实　验　报　告

评分：

少年班　系　06　级　　学号 PB06000680　　姓名　张力　　日期 2007-5-14

实验题目：用拉伸法测钢丝的杨氏模量

实验目的：掌握利用光杠杆测定微小形变的方法，在数据处理中，掌握逐差法和作图法两种数据处理的方法

实验原理：在胡克定律成立的范围内，应力 F/S 和应变ΔL/L 之比满足

E=（F/S）/（ΔL/L）=FL/（SΔL）

其中 E 为一常量，称为杨氏模量，其大小标志了材料的刚性。

根据上式，只要测量出 F、ΔL/L、S 就可以得到物体的杨氏模量，又因为ΔL 很小，直接测量困难，故采用光杠杆将其放大，从而得到ΔL。

实验原理图如右图：

当θ很小时，$\theta \approx \tan\theta = \Delta L / l$，其中 l 是光杠杆的臂长。

由光的反射定律可以知道，镜面转过θ，反射光线转过 2θ，而且有：

$$\tan 2\theta \approx 2\theta = \frac{b}{D}$$

故：$\frac{\Delta L}{l} = \frac{b}{(2D)}$，即是 $\Delta L = \frac{bl}{(2D)}$

那么 $E = \frac{2DLF}{Slb}$，最终也就可以用这个表达式来确定杨氏模量 E。

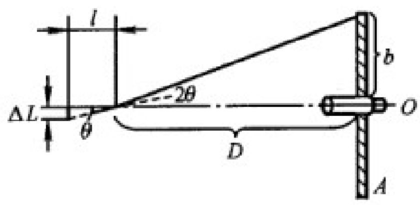


图 5.3.1－2　光杠杆原理图

实验内容：

1． **调节仪器**

（1）调节放置光杠杆的平台 F 与望远镜的相对位置，使光杠杆镜面法线与望远镜轴线大体重合。

（2）调节支架底脚螺丝，确保平台水平，调平台的上下位置，使管制器顶部与平台的上表面共面。

（3）光杠杆的调节，光杠杆和镜尺组是测量金属丝伸长量 ΔL 的关键部件。光杠杆的镜面（1）和刀口（3）应平行。使用时刀口放在平台的槽内，支脚放在管制器的槽内，刀口和支脚尖应共面。

（4）镜尺组的调节，调节望远镜、直尺和光杠杆三者之间的相对位置，使望远镜和反射镜处于同等高度，调节望远镜目镜视度圈（4），使目镜内分划板刻线（叉丝）清晰，用手轮（5）调焦，使标尺像清晰。

2． **测量**

（1）砝码托的质量为 m_0，记录望远镜中标尺的读数 r_0 作为钢丝的起始长度。

（2）在砝码托上逐次加 500g 砝码（可加到 3500g），观察每增加 500g 时望远镜中标尺上的读数 r_i，然后再将砝码逐次减去，记下对应的读数 r'_i，取两组对应数据的平均值 $\overline{r_i}$。

（3）用米尺测量金属丝的长度 L 和平面镜与标尺之间的距离 D，以及光杠杆的臂长 l。

3． **数据处理**

（1）**逐差法**

用螺旋测微计测金属丝直径 d，上、中、下各测 2 次，共 6 次，然后取平均值。将 $\overline{r_i}$ 每隔四项相减，

得到相当于每次加 2000g **的四次测量数据，如设** $b_0=\overline{r_4}-\overline{r_0}$，$b_1=\overline{r_5}-\overline{r_1}$，$b_2=\overline{r_6}-\overline{r_2}$ **和** $b_3=\overline{r_7}-\overline{r_3}$ **并求出平均值和误差。**

将测得的各量代入式（5**）计算** E**，并求出其误差（**ΔE/E **和** ΔE**），正确表述** E **的测量结果。**

（2）　**作图法**

把式（5**）改写为**

$$r_i=2DLF_i/(SlE)=MF_i \qquad (6)$$

其中 $M=2DL/(SlE)$**，在一定的实验条件下，**M **是一个常量，若以** $\overline{r_i}$ **为纵坐标，**F_i **为横坐标作图应得一直线，其斜率为** M**。由图上得到** M **的数据后可由式（**7**）计算杨氏模量**

$$E=2DL/(SlM) \qquad (7)$$

4．　**注意事项**

（1）　**调整好光杠杆和镜尺组之后，整个实验过程都要防止光杠杆的刀口和望远镜及竖尺的位置有任何变动，特别在加减砝码时要格外小心，轻放轻取。**

（2）　**按先粗调后细调的原则，通过望远镜筒上的准星看反射镜，应能看到标尺，然后再细调望远镜。调目镜可以看清叉丝，调聚焦旋钮可以看清标尺。**

实验数据：

实验中给定的基本数据如下：

一个砝码的质量 m=（500±5）g，**Δ**m=5g，**Δ**D=2mm，**Δ**L=2mm，**Δ**l=0.2mm

实验中测量得到的数据如下：

钢丝直径 d**（六次测量结果）：**0.290mm，0.291mm，0.296mm，0.296mm，0.297mm，0.292mm

钢丝原长 L=1005.0mm，**光杠杆的臂长** l=72.0mm，**标尺到平面镜的距离** D=1280.0mm

	加砝码过程刻度（cm）	减砝码过程刻度（cm）	平均值(cm)
r_0	3.81	3.82	3.815
r_1	2.50	2.49	2.495
r_2	1.20	1.20	1.200
r_3	-0.08	-0.09	-0.085
r_4	-1.39	-1.39	-1.390
r_5	-2.67	-2.66	-2.665
r_6	-3.94	-3.93	-3.935
r_7	-5.21	-5.21	-5.210

表一：增减砝码过程中刻度指示的变化

数据处理：

金属丝直径的平均值 $\overline{d}=\dfrac{0.290+0.291+0.296+0.296+0.297+0.292}{6}mm=0.2937mm$

金属丝直径的标准差

$$\sigma_d=\sqrt{\frac{(0.290-0.2937)^2+(0.291-0.2937)^2+(0.296-0.2937)^2+(0.296-0.2937)^2+(0.297-0.2937)^2+(0.292-0.2937)^2}{6-1}}mm=0.0301mm$$

那么它的展伸不确定度为

实　验　报　告　　评分：

少年班　系　06　级　　学号 PB06000680　　姓名　张力　　日期 2007-5-14

$$U_{d0.68}=\sqrt{(t_{0.68}\frac{\sigma_l}{\sqrt{n}})^2+(k_P\frac{\Delta_B}{C})^2}=\sqrt{(1.14\times\frac{0.0301}{\sqrt{6}})^2+(1\times\frac{0.005}{3})^2}mm=0.0141mm, P=0.68$$

先考虑逐差法处理刻度：

$b_0=r_0-r_4=5.205cm$，$b_1=r_1-r_5=5.160cm$，$b_2=r_2-r_6=5.135cm$，$b_3=r_3-r_7=5.125cm$

其平均值 $\bar{b}=\frac{5.205+5.160+5.135+5.125}{4}cm=5.156cm$

其标准差

$$\sigma_b=\sqrt{\frac{(5.205-5.156)^2+(5.160-5.156)^2+(5.135-5.156)^2+(5.125-5.156)^2}{4-1}}cm=0.036cm$$

那么 b **的展伸不确定度为：**

$$U_{b0.68}=\sqrt{(t_{0.68}\frac{\sigma_l}{\sqrt{n}})^2+(k_P\frac{\Delta_B}{C})^2}=\sqrt{(1.14\times\frac{0.036}{\sqrt{4}})^2+(1\times\frac{0.05}{3})^2}cm=0.026cm, P=0.68$$

根据杨氏模量的表达式 $E=\frac{2DLF}{Slb}=\frac{8DLF}{\pi lbd^2}$**，那么可以求得**

$$\overline{E}=\frac{8DLF}{\pi l\bar{b}\bar{d}}=\frac{8\times1280.0mm\times1005.0mm\times2\times9.8N}{3.14\times72.0mm\times(0.2937mm)^2\times5.156cm}=2.006\times10^7 N/cm^2$$

又根据不确定度的传递公式，那么有

$$\frac{\Delta E}{\overline{E}}=\sqrt{(\frac{\Delta D}{D})^2+(\frac{\Delta L}{L})^2+(\frac{\Delta F}{F})^2+(\frac{\Delta l}{l})^2+(\frac{U_{b0.68}}{\bar{b}})^2+2^2(\frac{U_{d0.68}}{\bar{d}})^2}$$

$$=\sqrt{(\frac{2}{1280.0})^2+(\frac{2}{1005.0})^2+(\frac{20}{2000})^2+(\frac{0.2}{72.0})^2+(\frac{0.036}{5.156})^2+4\times(\frac{0.0141}{0.2937})^2}=0.097$$

所以 $\Delta E=0.1943\times10^7 N/cm^2$

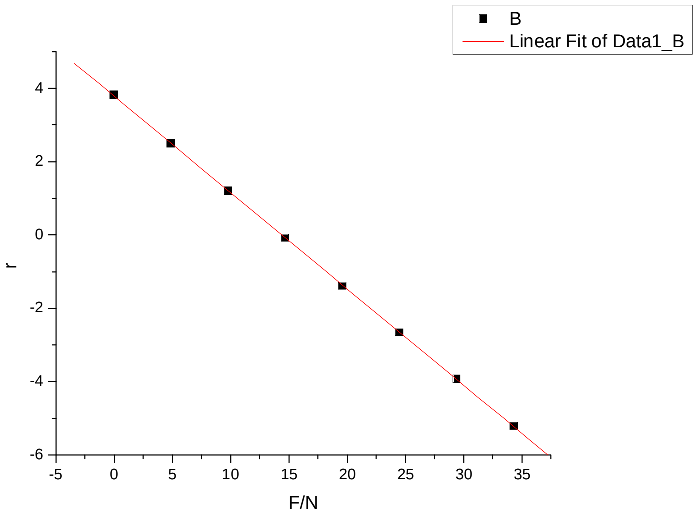
最终结果写成

$$E=\overline{E}\pm\Delta E=(2.01\pm0.19)\times10^7 N/cm^2, P=0.68$$

再考虑用图象法处理：

实　验　报　告　　评分：

少年班　系　06　级　　学号 PB06000680　　姓名　张力　　日期 2007-5-14



图一：r-F 图

利用 ORIGIN 读出斜率为 M=0.26294（取绝对值后），那么根据公式计算得

$$E = 2DL/(SlM) = \frac{2\times1280.0\times1005.0}{\frac{1}{4}\times3.14\times(0.2937)^2\times72.0\times0.26294} N/cm^2 = 2.00(7)\times10^7 N/cm^2$$

误差分析和上述类似。

实验小结：实验过程中最困难的就是实验中光学仪器的调整，但是我在实验过程中比较顺利，很快就找到了标尺的像并且调整清晰，然后在比较短的时间内顺利完成了实验。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。其中用逐差法和作图法所得到的结果基本一致，可以认为结果是可靠的。

思考题：

利用光杠杆把测微小长度ΔL 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？

Sol：理论上讲，增加 D 减小 l 是可以提高放大率的，但是在实际的操作过程中，在大多数情况下，一定的放大率已经能够保证人的观测和实验精确度，况且若增大 D，那么在调整仪器过程中找到标尺的像会更加困难，若减小 l，那么对 l 的测量的误差会变得更大，同时，放大率如果过大，刻度变化太大，会造成到砝码加到一定数量后就已经超过标尺量程，实验无法完成。综合来看，应该使放大率保持在一个合适的数值，过小会造成放大效果不佳，过小会造成实际操作的困难。