

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、班级：_____ 2021.9.6

教师签名：_____

9.5

一、实验目的与要求

- ①掌握“光杠杆放大法”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，在长度方向施力后，其长度变短ΔL
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、ΔL 那可求 Y。

用光杠杆原理测量 ΔL

金属丝伸长导致光杠杆后尺尖随之下降，进而导致平面镜转动，反射线也发生偏转。

设金属丝伸长 ΔL，平面镜转过角度 α，反射线对应刻度值为 x_i

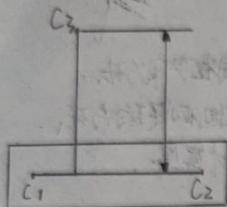
$$\text{则有 } \tan 2\alpha = \frac{|x_i - x_0|}{B}, \tan \alpha = \frac{\Delta L}{B} \quad B \text{ 为光杠杆镜到标尺垂直距离}$$

因为 $\Delta L \ll b$, α 角很小

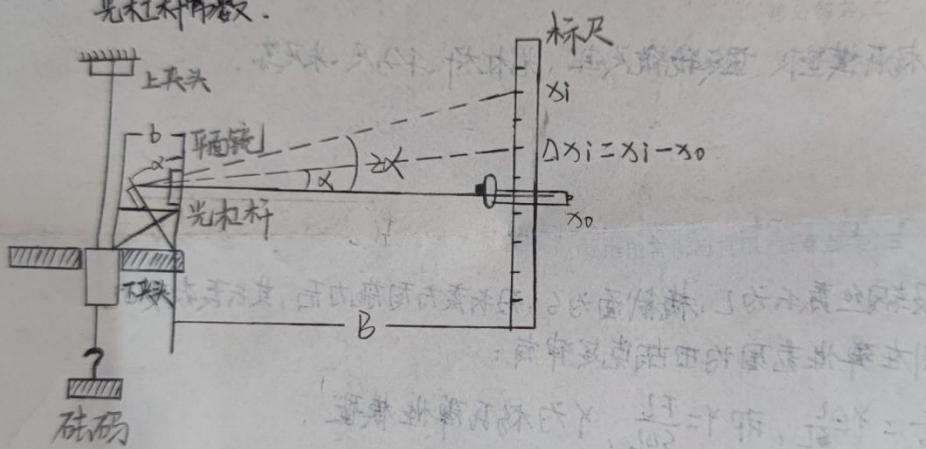
2021.9.6 16:47

所以仍有 $\tan 2\alpha \approx 2x$, $\tan \alpha = x$

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



光杠杆常数.



3. 测量: ① 加减砝码。先加一砝码使钢丝绷直, 不计入作用力下, 记录镜中标尺读数为 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 n 后再一个砝码, 不再记录读数, 将此砝码取下后将标尺读数记入小减重位置, 然后依次减砝码, 记录数据。② 单次测量钢丝原长 L 。③ 用千分尺多次测量钢丝直径 D 测量标尺与光杠杆的距离 B ④ 测量杠杆常数 k 。

2021.9.6 16:47

四、实验内容与步骤

1. 光学棱镜仪的调节：①调节棱镜仪三脚底座上的调整旋钮，使支架和粗钢丝平行，使底座与平行圆孔同心，使平台水平。②将光杆杠放在平台上，前脚尖尖放在前面的钢丝槽中，后脚尖放在钢丝下面的圆柱壁上适当位置，不能与钢丝接触，不要靠着圆孔边也不要放在正释中。

2. 光杠杆反射远镜尺组的调整：①将望远镜放在离光杠杆面1.5~2.0m处，并使两者处在同一高度，调整光杠杆面与平台面垂直，望远镜水平放置并与标尺垂直，望远镜应水平对准平面镜中央。②望远镜调整步骤如下：a. 移动标尺支架，微调平面镜的仰角及改变望远镜的倾角，通过望远镜筒上的缺口及准星平面镜中观察直到能看到标尺的底b. 调整目镜距离至能看到清晰而又丝滑像。c. 微调望远镜右侧物镜调焦旋钮，目的是在望远镜中看到清晰的标尺像，调整过程也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，应先调整望远镜倾角或移动整个镜支架，将平面镜的像调整到望远镜视场正中，然后再调整物镜距离直至能看到清晰的标尺像；d. 消除视差，眼睛在目镜处做上下移动，如果叉丝清晰与标尺线所显示的相对位移，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)

次数				质量			次数				质量			(量具分度值为1mm, $\Delta x=1mm$)	
质量 m kg				加重 减重 平均			质量 m _{i+4} kg				加重 减重 平均			标尺读数变化量 $\Delta x_i = x_{i+4} - x_i$ 1mm	
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	
外力变化量是 $F = mg = 4 \times 9.8 N$ 时, 标尺读数变化平均值 $\Delta x_i / 1mm$															
43.7															

2. 单次测量 L, B, b
(尺尺 $L = 5\text{mm}$, $B = 5\text{mm}$, $b = 1\text{mm}$)

单次测量值	绝对误差限	相对误差限	公差
1/mm	±0.01	±1%	1/mm
1/mm	±0.01	±1%	1/mm
1/mm	1	0.6	1/mm

3. 记录多次测得钢丝直径 d , 分度值 0.0000315 量程 $= 25 (\text{mm})$ 分度值 $= 0.01 (\text{mm})$ $\Delta d = 0.004 \text{ mm}$

次数	1	2	3	4	5	6	平均值/mm
直读读数 d_i / mm	0.479	0.481	0.479	0.475	0.475	0.475	0.476
零点读数 d_0 / mm	0.010	0.008	0.002	0.010	-0.008	-0.008	-0.008
累积误差 $\Delta d_i / \text{mm}$	0.489	0.489	0.477	0.467	0.485	0.493	0.484
$d_i = (d_i - d_0) \text{mm}$	0.489	0.489	0.477	0.467	0.485	0.493	0.484

六、数据处理 (要有详细过程, 包括不确定度计算等)

$$(1) L = \bar{L} \pm \sigma_{\bar{L}} = \frac{\sum L}{n} = \frac{5}{\sqrt{3}} \text{ mm} = 3 \text{ mm} \quad E_L = \frac{\sigma_{\bar{L}}}{\bar{L}} \times 100\% = \frac{3}{9.900} \times 100\% = 0.3\%$$

$$\therefore L \pm \sigma_L = (9.900 \pm 3.0) \text{ mm}$$

$$E_L = 0.3\%$$

$$(2) B = \bar{B} \pm \sigma_{\bar{B}} = \frac{\sum B}{n} = \frac{5}{\sqrt{3}} \text{ mm} = 3 \text{ mm} \quad E_B = \frac{\sigma_{\bar{B}} \times 100\%}{B} = \frac{3}{13.900} \times 100\% = 0.2\%$$

$$\therefore B \pm \sigma_B = (13.900 \pm 3.0) \text{ mm}$$

$$E_B = 0.2\%$$

$$(3) b = \bar{B} \pm \sigma_{\bar{B}} = \frac{\sum b}{n} = \frac{1}{\sqrt{3}} \text{ mm} = 0.6 \text{ mm} \quad E_b = \frac{\sigma_{\bar{B}}}{b} \times 100\% = \frac{0.6}{75.0} \times 100\% = 0.8\%$$

$$\therefore b \pm \sigma_b = (75.0 \pm 0.6) \text{ mm}$$

$$E_b = 0.8\%$$

$$(4) d = \bar{d} \pm \sigma_d = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n(n-1)}} = 1.11 \times \sqrt{\frac{(0.489 - 0.484)^2 + (0.489 - 0.484)^2 + (0.477 - 0.484)^2 + (0.477 - 0.484)^2 + (0.467 - 0.484)^2 + (0.467 - 0.484)^2}{6 \times 5}} = 0.004 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\bar{d}} = \frac{\sigma_d}{\sqrt{n}} = \frac{0.004}{\sqrt{3}} \text{ mm} = 0.002 \text{ mm} \quad \sigma_d = \sqrt{\sigma_{\bar{d}}^2 + \sigma_{\bar{B}}^2} = \sqrt{0.002^2 + 0.002^2} \text{ mm} = 0.004 \text{ mm}$$

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

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>

$$E_d = 0.8\%$$

2021.9.6 16:47

物理实验报告

$$\Delta x = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 1.37 \times \sqrt{\frac{(44.4 - 43.7)^2 + (43.7 - 43.7)^2 + (43.6 - 43.7)^2 + (43.2 - 43.7)^2}{4 \times 3}} \text{ mm} = 0.3 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\Delta x} = \frac{\Delta x}{\sqrt{n}} = \frac{0.3}{\sqrt{4}} \text{ mm} = 0.6 \text{ mm}$$

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

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

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

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

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

$$\frac{EY}{\bar{Y}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta g}{g}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \Delta x}{\Delta x}\right)^2} \times 100\% = \sqrt{\left(\frac{3}{990}\right)^2 + \left(\frac{3}{1390}\right)^2 + \left(\frac{0.6}{750}\right)^2 + \left(2 \times \frac{0.004}{0.484}\right)^2 + \left(\frac{0.7}{43.7}\right)^2 + \left(\frac{0.0003}{0.0437}\right)^2} \times 100\% = 2\%$$

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

~~$$EY = EY - \bar{Y} = 2\% \times 1.80 \times 10^{11} \text{ N/m}^2 = 0.04 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$~~

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

$$EY = \frac{EY}{Y} \times 100\% = 2\%$$

七、实验分析

- ①一旦开始测量，读数中绝对不能对系统的一部分进行调整。
- ②加载砝码时轻拿轻放，并使系统稳定后再读数据。
- 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金属丝的杨氏模量只与材料有关，与材料的粗细长度无关。

思考题与思维拓展：

①实验中，不同长度的多量为什么选用不同的量具及器来测量？
因为不同长度的多量相差较多，测量长度大的多量用精度较低的量具，测量长度小的多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？

$$\text{放大倍数 } \beta = \frac{2B}{b}, \text{ 其中}$$

B 为光杠杆镜面到标尺之间的垂直距离。

b 为光杠杆常数，指尖到后尺的垂直距离。



河北工业大学

HEBEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

张江海
2017.4

电气工程系

电测与仪表

序号	校重	校直尺读数/mm			次数	校重	校直尺读数/mm			Δx _i
		力值	减重	平均			力值	减重	平均	
0	0.000	10.0	10.0	10.0	4	4.000	54.0	54.9	54.5	0.4
1	1.000	21.0	21.0	21.0	5	5.000	65.1	65.5	65.3	0.7
2	2.000	32.0	32.0	32.0	6	6.000	75.0	75.1	75.1	0.6
3	3.000	43.0	44.0	43.7	7	7.000	86.9	87.0	86.9	0.7

外力变化是 $F=mg = 4 \times 9.8 \text{ N}$, 校直尺读数变化的平均值 $\Delta x/\text{mm}$ 0.7

项目	第一次测量值	给定直尺进尺限 Δ/mm	B 误差 $\Delta_B = \frac{\Delta}{\sqrt{3}}/\text{mm}$
L/mm	99.0	5	3
B/mm	139.0	5	3
b/mm	75.0	1	0.6

名次	1	2	3	4	5	6	平均值/mm.
直接读数 d_1/mm	0.479	0.481	0.489	0.465	0.475	0.485	0.476
总读数 d_0/mm	-0.010	-0.008	-0.008	-0.002	-0.010	-0.008	-0.008
点修正后 d_2/mm	0.489	0.489	0.477	0.467	0.485	0.493	0.484

千分尺偏移 = 0.0000315 量程 = 25 (mm) 分度值 = 0.01

2021.9.6 16:48