

## 实验题目 金属丝杨氏弹性模量的测定——微小长度变化的测量

学号: \_\_\_\_\_

姓名: \_\_\_\_\_

班级: \_\_\_\_\_

成绩: \_\_\_\_\_

同组人: \_\_\_\_\_

实验日期: \_\_\_\_\_

2 日 11

教师签名: \_\_\_\_\_

## 一、实验目的与要求

- ① 掌握“光杠杆镜尺法”测量微小长度变化的原理和正确的调整使用方法。
- ② 学会用拉伸法静态测量金属丝的杨氏弹性模量,了解其他测定的方法。
- ③ 掌握用“逐差法”处理数据的方法,间接测量不确定度的计算等。

## 二、实验仪器

杨氏模量仪、望远镜、光杠杆、千分尺、米尺等。

## 三、实验原理(用自己语言组织)

设钢丝原长为  $L$ , 横截面为  $S$ , 沿长度方向施力后, 其长度改变  $\Delta L$ 。  
则在弹性范围内由胡克定律有:

$$\frac{F}{S} = Y \frac{\Delta L}{L}, \text{ 即 } Y = \frac{FL}{S\Delta L}, Y \text{ 为杨氏弹性模量。}$$

测得  $F, L, S, \Delta L$  即可求  $Y$ 。

用光杠杆放大原理测量  $\Delta L$ 。

金属丝伸长导致光杠杆后足尖随之下降, 从而导致平面镜转动, 反射线也发生偏转。

设金属丝伸长  $\Delta L$ , 平面镜转动角  $\alpha$ , 反射线对应刻度值为  $x_i$ 。

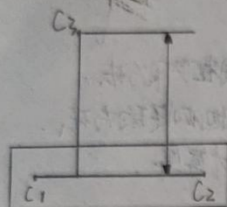
$$\text{则有 } \tan 2\alpha \approx \frac{|x_i - x_0|}{B}, \tan \alpha = \frac{\Delta L}{b} \quad B \text{ 为光杠杆镜到标尺垂直}$$

因为  $\Delta L \ll b$ ,  $\alpha$  角很小

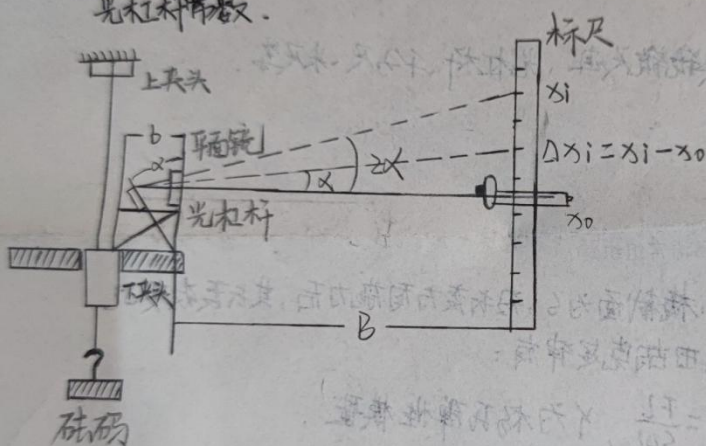
2021.9.6 16:47

所以近似有  $\tan 2\alpha \approx 2\alpha$ ,  $\tan \alpha \approx \alpha$

$$\text{可得 } \Delta L = \frac{b \Delta x_i}{2B} = \frac{b |x_i - x_0|}{2B}$$



光杠杆常数



3. 测量: ①加砝码。先加一砝码使钢丝伸直, 不计入砝码下, 量尺读数为  $x_0$ , 记入表中, 然后逐个加砝码, 每加一次砝码, 记录标尺读数  $x_i$ , 加至  $x_7$  后再减砝码, 不再记录读数, 将此砝码取下后将标尺读数记入减重位置, 然后依次加砝码, 记录数据。②单独测量钢丝原长  $L$ 。③用千分尺多次测量钢丝直径。④测量标尺与光杠杆的距离  $B$ 。⑤测量杠杆常数  $b$ 。



## 四、实验内容与步骤

1. 标尺读数误差的调查: ①调节标尺使与仪器底座上的两垂直线平行, 使标尺和细钢丝垂直, 使标尺与平台圆孔同轴, 使平台水平。②将光杆灯放在平台上, 标尺是放在前面前槽中, 后足放在标尺下正头圆柱壁上为位置, 不能与钢丝接触, 不要靠着圆孔边也不要放在平台中。

2. 光杆及望远镜尺组的调整: ①将望远镜放在离光杆端面1.5~2.0mm处, 并使两者处在同一高度, 调整光杆端面与平台垂直, 望远镜水平放置并与标尺垂直, 望远镜在水平对准平面镜中部。②望远镜调整步骤如下: a. 移动标尺架, 微调平面镜的仰角及改变望远镜的焦距, 通过望远镜筒上的缺口及准星看平面镜中观察, 直到能看见标尺的像。b. 调整目镜焦距至能看清镜中叉丝的像。c. 微调望远镜右侧物镜调焦旋钮, 目的是在望远镜中看见清晰的标尺像, 调整过程中会先看到平面镜的像, 此像应全部进入望远镜视场中, 若非如此, 应先调整望远镜的仰角或移动整个镜架, 将平面镜的像调整到望远镜视场正中, 然后再调整物镜焦距直至能看清清晰的标尺像。d. 消除视差, 眼睛在目镜处做上下移动, 如果叉丝的像与标尺线的像出现相对位移, 重新调整目镜和物镜, 直至消除视差为止。

(见P206)

## 五、数据记录(数据表格自拟)

小测易  $x_i, x_{i+4}$  及  $\Delta x_i$ (量具名称: 米标尺, 分度值为1mm,  $\Delta x = 1\text{mm}$ )

| 次数   | 负重<br>$m_i$<br>/kg | 镜中读数<br>$x_i/\text{mm}$ |      |      | 次数 | 负重<br>$m_{i+4}$<br>/kg | 镜中读数<br>$x_{i+4}/\text{mm}$ |      |      | 标尺读数变化量<br>$\Delta x_i = x_{i+4} - x_i$<br>/mm |
|--|--------------------|-------------------------|------|------|----|------------------------|-----------------------------|------|------|--|
|  |                    | 加重                      | 减重   | 平均   |    |                        | 加重                          | 减重   | 平均   |  |
| 0  | 0.000              | 10.0                    | 10.2 | 10.1 | 4  | 4.000                  | 54.0                        | 54.9 | 54.5 | 44.4   |
| 1  | 1.000              | 21.1                    | 22.0 | 21.6 | 5  | 5.000                  | 65.1                        | 65.5 | 65.3 | 43.7   |
| 2  | 2.000              | 32.1                    | 32.8 | 32.5 | 6  | 6.000                  | 75.0                        | 75.1 | 75.1 | 43.6   |
| 3  | 3.000              | 43.4                    | 44.0 | 43.7 | 7  | 7.000                  | 86.9                        | 87.0 | 86.9 | 43.2   |
| 外力变化量 $F = mg = 4 \times 9.8 \text{N}$ 时, 标尺读数变化平均值 $\Delta \bar{x}_i$ /mm |                    |                         |      |      |    |                        |                             |      |      | 43.7   |

## 2. 单刃刀量规 L, B, b

(米尺  $\Delta_L = 5\text{mm}$ ,  $\Delta_B = 5\text{mm}$ ,  $\Delta b = 1\text{mm}$ ) 大学物理实验指导

| 物理名称 | 测量数据   | 给定测量极限 $\Delta/\text{mm}$ | 允差 $\sigma_{\Delta}/\text{mm}$ |
|------|--------|---------------------------|--------------------------------|
| L/mm | 990.0  | 5                         | 3                              |
| B/mm | 1390.0 | 5                         | 3                              |
| b/mm | 75.0   | 1                         | 0.6                            |

## 3. 记录多次测量值并求平均值 $\bar{d}$

| 物理名称   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6      | 平均值/mm |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 测量值 $d_i/\text{mm}$                                      | 0.479 | 0.489 | 0.469 | 0.465 | 0.476 | 0.485  | 0.476  |
| 修正值 $\Delta d_i/\text{mm}$                               | 0.010 | 0.008 | 0.008 | 0.002 | 0.010 | -0.008 | -0.008 |
| 修正后 $d_i/\text{mm}$                                      | 0.489 | 0.489 | 0.477 | 0.467 | 0.486 | 0.493  | 0.484  |
| $\sigma_d = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (d_i - \bar{d})^2}$ |       |       |       |       |       |        |        |

六、数据处理 (要有详细过程, 包括不确定度计算等)

$$(1) L = \bar{L} \pm \sigma_{\bar{L}} = \frac{\bar{L}}{\sqrt{3}} = \frac{990.0}{\sqrt{3}} \text{ mm} = 3 \text{ mm} \quad E_L = \frac{\sigma_{\bar{L}}}{\bar{L}} \times 100\% = \frac{3}{990.0} \times 100\% = 0.3\%$$

$$\therefore L \pm \sigma_{\bar{L}} = (990.0 \pm 3.0) \text{ mm} \\ E_L = 0.3\%$$

$$(2) B = \bar{B} \pm \sigma_{\bar{B}} = \frac{\bar{B}}{\sqrt{3}} = \frac{1390.0}{\sqrt{3}} \text{ mm} = 3 \text{ mm} \quad E_B = \frac{\sigma_{\bar{B}}}{\bar{B}} \times 100\% = \frac{3}{1390.0} \times 100\% = 0.2\%$$

$$\therefore B \pm \sigma_{\bar{B}} = (1390.0 \pm 3.0) \text{ mm} \\ E_B = 0.2\%$$

$$(3) b = \bar{b} \pm \sigma_{\bar{b}} = \frac{\bar{b}}{\sqrt{3}} = \frac{75.0}{\sqrt{3}} \text{ mm} = 0.6 \text{ mm} \quad E_b = \frac{\sigma_{\bar{b}}}{\bar{b}} \times 100\% = \frac{0.6}{75.0} \times 100\% = 0.8\%$$

$$\therefore b \pm \sigma_{\bar{b}} = (75.0 \pm 0.6) \text{ mm} \\ E_b = 0.8\%$$

$$(4) d = \bar{d} \pm \sigma_{\bar{d}} = \frac{\bar{d}}{\sqrt{n}} \pm \sigma_{\bar{d}} = \frac{0.484}{\sqrt{6}} \pm \sigma_{\bar{d}} = 1.11 \times \sqrt{\frac{(0.489-0.484)^2 + (0.489-0.484)^2 + (0.477-0.484)^2 + (0.467-0.484)^2 + (0.486-0.484)^2 + (0.493-0.484)^2}{6 \times 5}} \\ = 0.004 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\bar{d}} = \frac{\sigma_d}{\sqrt{n}} = \frac{0.004}{\sqrt{6}} \text{ mm} = 0.002 \text{ mm} \quad \sigma_d = \sqrt{\sigma_{\bar{d}}^2 + \sigma_{\bar{B}}^2} = \sqrt{0.002^2 + 0.002^2} \text{ mm} = 0.004 \text{ mm}$$

$$E_d = \frac{\sigma_d}{\bar{d}} \times 100\% = \frac{0.004}{0.484} \times 100\% = 0.8\%$$

$$\therefore d = \bar{d} \pm \sigma_{\bar{d}} = (0.484 \pm 0.004) \text{ mm} \\ E_d = 0.8\%$$

河北工业大学物理实验中心网址: <http://wlzx.hebut.edu.cn>

网上选课地址: <http://202.113.124.190>

2021.9.6 16:47



$$\sigma_{\Delta x} = \pm p \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i - \bar{\Delta x})^2}{n(n-1)}} = 1.20 \times \sqrt{\frac{(44.4-43.7)^2 + (43.7-43.7)^2 + (43.6-43.7)^2 + (43.2-43.7)^2}{4 \times 3}} \text{ mm} = 0.3 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\Delta x} = \frac{\Delta x}{\bar{\Delta x}} = \frac{1}{43.7} \text{ mm} = 0.6 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\Delta x} = \sqrt{\sigma_{\Delta x}^2 + \sigma_{\Delta x}^2} = \sqrt{0.3^2 + 0.6^2} \text{ mm} = 0.7 \text{ mm}$$

$$E_{\Delta x} = \frac{\sigma_{\Delta x}}{\bar{\Delta x}} \times 100\% = \frac{0.7}{43.7} \times 100\% = 1.6\%$$

$$\therefore \Delta x = \bar{\Delta x} \pm \sigma_{\Delta x} = (43.7 \pm 0.7) \text{ mm}$$

$$E_{\Delta x} = 1.6\%$$

$$(6) \bar{\gamma} = \frac{8mgL\beta}{\pi a^2 b \Delta x} = \frac{8 \times 4 \times 9.8 \times 0.99 \times 1.39}{3.14 \times (0.48 \times 10^{-3})^2 \times 0.075 \times 0.0437} \text{ N/m}^2 = 1.80 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

$$E_{\gamma} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \beta}{\beta}\right)^2 + \left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \Delta x}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2} \times 100\%$$

$$= \sqrt{\left(\frac{3}{990}\right)^2 + \left(\frac{3}{1390}\right)^2 + \left(\frac{0.6}{750}\right)^2 + \left(2 \times \frac{0.004}{0.484}\right)^2 + \left(\frac{0.7}{43.7}\right)^2 + \left(\frac{0.002}{4}\right)^2} \times 100\%$$

$$= 0.04 \times 10^{11} \text{ N/m}^2 = 2\%$$

$$\sigma_{\gamma} = E_{\gamma} \cdot \bar{\gamma} = 2\% \times 1.80 \times 10^{11} \text{ N/m}^2 = 0.04 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

$$\therefore \gamma = \bar{\gamma} \pm \sigma_{\gamma} = (1.80 \pm 0.04) \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

$$E_{\gamma} = \frac{\sigma_{\gamma}}{\bar{\gamma}} \times 100\% = 2\%$$

## 七、实验分析

- ①一旦开始测量,实验中绝对不能再对系统作一部分进行调整。
- ②加载砝码时轻轻放,并待系统稳定后再读数。
- ③不要用手触摸镜面。
- ④实验完成后,应将砝码取下,防止钢丝疲劳。
- ⑤金属丝的杨氏弹性系数只与材料有关,与材料的粗细长度无关。

## 思考题与思维拓展:

- ①实验中,不同长度的参量为什么选用不同的量取仪器来测量?  
因为不同参量的长度相差较多,测量长度大的参量用精度较低的量具,测量长度小的参量用精度较高的量具以减小误差。
- ②杨氏模量是如何定义的?  
描述固体材料抵抗形变能力的物理量叫杨氏模量。
- ③光杠杆放大倍数与哪些物理量有关?如何计算?  
放大倍数  $\beta = \frac{\Delta L}{\Delta b}$ , 其中  
 $L$  为光杠杆镜面到标尺之间的垂直距离。  
 $b$  为光杠杆常数,即尺尖到后足尖的垂直距离。





# 河北工业大学

HEBEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

2017.4.4  
地点: 2017.4.4

| 绝对误差 $\Delta x_i / \text{mm}$ |       |      |      | 相对误差 $\Delta x_i / x_i$ |       |      |      | $\Delta x_i$ |
|-------------------------------|-------|------|------|-------------------------|-------|------|------|--------------|
| 次数                            | 加值    | 减值   | 平均   | 次数                      | 加值    | 减值   | 平均   |              |
| 1                             | 0.000 | 10.0 | 10.1 | 4                       | 4.000 | 54.0 | 54.5 | 0.44         |
| 2                             | 1.000 | 22.0 | 21.6 | 5                       | 5.000 | 65.1 | 65.3 | 0.37         |
| 3                             | 2.000 | 32.1 | 32.8 | 6                       | 6.000 | 75.0 | 75.1 | 0.36         |
| 4                             | 3.000 | 43.4 | 44.0 | 7                       | 7.000 | 86.9 | 87.0 | 0.32         |

外力变化  $F = mg = 4 \times 9.8 \text{ N}$  时, 标尺读数变化的平均值  $\Delta x / \text{mm}$  0.37

| 项目   | 单位    | 给定误差 $\Delta / \text{mm}$ | 计算误差 $\Delta = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} / \text{mm}$ |
|------|-------|---------------------------|---|
| L/mm | 99.0  | 5                         | 3   |
| B/mm | 139.0 | 5                         | 3   |
| b/mm | 75.0  | 1                         | 0.6   |

| 次数                     | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 平均值/mm |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 直接读数 $d_i / \text{mm}$ | 0.479  | 0.481  | 0.469  | 0.465  | 0.475  | 0.485  | 0.476  |
| 修正读数 $d_0 / \text{mm}$ | -0.010 | -0.008 | -0.008 | -0.002 | -0.010 | -0.008 | -0.008 |
| 修正后 $d_i / \text{mm}$  | 0.489  | 0.489  | 0.477  | 0.467  | 0.485  | 0.493  | 0.484  |

千分尺编号: 00000315 量程: 25 (mm) 分辨率: 0.01

2021.9.6 16:48