



杨氏模量的测量

大学物理实验1

深圳大学物理实验教学中心

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。

实验背景

测量杨氏模量的方法一般有拉伸法、梁弯曲法、振动法、内耗法等，还出现了利用光纤位移传感器、莫尔条纹、电涡流传感器和波动传递技术（微波或超声波）等实验技术和方法测量杨氏模量。

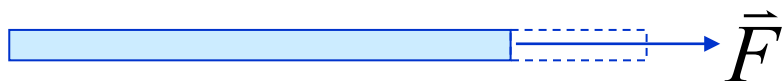
本实验用拉伸法测量杨氏模量。

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

一、实验原理/1.1基本原理

1、杨式模量:

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 则:



$$\frac{\Delta L}{L} : \text{应变}$$

$$\frac{F}{S} : \text{应力 (单位截面上内力)}$$

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

应力和应变的比成为杨式模量

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

本实验目标: 钢材的
杨氏模量



一、实验原理/1.1基本原理

2、钢丝杨式模量的测量方法：

$$E = \frac{FL}{S\Delta L} \quad S = \frac{\pi d^2}{4}$$

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

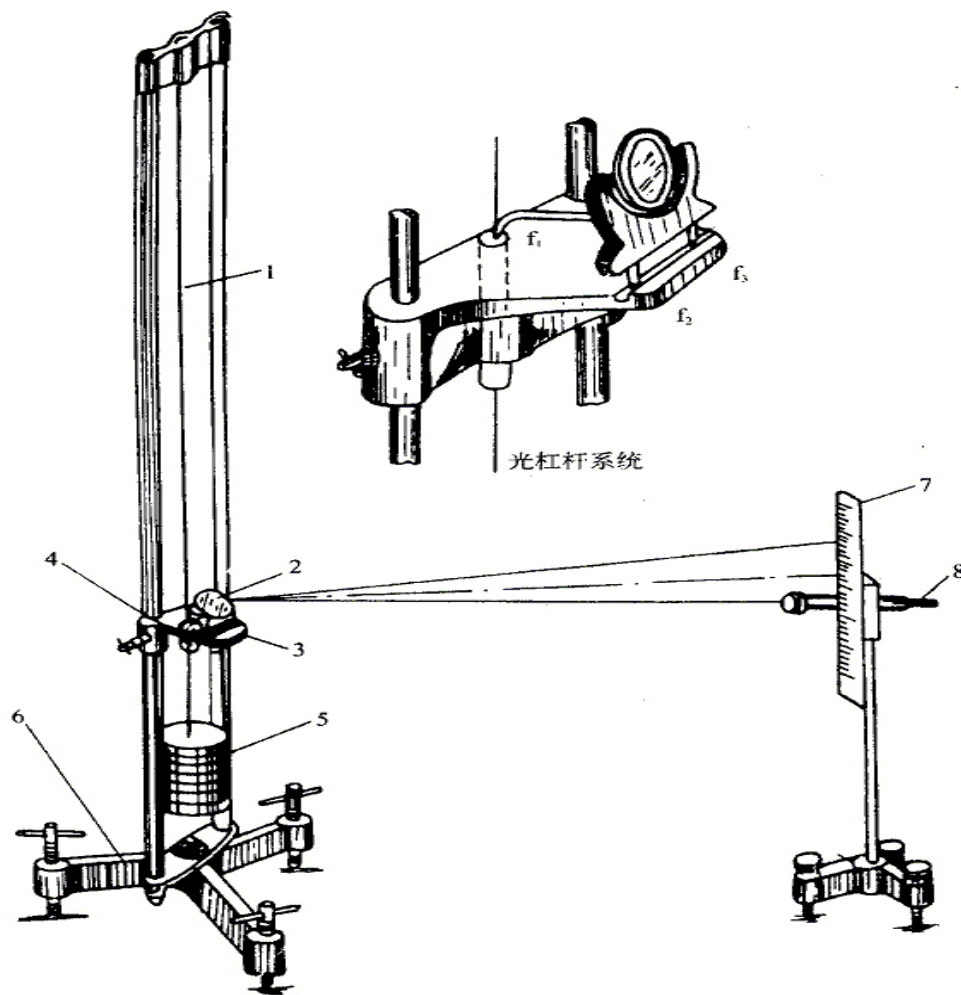
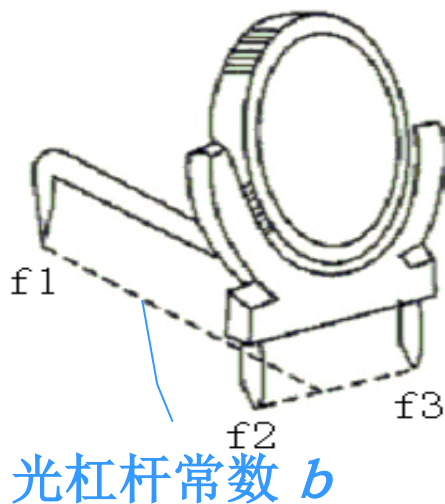
d ：为细铁丝的直径，可用螺旋测微仪测量

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。



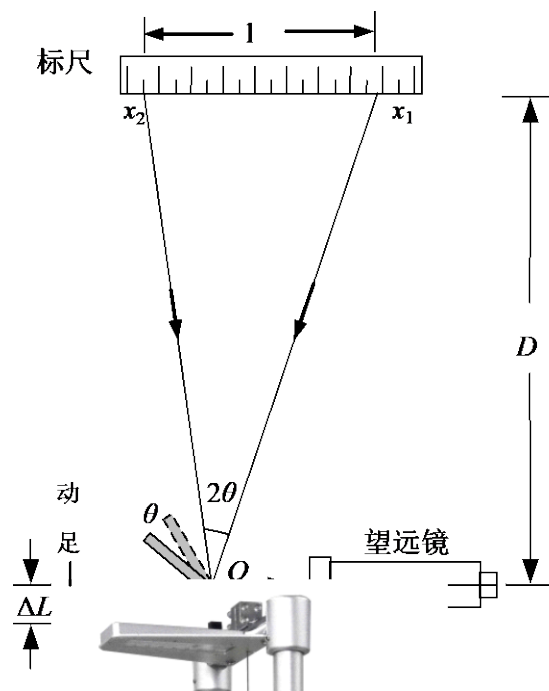
一、实验原理 / 1.2 光杠杆的光学放大原理

沧海校区仪器



一、实验原理 / 1.2 光杠杆的光学放大原理

丽湖校区仪器



一、实验原理 / 1.2 光杠杆的光学放大原理

$$\tan \theta = \frac{\Delta L}{b} \xrightarrow{2\theta \ll 5^\circ} \theta = \frac{\Delta L}{b}$$

$$\tan 2\theta = \frac{l}{D}$$

$$2\theta = \frac{l}{D}$$

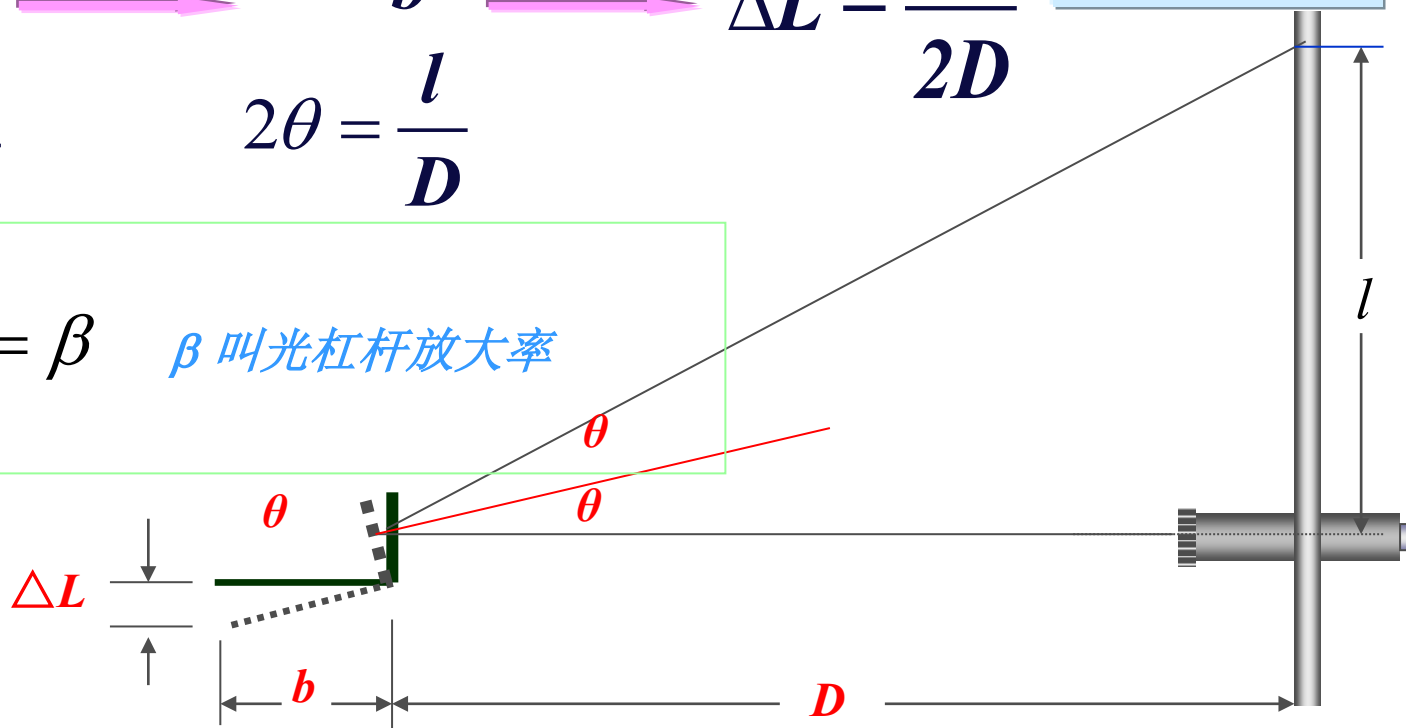
$$\Delta L = \frac{lb}{2D}$$

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

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

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

二、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

二、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 卷尺 卷尺 千分尺 卡尺 米尺

三、实验步骤

1、调节仪器： 调节光杠杆和望远镜：

- (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;
再旋动聚焦手轮,直到看清竖直尺的像。

三、实验步骤

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					

三、实验步骤

3、测量金属丝长度 L 、平面镜与竖尺之间的距离 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



三、实验步骤

注意：

- 1、实验系统调好后，一旦开始测量 r_i ，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。

四、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: $N = \bar{N} \pm \Delta N$ 的形式, 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

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

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



四、报告要求

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

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

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

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	

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

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

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

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

注意二： d, \bar{l} 为多次测量量，有 A 类和 B 类不确定度

四、报告要求

2、计算 ΔE ：测量结果的相对不确定度

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

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

3、规范表示测量结果

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



深圳大学大学物理教学实验中心

再见！