使得标尺的合适的刻度在分划板十字交叉点呈现清晰、稳定、合适的像。

二、测量

1.测量光杠杆的长度 l.取下光杠杆，将其三个脚在一张白纸上按压出三个点，作图，取其后脚到两个前脚的连线的距离作为光杠杆的长度。重复三次，得到三组数据。将光杠杆复位。

2.用钢卷尺测量金属丝的初始长度 L，即固定金属丝的两个夹子的距离；用卷尺测量光杠杆的平面镜到标尺的距离 D.两个数据分别测试三组数据。

3.使用螺旋测微器测量金属丝的直径。记下螺旋测微器的初始读数，取金属丝的三个不同的位置，分别测量其直径，用直接测量的读数减去初始读数即为金属丝直径。

4.砝码质量。砝码质量可以由上面的标注直接得出。

5.标尺的读数 x.初始状态时，砝码盘里没有砝码，待读数稳定时记下此时十字分划板的横线在标尺上的读数。然后逐级添加砝码，每增加一个砝码，在稳定后记录一次横线的读数；当加满 7 个砝码后逐级减去砝码至完全减去，同样记下读数。取相同砝码数时，两次记录的读数的平均值作为此时的伸长量。

三、整理器材，结束实验。

数据记录

原始数据记录在数据记录纸上。以下为实验数据：

1.光杠杆的长度 l

次数	1	2	3
l/cm	7.10	7.08	7.07

2.金属丝的初始长度 L

次数	1	2	3
L/cm	104.98	105.02	105.00

3.标尺与平面镜距离 D

次数	1	2	3
D/cm	141.96	142.04	142.00

4.金属丝的直径 d，螺旋测微器的初始读数 d_0=-0.004mm

次数	1	2	3
读数	0.286	0.290	0.291
d/mm	0.290	0.294	0.295

5.标尺的读数

每个砝码的质量为 m=500g；各次读数与均值如下表：

砝码个数 n		0	1	2	3	4	5	6	7
读数 /mm	去程	-1.00	0.84	2.10	3.63	5.20	6.64	8.20	9.54
	回程	-0.94	0.90	2.18	3.81	5.32	6.70	8.28	9.70
x/mm		-0.97	0.87	2.14	3.72	5.26	6.67	8.24	9.62

数据处理

1.光杠杆的长度 l

平均值：$\bar{l} = \frac{\sum l_i}{3} = 7.083cm$

标准差：$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (l_i - \bar{l})^2}{3-1}} = 0.015\text{cm}$

A 类不确定度：$u_A = \frac{\sigma}{\sqrt{3}} = 0.009cm$

B 类不确定度：$u_B = \Delta_B / C = 0.0033cm$

合成展伸不确定度为$U_{0.997} = \sqrt{(t_p u_A)^2 + u_B^2} = 0.08cm$

即$\mathrm{l} = (7.08 \pm 0.08)cm(P = 0.997)$

2.金属丝的初始长度 L

平均值：$\overline{L} = \frac{\sum L_i}{3} = 105.00cm$

标准差：$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (L_i - \overline{L})^2}{3-1}} = 0.020\mathrm{cm}$

A 类不确定度：$u_A = \frac{\sigma}{\sqrt{3}} = 0.012cm$

B 类不确定度：$u_B = \Delta_B / C = 0.040cm$

合成展伸不确定度为$U_{0.997} = \sqrt{(t_p u_A)^2 + u_B^2} = 0.15cm$

即$\mathrm{L} = (105.00 \pm 0.15)cm(P = 0.997)$

3.平面镜与标尺距离 D

平均值：$\overline{D} = \frac{\sum D_i}{3} = 142.00cm$

标准差：$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (D_i - \overline{D})^2}{3-1}} = 0.040\mathrm{cm}$

A 类不确定度：$u_A = \frac{\sigma}{\sqrt{3}} = 0.023cm$

B 类不确定度：$u_B = \Delta_B / C = 0.0033cm$

合成展伸不确定度为$U_{0.997} = \sqrt{(t_p u_A)^2 + u_B^2} = 0.23cm$

即$\mathrm{D} = (142.00 \pm 0.23)cm(P = 0.997)$

4.金属丝的直径 d

平均值：$\overline{\mathrm{d}} = \frac{\sum d_i}{3} = 0.293mm$

标准差：$\sigma=\sqrt{\frac{\sum(\mathrm{d}_i-\bar{d})^2}{3-1}}=0.0026mm$

A 类不确定度：$u_A=\frac{\sigma}{\sqrt{3}}=0.0015\mathrm{mm}$

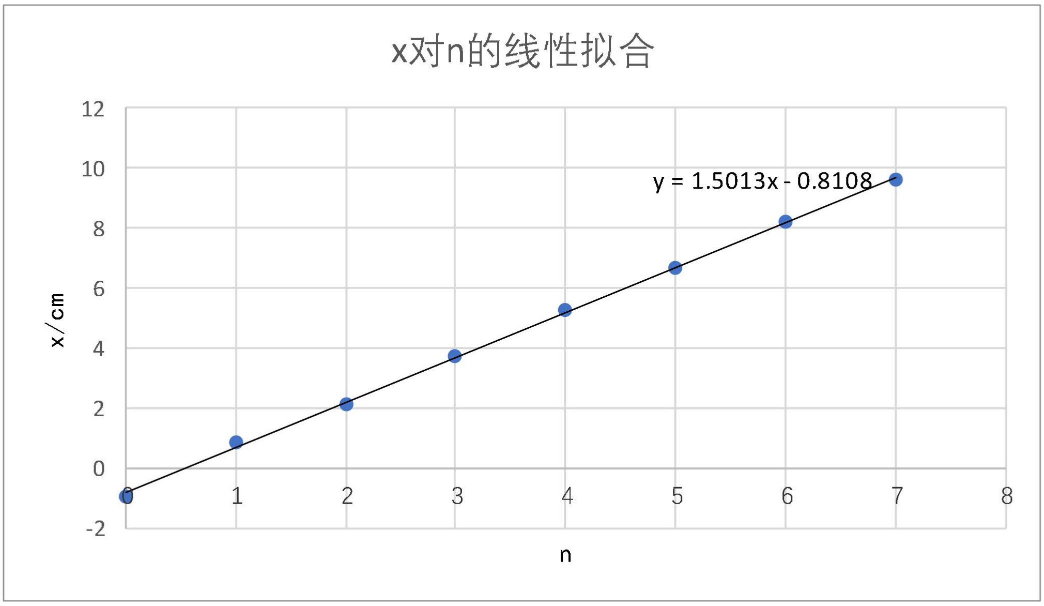
B 类不确定度：$u_B=\Delta_B/C=0.0013cm$

合成展伸不确定度为$U_{0.997}=\sqrt{(t_p u_A)^2+u_B^2}=0.015\mathrm{mm}$

即$\mathrm{d}=(0.293\pm0.015)\mathrm{mm}(P=0.997)$

5.n 与 x 的线性拟合

x 对 n 进行线性拟合如下图 3.3：



▲图 3.3 x 对 n 的线性拟合

斜率 a=1.5013,线性相关系数 r=0.9996，因此斜率的展伸不确定度为

$$U_{\mathrm{a}}=\sqrt{\frac{r^{-2}-1}{8-2}}a\mathrm{t}_p=0.05$$

因此$a=(1.50\pm0.05)cm(P=0.997)$

将以上计算的结果带入公式⑥中：

$$E=\frac{8DL\mathrm{mg}}{\pi\mathrm{d}^2 l}\cdot\frac{\Delta n}{\Delta x}=\frac{8DL\mathrm{mg}}{\pi\mathrm{d}^2 la}=2.04\times10^{11}N/m^2=2.04\times10^{11}Pa$$

由于$\frac{\Delta E}{E}=\sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2+\left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2+\left(2\frac{\Delta\mathrm{d}}{\mathrm{d}}\right)^2+\left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2+\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2}=0.09$

带入知$\Delta E=0.09E=0.18\times10^{11}Pa$

因此，该金属的杨氏模量大小为

$$E=(2.04\pm0.18)\times10^{11}Pa(P=0.997)$$

此即为实验所需要得到的杨氏模量。

思考题

1.利用光杠杆把测微小长度△L变成测b，光杠杆的放大率为2D/L，根据此式能否以增加D减小l来提高放大率，这样做有无好处？有无限度？应怎样考虑这个问题？

答：作用不大，应该合理地提高D，不建议缩小l.

①理论上来讲，当D增加、l减小时，然放大率确实可以增加，但实际上，放大率增加导致的副作用明显。

②本实验中，放大率以及足够，因此b的测量误差并不大。虽然b随之增加，但是由于本实验误差本身就比较大，在本实验情况下，b已经不是主要误差。过分追求放大b对于实验精度贡献小。当l较小时，可能引发偏转角θ过大，从而引入新的误差$\tan\theta-\theta$.

③同时，D的增大，加长了实验者往返加减砝码的时间，不利于实验的快速进行，且D更难以测量；l的减小容易使得其相对误差较大，使实验误差大。另外，D的增大，使标尺的像难以被找到，同时也会减弱像的稳定性，增加实验复杂度。

④当放大率大时，很有可能使操作过程中标尺读数变化过大，从而超出量程，因此不得不重新实验，或者换用更长的标尺，操作复杂。

因此，实验中应保持合适的D与l，从而提升精度、简化步骤。

2.实验中，各个长度量用不同的仪器来测量是怎样考虑的，为什么？

答：主要从被测物和仪器的特性以及误差均分原理考虑。对于被测物来说，其大致长度决定了仪器需要的量程；实际情况则限制了测量方法，进而限制了仪器的种类。由误差均分原理得到，对于不同的被测物，其需要的绝对误差不同。因此对于仪器的精度要求不同。

综合考虑以上几点，可以选择合适的仪器，提升实验精度，提升实验效率。

实验小结

这个实验的数据处理比较麻烦，从测量所得结果和误差分析结果来看，实验是比较成功的，在一定误差范围内测得了钢丝的杨氏模量。