

浙江大学

物理实验报告

实验名称：____ 钢丝杨氏模量的测定 ____

指导教师：____ 厉位阳 ____

专业：____ 竺可桢学院混合班 ____

班级：____ 混合 1903 班 ____

姓名：____ 徐圣泽 ____

学号：____ 3190102721 ____

实验日期：3 月 27 日 星期 五 下午

一、 实验目的：

- 1、掌握钢丝杨氏模量测量的实验原理并熟悉实验操作
- 2、体会利用光杠杆测定微小形变思想和方法
- 3、掌握最小二乘法处理数据的方法
- 4、选取最合适的方法处理数据并尽可能优化数据处理过程
- 5、分析实验结果并反思总结实验过程

二、 实验内容：

- 1、前期准备工作（熟悉仪器，仪器的调平：调整平台使之水平、调整光杠杆位置、调整平面镜的仰角使镜面垂直、调节望远镜目镜使叉丝清楚并调节聚焦旋钮瞄准标尺）
- 2、选择合适仪器（米尺）测量钢丝长度、光杠杆臂长、标尺到平面镜的水平距离并记录数据
- 3、选择合适仪器（螺旋测微计）多次测量钢丝直径并记录数据
- 4、依次增加 500g 的砝码，直至 3500g，记录每增加 500g 时望远镜中标尺的读数，再依次减去砝码，记录读数
- 5、数据处理，测得各已知物理量的平均值和不确定度，利用最小二乘法计算斜率 k 并得出 k 的不确定度
- 6、计算得到钢丝杨氏模量的平均值、不确定度和最终表达式
- 7、分析实验误差，回顾实验总结经验

三、 实验原理

1、 杨氏模量

本实验采用拉伸法测定杨氏模量，实验过程中需要利用光杠杆测定微小形变。任何物体在外力作用下都会发生形变，只要不超过某一限度，在外力撤走后形变会随之消失，这种形变称之为弹性形变。如果外力撤走后仍有形变，该形变为塑性形变。

本实验中的微小形变属于弹性形变。根据胡克定律，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) 在定律成立范围之内是一个常数，即 $E = (F/S) / (\Delta L/L)$ 。在该式子中， E 就是此次实验要求得到的材料的杨氏模量，仅与材料的结构、化学成分及其加工制造方法有关。

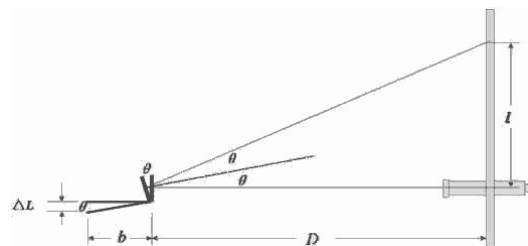
2、光杠杆法测量原理

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 。

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， $\theta = \tan \theta = \Delta L / b$ 。

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 $2\theta = \tan 2\theta = l / D$ 。

又有 $S = \pi d^2 / 4$ ，最后合并各个式子得到 E 的表达式为 $E = \frac{8DFL}{\pi d^2 bl}$ 。



3、数据处理的原理

列表记录数据，利用最小二乘法计算得到斜率 k 的平均值及其不确定度，再由不确定度均匀原理解得 E 的平均值和不确定度，最终确定钢丝杨氏模量 E 的表达式。

四、 实验仪器

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

五、 实验数据原始记录

(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

物理量	光杠杆臂长 b	钢丝长度 L	标尺到平面镜距离 D
数据(单位: m)	0.0712	1.0055	1.2209

表 1 L 、 D 、 b 等物理量原始数据记录表

(2) 使用螺旋测微计测量钢丝直径，并将结果填入下表：

测量 6 次金属丝直径 d (单位: mm)

测量次数	1	2	3	4	5	6
钢丝直径	0.299	0.302	0.300	0.303	0.298	0.299

表 2 金属丝直径 d 原始数据记录表

钢丝直径 6 次测量的平均值 d (单位: mm) 0.300

(3) 增加（减少）砝码，测量钢丝的拉伸量，并将结果填入下表：

钢丝伸长量 r (单位: cm)

砝码质量	0.0kg	0.5kg	1.0kg	1.5kg	2.0kg	2.5kg	3.0kg	3.5kg
r (加砝码)	0.00	1.15	2.32	3.50	4.69	5.88	7.04	8.21
r (减砝码)	0.00	1.16	2.33	3.50	4.69	5.87	7.03	8.21

表 3 增减砝码钢丝伸长量 r 原始数据记录表

六、 实验数据处理和结果分析：

(1) 光杠杆臂长、钢丝长度、标尺到平面镜的水平距离的数据处理

米尺的仪器误差是 $\Delta_{\text{仪}} = 0.5\text{mm}$ ， $u_B = \frac{\Delta_{\text{仪}}}{\sqrt{3}}$ ，又 $u_A = 0$ ，由 $u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$ 得到 $u = 0.289\text{mm}$ ，故 $u_b = u_L = u_D = u$ ，

得到下表数据：

	钢丝长度 L	距离 D	光杠杆臂长 b
不确定度 $u(\text{mm})$	$u_L = 0.289$	$u_D = 0.289$	$u_b = 0.289$
物理量表达式	$L = (1005.5 \pm 0.3)\text{mm}$	$D = (1220.9 \pm 0.3)\text{mm}$	$b = (71.2 \pm 0.3)\text{mm}$

表 4 L 、 D 、 b 等物理量数据处理记录表

(2) 钢丝直径 d 的数据处理

由公式 $\bar{d} = \sum_{i=1}^6 d_i$ 得到钢丝直径的平均值 $\bar{d} = 0.300\text{mm}$ ，由公式 $u_A = \sqrt{\frac{1}{6 \times (6-1)} \sum_{i=1}^6 (d_i - \bar{d})^2}$ 得到 A 类不确定度

$u_A = 0.0019\text{mm}$ ，又 $\Delta_{\text{仪}} = 0.004\text{mm}$ ， $u_B = \frac{\Delta_{\text{仪}}}{\sqrt{3}}$ ，解得 $u_B = 0.0023\text{mm}$ ，最后得到 $u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0.0030\text{mm}$ ，

填入下表中。

相关量	平均值 \bar{d}	u_A	u_B	u_d	表达式
d	0.300	0.0019	0.0023	0.0030	(0.300 ± 0.003)

表 5 金属丝直径 d 数据处理记录表

(3) 钢丝伸长量的数据处理

初始位置为 0，计算得到七次依次增减砝码得到的标度尺示数（钢丝伸长量）的平均值并记录于下表：

实验组数	砝码质量(kg)	力 $F(N)$	伸长量平均值 $\bar{r}(mm)$
1	0.5	4.9	11.6
2	1.0	9.8	23.2
3	1.5	14.7	35.0
4	2.0	19.6	46.9
5	2.5	24.5	58.8
6	3.0	29.4	70.4
7	3.5	34.3	82.1

表 6 增减砝码钢丝伸长量 r 数据处理记录表

在此特别感谢赵晨希同学的程序，利用最小二乘法的原理，简化了大量计算过程，程序运行结果如下：

```

请输入共有几对x, y(注意xy的单位且对数不要小于3):7
请依次输入:x1 y1 x2 y2 ...
4.9 11.6 9.8 23.2 14.7 35.0 19.6 46.9 24.5 58.8 29.4 70.4 34.3 82.1
y=2.403061x+-0.242857
斜率的A类不确定度: 0.004212
  
```

图 最小二乘法程序运行结果

程序利用最小二乘法的原理求得 $y = 2.40x \pm 0.243$ ，其中 $\bar{k} = 2.40$ ，斜率 k 的 A 类不确定度为 $u_A = 0.00421$ ，B

类不确定度为 $u_B = \frac{\Delta_{\text{仪}}}{\sqrt{3}} = 0.0577$ ，最后解得 $u_k = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0.0579$ 。

(4) 计算杨氏模量

由公式 $E = \frac{8LD}{\pi d^2 bk}$ ，此时代入各物理量的平均值解得 $\bar{E} = 2.03 \times 10^{11} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$ ，由公式

$\frac{u_E}{E} = \sqrt{\left(\frac{u_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{u_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{u_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{2u_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{u_k}{k}\right)^2} = 0.0316$ ，故 $u_E = 0.0641 \times 10^{11} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$ ，最后得到杨氏模量 E

的表达式为 $E = \bar{E} \pm u_E = (2.03 \pm 0.06) \times 10^{11} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$

七、实验心得：

思考题：

1、利用光杠杆把测微小长度 ΔL 变成测 b ，光杠杆放大率为 $2D/L$ ，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？

答：有好处。由 $\Delta L = bL/(2D)$ ， $2D/L$ 越大， b 越大，从刻度尺上读数的误差会减小，使实验更精确。

2、上述方法有无限度？应该怎样考虑这个问题？

答：虽然这种做法有好处，但也是有限度的。第一，望远镜的性质限制了光杠杆和尺的距离，超出范围无法看清物体；第二，为了确保光杠杆立在平台上的稳定性，需要保证光杠杆支脚尖到刀口的垂直距离足够大。因此，实

际操作中应该综合考虑各种因素,通过多次实践找到最好的实验条件。

心得体会:

1、在本此钢丝杨氏模量实验的学习过程中,我大致达到了实验目标,完成了学习任务。

2、在本次实验原理的学习和具体的实际操作过程中,我深切体会到了将微小的不明显的实验现象放大的思想,将微小的形变通过光杆法转变成肉眼可见的标度尺示数改变,从而能够更好地研究物理规律。

3、在数据处理的过程中,由于虚拟平台提供的砝码数量不够多,于是相较于需要较多组实验数据的逐差法,我选择了更为合适的最小二乘法。在运用最小二乘法处理实验数据的过程中,通过编写代码运行程序的方法大大简化了计算过程,在此也要十分感谢赵晨希同学的程序,节省了很多时间也避免了很多不必要的麻烦。

4、在实验的过程中,我发现虚拟平台仍有较多可以优化之处:①可以适当增加提供的砝码数量,这样可以得到更多组的数据,从而利用逐差法处理实验数据;②测量钢丝长度时能够将米尺贴近钢丝测量,在本次测量的过程中,需要目测判断米尺零刻度线与钢丝最上端是否齐平,容易造成较大的实验误差;③提供实验仪器的允差范围,否则在计算不确定度时对于仪器误差的计算不明确。

5、通过这个实验的学习和上一个密立根油滴实验的学习,我发现,在物理实验的学习过程中,能够灵活运用其他学科的知识能够带来极大的便利。这一点也大大启发了我,目前多学科交叉学习和知识的融合是大势所趋,我们要灵活运用自身所学,融会贯通,将已有的知识付诸实践,这样才能有更大的提升。