班级________ 学号________ 姓名________ 教师签字________

实验日期 2023. 11. 17 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

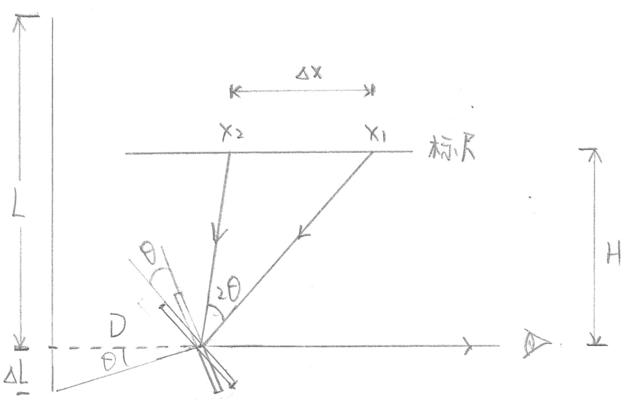
1. 杨氏模量的物理意义是什么?国标单位是什么?

1. 杨氏模量是描述固体材料抵抗形变能力的物理量,定义为单轴应力和单轴形变的比值。

2. 单位为 $N \cdot m^{-2}$。

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)。

原理: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,即将很难测量的 ΔL 转换为易于测量的标尺差 Δx。



当金属丝长度改变 ΔL 时,镜面法线转过 θ 角,θ 很小时,

$\tan\theta \approx \theta \approx \frac{\Delta L}{D}$

反射光线转动 2θ 角,

$\tan 2\theta \approx 2\theta \approx \frac{\Delta x}{H}$

故 $\Delta x = \frac{2H}{D} \cdot \Delta L$,$\Delta L = \frac{D}{2H} \Delta x$

3. 本实验需要测量哪些物理量来间接得到杨氏模量?

需要测量

- H:镜面到标尺距离
- D:光杠杆的臂长
- Δx:标尺读数改变量
- d:金属丝直径
- L:金属丝原长
- ΔF:$F' - F$,即应力改变量

$E = \frac{4\Delta F}{\pi d^2} \frac{L}{\Delta L}$,$\Delta L = \frac{D}{2H} \Delta x$.

三．实验现象及数据记录

一次性测量数据

$L(mm)$	$H(mm)$	$D(mm)$
724.0	684.0	30.53

金属丝直径测量数据 螺旋测微器零差 d_0= +6.3×0.01=0.063 **mm**

序号 i	1	2	3	4	5	6	平均值
直径视值 $d_{视i}(mm)$	0.548	0.548	0.548	0.544	0.544	0.542	0.546

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 $x_i^+\,(mm)$	1.00	1.60	2.15	2.71	3.27	3.85	4.42	5.01	5.59	6.19
减力时标尺刻度 $x_i^-\,(mm)$	1.02	1.66	2.25	2.80	3.47	3.91	4.60	5.14	5.79	6.19
平均标尺刻度(mm) $x_i=(x_i^+ + x_i^-)/2$	1.01	1.63	2.20	2.75	3.37	3.88	4.51	5.08	5.69	6.19
标尺刻度改变量(mm) $\Delta x_i=x_{i+5}-x_i$	2.87	2.88	2.88	2.94	2.82					

0.5+4.8×0.01

0.5+4.8×0.01

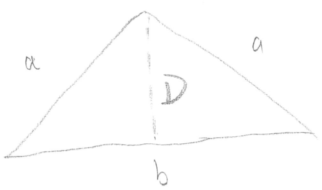
0.5 4.8

0.5 4.4

0.5 4.4

0.5 4.2

教师	姓名
签字	陆[illegible]



a=59+13×0.02 =59.26mm

b=101+29×0.02 =101.58mm

10分位

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）

金属丝的平均直径

$$\bar{d} = \overline{d_{视}} - d_0 = 0.546 - 0.063 = 0.483\ \mathrm{mm}$$

根据实验原始数据，拉力视值每增加 1kg，标尺刻度的改变量平均值

$$\overline{\Delta x} = \frac{\sum_1^5 \Delta x_i}{5 \times 5} = 5.756\ \mathrm{mm}$$

所以金属丝的平均伸长量

$$\overline{\Delta L} = \frac{D}{2H}\overline{\Delta x} = \frac{30.52\ \mathrm{mm}}{2 \times 684.0\ \mathrm{mm}} \times 5.756\ \mathrm{mm} = 0.1284\ \mathrm{mm}$$

根据杨氏模量的表达式

$$E = \frac{4\Delta F}{\pi d^2}\frac{L}{\Delta L} = \frac{4\Delta mg}{\pi d^2}\frac{L}{\Delta L}$$

得杨氏模量的计算值为

$$\bar{E} = \frac{4 \times 1.00\ \mathrm{kg} \times 9.8\ \mathrm{N/kg}}{\pi \times (0.483\ \mathrm{mm})^2} \times \frac{724.0\ \mathrm{mm}}{0.1284\ \mathrm{mm}} = 3.01756 \times 10^5\ \mathrm{N/mm^2} = 3.01756 \times 10^{11}\ \mathrm{N/m^2}$$

计算不确定度：

根据杨氏模量的表达式 $E = \frac{8\Delta mgLH}{\pi D\bar{d}^2} \cdot \frac{1}{\Delta \mathrm{x}}$，得合成不确定度表达式

$$E_E = \frac{U_E}{\bar{E}} = \sqrt{\frac{U_L^2}{L^2} + \frac{U_H^2}{H^2} + \frac{U_D^2}{D^2} + \frac{U_{\Delta m}^2}{\overline{\Delta m}^2} + \frac{4U_{\bar{d}}^2}{\bar{d}^2} + \frac{U_{\Delta x}^2}{\overline{\Delta x}^2}}$$

其中 L，H，D，Δm 只有 B 类不确定度，Δx 也只考虑 B 类不确定度。所以

$$\frac{U_L}{L} = \frac{0.8\ \mathrm{mm}}{\sqrt{3} \times 724.0\ \mathrm{mm}}$$

$$\frac{U_H}{H} = \frac{0.8\ \mathrm{mm}}{\sqrt{3} \times 684.0\ \mathrm{mm}}$$

$$\frac{U_D}{D} = \frac{0.02\ \mathrm{mm}}{\sqrt{3} \times 30.53\ \mathrm{mm}}$$

$$\frac{U_{\Delta m}}{\Delta m} = \frac{0.005\ \mathrm{kg}}{\sqrt{3} \times 1.00\ \mathrm{kg}}$$

$$\frac{U_{\Delta x}}{\overline{\Delta x}} = \frac{0.5\ \mathrm{mm}}{\sqrt{3} \times 5.756\ \mathrm{mm}}$$

而 d（使用螺旋测微器测量）既有 A 类不确定度，也有 B 类不确定度，故 d 的合成不确定度

$$U_d = \sqrt{\left(S_{\overline{d_{视}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{仪}}{C}\right)^2}$$

其中

$$S_{\overline{d_{视}}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 \left(d_{视} - \overline{d_{视}}\right)^2}{6 \times (6-1)}} = 1.095445 \times 10^{-3}\ \mathrm{mm}$$

$$U_{db}=\frac{0.004\ \mathrm{mm}}{\sqrt{3}}$$

综上，

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

$$=\left\{\left(\frac{0.8}{\sqrt{3}\times 724.0}\right)^2+\left(\frac{0.8}{\sqrt{3}\times 684.0}\right)^2+\left(\frac{0.02}{\sqrt{3}\times 30.53}\right)^2+\left(\frac{0.005}{\sqrt{3}\times 1.00}\right)^2\right.$$

$$\left.+4\left[S_{d_{视}}^2+\left(\frac{0.004}{\sqrt{3}\times 0.483}\right)^2\right]+\left(\frac{0.5}{\sqrt{3}\times 5.756}\right)^2\right\}^{\frac{1}{2}}=5.100\%$$

所以 $U_E=\bar{E}\cdot E_E=0.154\times 10^{11}\ \mathrm{N/m^2}$，$E=\bar{E}\pm U_E=(3.018\pm 0.154)\times 10^{11}\ \mathrm{N/m^2}$，置信概率为 68.3%。

五．实验结论及误差分析

结论：金属丝的杨氏模量为 $(3.018\pm 0.154)\times 10^{11}\ \mathrm{N/m^2}$，不确定度 $E_E=5.100\%$，置信概率为 68.3%。

从计算不确定度的步骤可以发现，所有不确定度中数值最大的是 $\frac{U_{\Delta x}}{\Delta x}=\frac{0.5}{\sqrt{3}\times 5.756}$ 项，因此标尺是最主要的误差来源。

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？

杨氏模量只与材料有关，所以这两根钢丝的杨氏模量相同。

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？

不同测量工具的的量程和误差大小不同。如果测量的长度较长，就必须选择量程大且误差大的量具；如果测量的长度较小，就应该选择量程小且误差小的量具。

3. 实验过程中为什么加力和减力过程，施力螺母不能回旋？

由于实验器材的原因，如果在加力和减力过程将施力螺母回旋，则会产生回程误差，降低实验结果的准确性。

4. 用逐差法处理数据的优点是什么？应该注意什么问题？

优点：可以充分利用得到的每一组实验数据，减小误差。

注意：所测量的数据应是偶数（4, 6, 8, …）组。