

天津大学物理实验报告

天津大学物理实验报告

附 页

信息 学院 2013 年级 通信工程 专业 04 班 姓名 刘莉 成绩 9

实验日期: 2014.12.23 学号 301320472 同组实验者

实验题目: 钢丝的杨氏模量

一. 实验目的

1. 了解杨氏模量的定义;
2. 掌握利用光杠杆测量微小长度变化的原理和方法;
3. 掌握用静态拉伸法测定一种钢丝的杨氏模量。

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, 去掉力后能立刻恢复原状的称为弹性形变; 因受力过大或受力时间过长, 去掉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的也是最基本的形变。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 ΔL 。 F/S 是单位面积上的作用力, 称为应力, $\Delta L/L$ 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 $\frac{F/S}{\Delta L/L} = E$ (1-1) 称为杨氏模量。

实验证明, E 与试样的长度 L 、横截面积 S 及施加的外力 F 的大小无关, 而只取决于试样的材料。从微观结构观点, 杨氏模量是一个表征原子间结合大小的物理量。

2. 用静态拉伸法测金属丝的杨氏模量

杨氏模量测量有静态法和动态法之分。动态法是基于振动的方法, 静态法是对试样直接加力, 测量形变。动态法测量速度快, 精度高, 适用范围广, 是国家标准规定的方法。静态法原理直观, 设备简单。

用静态拉伸法测金属丝的杨氏模量, 是使用图 1-1 所示的杨氏模量仪。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 A 夹紧并固定在上横梁上, 钢丝下端用一个圆柱形卡头 B 夹紧并穿过平台 C 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 C 的中心孔内, 其周围缝隙均匀而不与孔边摩擦。圆柱形卡头 B 下方的挂钩上挂一个砝码盘, 当盘上逐渐加上一定质量的砝码后, 钢丝就被拉伸。卡头的上端面相对平台 C 的下降量, 即是钢丝的伸长量 ΔL 。钢丝的总长度就是从卡头的下端面至卡头的上端面之间的长度。钢丝的伸长量 ΔL 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 T 和竖标尺 RS 组成 (图 1-1)。平面镜 M 竖立在一个三足支架上, 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 C 的沟槽内, 后足置于待测钢丝下卡头的上端面上。当待测钢丝受力作用而伸长 ΔL 时, 后足 K 就随之下降 ΔL , 从而平面镜 M 也随之倾斜一个 α 角。在与平面

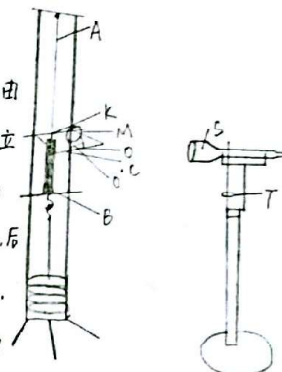


图 1-1 杨氏模量仪

镜 M 相距 D 处 (约 1-2m) 放置测量望远镜 T 和竖标尺 RS。如果望远镜水平对准竖立的平面镜, 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标尺的读数 n_0 和 n_1 。这样就把微小的长度改变量 ΔL 放大成相当可观的变化量 $\Delta n = n_1 - n_0$ 。从图 1-2 所示几何关系看, 平面镜 M 倾斜 α 角后, 镜面法线 OB 也随之转动 α 角, 反射线将转动 2α 角。有 $\tan 2\alpha = \frac{\Delta n}{D}$; $\tan 2\alpha = \frac{\Delta n}{D}$ 在很小的条件下 $\tan \alpha \approx \alpha$; $\tan 2\alpha \approx 2\alpha$ 于是得光杠杆放大倍数 $\frac{\Delta n}{\Delta L} = \frac{2D}{b}$ (1-2)

在本实验中, D 为 1-2m, b 约为 7cm, 放大倍数可达 30-60 倍。光杠杆可以做得很精细, 很灵敏, 还可以采用多次反射光路, 常在精密仪器中应用。

4. 静态拉伸法测金属丝杨氏模量的实验公式

由式 (1-2) 可得钢丝的伸长量 $\Delta L = \frac{b \Delta n}{2D}$ (1-3)

将式 (1-3) 以及拉力 $F = Mg$ (M 为砝码质量)、钢丝的截面积 $S = \pi d^2/4$ (d 为钢丝直径) 代入式 (1-1), 于是得测量的实验公式 $E = \frac{4MgLD}{\pi d^2 b (n_1 - n_0)}$ (1-4)

天津大学物理实验报告

天津大学物理实验报告

附 页

信息 学院 2013 年级 通信工程 专业 四 班 姓名 刘 成绩

实验日期: 2014.12.23 学号 2013204272 同组实验者

实验题目: 钢丝的杨氏模量

四. 实验步骤

(1) 检查钢丝是否被上下头夹紧, 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 C 水平, 并观察钢丝下卡头在平台 C 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 $00'$ 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) 将望远镜一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。调节支架底座螺丝, 使标尺铅直并调节望远镜方位, 使镜筒水平对准平面镜 M。

(5) 先用肉眼从望远镜外沿镜筒方向看平面镜 M 中有没有标尺的反射像, 必要时可稍稍左右移动支架, 直至在镜筒外沿上看到标尺的反射像。

(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 M 的倾角, 使准线对准 n_0 , 记下这一读数。

(7) 逐次增加砝码 ($m_0 = 0.36\text{kg}$), 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, 记下相应的标尺读数 n_i' 。将对应同一 F 值的 n_i 和 n_i' 求平均, 记为 \bar{n}_i 。(如增减砝码时动作要轻, 不要使砝码盘摆动和上下振动。)

(8) 用钢卷尺测量平面镜 M 到标尺 RS 之间的垂直距离 D 和待测钢丝的原长 L 。从平台上取下平面镜支架, 放在垫上轻轻压出前后足尖的痕迹, 然后用细铅笔作两前足尖 $00'$ 的连线及后足尖到 $00'$

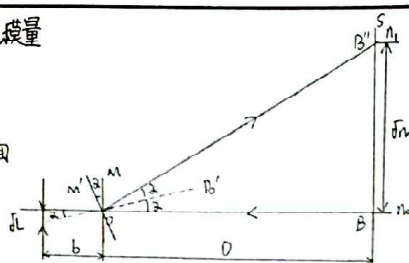


图 12 光杠杆原理

点线的垂线, 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 6 次。

五. 数据处理

1. 实验数据

单个砝码的质量 $m_0 = 0.36\text{kg}$, 钢丝的原长 $L = 40.99\text{cm}$, 望远镜与平面镜的距离 $D = 93.10\text{cm}$, 后足到前足的垂直距离 $b = 9.75\text{cm}$, 增减砝码时, 标尺的位置读数见表 1, 测量的钢丝直径 (不同位置, 不同方向) 的数据见表 2。

表 1 增减砝码时, 标尺的位置读数

砝码个数 1个	增加砝码读 数 n_i/cm	减少砝码读 数 n_i'/cm	两次读数的平 均值 \bar{n}_i/cm	$\bar{n}_i = \frac{n_i + n_i'}{4}$ cm	$(\bar{n}_i - \bar{n}_0)^2/\text{cm}^2$
0	3.40	3.38	3.39	0.275	0.0004
1	3.11	3.08	3.09	0.2600	5.625×10^{-5}
2	2.80	2.78	2.79	0.2425	0.0001
3	2.55	2.52	2.54	0.2300	0.0004
4	2.30	2.30	2.30	$\bar{n}_i = 0.265$	$S_{\bar{n}} = 4.12 \times 10^{-3}$
5	2.05	2.05	2.05		
6	1.82	1.82	1.82		
7	1.60	1.60	1.60		

表 2 钢丝直径 d 的数据 (单位: mm)

零点读数	-0.075					
n	1	2	3	4	5	6
测量	0.275	0.275	0.275	0.280	0.280	0.279
d	0.300	0.300	0.300	0.305	0.305	0.304
\bar{d}	0.302					

根据式 (1-4) 计算钢丝的杨氏模量

$$E = 1.56 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

天津大学物理实验报告

信息学院 2013 年级 通信工程 专业 四 班 姓名 刘源 成绩

实验日期: 2014.12.23 学号 20130422 同组实验者

实验题目: 钢丝的杨氏模量

2. 测量不确定度分析

由式(1.4)知杨氏模量的相对不确定度

$$U_r = \frac{U_E}{E} = \sqrt{\left(\frac{U_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{U_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{U_b}{b}\right)^2 + 4\left(\frac{U_{\Delta n}}{\Delta n}\right)^2 + \left(\frac{U_{\Delta n}}{\Delta n}\right)^2}$$

(1) 钢丝原长 L 的测量标准不确定度 U_L : $U_L = \frac{\Delta L}{\sqrt{3}} = \frac{2\text{mm}}{\sqrt{3}} = 1.155\text{mm}$. 所以测量钢丝原长 L 的标准不确定度 $U_L =$

$$\sqrt{U_L^2} = 1.155\text{mm} \quad (P \approx 68.3\%)$$

(2) 平面镜与望远镜之间的距离 D 的测量标准不确定度 U_D : $U_D = \frac{\Delta D}{\sqrt{3}} = \frac{3\text{mm}}{\sqrt{3}} = 1.732\text{mm}$. 所以平面镜与望远镜之间的距离 D 的标准不确定度 $U_D = \sqrt{U_D^2} = 1.732\text{mm} \quad (P \approx 68.3\%)$

(3) 后足到前足的垂直距离 b 的测量标准不确定度 U_b : $U_b = \frac{\Delta b}{\sqrt{3}} = \frac{1\text{mm}}{\sqrt{3}} = 0.577\text{mm}$. 所以后足到前足的垂直距离 b 的标准不确定度 $U_b = \sqrt{U_b^2} = 0.577\text{mm} \quad (P \approx 68.3\%)$

(4) 钢丝直径 d 的测量标准不确定度 U_d : A类不确定度 $U_A = t_{0.68} \cdot S_d = 1.1 \times \sqrt{\frac{3 \times 0.02 - 0.300^2 + 2 \times 0.305 - 0.302^2 + (0.302 - 0.304)^2}{6 \times 5}}$
 $= 1.065 \times 10^{-3} \text{mm}$; B类不确定度 $U_B = \frac{\Delta d}{\sqrt{3}} = 0.00231\text{mm}$. 所以钢丝直径 d 的标准不确定度 $U_d = \sqrt{U_A^2 + U_B^2}$
 $= 0.00254\text{mm} \quad (P \approx 68.3\%)$

(5) 两次读数的平均值 Δn 的测量标准不确定度 $U_{\Delta n}$: A类不确定度 $U_A = t_{0.68} \cdot S_{\Delta n} = 1.1 \times 4.132 \times 10^{-7} = 0.00454\text{cm}$
 B类不确定度 $U_B = \frac{\Delta \Delta n}{\sqrt{3}} = \frac{0.2\text{mm}}{\sqrt{3}} = 0.029\text{mm}$. 所以两次读数的平均值 Δn 的标准不确定度 $U_{\Delta n} = \sqrt{U_A^2 + U_B^2}$
 $= 0.00493\text{cm} \quad (P \approx 68.3\%)$

1. 将分析所得的各测量值的标准不确定度代入式(1.4), 得

$$U_r = \frac{U_E}{E} = 0.0283 = 2.83\%$$

∴ 杨氏模量的测量标准不确定度 $U_E = U_r \times E = 0.044 \text{ (V/m}^2 \text{)} \quad (P \approx 68.3\%)$

测量结果: 杨氏模量 $E = (1.561 \pm 0.044) \times 10^{11} \text{ V/m}^2$

$$U_r = \frac{U_E}{E} = 2.83\% \quad (P \approx 68.3\%)$$

天津大学物理实验报告

附 页

3. 作图法处理数据

将式(1.4)改写成 $n = \frac{8LDg}{\pi d^4 E} M + n_0$, $n-M$ 关系如图1-3所示.

由图1-3可知.

斜率 K 的绝对值

$$|K| = \left| \frac{(1.82 - 3.39) \times 10^{-2}}{6 \times 0.36} \right| = 0.0073$$

$$\therefore \text{由 } n = \frac{8LDg}{\pi d^4 E} M + n_0$$

$$\text{得 } |K| = \frac{8LDg}{\pi d^4 E}$$

$$\therefore \text{杨氏模量 } E = \frac{8LDg}{\pi d^4 |K|}$$

$$= \frac{8 \times 41 \times 10^{-3} \times 95.1 \times 10^{-2} \times 9.8}{34 \times (0.30 \times 10^{-3})^2 \times 9.73 \times 10^{-2} \times 0.0073}$$

$$= 1.56 \times 10^{11} \text{ V/m}^2$$

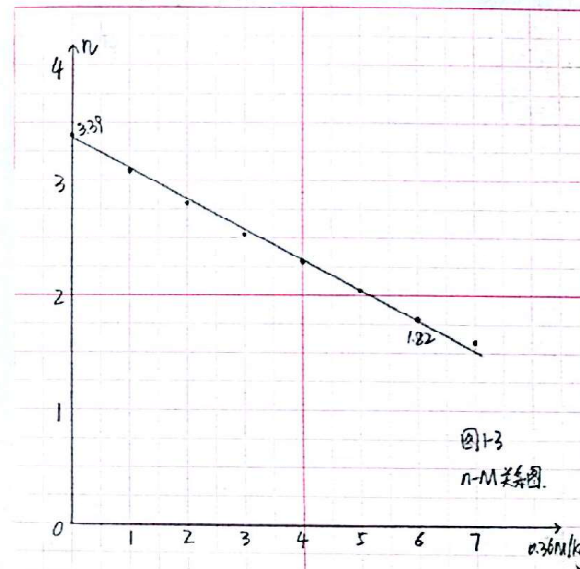


图1-3
 $n-M$ 关系图

4. 思考题

(6) 光杠杆的放大倍数取决于 $2D/b$. 一般讲增大 D 或减小 b 可提高光杠杆放大倍数. 这样做有没有限度? 怎样考虑这个问题?

答: 有限度. 虽然光的稳定性的问题可以用性能好的激光解决. 做到光不会移动. 但是空气中的扰动时会引起光的不稳定, 无法判断具体问题. 所以放大倍数有限度.

刘源

2015.01.05



14-425

9.75cm

() 作业纸

系别 信息 班级 通信四班 姓名 刘楠 第30B20422 页

砝码质量 $M = 0.36 \text{ kg}$ 钢丝长度 $L = 41.00 \text{ cm}$ 望远镜与平面镜相距 $D = 95.1 \text{ cm}$

0.2mm 标尺位置

次数 单位/cm	0	1	2	3	4	5	6	7
加 n_1'	3.40	3.11	2.80	2.55	2.30	2.05	1.82	1.60
减 n_1''	3.38	3.08	2.78	2.52	2.30	2.04	1.82	1.61
平均 n_1	3.39	3.09	2.79	2.54	2.30	2.05	1.82	1.61

$$\bar{\sigma}_n = \frac{(n_4 - n_0) + (n_5 - n_1) + (n_6 - n_2) + (n_7 - n_3)}{4 \times 4}$$

$$= \frac{1.08 + 1.04 + 0.97 + 0.93}{16} = 0.252$$

钢丝直径

次数 单位/cm	1	2	3	4	5	6
-0.025 初始	0.475	0.475	0.475	0.475	0.475	0.475
测量	0.275	0.275	0.275	0.280	0.280	0.279
d	0.300	0.300	0.300	0.305	0.305	0.304
\bar{d}	0.302					

2/263 #

2014.12.23

 $\Delta_L = 3 \text{ mm}$ $\Delta d = 3 \text{ mm}$ $\Delta b = 1 \text{ mm}$ $\Delta d = 0.004 \text{ mm}$

逐差法测平均值

$$\bar{\sigma}_n = \frac{\sum_{i=0}^3 (n_{i+4} - n_i)}{4 \times 4}$$

$$E = \frac{8MgLD}{\pi d^4 b \bar{\sigma}_n} \quad \frac{F/S}{\pi L/L} = E \quad \frac{\sigma_n}{L} = \frac{2D}{b}$$

$$U_r = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \sigma_n}{\sigma_n}\right)^2}$$

$$U_E = E \cdot U_r$$

正数 读数值

负数 读正值

0

45

0

5