

浙江大学

物理实验报告

实验名称：金属材料杨氏模量的测定

指导教师：吴嘉昕

信箱号：

专 业：电子科学与技术

班 级：电科210

姓 名：

学 号：3210

实验日期：~~2021~~¹⁰月31日 星期一上/下午~~上~~下

【实验目的】

1. 理解杨氏模量的定义及测量原理
2. 掌握用光杠杆法测量微小长度的原理
3. 学习用逐差法和作图法处理实验数据

【实验原理】（电学、光学画出原理图）

1. 杨氏模量

金属材料在外力作用下会发生形变，如果撤去外力后相应的形变也随之消失，称为弹性形变。如果外力撤去后仍有残余形变，这种形变被称为塑性形变。

应力是指单位面积上所受到力 (F/S) ，发生弹性形变，物体内部企图恢复物体原状的力为内应力。应变是指在外力作用下的相对形变 $(\Delta L/L)$ ，反映物体形变的大小。

若取长为 L ，截面积为 S 的均匀金属丝，在两端端加外力 F ，则作用在金属丝单位面积上的力 F/S 为正应力，相对伸长 $\Delta L/L$ 定义为线应变。根据胡克定律，物体在弹性限度范围内，应力与应变成正比，其比例系数称为杨氏模量： $E = \frac{F \cdot L}{S \cdot \Delta L}$ ，与金属丝的材料有关，杨氏模量是材料的属性，与外力及物体的形状无关。

2. 光杠杆测量原理

由于 ΔL 是一个微小长度变化，故实验常采用光杠杆法进行测量。本实验采用光杠杆法属光学放大。

光杠杆镜是一块带有三足的平面镜，它的三个足尖 O_1, O_2, O_3 构成一个等腰三角形， O_1, O_2 为等腰三角形的底边， O_3 到底边的垂直距离记为 b 。标尺通过平面镜反射后，在望远镜中成像，则望远镜观察到标尺的像。望远镜中十字叉丝线处在标尺上的刻度初始值记为 S_0 。如果 O_1, O_2 在一个平台上，而 O_3 下降 ΔL ，则望远镜中十字叉丝线处在标尺上刻度值变为 S_1 。

所以从望远镜中读到十字叉丝线处在标尺刻度值变化为 $\Delta S = S_1 - S_0$ ，又因： $\frac{\Delta S}{b} = \tan 2\alpha \approx 2\alpha$ ， $\frac{\Delta S}{b} = \tan \alpha = \alpha$ ，可得： $\Delta S = \frac{2D}{b} \Delta L$ ， D 为标尺与光杠杆镜镜面之间距离。

随 O_3 下降 ΔL ，光杠杆镜绕 O_1, O_2 转过 α 角。则望远镜中标尺的像也发生移动，十字线降落在标尺的刻度为 S_1 ，由于平面镜转动 α 角，进入望远镜的光线旋转 2α 角。由于 $\frac{2D}{b} \gg 1$ ，望远镜中标尺读数的变化 ΔS 比钢丝实际伸长量 ΔL 放大了 $\frac{2D}{b}$ 倍。就称为光杠杆常数。又因为钢丝的截面积 $S = \frac{1}{4} \pi d^2$ (d 为钢丝直径)，得到测量公式： $E = \frac{8DFL}{\pi d^2 b \cdot \Delta S}$

另外，相对不确定度展开式： $E_r = \sqrt{\left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(\Delta S)}{\Delta S}\right)^2}$

3. 用作图法处理实验数据

$$\Delta S' = \frac{8DL}{\pi d^2 b E} \cdot F$$

用逐差法处理实验数据， $\Delta S'_i$ 为每增加 1 kg 砝码钢丝的伸长量，作 $\Delta S' - F$ 图，采用最小二乘法拟合后，得斜率为 K 的直线。直线的斜率 K 由图得，计算得 E 。

【实验内容】（重点说明）

1. 系统调节

- (1) 调整底座上的脚螺丝，使两立柱铅直，预先加2kg，使钢丝拉直
- (2) 按要求放置光杠杆镜，并使平面反射镜面铅直
- (3) 将望远镜置于距光杠杆镜约1.5m处，松开望远镜固定螺钉，上下移动使得望远镜和光杠杆处于同等高度。调节望远镜直至从望远镜里可以看到清晰的标尺刻度为止。

2. 观测钢丝伸长量

先读取钢丝下挂2kg砝码后使钢丝拉直时标尺的读数 S_0 ，然后每加上1kg砝码，读取一次数据，依次得到 S_0, S_1, \dots, S_7 ，这是拉伸过程中的变化值。再每次撤掉1kg砝码，读取一次数据，依次得到 $S_1', S_2' \dots S_0'$ ，这是收缩过程中的变化值。

3. 测量D、b、L和d

测量光杠杆镜前后脚垂直距离b的方法是：把光杠杆镜的三只脚上压出压痕，用尺画出两前脚的连线，再用游标卡尺读出后脚到该连线的垂直距离b。用米尺来测钢丝长度。用螺旋测微计在钢丝不同部位测量钢丝直径。用卷尺测量标尺到镜面的距离D。

4. 计算杨氏模量

根据实验测得的数据计算杨氏模量值，并求其不确定度

【实验器材及注意事项】

实验器材：

1. 杨氏模量测量仪
2. 光杠杆镜
3. 尺读望远镜

注意事项：

1. 若从望远镜中观察不到竖尺的像，则应先从望远镜筒外侧，沿轴线方向望去，能看到平面镜中竖尺的像。若看不到时，可调节望远镜的位置或方向，或平面反射镜的角度，直到找到竖尺的像为止，然后再从望远镜中找竖尺的像

2. 若叉丝成像不清楚，可慢慢调节望远镜目镜，使叉丝更清晰。

3. 实验中，加减砝码时，测得的数值重复性不好或规律性不好的原因如下：

金属丝夹头未夹紧，金属丝滑动；杨氏模量仪支柱不垂直，使金属丝夹头与平台孔壁接触摩擦太大；加减砝码时，动作不够平稳，导致光杠杆镜的足尖发生移动；可能是金属丝直径太细，力砝码时已超出弹性范围。

【数据处理与结果】

实验 次数	作用力 $F_i = m_i g$	读数/mm 增砝码	读数/mm 减砝码	平均值/mm $\bar{x}_i = (S_{i+4} - S_i)/4$	ΔS 的绝对不 确定度 $\Delta(\Delta S)$
0	1kg	6.0	5.8	5.9 $\Delta S_1 = 6.2$	0
1	2kg	12.0	12.1	12.0 $\Delta S_2 = 6.2$	0
2	3kg	18.5	18.2	18.4 $\Delta S_3 = 6.1$	0.1
3	4kg	24.3	24.5	24.4 $\Delta S_4 = 6.2$	0
4	5kg	30.5	30.5	30.5 $\Delta S = 6.2$	0.025
5	6kg	36.5	36.7	36.6	
6	7kg	42.7	42.7	42.7	
7	8kg	49.0	48.9	49.0	

	D/mm	ΔD	b/mm	Δb	L/mm	ΔL	d	Δd
1	1475.0	0.1	75.98	0.06	965.5	1	0.609	0.008
2	1473.5	1.4	76.10	0.06	966.0	0.5	0.610	0.007
3	1476.3	1.4	76.10	0.06	965.0	0.5	0.615	0.002
4	1475.1	0.2	75.90	0.14	965.0	0.5	0.621	0.004
5	1474.5	0.4	76.08	0.04	965.5	0.5	0.625	0.008
6	1475.0	0.1	76.10	0.06	966.0	0.5	0.620	0.003
均值	1474.9	0.6	76.04	0.07	965.5	0.6	0.617	0.005

$$\textcircled{1} E = \frac{8 \bar{D} \bar{F} \bar{L}}{\pi \bar{a}^2 \bar{b} \cdot \Delta S} = 2.0 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

$$E_r = \sqrt{\left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{2 \Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(\Delta S)}{\Delta S}\right)^2} = 0.02$$

$$\therefore \text{杨氏模量 } E = (2.0 \pm 0.04) \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

②作图法求杨氏模量

见附页。

$$E = 2.1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

【误差分析】

1. 在测量 D 时,望远镜与镜面并不完全在同一平面,而是呈一个角度,所以卷尺测量是侧偏且倾斜时,故测量结果会稍偏大
2. 在测量 d 时,钢丝上、下方的粗细并不均匀,呈现上方偏大的情况,但由于钢丝对重物的弹性响应集中在下方,故 d 的测量结果也是偏大的
3. 在增减砝码后,钢丝会出现轻微的晃动,肉眼直接观察并不明显,但通过~~望远镜~~望远镜观察,晃动就会导致读数的不准确
4. 在测量 s 时,钢丝会发生扭转,在扭转的过程中,钢丝内部产生应力,导致钢丝伸长的响应变慢, s 的测量值变小。

【实验心得及思考题】

思考题:

1. ① 钢丝长度 L , 钢直尺, 0.1mm
② 钢丝直径 d , 螺旋测微仪, 0.001mm
③ 望远镜到尺垂直距离, 卷尺, 0.1mm
④ ~~光杆~~光杆镜前后脚垂直距离 b , 游标卡尺, 不估读
⑤ 伸长量 s , 杨氏模量测定仪, 0.1mm
2. 观察每增加/减去 1kg 砝码, 伸长量/收缩量是否呈线性变化; 也可看增加和减至相同砝码量时, 伸长量 s 是否相同
3. 减小 b 是为了使钢丝伸长同样长的量时, α 的变化更加明显; 增大 D 是为了在光杆镜倾斜相同的角度 \downarrow 下, 在尺上的 s 变化更大。
不能无限制增大放大倍数。 $\tan 2\alpha \approx 2\alpha = \frac{4s}{D}$, $\frac{4s}{D} = \tan \alpha \approx \alpha$ 两个小角近似都只在小角度时成立, 当过大时, $\tan 2\alpha$ 并不近似为线性增长; 并且, D 过大, ~~增量~~ Δs 可能会超过尺的量程。

心得:

对于微小变化的放大, 光杠杆是经常使用的方法, 本次实验让我对它的分析、误差和限度都有了更深的了解; 本次实验的操作其实并不难, 但对数据的处理比较高, 对有效数字和误差的把控都有一定要求。

【数据记录及草表】

次数	1	2	3	4	5	6
D	1475.0	1473.5	1476.3	1475.1	1474.5	1475.0
b	75.98	76.10	76.10	75.90	76.08	76.10
L	965.5	966.0	965.0	965.0	965.5	966.0
d	0.609	0.610	0.615	0.621	0.625	0.620

读数/mm			
次数	作用力	增砝码	减砝码
0	1kg	6.0	5.8
1	2kg	12.0	12.1
2	3kg	18.5	18.2
3	4kg	24.3	24.5
4	5kg	30.5	30.5
5	6kg	36.5	36.7
6	7kg	42.7	42.7
7	8kg	49.0	48.9

教师签字：吴嘉昕