



深圳大学

大学物理实验 (一)

杨氏模量的测量



物理实验教学中心



一、实验目的

- 了解材料的杨氏模量概念和测量方法
- 学会用光杠杆放大法测量长度的微小变化
- 学习逐差法处理数据



实验背景

- 1807年因英国医生兼物理学家托马斯·杨(Thomas Young, 1773-1829) 所得到的结果而命名。
- 根据胡克定律，在物体的弹性限度内，应力与应变成正比，比值被称为材料的**杨氏模量**，它是表征材料性质的一个物理量，仅取决于材料本身的物理性质。杨氏模量的大小标志了材料的刚性，杨氏模量越大，越不容易发生形变。
- 杨氏弹性模量是选定机械零件材料的依据之一，是工程技术设计中常用的参数。杨氏模量的测定对研究金属材料、光纤材料、半导体、纳米材料、聚合物、陶瓷、橡胶等各种材料的力学性质有着重要意义，还可用于机械零部件设计、生物力学、地质等领域。



- | 材料 | 杨氏模量E
(GPa) |
|---------------|----------------|
| 橡胶 (微小应变) | 0.01-0.1 |
| 尼龙 | 2~4 |
| 高强度混凝土 (受到压缩) | 30 |
| 金属镁 | 45 |
| 玻璃 (所有种类) | 71.7 |
| 铝 | 69 |
| 黄铜和青铜 | 103~124 |
| 合金与钢 | 190~210 |
| 钨 (W) | 400~410 |
| 钻石 | 1050~1200 |

二、实验原理

杨氏模量

假设一根横截面积为 S ，长为 L 的材料,在大小为 F 的力的拉压下,伸缩短了 ΔL



$$\frac{F}{S}$$

应力: 横截面积为 S 的物体收到外力 F 的作用并处于平衡态时，物体内部单位面积上引起的内力

$$\frac{\Delta L}{L}$$

应变: 单位长度上的伸长量，表征物体受外力作用时产生变化大小的物理量

实验表明，弹性限度内，应力与应变是成正比例关系，比例系数称之为**杨氏模量**，用 E 表示

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta L}{L} \quad (1)$$

$$E = \frac{FL}{S\Delta L} \quad (2)$$

二、实验原理

测量方法

$$E = \frac{FL}{S\Delta L}$$

$$S = \frac{\pi d^2}{4}$$



F : 可由实验中钢丝下面悬挂的砝码的重力给出

L : 可由米尺测量

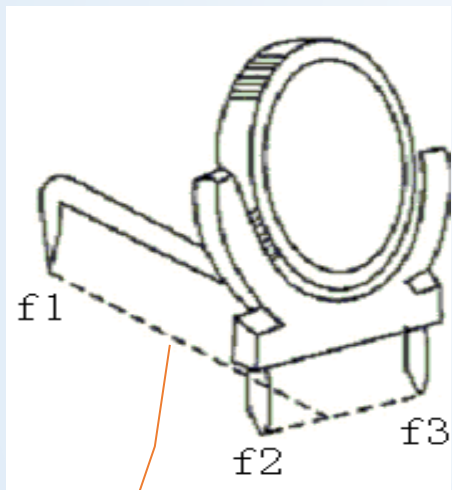
d : 为细铁丝的直径, 可用螺旋测微仪测量

ΔL : 是一个微小长度变化量

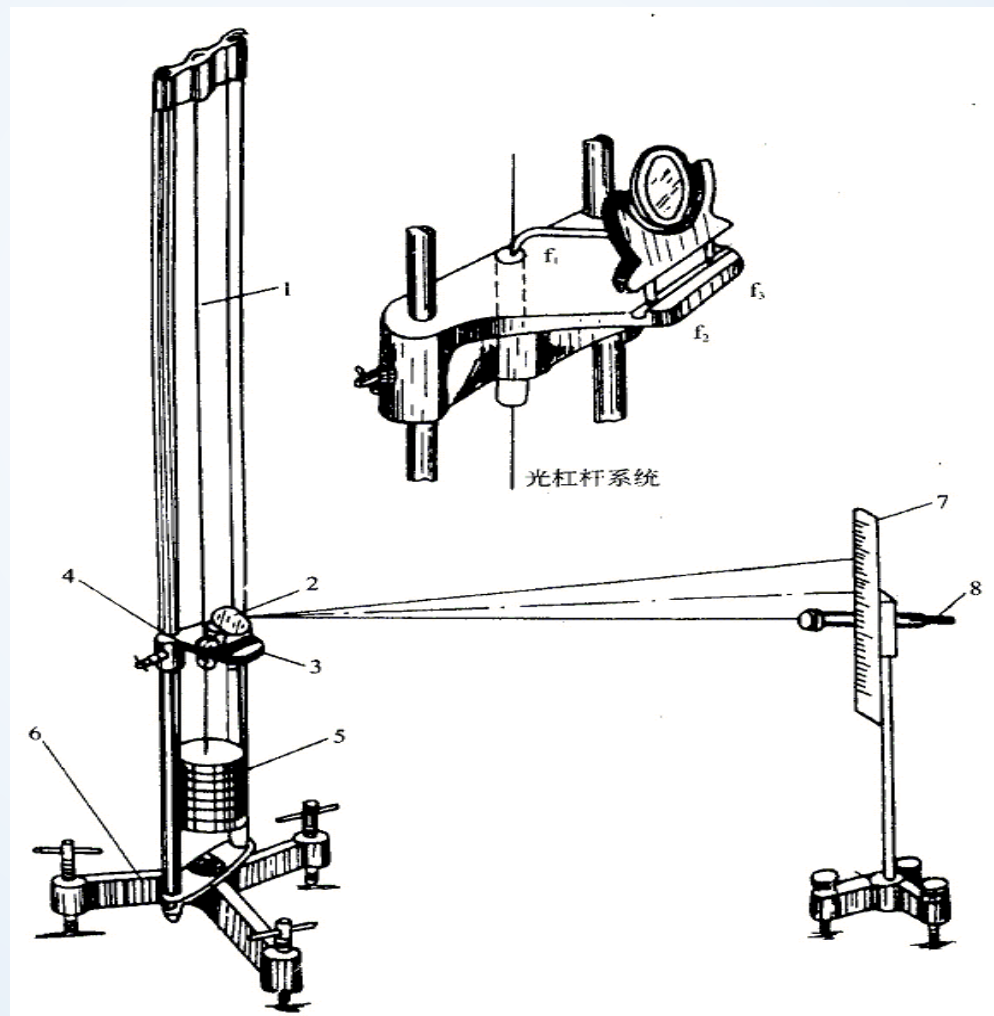
本实验利用光杠杆的光学放大作用实现对金属丝微小伸长量 ΔL 的间接测量

二、实验原理

杨氏模量测定仪



光杠杆常数 b



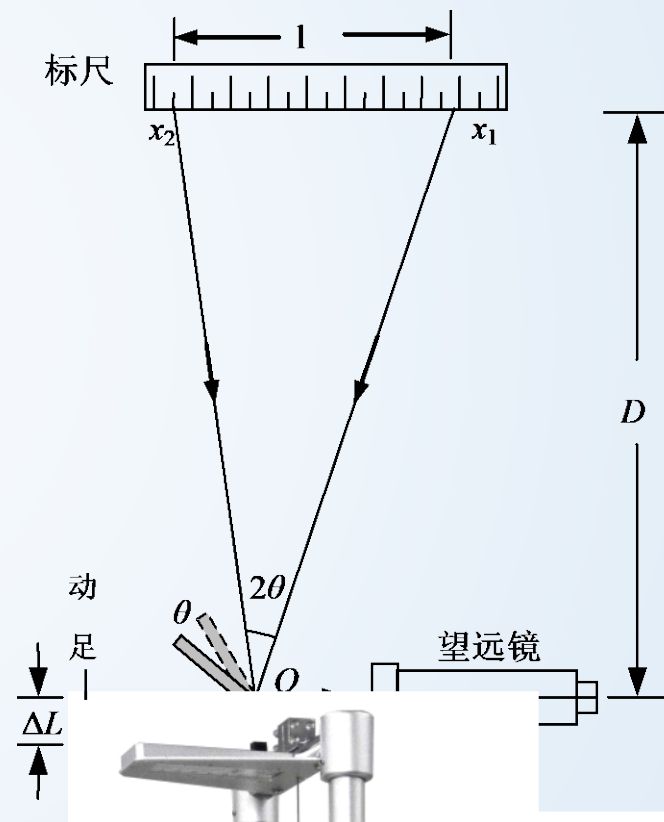
沧海校区仪器

二、实验原理

杨氏模量测定仪



丽湖校区仪器



二、实验原理

$$\tan \theta = \frac{\Delta L}{b}$$
$$\tan 2\theta = \frac{l}{D}$$

$$2\theta \ll 5^\circ$$

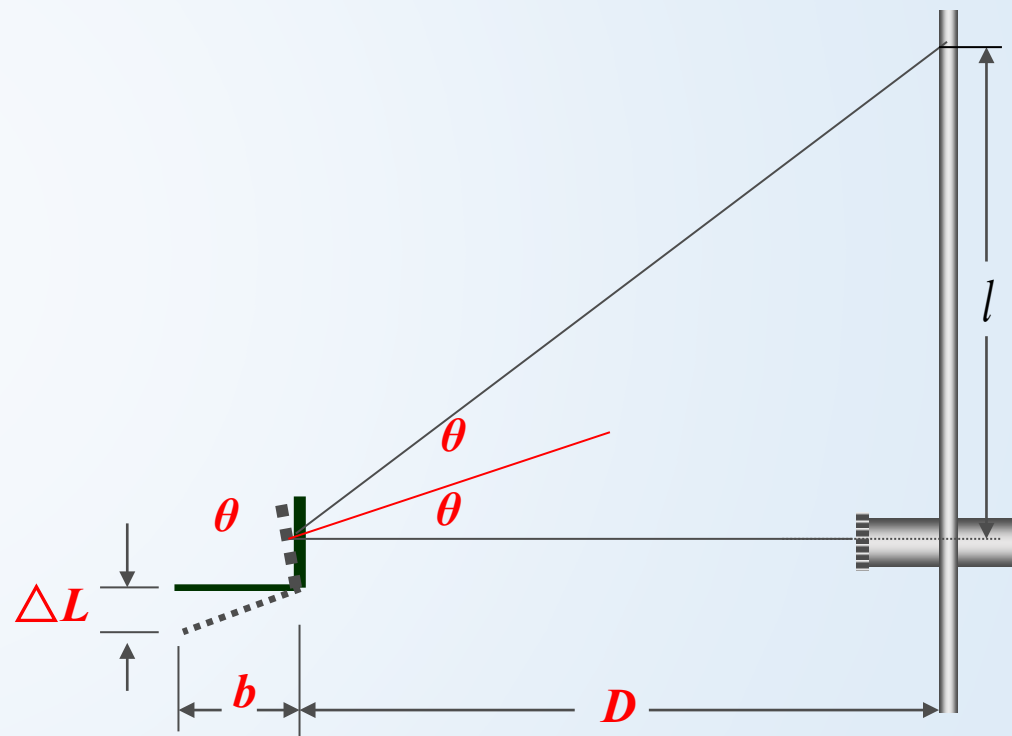
$$\theta = \frac{\Delta L}{b}$$
$$2\theta = \frac{l}{D}$$

$$\Delta L = \frac{lb}{2D}$$

$$\frac{l}{\Delta L} = \frac{2D}{b} = \beta$$

β 叫光杠杆放大率

$$E = \frac{8FLD}{\pi d^2 bl}$$



将微小的伸长量 ΔL 放大为竖尺上的位移 l



三、实验仪器

杨氏模量测定仪

螺旋测微计 (仪器误差: $\pm 0.004mm$)

游标卡尺 (仪器误差: $\pm 0.02mm$)

米尺 (仪器误差: $\pm 1mm$)

砝码 (仪器误差: $\pm 1g$) (沧海校区用)

数字拉力计 (仪器误差: $\pm 5g$) (丽湖校区用)

标尺 (仪器误差: $\pm 0.5mm$)

待测金属丝



三、实验仪器

测量仪器的选择

$$E = \frac{8FLD}{\pi d^2 bl}$$

$$\frac{\Delta E}{E} = \sqrt{\left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L'}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2}$$

砝码 米尺 米尺 千分尺 卡尺 标尺



四、实验内容与步骤

1、调节仪器（光杠杆、望远镜）

- ① 调整望远镜水平,光杠杆平面镜竖直;
- ② 调整望远镜与光杠杆平面镜高度相同;
- ③ 沿望远镜外侧边沿上方使凹口、瞄准星面镜在同一直线上,左、右移动望远镜在镜子里找到竖直尺的像;若找不到,可微调镜子的角度,直到找到为止;
- ④ 旋动望远镜目镜,使十字叉丝清晰;
- ⑤ 旋动聚焦手轮,直到看清竖直尺的像。

四、实验内容与步骤

2、记录金属丝伸长变化

逐次加一个砝码，在望远镜中读对应标尺的位置，共7次；然后将所加砝码逐次去掉，并读取相应读数。

加砝码	r_0	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7
减砝码	r'_0	r'_1	r'_2	r'_3	r'_4	r'_5	r'_6	
平均值	\bar{r}_0	\bar{r}_1	\bar{r}_2	\bar{r}_3	\bar{r}_4	\bar{r}_5	\bar{r}_6	r_7

用逐差法计算每增减4个砝码，钢丝的伸长量

$$l_1 = r_4 - r_0 \quad l_2 = r_5 - r_1 \quad l_3 = r_6 - r_2 \quad l_4 = r_7 - r_3$$

	1	2	3	4	平均
l_i					



四、实验内容与步骤

3、测量金属丝长度 L 、平面镜与标尺之间的距离 D ，
金属丝直径 d ，光杠杆常数 b 。

- ① 用钢卷尺测量 L 和 D (L 、 D 测一次)
- ② 在钢丝上选不同部位用螺旋测微计测量 d (测5次)
- ③ 取下光杠杆在展开的白纸上同时按下三个尖脚的位置，用直尺作出光杠杆后脚尖到前两尖脚连线的垂线，用游标卡尺测出 b 。



四、实验内容与步骤

注意事项：

- ① 实验系统调好后，一旦开始测量，在实验过程中不能对系统的任何一部分进行调整，否则，所有数据将重新再测。
- ② 加减砝码时要轻拿轻放，系统稳定后才能读取刻度尺，读数过程中不要按压桌面。
- ③ 光杠杆后脚尖不能接触钢丝。
- ④ 注意维护钢丝的平直状态,在钢丝两端夹点外测量直径,避免伸长部分扭折。

五、报告要求

1、计算杨氏模量 E :

$$E = \frac{8FLD}{\pi d^2 bl}$$

注意各个量的单位以及有效数字的计算规则

注意:为4个砝码的重量

计算要求:

首先把各个量表示成: $N = \bar{N} \pm \Delta N$

然后再计算 E

注意一: F 、 L 、 D 、 b 均为单次测量量, 只有 B 类不确定度

$$\Delta = \Delta_B = \Delta_{\text{仪器误差}} / \sqrt{3}$$

例: 测量金属丝长度 $L=37.42\text{cm}$, 钢卷尺仪器误差 为 0.1cm

$$\Delta L = 0.1 \times \frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0.577 = 0.06\text{cm}$$

$$L = (37.42 \pm 0.06)\text{cm}$$

五、报告要求

注意二： d, \bar{l} 为多次测量量，有 A 类和 B 类不确定度

$$\Delta_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (\bar{N} - N_i)^2}{k(k-1)}}$$

$$\Delta_B = \frac{\Delta_{\text{仪器误差}}}{\sqrt{3}}$$

$$\Delta = \sqrt{(\Delta_A)^2 + (\Delta_B)^2}$$

例：测量金属丝直径 5 次测量值分别为，螺旋仪器仪器误差 为 0.004mm

次数	1	2	3	4	5	平均值
d	0.488	0.490	0.489	0.492	0.490	0.490
Δd	0.002	0.000	0.001	0.002	0.000	

$$\Delta_A = \sqrt{\frac{(0.490 - 0.488)^2 + (0.490 - 0.490)^2 + (0.490 - 0.489)^2 + (0.490 - 0.492)^2 + (0.490 - 0.490)^2}{5 \times 4}} = 0.001mm$$

$$\Delta_B = \frac{0.004}{\sqrt{3}} = 0.002mm$$

$$\Delta = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} = \sqrt{0.001^2 + 0.002^2} = 0.003mm$$

$$d = (0.490 \pm 0.003)mm$$



五、报告要求

2、计算测量结果的相对不确定度

$$\frac{\Delta E}{E} = \sqrt{\left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta d}{\bar{d}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{\bar{l}}\right)^2} = N\%$$

例: $\frac{\Delta L}{L} = \frac{0.06}{37.42} = 0.080\%$

3、规范表示测量结果

$$\left\{ \begin{array}{l} E = E \pm \Delta E \\ P = 0.683 \\ \frac{\Delta E}{E} = N\% \end{array} \right.$$



六、思考题

- ① 各种不同长度用不同仪器测量是如何考虑的？为什么？
- ② 本实验中哪个物理量的测量误差对结果影响最大？试做具体讨论。
- ③ 除了用逐差法处理数据外，能否用作图法处理数据得到杨氏模量？若能，应该怎样作图？
- ④ 能否通过增加D、减小b来提高光杆杆的放大率，这样做有没有好处？有没有限度？

- ① 各种不同长度用不同仪器测量是如何考虑的？为什么？
- ② 本实验中哪个物理量的测量误差对结果影响最大？试做具体讨论。
- ③ 除了用逐差法处理数据外，能否用作图法处理数据得到杨氏模量？若能，应该怎样作图？
- ④ 能否通过增加D、减小b来提高光杆杆的放大率，这样做有没有好处？有没有限度？



深圳大学

本节完毕，谢谢观看

更多资源：

<http://wlsyzhao.ys168.com/>

