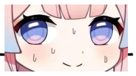
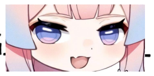
班级 　学号 　姓名 　教师签字 [illegible]

实验日期 2024.3.22　T5808-1　预习成绩 2　总成绩

实验名称　拉伸法测杨氏弹性模量

一. 实验目的

1. 学习用光杠杆测量微小长度变化的原理；
2. 研究用拉伸法测量金属丝的杨氏弹性模量；
3. 掌握用逐差法处理实验数据。

二. 实验预习

1. 杨氏模量的物理意义是什么?国标单位是什么?

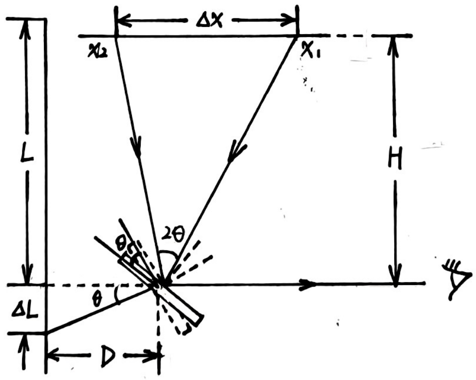
物理意义：杨氏模量可视为衡量材料产生弹性形变难易程度的指标，其值越大，使材料发生一定弹性形变的应力也越大，即材料刚度越大，亦即在一定应力作用下，发生的弹性形变越小。

国标单位：N/m^2 或 $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$ (SI)。

2. 光杠杆法的原理是什么，是如何实现微小量放大的?（画出测量原理光路图）。

光杠杆法的放大原理是，利用平面镜转动，将微小角位移放大成较大的线位移后进行测量微小长度变化。

光路图：



其中，$\tan\theta \approx \theta \approx \frac{\Delta L}{D}$，$\tan 2\theta \approx 2\theta \approx \frac{\Delta x}{H}$，$\therefore \Delta x = \frac{2H}{D} \cdot \Delta L$。

即将很难测量的 ΔL，转换为易于测量的标尺差 Δx，$\frac{2H}{D}$ 即为放大倍数。

3. 本实验需要测量哪些物理量来间接得到杨氏模量?

$$E = \frac{4(F'-F)}{\pi d^2} \cdot \frac{L}{\Delta L}, \quad \Delta x = \frac{2H}{D} \cdot \Delta L.$$

$$\therefore E = \frac{8HL(F'-F)}{\pi d^2 D \Delta x}.$$

因此，实验中需要测量镜面到标尺的距离 H、金属丝原长 L、拉力 F 与 F'、金属丝直径 d、光杠杆的臂长 D、标尺读数改变量 Δx。

三. 实验现象及数据记录

一次性测量数据

$L(mm)$	$H(mm)$	$D(mm)$
722.0	682.0	46.36

金属丝直径测量数据 螺旋测微器零差 d_0=+0.020mm

序号 i	1	2	3	4	5	6	平均值
直径视值 $d_{视i}(mm)$	0.582	0.582	0.581	0.583	0.581	0.582	0.582

加减力时标尺刻度与对应拉力数据

序号 i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
拉力视值 $f_i\,(kg)$	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00
加力时标尺刻度 $x_i^+\,(mm)$	11.0	14.9	18.7	22.3	26.1	30.0	33.8	37.6	41.4	45.2
减力时标尺刻度 $x_i^-\,(mm)$	11.2	15.4	19.3	23.1	27.1	30.7	34.8	38.8	43.2	46.8
平均标尺刻度(mm) $x_i=(x_i^++x_i^-)/2$	11.1	15.2	19.0	22.7	26.6	30.4	34.3	38.2	42.3	46.0
标尺刻度改变量(mm) $\Delta x_i=x_{i+5}-x_i$	19.3	19.1	19.2	19.6	19.4					

教师	姓名
签字	

四．数据处理

（要有详细的计算过程，推导不确定度的表达式，计算杨氏模量及其不确定度，给出完整的测量结果表达形式）

根据实验测得数据，可以得到金属丝原长 L 的平均值

$$\overline{L} = L = 722.0(mm)$$

镜面到标尺的距离 H 的平均值

$$\overline{H} = H = 682.0(mm)$$

光杠杆的臂长 D 的平均值

$$\overline{D} = D = 46.36(mm)$$

金属丝直径 d 的平均值

$$\overline{d} = \sum_{i=1}^{6} d_{视i} + d_0 = \overline{d_{视}} + d_0 = 0.602(mm)$$

在Δm=1.00kg（即拉力视值 f_i 的差值为 1.00kg）的条件下，标尺读数改变量Δx 的平均值

$$\overline{\Delta x} = \frac{\sum_{i=1}^{5} \Delta x_i}{25} = 3.9(mm)$$

由杨氏模量计算公式

$$E = \frac{8\Delta mgLH}{\pi D d^2} \cdot \frac{1}{\Delta x}$$

可以求得杨氏模量 E 的平均值

$$\overline{E} = \frac{8\Delta mg\overline{L}\overline{H}}{\pi \overline{D}\overline{d}^2} \cdot \frac{1}{\overline{\Delta x}} = 1.894 \times 10^{11} (N/m^2)$$

其中 L，H，D，Δm 只有 B 类不确定度，可得

$$U_L = U_H = \frac{\Delta_{仪}}{\sqrt{3}} = \frac{0.8}{\sqrt{3}} = 0.5(mm)$$

$$U_D = \frac{\Delta_{仪}}{\sqrt{3}} = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.02(mm)$$

$$U_{\Delta m} = \frac{\Delta_{仪}}{\sqrt{3}} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003(kg)$$

d，Δx 均有 A 类不确定量和 B 类不确定量，其中 d 的 A 类不确定量

$$S_{\overline{d视}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{6} (d_{视i} - \overline{d_{视}})^2}{6 \times (6-1)}} = 3 \times 10^{-4} (mm)$$

d 的 B 类不确定量

$$u_{d视}=\frac{\Delta_{仪}}{\sqrt{3}}=\frac{0.004}{\sqrt{3}}=0.0024(mm)$$

d 的不确定量

$$U_d=\sqrt{S_{\overline{d视}}^2+u_{d视}^2}=0.003(mm)$$

Δx_i 的平均值

$$\overline{\Delta x_i}=\frac{\sum_{i=1}^{5}\Delta x_i}{5}=19.3(mm)$$

Δx 的 A 类不确定量

$$S_{\overline{\Delta x}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{5}(\Delta x_i-\overline{\Delta x_i})^2}{5\times(5-1)}}=0.087(mm)$$

Δx 的 B 类不确定量（Δx 为间接测量量）

$$u_{\Delta x}=\sqrt{2}\times\frac{\Delta_{仪}}{\sqrt{3}}=\sqrt{2}\times\frac{0.5}{\sqrt{3}}=0.409(mm)$$

Δx 的不确定量

$$U_{\Delta x}=\sqrt{S_{\overline{\Delta x}}^2+u_{\Delta x}^2}=0.5(mm)$$

合成相对不确定度

$$E_E=\sqrt{\left(\frac{\partial\ln E}{\partial L}\right)^2U_L^2+\left(\frac{\partial\ln E}{\partial H}\right)^2U_H^2+\left(\frac{\partial\ln E}{\partial D}\right)^2U_D^2+\left(\frac{\partial\ln E}{\partial\Delta m}\right)^2U_{\Delta m}^2+\left(\frac{\partial\ln E}{\partial d}\right)^2U_d^2+\left(\frac{\partial\ln E}{\partial\Delta x}\right)^2U_{\Delta x}^2}$$

$$=\sqrt{\frac{U_L^2}{\overline{L}^2}+\frac{U_H^2}{\overline{H}^2}+\frac{U_D^2}{\overline{D}^2}+\frac{U_{\Delta m}^2}{\Delta m^2}+\frac{4U_d^2}{\overline{d}^2}+\frac{U_{\Delta x}^2}{\overline{\Delta x}^2}}=2.8\%$$

不确定度

$$U_E=\overline{E}\times E_E=6\times10^9(N/m^2)$$

可得杨氏模量的测量结果为

$$E=(1.89\pm0.06)\times10^{11}(N/m^2)$$
$$E_E=2.8\%$$
$$P=68.3\%$$

五．实验结论及误差分析

实验结论：

本实验通过测量众多物理量来尝试计算出给定金属丝的杨氏模量，经过一系列的数据处理得到了金属丝的杨氏模量测定值，但是其不确定度约为 2.8%，符合测量要求。

误差分析：

本实验的误差主要来自偶然误差，且偶然误差来自测量的整个过程前后。

在测量金属丝原长、镜轴与标尺间距、金属丝直径、光杠杆臂长、观察标尺时，均会逐渐累积偶然误差，从而使得最后得到的相对不确定度逐渐变大。由于使用了逐差法，偶然误差可以得到一定程度的降低。

本实验结果还有可能会受到桌面不稳定、望远镜观察时不稳定的影响和来自试验器具摆放的位置关系比如望远镜观察面在摆放时并未水平、望远镜观察面与镜轴所在平面并未对齐的影响。

六．讨论问题

1. 材料相同，但粗细、长度不同的两根钢丝，它们的杨氏模量是否相同？

答：理论上相同，因为杨氏模量反映的是材料本身的形变特性（形变难易程度），其大小与材料的化学组成和微观结构有关，与制成的成品规模无关。

2. 从误差分析的角度分析为什么同是长度测量，需要采用不同的量具？

答：因为量具的选择与测量需求有关。测量精度要求不高的量，例如本次实验中的金属丝原长 L、镜面到标尺的距离 H，可直接使用钢卷尺测量；而测量精度较高的量，例如本次实验中的光杠杆的臂长 D、金属丝直径 d，尤其是 d 作为公式中的二次方项，对结果的影响较大，因此需要使用精度较高的游标卡尺和螺旋测微器测量。当然在测量时还需要考虑量程等进行量具的选择。在量程条件满足的情况下，如果利用精密仪器测量精度要求不高的量，那么会浪费时间且必要性不强。

3. 实验过程中为什么加力和减力过程，施力螺母不能回旋？

答：由于金属丝具有滞后效应，因此加力和减力过程中若回旋施力螺母会形成一个回程差（即单向正常施力过程测得的数据与施力过大（过小）反向减小（增大）后测得的数据间存在的误差）。回程差会影响相应数据的测量，理论上仪器的回程差的大小会在一个区间内，但回程差究竟是多少难以判断，回程差对之后的测量的影响也难以判断，故为了尽可能避免回程差对实验测量造成的误差，加力减力过程中不能回旋施力螺母。

4. 用逐差法处理数据的优点是什么？应该注意什么问题？

答：使用逐差法可以减少测量过程中产生的实验误差，尤其是偶然误差，同时也能尽量充分地利用所有的测量数据来进行计算。

使用逐差法时要注意测量的物理量要满足使用逐差法的条件，如测量量等间隔变化、因变量与自变量间满足线性关系、测量量的误差远远小于因变量的误差等。使用逐差法时，要避免进行逐项逐差，这样会导致中间的数据在实际计算过程中会全部消掉，使测量的数据利用率低下并且误差较大。