

物理实验报告

陈建烨 12411913 2025.4.1 P4123

一. 实验名称：固体杨氏模量

二. 实验目的

- 1.了解固体杨氏模量的概念和测量方法。
- 2.了解光杠杆放大发的原理和应用。

三.实验原理

材料受力后会发发生形变，弹性限度内，材料的应力与应变成正比，比例系数称为杨氏模量。大小表明了材料的刚度，越大表示材料越坚硬。杨氏模量的定义为：

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

其中， F 为在 S 横截面积上的应力， ΔL 为材料的形变， L 为材料的原长。一般 ΔL 很小，所以采用光学放大法测量。

光杠杆是一个带有可旋转的平面镜的支架，平面镜的镜面与三个足尖决定的平面垂直，其后足即杠杆的支脚与被测物接触。当杠杆支脚随被测物上升或下降微小距离 ΔL 时，镜面法线转过一个微小的 θ 角，而入射到望远镜的光线转过 2θ 角。由于 $\tan\theta = \theta + \frac{\theta^3}{3!} + \dots$ ，所以当 θ 很小时， $\tan\theta \approx \theta$ 。所以有

$$\tan\theta = \frac{\Delta L}{l} \approx \theta$$

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

带入整理得

$$E = \frac{2DLF}{Slb}$$

其中， L 为金属丝的长度， S 为金属丝的横截面积， b 为望远镜中所看到的移动距离， D 为平面镜和直尺之间的距离， l 为光杠杆的臂长。

四.实验仪器

支架，光杠杆，镜尺组，管制器，钢丝，砝码托，砝码，钢尺。

五.实验内容

1.调节仪器

- (a)调节放置光杠杆的平台与望远镜的相对位置，使光杠杆镜面法线与望远镜轴线大体重合。调节支架底脚螺丝，确保平台水平，调平台的上下位置，使管制器顶部与平台的上表面共面。
- (b)调节光杠杆的镜面和足尖(或刀口)平行，使用时足尖(或刀口)放在平台的沟槽内，后锥形足尖放在管制器的槽中（不得与钢丝相碰），之后再调节平面镜的仰角使镜面垂直，使光杠杆镜面法线与望远镜轴线大体重合。
- (c)调节望远镜、直尺和光杠杆三者之间的相对位置，使望远镜和光杠杆平面镜处于同等高度。先粗调，使望远镜上的准星瞄准平面镜中的标尺像。再细调，使分划线清晰，用手轮调焦使尺像清晰。
- (d)调节好后，保持仪器位置不变，加减砝码应交叉轻放，防止晃动，在钢丝静止后再读数。

2.测量

- (a)测量钢丝长度。（夹钢丝半圆柱下表面~管制器上表面）
- (b)记录望远镜中的初始长度 b_0 ,在砝码托上逐次增加 $1kg$ 的砝码，记录加后的读数 b_i ,然后计算出变化量 Δb_i ，做二次求平均 $\bar{\Delta b}_i$ 。
- (c)用米尺测量金属丝的长度 L ，平面镜和直尺之间的距离 D 和光杠杆的臂长 l ，各测一次。用游标卡尺测量金属丝的直径 d （在上中下各测2次，共6次），计算出横截面积 $S = \frac{\pi d^2}{4}$ 。

六.实验数据

$m(kg)$	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00
$r_{i,1}(mm)$	1.50	2.19	3.10	3.78	4.45	5.09	5.76	6.41
$r_{i,2}(mm)$	1.85	2.59	3.29	3.91	4.56	5.19	5.79	6.41
$\bar{r}_i(mm)$	1.68	2.39	3.20	3.84	4.50	5.14	5.78	6.41

i	1	2	3	4	5	6
d_i	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.61

金属丝的长度 $L = 80.65\text{cm}$, 平面镜和直尺之间的距离 $D = 152.22\text{cm}$ 和光杠杆的臂长 $l = 7.49\text{cm}$, 金属丝直径 $\bar{d} = 0.60\text{mm}$ 。

七.数据处理

1.逐差法处理 ($p = 0.95$)

$$\bar{\delta b} = \frac{1}{16} \sum_{i=1}^4 (\bar{r}_{i+4} - \bar{r}_i) = 0.6703\text{cm}$$

$$E = \frac{2DLF}{Slb} = \frac{8mgLD}{\pi\delta b d^2 l} = 1.683 \times 10^{11} \text{Pa}$$

$$\Delta m = 5\text{g}, \Delta L = 0.05\text{mm}, \Delta D = 0.05\text{mm}, \Delta l = 0.05\text{mm}, \Delta b = 0.05\text{mm}, \Delta d = 0.001\text{mm}$$

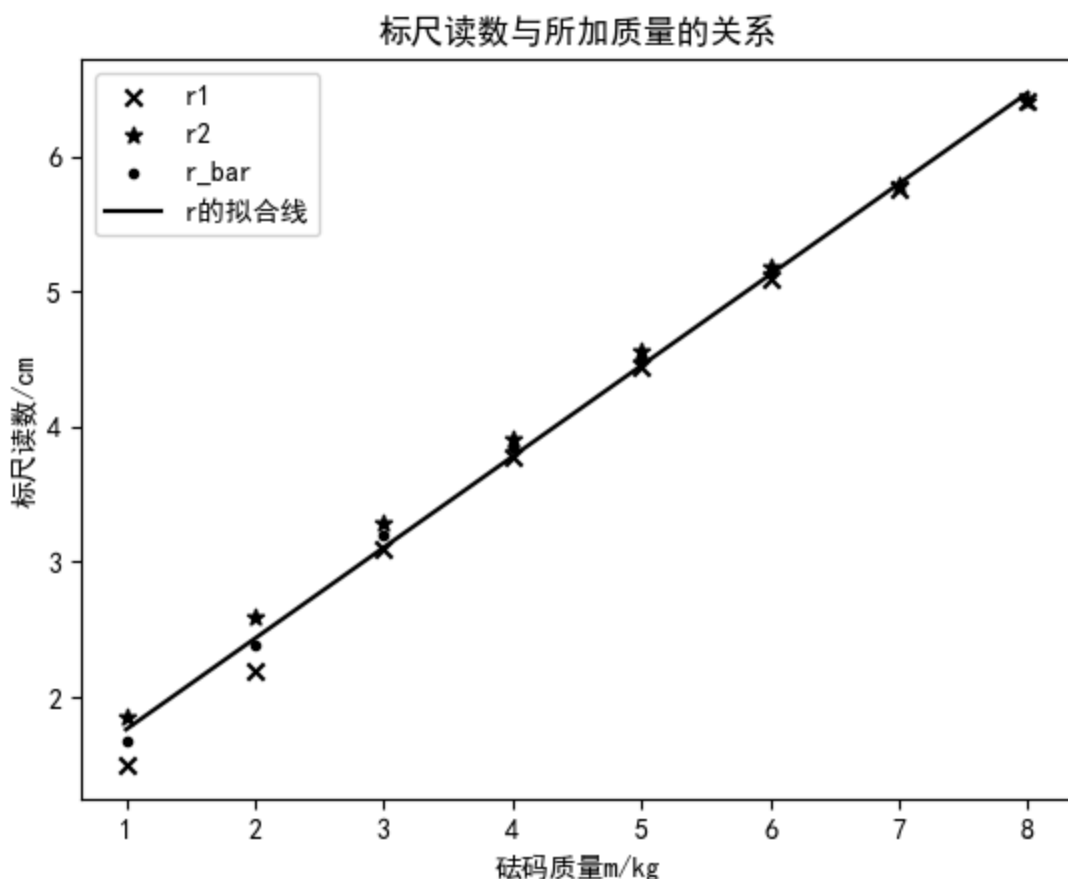
所以

$$\frac{\Delta E}{E} = \sqrt{\left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta d}{d}\right)^2} = 0.0751$$

$$\Delta E = 1.264 \times 10^{10} \text{Pa}$$

$$E = (1.683 \pm 0.1264) \times 10^{11} \text{Pa}$$

2.作图法($p = 0.95$)



$$\delta b = 0.6734\text{cm}$$

$$E = \frac{2DLF}{Slb} = \frac{8mgLD}{\pi\delta b d^2 l} = 1.675 \times 10^{11} \text{Pa}$$

$\Delta m = 5g, \Delta L = 0.05mm, \Delta D = 0.05mm, \Delta l = 0.05mm, \Delta b = 0.05mm, \Delta d = 0.001mm$
所以

$$\frac{\Delta E}{E} = \sqrt{\left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta d}{d}\right)^2} = 0.0748$$

$$\Delta E = 1.253 \times 10^{10} Pa$$

$$E = (1.675 \pm 0.1253) \times 10^{11} Pa$$

八.误差分析

- 1.光杆未水平
- 2.在未稳定时读数
- 3.仪器的测量误差

九.实验结论

经过光杠杆放大法测得固体杨氏模量

逐差法: $E = (1.683 \pm 0.1264) \times 10^{11} Pa$

作图法: $E = (1.675 \pm 0.1253) \times 10^{11} Pa$

e=2.00e9

十.思考题

使 $D \uparrow l \downarrow$ 来提升倍数, 可以增大放大率, 但是会导致抖动被放大, 更难测量到精确数值, 数据误差变大。同时, 放大到一定倍数后, 成像会变得模糊, 导致误差。所以倍数要有一定的限制。