



物理实验报告

实验名称 用拉伸法测定金属丝杨氏模量

专 业 _____

姓 名 _____

学 号 _____

指导教师 _____

实验时间 10 月 25 日 3 大节

理学院 物理实验中心

实验目的

- (1) 观察金属丝的弹性形变规律, 学习用静力拉伸法测杨氏模量.
- (2) 掌握用光杠杆法测微小长度变化的原理.
- (3) 熟悉各种长度测量工具的正确使用方法.

实验原理

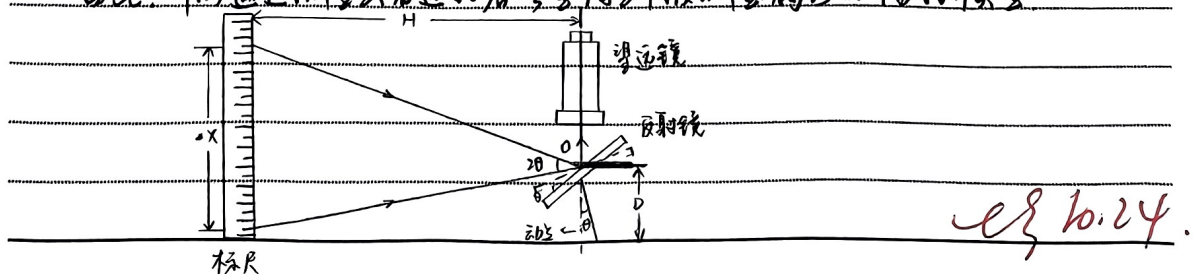
1. 杨氏模量的定义: 设金属丝的原长为 L , 横截面积为 S , 沿长度方向施力 F 后, 其长度改变 ΔL , 则金属丝单位面积上受到的垂直作用力 $\sigma = F/S$, 称为正应力. 金属丝的相对伸长量 $\varepsilon = \Delta L/L$, 称为线应变. 则由胡克定律可知, 在金属丝的弹性范围内, 物体的正应力与线应变成正比, 即 $\sigma = E \cdot \varepsilon$ / $\frac{F}{S} = E \cdot \frac{\Delta L}{L}$. 比例系数 E 为金属丝的杨氏模量. 它表征材料本身性质. E 越大的材料, 要使它发生一定的相对形变所需要的单位横截面积上的作用力也越大. 实验中金属丝原长 L 可由米尺测量, 横截面积 S 可通过用螺旋测微计测量金属丝直径 d 求出. 外力 F 可由数字压力计上显示质量 m 求出. 即 $F = mg$, 则有 $E = \frac{F}{\sigma \varepsilon} = \frac{mg}{\frac{F \Delta L}{S L}} = \frac{mgL}{S \Delta L}$. 因此测量金属丝在外力 F 作用下的微小长度变化 ΔL (通常为 mm 级) 即可求得杨氏模量.

2. 光杠杆光学放大原理: 光杠杆由反射镜、反射镜转轴支架和与反射镜固定联动的动足等组成. D 为反射镜转轴与动足尖的水平距离, 称为光杠杆常数. H 是反射镜转轴与标尺的垂直距离. 开始时, 光杠杆的反射镜法线与水平方向成一夹角, 在望远镜中恰好能看到标尺刻度 X_1 的像. 当金属丝受力后, 产生微小伸长 ΔL , 动足尖下降, 从而带动反射镜转动相应的角度 θ . 根据光的反射定律可知, 在出射光线不变的情况下, 入射光线转动了 2θ , 此时在望远镜中看到标尺刻度为 X_2 .

实验中 $\Delta L \gg \Delta L$, 所以 2θ 会很小. $\Delta L \approx D \cdot \theta$, $\Delta X \approx H \cdot 2\theta$. 故有 $\Delta X = \frac{2H}{D} \cdot \Delta L$.

其中, $2H/D$ 称为光杠杆的放大倍数. 由于 $H \gg D$, 这样便能将一微小位移 ΔL 放大成较大的容易测量的位移 ΔX . 得到 $E = \frac{mgLH}{S D \Delta X}$.

由此, 可以通过测量式右边的右参量得到被测金属丝的杨氏模量



实验仪器

杨氏模量测定仪、钢卷尺、螺旋测微器、游标卡尺

实验步骤与数据记录

1. 调节实验架

(1) 实验前应保证上、下夹头的夹紧金属丝，防止金属丝在受力过程中与夹头发生相对滑动，且反射镜转动灵活。

(2) 打开数字拉力计电源开关，预热 10min，背光源应被点亮，刻度标尺清晰可见，数字拉力计面板上显示此时加到金属丝上的力。

(3) 旋转光杠杆上的小型测微器的微分筒，使得 D 为设定值，旋转放大螺母给金属丝施加一定的预拉力 m_0 ($3.00\text{kg} \pm 0.02\text{kg}$)，将金属丝原平放在毫米刻度尺上拉直。

2. 调节望远镜

(1) 望远镜不对实验架平板，调节望远镜，使其从目镜中能看到背光源发出的明亮黄光。

(2) 调节目镜调焦手轮，使十字线清晰，调节物镜调焦手轮，使得视场中的像清晰。

(3) 调节微调按钮，使十字线与被尺上任一刻度线 ($0 \sim 2.00\text{m}$) 对齐。

3. 数据测量 (L, H, D)

(1) 金属丝原长 L ，反射镜转轴到标尺的垂直距离 H ，光杠杆常数 D 。单位: mm

L	H	D
738 mm	200 mm	$28.70\text{ mm} \times 5.000\text{ mm}$

(2) 金属丝直径 d ，并取平均值。单位: mm

测量次数	1	2	3	4	5	6
d	0.640	0.634	0.662	0.630	0.632	0.642

(3) 测量 Δx

测量钢丝伸长量与砝码质量增量的关系

测量次数	1	2	3	4	5	6
M/kg	0	1	2	3	4	5
x_0^+/ mm	0	5.0	9.2	13.1	18.1	22.5
x_0^- / mm	0	4.9	9.1	13.2	18.3	22.0
\bar{x} / mm	0	4.95	9.15	13.15	18.2	22.25

(4) 计算金属丝杨氏模量，并与标准值比较计算相对误差。

实验数据处理

钢丝直径的平均值： $\bar{d} = (d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6) / 6$

$$= (0.640 + 0.634 + 0.662 + 0.630 + 0.663 + 0.642) / 6 \text{ mm}$$

$$= 0.645 \text{ mm}$$

计算同一负荷下读数的平均值：

$$\textcircled{1} \bar{x}_0 = (x_0^+ + x_0^-) / 2 = 0 \text{ mm}$$

$$\textcircled{2} \bar{x}_1 = (x_1^+ + x_1^-) / 2 = (5 \text{ mm} + 4.9 \text{ mm}) / 2 = 4.95 \text{ mm}$$

$$\textcircled{3} \bar{x}_2 = (x_2^+ + x_2^-) / 2 = (9.2 \text{ mm} + 9.1 \text{ mm}) / 2 = 9.15 \text{ mm}$$

$$\textcircled{4} \bar{x}_3 = (x_3^+ + x_3^-) / 2 = (13.1 \text{ mm} + 13.2 \text{ mm}) / 2 = 13.15 \text{ mm}$$

$$\textcircled{5} \bar{x}_4 = (x_4^+ + x_4^-) / 2 = (18.1 \text{ mm} + 18.3 \text{ mm}) / 2 = 18.2 \text{ mm}$$

$$\textcircled{6} \bar{x}_5 = (x_5^+ + x_5^-) / 2 = (22.5 \text{ mm} + 22.0 \text{ mm}) / 2 = 22.25 \text{ mm}$$

利用逐差法求出 Δx ： $\Delta x = [(\bar{x}_3 + \bar{x}_4 + \bar{x}_5) - (\bar{x}_0 + \bar{x}_1 + \bar{x}_2)] / 3^2 \approx 4.39 \text{ mm}$

计算杨氏模量： $E = \frac{8mgLH}{\pi d^3 \Delta x}$ (其中 $m=1\text{kg}$, $g=9.8\text{N/s}^2$)

$$= \frac{8 \times 1\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2 \times 738\text{mm} \times 10^{-3} \times 700\text{mm} \times 10^{-3}}{3.14 \times (0.645\text{mm} \times 10^{-3})^3 \times 4.39\text{mm} \times 10^{-3}}$$

$$\approx 2.06 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

相对误差： $\delta = \left| \frac{\Delta E}{E_{\text{标}}} \right| \times 100\% \approx \left| \frac{2.0 \times 10^{11} \text{ N/m}^2 - 2.06 \times 10^{11} \text{ N/m}^2}{2.0 \times 10^{11} \text{ N/m}^2} \right| \times 100\% = 3\%$

实验结论

- ① 对用拉伸法测金属丝的杨氏模量有了更深入的了解。
- ② 基本掌握了光杠杆法测量微小伸长量的原理和方法。
- ③ 学会了可以用逐差法处理实验数据。
- ④ 深入了解了游标卡尺和螺旋测微器的使用方法。

实验讨论

1. 误差分析:

- ① 平面镜与望远镜必须共轴。拧紧光杠杆平面镜的四个固定螺丝, 避免平面镜自由转动, 否则会引起一定的误差。同时调节光杠杆的臂长, 并使光杠杆镜面法线与望远镜在同一水平面上。
- ② 钢卷尺在测量金属丝的原长和反射镜转轴到标尺的垂直距离的时候会弯曲, 造成测量的值偏大。
- ③ 从望远镜中看到的标尺刻度线无法与十字线完全平行, 导致测量的长度偏大。
- ④ 测量金属丝直径时, 由于存在有圆形, 取测出的直径存在系统误差和随机误差。

2. 注意事项:

- ① 加力切忌超过实验规定的最大加力值。
- ② 严禁改变限位螺母位置, 避免最大拉力限制功能失效。
- ③ 注意保护平面镜和光学镜, 禁止用手触摸。

3. 实验改进:

- ① 在望远镜的镜身轴的高度装一水平指针, 从而可以在标尺上标出转轴位置。这样, 在调节望远镜时, 只要往上调俯仰螺丝, 使指针与水平叉丝重合即可。
- ② 实验时将水准仪放置在平台上, 用来判断仪器是否水平。
- ③ 采用百分表直接测量钢丝的伸长量。
- ④ 可尝试用第一级透光器取代望远镜, 调节时无需从望远镜中寻找标尺的像, 只需一块接收屏来接收从镜面反射来的光, 根据反射光点的位置很快便可调好实验装置。

思考题

1) 本实验中杨氏模量的测量公式成立的条件是什么?

① 不超过弹性限度.

② θ 很小, 即 $\Delta L \approx D \cdot \theta$, $\Delta x \approx H \cdot 2\theta$, $D \gg \Delta L$, $H \gg D$.

③ 标尺保持竖直, 望远镜保持水平.

2) 影响实验结果的因素有哪些? 为什么要采用加力与减力两次读数取平均?

影响实验结果的因素: ① 用游标卡尺和螺旋测微器读数时易产生误差.

② 光棒、望远镜和标尺所构成的光学系统调节好后发生了移动.

③ 使用的钢丝发生了弯曲.

采用加力与减力两次读数取平均的原因:

① 钢丝一般会有些弯曲, 开始放砝码时, 会慢慢将弯曲拉直.

② 增减施力时, 钢丝夹具和平正的摩擦力方向不同.

3) 质量的增加或减少拉力时金属丝长度的变化也应接近于质量, 为什么?

因为在实验过程中力的施加依旧在金属丝的弹性范围内.

4) 利用已经学过的知识, 设计其他的测量微小长度或微小长度变化的方法.

① 干涉法: 利用光的干涉现象. 通过移动迈克尔逊干涉仪上的测微装置, 数观察屏视场中干涉条纹中心缩进或冒出圆环个数即可计算微小变化.

② 衍射法: 利用光的衍射现象. 通过先测量衍射条纹的间距, 再根据衍射条纹的间距与缝宽之间的关系测出微小长度变化量的.

原始记录

单位 = mm

L	H	D
238 mm	300 mm	28.7 mm + 0.5 mm

(继续)

测试钢丝直径 d (mm)

测试次数	1	2	3	4	5	6
d	0.640	0.634	0.662	0.630	0.652	0.632
\bar{d}	0.645					

测试钢丝伸长量与砝码质量增加关系

测试次数	1	2	3	4	5	6
M _i / kg	0	1	2	3	4	5
x _i ⁺ / mm	0	5.0	9.2	14.1	18.1	22.5
x _i ⁻ / mm	0	4.9	9.1	13.2	18.3	22.0
\bar{x} / mm	0	8.95	9.15	13.15	18.2	22.25
σ_x / mm						

23 h-24