

# 固体杨氏模量 讲义

2025年2月

## 一、实验目的

1. 掌握光杠杆放大的原理和特性
2. 理解固体杨氏模量的意义

## 二、实验仪器

杨氏模量测试仪、光杠杆、望远镜

## 三、实验原理

材料受力后会发发生形变，在弹性限度内，材料的应力和应变之比是一个常数，叫做弹性模量，条形物体的沿纵向的弹性模量叫杨氏模量。它的大小标志了材料的刚性。

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

在样品截面积 $S$ 上的作用应力为 $F$ ，测量引起的相对伸长量 $\frac{\Delta L}{L}$ ，即可计算出材料的杨氏模量 $E$ 。因一般伸长量 $\Delta L$ 很小，故采用光学放大法将其放大。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 $\Delta L$ 时，镜面法线转过一个微小的 $\theta$ 角，而入射到望远镜的光线转过 $2\theta$ 角，如图1所示：

根据图1和公式(4)可知：

$$\tan \theta = \frac{\Delta L}{L} \approx \theta \quad (2)$$

$$\tan 2\theta = \frac{b}{D} \approx 2\theta \quad (3)$$



像清晰。调节望远镜进行读数时要消除视差(即眼睛上下移动时,所看到的竖尺刻度像和叉丝之间应没有相对变动)。如果没有找到标尺像,请不要过急调节调焦手轮,重新瞄准光杠杆平面镜中的标尺像,重复上述调试过程。

- (d) 光杠杆、望远镜、标尺调整好以后,整个实验中防止位置变动。加减砝码要交叉轻放轻取避免晃动、倾斜,使钢丝与管制器之间发生摩擦,待钢丝(钢丝伸长时存在滞后现象)静止后(约1分钟左右)再读数。

## 2. 测量

- (a) 测量钢丝长度,应注意两端点的位置,上端起于夹钢丝的两个半圆柱的下表面,下端止于管制器的上表面。
- (b) 记录望远镜中标尺的读数作为钢丝的起始长度。在砝码托上逐次加1kg砝码(可加到9kg),观察每增加1kg时望远镜中标尺上的读数  $r_i$ , 然后再将砝码逐次减去,记下对应的读数  $r'_i$ , 取两组对应数据的平均值  $\bar{r}_i$ 。
- (c) 用米尺测量金属丝的长度  $L$  和平面镜与直尺之间的距离  $D$ , 以及光杠杆的臂长  $l$  各1次。用千分尺测金属丝直径  $d$  (上、中、下各测2次,共6次,  $0.570\text{mm} < d < 0.620\text{mm}$ )。

表 1: 望远镜读数与加载砝码的关系

m(kg)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00
$r_i$								
$r'_i$								
$\bar{r}_i$								

3. 逐差法:用逐差法处理数据得到1kg时对应的  $b$  值,并求  $\frac{\Delta E}{E}$ , 给出  $E$  的最终表达式。  $\Delta m = 5g, \Delta L = 0.05\text{mm}, \Delta D = 0.05\text{mm}, \Delta l = 0.05\text{mm}, \Delta b = 0.05\text{mm}, \Delta d = 0.001\text{mm}$

$$\frac{\Delta E}{E} = \sqrt{\left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta d}{d}\right)^2} \quad (6)$$

4. 选做内容:用作图法处理数据,并求  $\frac{\Delta E}{E}$ , 给出  $E$  的最终表达式。

## 五、思考题

利用光杠杆把测微小长度  $\Delta L$  变成测  $b$ , 光杠杆的放大率为  $\frac{2D}{l}$ , 根据此式能否以增加  $D$  减小光杠杆臂长  $l$ , 来提高放大率, 这样做有无好处? 有无限度? 应怎样考虑这个问题?

## 六、实验结论

经光杠杆放大法测得固体杨氏模量  $E = (\bar{E} \pm \Delta E)$ , 相对误差为: 2.51%(示例)。

## 七、误差分析

1. 光杠杆未放平
2. 望远镜读数未稳定
3. ...

## 八、参考文献

《大学物理基础与综合性实验》何佳清，霍剑青主编.北京：高等教育出版社，2018.4，p121-p124.