



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

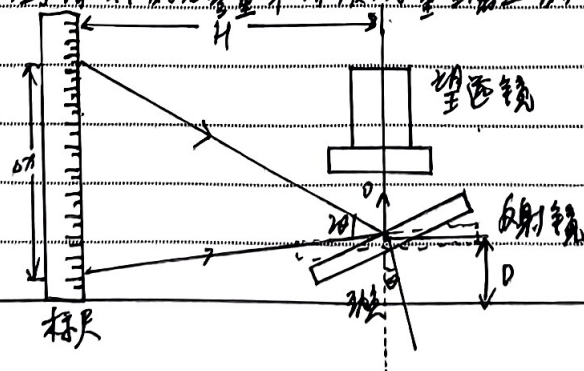
(1) 杨氏模量的定义: 设金属丝的原长为  $L$ , 横截面积为  $S$ , 沿长度方向施力  $F$ , 其长度改变  $\Delta L$ , 则金属丝单位面积上受到的垂直作用力  $\sigma = F/S$  称为应力, 金属丝的相对伸长量  $\epsilon = \Delta L/L$  称为线应变。则由胡克定律可知, 在金属丝的弹性范围内, 物体的应力与线应变成正比, 即  $\sigma = E \cdot \epsilon$ , 则有  $\frac{F}{S} = E \frac{\Delta L}{L}$ , 比例系数  $E$  为金属丝的杨氏模量, 它表征材料本身的性质,  $E$  越大的材料,  $E$  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越大。实验中金属丝原长  $L$  可由尺测量, 横截面积  $S$  可通过螺旋测微计测量求出金属丝直径  $d$ , 外力  $F$  由数字拉力计上显示的质量  $m$ , 即  $F = mg$ , 则有  $E = \frac{F}{S \epsilon} = \frac{4mgL}{\pi d^2 \Delta L}$ , 因此测量出金属丝在外力  $F$  作用下的微小长度变化  $\Delta L$  (mm) 即可求得其杨氏模量。

(2) 光杠杆标尺光学放大原理: 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,  $D$  为反射镜转轴到标尺的水平距离称为光杠杆常数,  $H$  是反射镜转轴到标尺的垂直距离。开始时, 光杠杆的反射镜法线外平方向成一夹角, 在望远镜中恰好能看到标尺刻度的像, 当金属丝受力后, 产生微小伸长  $\Delta L$ , 动足下降, 从而带动反射镜转动相应角度  $\theta$ , 根据光的反射定律可知在出射光线不变的情况下, 入射光线需转动  $2\theta$ , 此时在望远镜中看到标尺。

实验中  $D \gg \Delta L$ , 所以  $\theta$  甚至  $2\theta$  会很小,  $\Delta L \approx D\theta$ ,  $\Delta x \approx 2H\theta$ , 故有  $\Delta x = \frac{2H}{D} \Delta L$

其中  $2H/D$  称作光杠杆的放大倍数, 由于  $H \gg D$ , 这样便能将一个微小位移  $\Delta L$  放大成较大的容易测量的位移  $\Delta x$ , 得到  $E = \frac{8mgLH}{\pi d^2 D \Delta x}$

由此可以测得各种各样的量求得被测量金属丝的杨氏模量。



## 实验仪器

杨氏模量测定仪, 钢卷尺, 螺旋测微器, 游标卡尺, 计算机

## 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夹紧金属丝, 防止金属丝在受力过程中与夹头发生相对位移, 且反射镜转动灵活。

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

(3) 转动光杠杆上的小型测微器的微动筒, 使得  $D$  为设定值, 旋转螺母给金属丝施加一定的预拉力  $M_0$  ( $3.0 \pm 0.02$ ) 将金属丝原本存在弯折的地方拉直。

### 2. 调节望远镜

(1) 调节望远镜, 使其从目镜中能看见背光源发出的明亮黄光。

(2) 调节目镜调焦轮, 使十字线清晰可见, 调节物镜调焦轮, 使得视野中的像清晰。

(3) 转动调焦旋钮, 使十字线对准尺上零刻度线对齐。

### 3. 数据测量 (LMD)

(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

| $L$  | $D$     | $H$  |
|------|---------|------|
| 1000 | 111.6.2 | 74.3 |

(2) 金属丝直径  $d$ , 并求平均值。

| 测量次数 | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | $\bar{d}$ |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| $d$  | 0.295 | 0.305 | 0.301 | 0.302 | 0.300 | 0.297 | 0.300     |

(3) 测量  $\Delta x$

| 测量次数          | 1 | 2    | 3     | 4    | 5    | 6    |                              |
|---------------|---|------|-------|------|------|------|------------------------------|
| 砝码质量/kg       | 0 | 0.5  | 1.0   | 1.5  | 2.0  | 2.5  |                              |
| $x_0$ /mm     | 0 | 10.1 | 20    | 30.1 | 40   | 50   |                              |
| $x_i$ /mm     | 0 | 9.9  | 20.1  | 29.7 | 39.8 | 49.6 |                              |
| $\bar{x}$ /mm | 0 | 10   | 20.05 | 29.9 | 39.9 | 49.8 | $\Delta x = 9.95 \text{ mm}$ |

(4) 计算金属丝杨氏模量, 并计算值计算相对误差



## 实验数据处理

(1) 金属丝直径的平均值  $\bar{d} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 d_i = \frac{1}{6} (d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6)$

$$= \frac{1}{6} (0.295 + 0.305 + 0.301 + 0.302 + 0.300 + 0.297)$$
$$= 0.300 \text{ (mm)}$$

(2) 同一拉力下的平均值

①  $\bar{x}_1 = (x_1^+ + x_1^-) / 2 = 0 \text{ (mm)}$

④  $\bar{x}_4 = (x_4^+ + x_4^-) / 2 = (30.1 + 29.1) / 2$

②  $\bar{x}_2 = (x_2^+ + x_2^-) / 2 = (10.1 + 9.9) / 2$

$$= 29.9 \text{ (mm)}$$

$$= 10 \text{ (mm)}$$

⑤  $\bar{x}_5 = (x_5^+ + x_5^-) / 2 = (40 + 39.8) / 2$

③  $\bar{x}_3 = (x_3^+ + x_3^-) / 2 = (20 + 20.1) / 2$

$$= 39.9 \text{ (mm)}$$

$$= 20.05 \text{ (mm)}$$

⑥  $\bar{x}_6 = (x_6^+ + x_6^-) / 2 = (50 + 49.6) / 2$

$$= 49.8 \text{ (mm)}$$

用逐差法求出  $\Delta x$ .  $\Delta x = [(\bar{x}_4 + \bar{x}_5 + \bar{x}_6) - (\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3)] / 3^2$

$$= (119.6 - 30.05) / 9$$
$$= 9.95 \text{ (mm)}$$

(3) 计算杨氏模量:  $E = \frac{8mgLH}{\pi d^2 \Delta x} = \frac{8 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.5 \times 9 \times 1000 \times 10^{-3} \text{ m} \times 1116.2 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.14 \times (3 \times 10^{-4} \text{ m})^2 \times (7.42 \times 10^{-2}) \text{ m} \times 9.95 \times 10^{-3}}$

$$\approx 2.09 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

相对误差:  $\delta = \left| \frac{\Delta E}{E_{\text{标}}} \right| \times 100\% = \left| \frac{2.0 \times 10^{11} - 2.09 \times 10^{11}}{2.0 \times 10^{11}} \right| \times 100\%$

$$= 4.5\%$$

## 实验结论

- ① 对用拉伸法测金属丝的杨氏模量有更深入的了解。
- ② 基本掌握了光杠杆法测量微小伸长量的原理和方法。
- ③ 学会了使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两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始长度和反射镜转轴到标尺尺的垂直距离的时候会弯曲造成测量值偏大。
- 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,由于存在杆有圆形,故测出的直径存在系统误差和随机误差。

### 2. 实验注意事项

- ① 加力不能超过实验规定的最大力值。
- ② 严禁改变限位螺丝位置,以避免最大<sup>拉力</sup>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. 本实验改进

- ① 采用百分表直接测量金属丝的伸长量。
- ② 实验时将水准仪放置在平台上,判断仪器是否水平。
- ③ 可选择某一合适光源代替望远镜,只需一块接收屏来接收从平面镜反射的光,根据反射光点的位置便可很快调好实验装置。

### 4. 其他方法:

- ① 振动法 ② 内耗法 ③ 梁弯曲法

## 思考题

(1) 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 丝很细, 即  $\Delta \approx D/2$ ,  $\alpha \approx H/2L$   $D \gg \Delta L$ ,  $H \gg D$

③ 竖尺保持竖直, 望远镜保持水平.

(2) 影响实验结果的因素有哪些? 为什么要用加力和减力两次读数取平均值?

影响因素: ① 用游标卡尺和螺旋测微器读数时易产生误差.

② 在材料, 望远镜, 标尺所构成的光学系统调好后又发生了移动.

③ 使用的金属丝受到弯曲.

取平均值的理由: ① 金属丝表面通常有一些弯曲, 开始放砝码时, 会慢慢变拉直.

② 增减砝码时, 金属丝夹具和平面的摩擦方向不同.

(3) 等量的增加或减少拉力时金属丝长度度的变化也应当等量, 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量的方法

① 干涉法: 利用光的干涉现象, 通过转动迈克尔逊干涉仪上的测微装置, 数出观察屏中干涉条纹中心条纹或置出的圆环个数即可计算出微小变化.

② 衍射法: 利用光的衍射, 测出测量衍射条纹的间距, 再根据衍射条纹的间距与波长之间的关系测出微小长度变化.



原始记录 姚志鑫 12107980106

$L/mm$

$H/mm$

$D/mm$

10000

116.62

14.3

测量次数

1

2

3

4

5

6

$d/mm$

0.295

0.305

0.301

0.302

0.300

0.297

测量次数

1

2

3

4

5

6

砝码质量/kg

0

0.5

1.0

1.5

2.0

2.5

$x_i/mm$

0

10.1

20.0

30.1

40.0

50.0

$\bar{x}/mm$

0

9.9

20.1

29.7

39.8

49.6

$\bar{x}/mm$

0

$\sigma x/mm$