

班级信箱号: 34

# 天津大学物理实验报告

信息 学院 2013 年级 通信 专业 四 班 姓名 何青 成绩 9

实验日期: 2014.10.14 学号 3013204264 同组实验者 5

## 实验题目: 钢丝的杨氏模量

### 一. 实验目的

1. 理解杨氏模量的定义, 学会用静态拉伸法测量钢丝的杨氏模量。
2. 掌握用光杠杆测量微小长度变化的原理和方法。
3. 学会用逐差法和作图法处理实验数据。

### 二. 实验仪器

杨氏模量仪 (包括砝码组、光杠杆及望远镜—标尺装置)、螺旋测微器、钢卷尺。

### 三. 实验原理

#### 1. 杨氏模量

物体受力产生的形变, 去掉外力后能立刻恢复原状的称为弹性形变; 因受力过大或受力的时间过长, 去掉外力后不能恢复原状的称为塑性形变。

物体受单方向的拉力或压力, 产生纵向的伸长和缩短是最简单也是最基本的形变。设一物体长为  $L$ , 横截面积为  $S$ , 沿长度方向施力  $F$  后, 物体伸长 (或缩短) 了  $\Delta L$ ,  $\frac{F}{S}$  是单位面积上的作用力, 称为应力。  $\frac{\Delta L}{L}$  是相对变形量, 称为应变。在弹性形变范围内, 按照胡克定律, 物体内部的应力正比于应变, 其比值  $\frac{F/S}{\Delta L/L} = E$  称为杨氏模量。

$E$  与试样的长度  $L$ , 横截面积  $S$  以及施加的外力  $F$  的大小无关, 而只取决于试样的材料。从微观结构考虑, 杨氏模量是一个表征原子间结合力大小的物理量。

#### 2. 用静态拉伸法测金属丝的杨氏模量

使用杨氏模量仪, 在三角底座上装两根支柱, 支柱上端有横梁, 中部紧固一个平台, 构成

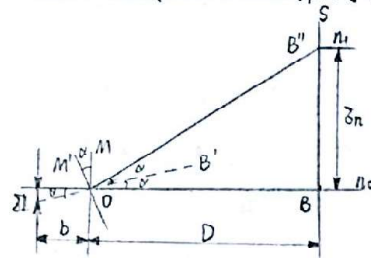
# 天津大学物理实验报告

附页 1

一个刚度极好的支架。整个支架受力后变形极小, 可以忽略。待测样品是一根粗细均匀的钢丝。钢丝上端用圆柱形卡头夹紧并固定在上横梁上, 钢丝下端用一个圆柱形卡头夹紧并穿过平台的中心孔, 使钢丝自由悬挂。通过调节三角底座螺丝, 使整个支架铅直。下卡头在平台的中心孔内, 其周围缝隙均匀而不与孔边摩擦。圆柱形卡头下方的挂钩上挂一个砝码盘, 当盘上逐次加上一定质量的砝码后, 钢丝就被拉伸。下卡头的上端面相对平台的下降量, 即是钢丝伸长量  $\Delta L$ 。钢丝的总长度是从上卡头的下端至下卡头的上端面之间的长度。钢丝的伸长量  $\Delta L$  是很微小的, 本实验采用光杠杆法测量。

### 3. 光杠杆

光杠杆是用放大的方法来测量微小长度 (或长度改变量) 的一种装置。由平面镜  $M$ 、水平放置的望远镜和竖直标尺组成。平面镜竖立在一个小三角支架上,  $O$  是其前足,  $K$  是其后足,  $K$  至  $OO'$  连线的垂直距离为  $b$  (相当于杠杆的短臂), 两前足放在杨氏模量仪的平台凹槽内, 后足置于待测钢丝下卡头的上端面上。当待测钢丝受拉力作用而伸长  $\Delta L$  时, 后足尖就随之下降  $\Delta L$ , 从而平面镜也随之倾斜一个角。在与平面镜相距  $D$  处 (约 1.2m) 放置测量望远镜和竖直标尺。如果望远镜水平对准竖直的望远镜, 并能在望远镜中看到平面镜反射的标尺像, 那么从望远镜的十字准线上可读出钢丝伸长前后的标尺读数  $n_0$  和  $n$ 。这样就可把微小的长度改变量  $\Delta L$  放大成相当可观的改变量  $\Delta n = n - n_0$ 。由图 1 可知, 平面镜倾斜  $\alpha$  角后, 望远镜视线  $OB$  也随之转动  $2\alpha$  角, 反射线将转动  $2\alpha$  角, 有



光杠杆原理

$\tan \alpha = \frac{\Delta L}{b}$ ,  $\tan 2\alpha = \frac{\Delta n}{D}$   
在  $\alpha$  很小的情况下,  $\tan \alpha \approx \alpha$ ,  $\tan 2\alpha \approx 2\alpha$ ,  
于是得到光杠杆放大倍数  $\frac{\Delta n}{\Delta L} = \frac{2D}{b}$ 。



# 天津大学物理实验报告

信息 学院 2013 年级 通信 专业 四 班 姓名 何青 成绩

实验日期: 2014.10.14 学号 2013204264 同组实验者

## 实验题目: 钢丝的杨氏模量

### 4. 静态拉伸法测量金属丝杨氏模量的实验公式

将钢丝的伸长量  $\Delta L = \frac{b \cdot \Delta n}{2D}$  以及拉力  $F = Mg$  ( $M$  为砝码质量), 钢丝的横截面积  $S = \frac{\pi d^2}{4}$  ( $d$  为钢丝直径) 代入式  $\frac{F/\Delta L}{S} = E$ , 得测量杨氏模量的实验公式  $E = \frac{8MgLD}{\pi d^2 b(n_i - n_0)}$

### 四. 实验步骤

1. 检查钢丝是否被上下卡头夹紧, 然后在圆柱形卡头下面的挂钩上挂上砝码盘, 将钢丝预紧.
2. 用水准器调节平台水平, 并观察钢丝下卡头在平台的通孔中的缝隙, 使之达到均匀, 以不发生摩擦为准.
3. 将光杠杆平面镜放置在平台上, 并使前足落在平台沟槽内, 后足尖压在圆柱形卡头上端面上, 同时调节光杠杆平面镜  $M$  处于铅直位置.
4. 将望远镜-标尺支架移到光杠杆平面镜前, 使望远镜光轴与平面镜等高, 然后移置离平面镜约 1m 处. 调节支架底部螺丝, 使标尺铅直并调节望远镜方位, 使镜筒水平对准平面镜.
5. 先用肉眼从望远镜外沿镜筒方向看平面镜中有没有标尺的反射像, 必要时可稍稍左右移动支架, 直至从镜筒外沿上方看到标尺的反射像.
6. 调节望远镜目镜, 使叉丝像清晰, 再调节物镜, 使标尺成像清晰并消除与叉丝像的视差. 如果此时的标尺读数与望远镜所在水平面的标尺位置  $n_0$  相差较大, 则需略微转动平面镜的倾角, 使准线对准  $n_0$ , 记下这一读数.

# 天津大学物理实验报告

附页 2

7. 逐次增加砝码 (每个 0.36 kg), 记录从望远镜中观察到的各相应的标尺读数  $n_i'$  (共 7 个砝码). 然后再逐次移去所加的砝码, 也记下相应的标尺读数  $n_i''$ . 将对应于同一  $F_i$  值的  $n_i'$  和  $n_i''$  求平均, 记为  $n_i$ . (加、减砝码时动作要轻, 不要使砝码盘摆动和上下振动).
8. 用钢卷尺测量平面镜到标尺之间的垂直距离和待测钢丝的原长. 从平台上取下平面镜支架, 放在纸上轻轻压出前后足尖的痕迹, 然后用细铅笔作两前足尖点的连线及后足到连线的垂线, 测出此垂线的长度  $b$ .
9. 用螺旋测微器测量钢丝不同位置 and 不同方向的直径, 测  $b$  次.

### 五. 数据处理

增减砝码时, 相应的镜尺读数

荷重/ × 0.36 kg	增量时的读 数 / cm	减量时的读数 / cm	两次读数平 均 $n_i$ / cm	$\bar{n}_i = \frac{n_i' + n_i''}{2}$ / cm	$(\bar{n}_i - \bar{n}_0)^2$ / cm <sup>2</sup>
0	4.18	4.20	4.19	0.225	$4 \times 10^{-6}$
1	3.92	3.95	3.935	0.2200	$9 \times 10^{-6}$
2	3.71	3.73	3.72		
3	3.49	3.51	3.50	0.2233	$9 \times 10^{-6}$
4	3.28	3.32	3.30		
5	3.01	3.10	3.055	0.2235	0
6	2.82	2.81	2.815	平均值 $\bar{n}_n = 0.2238$	$S_{\bar{n}_n} = 1.354 \times 10^{-3}$
7	2.60	2.62	2.61		

$$\Delta \bar{n}_n = 0.2 \text{ mm}, \quad U_B = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = 0.1155 \text{ mm}, \quad U_n = t_{0.98} \times S_{\bar{n}_n} = 1.09 \times 1.354 \times 10^{-3} = 0.0015$$

$$U_{\bar{n}_n} = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = 0.1155 \text{ mm}$$

$$\text{测量结果为 } \bar{n}_n = 0.2238 \pm 0.0116 \text{ (cm)}$$

$$U_n = \frac{U_{\bar{n}_n}}{\bar{n}_n} \times 100\% = 5.2\% \quad (p = 68.3\%)$$

# 天津大学物理实验报告

# 天津大学物理实验报告

附页 3

信息学院 2013 年级 通信 专业 四 班 姓名 何青 成绩

实验日期: 2014.10.14 学号 3013204264 同组实验者

实验题目: 钢丝的杨氏模量

钢丝直径  $d$  单位: mm

零点读数	-0.028					
$n$	1	2	3	4	5	6
直读数	0.283	0.288	0.280	0.286	0.274	0.279
$d$	0.311	0.316	0.308	0.314	0.302	0.307

$$\Delta d = 0.004 \text{ mm}, \quad \bar{d} = \frac{\sum d_i}{6} = 0.3077 \text{ mm}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{6-1}} = 2.0764 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$U_A = T_{\text{表}} \cdot S_d = 1.1 \times 0.0021 = 0.0023 \text{ mm}, \quad U_B = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = 0.0023 \text{ mm}$$

$$U_d = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = 0.0033 \text{ mm}$$

$\therefore d$  的测量结果:  $d = 0.3077 \pm 0.0033 \text{ mm}$

$$U_r = \frac{U_d}{\bar{d}} \times 100\% = 1.1\% \quad (p=68.3\%)$$

钢绳到标尺间的垂直距离  $D = 98.4 \text{ cm}$   $\Delta_D = 3 \text{ mm}$ ,  $U_D = 1.732 \text{ mm}$

钢丝原长  $L = 41.0 \text{ cm}$   $\Delta_L = 3 \text{ mm}$ ,  $U_L = 1.732 \text{ mm}$

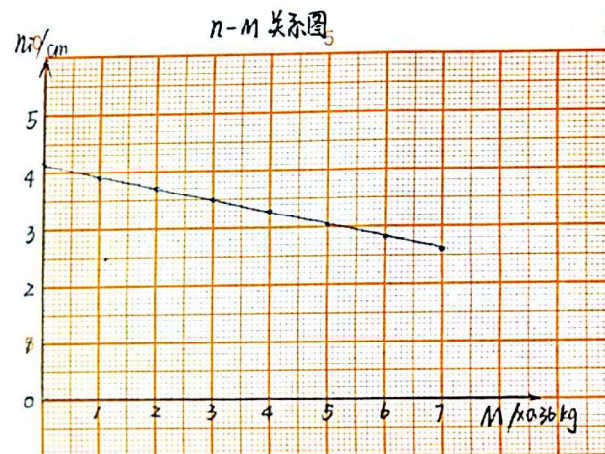
后足到前足连线的垂直距离  $b = 9.4 \text{ cm}$   $\Delta_b = 1 \text{ mm}$ ,  $U_b = 0.577 \text{ mm}$

$$\text{杨氏模量 } E = \frac{8MgLD}{\pi d^2 b(n_4 - n_0)} = \frac{8 \times 0.36 \times 9.8 \times 0.41 \times 0.984}{\pi \times (0.3077 \times 10^{-3})^2 \times 0.028 \times 10^{-2}} = 1.804 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

$$\frac{U_E}{E} = \sqrt{4(\frac{U_M}{M})^2 + (\frac{U_L}{L})^2 + (\frac{U_D}{D})^2 + (\frac{U_b}{b})^2} = 0.0566$$

$\therefore$  测量结果为:  $E = 1.804 \pm 0.102 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$   $U_r = \frac{U_E}{E} \times 100\% = 5.66\% \quad (p=68.3\%)$

作图法处理实验数据:



$$\text{图像中 } |K| = \left| \frac{4.15 - 2.65}{7 \times 0.36} \right| = 0.5952 \times 10^{-2}$$

$$n = \frac{8LDg}{\pi d^2 b E} M + n_0 \quad \text{即} \quad \frac{8LDg}{\pi d^2 b E} = |K|$$

$$\therefore \bar{E} = \frac{8LDg}{\pi d^2 b |K|} = \frac{8 \times 0.41 \times 9.8 \times 0.98}{\pi \times (0.3077 \times 10^{-3})^2 \times 0.094 \times 0.5952 \times 10^{-2}} = 1.876 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

刘迎

2014.10.24



# 钢丝的杨氏模量 作业 纸

2014.10.14

3013204264

院系 信息

班级 通信四班 姓名 何青

第 4 页

(4.8) 零点读数  $-3.2$  单位  $10^{-2} \text{ mm}$

钢丝直径

1 2 3 4 5 6 重复

直读 23.6 24.5 24.3 24.7 23.3 23.3

$$\bar{d} = 0.2715$$

$d$  0.268 0.277 0.275 0.279 0.265 0.265 mm

钢丝伸长	单位 cm	
$n_0$	4.18	4.20
$n_1$	3.92	3.95
$n_2$	3.71	3.73
$n_3$	3.49	3.51
$n_4$	3.28	3.32
$n_5$	3.01	3.10
$n_6$	2.82	2.81
$n_7$	2.60	2.62

$m = 0.36$

$$\delta_{n1} = \frac{n_4 - n_0}{4} = 0.225$$

$$\delta_{n2} = \frac{n_5 - n_1}{4} = 0.2275$$

$$\delta_{n3} = \frac{n_6 - n_2}{4} = 0.2225$$

$$\delta_{n4} = \frac{n_7 - n_3}{4} = 0.2225$$

$$\bar{\delta}_n = \frac{\delta_{n1} + \delta_{n2} + \delta_{n3} + \delta_{n4}}{4} = 0.22375$$

钢丝长度 41.0 cm

镜一标尺 984 cm

$$S_{\bar{\delta}_n} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (\delta_{n_i} - \bar{\delta}_n)^2}{4 \times (4-1)}}$$

$$= 1.197 \times 10^{-3}$$

1.432291667

$$\sqrt{1.432 \times 10^{-6}}$$

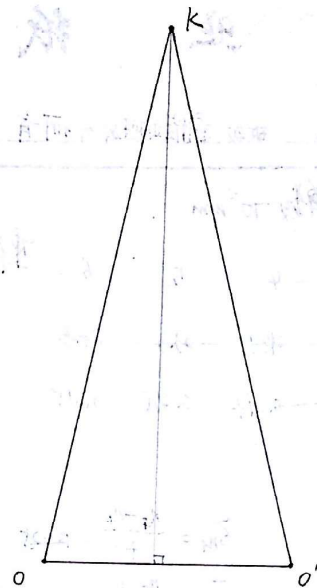
1.197038011

2014.10.14

$$U_A = t_{0.68} \times S_{\bar{\delta}_n}$$

$$U_B = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{0.2}{\sqrt{3}} \text{ mm}$$

$$U_{\bar{\delta}_n} = \sqrt{U_A^2 + U_B^2}$$



$$b = 9.4 \text{ cm}$$

尺刻度

尺镜

$$\Delta_0 = 3 \text{ mm}$$

$$\Delta_L = 3 \text{ mm}$$

$$\Delta_b = 1 \text{ mm}$$

$$\Delta_d = 0.004 \text{ mm}$$

$$\Delta_{\text{En}} = 0.2 \text{ mm}$$

$$M = 0.36 \text{ kg}$$

(螺旋测微计 松紧)

钢丝直径

零点读数

-2.8

$10^{-2} \text{ mm}$

	1	2	3	4	5	6
直读	28.3	28.8	28.0	28.6	27.4	27.9
d	0.311	0.314	0.308	0.314	0.302	0.307

$$\bar{d} = 0.30967 \text{ mm}$$