姓名 乔翱	学号 201811040809	班级 软件六班
操作	处理	总分

钢丝杨氏模量的测量

一、实验目的（本题无绝对答案，请结合自己认知及实验本身特点将本实验的目的补充完整。特别指出：写两条及以上可得分，写三条及以上并条理清晰、目的归纳性强给满分。请自觉单独答题。）

（1）学会拉伸法测量杨氏模量。

（2）掌握“光杠杆”法测量微小长度变化的原理。

（3）学会用逐差法处理实验数据。

二、实验仪器

杨氏模量仿真实验仪。其主要组件有光杠杆(包括支架、金属钢丝、平面镜)、望远镜镜尺组、砝码、米尺、螺旋测微计等。

三、实验原理

任何物体(或材料)在外力作用下都会发生形变。当形变不超过某一限度时， 撤走外力则形变随之消失，为一可逆过程，这种形变称为弹性形变，这一极限称为弹性极限。超过弹性极限，就会产生永久形变(亦称塑性形变)，即撤去外力后形变仍然存在，为不可逆过程。当外力进一步增大到某一点时，会突然发生很大的形变，该点称为屈服点，在达到屈服点后不久，材料可能发生断裂，在断裂点被拉断。

人们在研究材料的弹性性质时，希望有这样一些物理量，它们与试样的尺寸、形状和外加的力无关。于是提出了应力F/S（即力与力所作用的面积之比）和应变$\Delta L/L$（即长度或尺寸的变化与原来的长度或尺寸之比）之比的概念。在胡克定律成立的范围内，应力和应变之比是一个常数，即

$$E = (F/S)/(\Delta L/L) \qquad (1)$$

式中E被称为材料的杨氏模量，它是表征材料性质的一个物理量，仅与材料的结构、化学成分及其加工制造方法有关。某种材料发生一定应变所需要的力大，该材料的杨氏模量也就大。杨氏模量的大小标志了材料的刚性。

通过式(1)，在样品截面积S上的作用应力为F，测量引起的相对伸长量$\Delta L / L$，即可计算出材料的杨氏模量E。因一般伸长量ΔL很小，故常采用光学放大法，将其放大，如用光杠杆测量ΔL。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，见图 1。当杠杆支脚随被测物上升或下降微小距离ΔL时，镜面法线转过一个θ角，而入射到望远镜的光线转过2θ角，如图2所示。当θ很小时，式中l为支脚尖到刀口的垂直距离(也叫光杠杆的臂长)。根据光的反射定律，反射角和入射角相等，故当镜面转动θ角时，反射光线转动2θ角，由图可知

$$2\theta \approx \tan 2\theta = \frac{b}{D} \qquad (3)$$

式中*D*为镜面到标尺的距离，*b*为从望远镜中观察到的标尺移动的距离。从(2)和(3)两式得

$$\frac{\Delta L}{l}=\frac{b}{2D} \tag{4}$$

由此得

$$\Delta L=\frac{bl}{2D} \tag{5}$$

合并(1)和(4)两式得

$$E=\frac{2DLF}{Slb} \tag{6}$$

式中 $2D/l$ 叫做光杠杆的放大倍数，$S=\pi\left(\frac{\mathrm{d}}{2}\right)^2=\frac{\pi d^2}{4}$ 为金属丝的截面积，F 为质量为 m 的砝码所提供的重力。

考虑到在实验中，在 Δm 砝码的作用下标尺上示数发生了 Δb 的改变，重新整理可得金属丝杨氏模量的实际计算公式为

$$E=\frac{2DLF}{Slb}=\frac{8gDL}{\pi d^2 l}\bullet\frac{\Delta m}{\Delta b} \tag{7}$$

由公式（7）可知，只要测量出 D、L、d、l 及一系列的 Δb 随 $\Delta \mathrm{m}$ 的变化关系，就可以由公式（7）确定出金属丝的杨氏模量 E 。

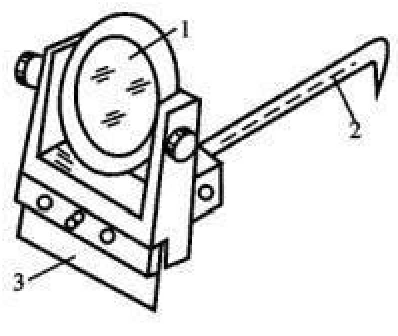

图 1 光杠杆结构图

1—平面镜;2—杠杆支脚;3—刀口

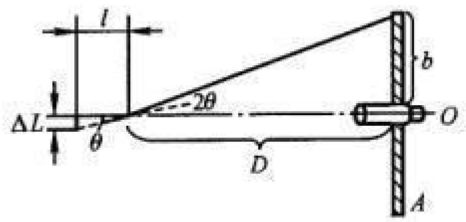

图 2 光杠杆原理图

四、实验内容

1、仪器调节

（1）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。

（2）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。

（3）光杠杆的调节，光杠杆和镜尺组是测量金属丝伸长量 Δ*L* 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(图 2)。

2、数据测量

（1）在未加砝码时记录望远镜中标尺的读数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，然后再将砝码逐次减去，记下对应的读数，取两组对应数据的平均值 。

（3）用米尺测量金属丝的长度和平面镜与标尺之间的距离，以及光杠杆的臂长。

五、原始数据记录

1、使用米尺测量光杠杆臂长、钢丝长度、标尺到平面镜的水平距离

光杠杆臂长 l（单位：m）: <u>**0.0725**</u>

钢丝长度 L（单位：m）: <u>**1.0135**</u>

标尺到平面镜的距离 D（单位：m）: <u>**1.2725**</u>

2、使用螺旋测微计对钢丝的直径 d（单位：mm）测量 6 次，并将结果填入下表：

测量次数	1	2	3	4	5	6
钢丝直径	0.305	0.300	0.302	0.300	0.305	0.305

3、通过增加（或减小）砝码来进行钢丝的形变测量时，在望远镜中标尺实时位置的相对读数 b 变化情况记录如下：

已添加砝码的总质量 m（单位：Kg）	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
在望远镜中标尺实时位置的相对读数（加砝码时）b（单位：Cm）	0.00	1.16	2.34	3.50	4.70	5.90	7.09	8.28
在望远镜中标尺实时位置的相对读数（减砝码时）b（单位：Cm）	0.00	1.18	2.35	3.50	4.70	5.90	7.08	8.28
在望远镜中标尺实时位置相对读数的平均值 b（单位：Cm）	0.000	1.170	2.345	3.500	4.700	5.900	7.080	8.280

注意：本表格中的相对读数是指在望远镜中进行读数时，所有数据的读取均要选择同一参照物来进行读数。特别地，在望远镜读数视窗中可以选择三条水平叉丝中的任意一条作为参照物来读数。

六、数据处理

（1）计算钢丝直径 d 的平均值 $\overline{d}$

$$\overline{d}=\frac{d_1+d_2+d_3+d_4+d_5+d_6}{n}=\frac{0.305+0.300+0.302+0.300+0.305+0.305}{6}=0.3028mm$$

（2）利用逐差法计算Δm=2000g 时所引起的在望远镜中标尺实时位置的改变量的算术平均值以及算术平均值的标准偏差

将原始数据表 2 分成两组，r0、r1、r2、r3 一组，r4、r5、r6、r7 一组

$r_0=0.000cm$，$r_1=1.170cm$，$r_2=2.345cm$，$r_3=3.500cm$，$r_4=4.700cm$，$r_5=5.900cm$，

$r_6=7.080cm$，$r_7=8.280cm$，

$$\Delta b_1=r_4-r_0=4.700cm$$
$$\Delta b_2=r_5-r_1=4.730cm$$
$$\Delta b_3=r_6-r_2=4.735cm$$
$$\Delta b_4=r_7-r_3=4.780cm$$

改变量的算数平均值为：

$$\overline{\Delta b}=\frac{\Delta b_1+\Delta b_2+\Delta b_3+\Delta b_4}{4}=\frac{4.700+4.730+4.735+4.780}{4}=4.7362cm$$

改变量的标准偏差为：

$$S(\overline{\Delta b})=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta b_i-\overline{\Delta b})^2}{n\times(n-1)}}$$

$$=\sqrt{\frac{(4.700-4.7362)^2+(4.730-4.7362)^2+(4.735-4.7362)^2+(4.780-4.7362)^2}{4\times3}}$$

$$=0.02cm$$

$$\Delta=0.05cm>S(\overline{\Delta b})$$

$$S(\overline{\Delta b})=0.05cm$$

（3）求 $\overline{E}$ 和 $S(\overline{E})$

$$\overline{E}=\frac{8gDL}{m\overline{d}^2 l}.\frac{\Delta m}{\overline{\Delta b}}$$

$$=\frac{8\times9.8\times1.2725\times1.0135}{3.14\times0.0003028^2\times0.0725}\times\frac{2.0}{0.047362}$$

$$=2.04\times10^{11}Pa$$

$$S(\overline{d})=\sqrt{\frac{(d_1-\overline{d})^2+(d_2-\overline{d})^2+(d_3-\overline{d})^2+(d_4-\overline{d})^2+(d_5-\overline{d})^2+(d_6-\overline{d})^2}{n(n-1)}}$$

$$=\sqrt{\frac{(0.305-0.3028)^2+(0.300-0.3028)^2+(0.302-0.3028)^2+(0.300-0.3028)^2+(0.305-0.3028)^2+(0.305-0.3028)^2}{6\times5}}$$

=0.0010mm

$$S(\overline{d})=0.0010mm>\Delta=0.0005mm$$

所以

$$S(\overline{d})=0.0010mm$$

由误差传递公式得：

$$\frac{S(\overline{E})}{\overline{E}}=\sqrt{(\frac{S(\overline{\Delta b})}{\overline{\Delta b}})^2+2(\frac{S(\overline{d})}{\overline{d}})^2}$$

可得出 $S(\overline{E})=2\times10^9 Pa$

则杨氏模量 E 的结果表达式为：

$$E=\overline{E}\pm S(\overline{E})=(2.04\times10^{11}\pm0.02\times10^{11})Pa$$

$$\eta=\frac{S(\overline{E})}{\overline{E}}=\frac{2\times10^9}{2.04\times10^{11}}\times100\%=0.9803\%\approx0.99\%$$

误差分析：

1、测量时读数不准确引起的误差。

2、仪器有磨损引起的误差。

3、温度、光照等环境因素引起的误差。