

本实验室含“质量和密度的测量”及“杨氏模量测量”两个实验，实验要求是“质量和密度测量”实验要求记录数据并计算数据，不写报告；“杨氏模量测量”实验要求写一份完整报告(含实验名称，目的，仪器，数据处理（作图法及最小二乘法））。

预习思考题二维码



出门测二维码



### 实验 3 用拉伸法测量钢丝的杨氏模量

杨氏弹性模量（简称杨氏模量）是表征刚性材料在弹性限度内材料抗压或拉伸性能的物理量，它仅取决于材料本身的物理性质，与样品的尺寸大小、外形和外加力的大小无关。杨氏模量的大小标志了材料的刚性程度，杨氏模量越大，则越不容易发生形变，它是工程技术中常用的重要力学参数。

#### 待研究问题

在材料弹性限度内，应力  $F/S$ （即法向力与力所作用的面积之比）和应变  $\Delta L/L$ （即长度的变化与原来的长度）之比是一个常数，即

$$E = (F/S)/(\Delta L/L) = FL/S\Delta L \quad (1)$$

式中  $E$  称为材料的杨氏模量，本实验研究如何用拉伸法测量钢丝的杨氏模量。

#### 实验原理

根据式（1）可以计算出材料的杨氏模量  $E$ 。因为刚性材料在外力拉伸下一般伸长量  $\Delta L$  很小，所以采用光学放大法，将其放大，本实验采用光杠杆放大法测量  $\Delta L$ 。

光杠杆放大原理如图 3-1 所示，它是一个带有可旋转平面镜的支架，平面镜

的镜面基本垂直于刀口和足尖所决定的平面，其后足即杠杆的支脚与被测物接触。当金属丝受到向下拉力  $F$  作用时，杠杆支脚将随被测物下降微小距离  $\Delta L$ ，平面镜镜面的法线将转过一个  $\theta$  角，此时从望远镜中看到的标尺刻度是标尺经过平面镜反射所成的像，从尺子发出的入射线和反射线的夹角为  $2\theta$ ，如图 3-2 所示，当  $\theta$  很小时，

$$\theta \approx \tan \theta = \Delta L / l \quad (2)$$

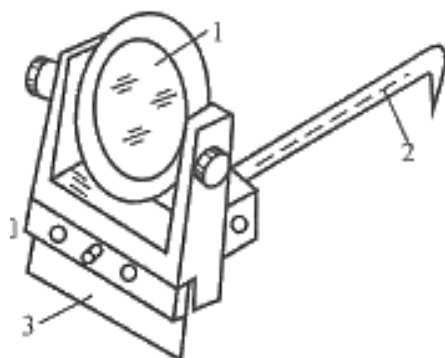


图 3-1 光杠杆结构图

1.平面镜；2.杠杆支脚；3.刀口

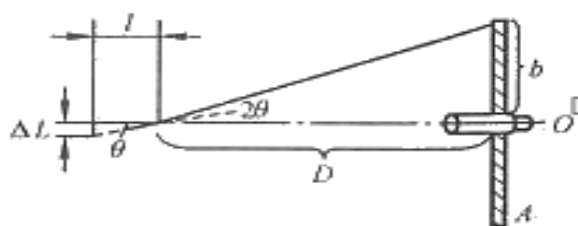


图 3-2 光杠杆原理图

式中  $l$  是支脚尖到刀口的垂直距离（也叫光杠杆的臂长）。由图 3-2 可知

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

式中  $D$  为镜面到标尺的距离， $b$  为在拉力  $F$  作用下标尺读数的改变。

由 (2) 和 (3) 两式得到

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

由此得

$$\Delta L = \frac{bl}{2D} \quad (4)$$

由 (1) 和 (4) 两式得

$$E = \frac{2DLF}{S\Delta b} \quad (5)$$

式中  $2D/l$  叫做光杠杆的放大倍数。测出  $D$ 、 $L$ 、 $l$  和金属丝直径  $d$  ( $S = \pi d^2 / 4$ ) 及一系列的  $F$  与  $b$  之后，由式 (5) 即可计算出金属丝的杨氏模量  $E$ 。

## 实验装置

杨氏模量测量仪实验装置如图 3-3 所示。待测金属丝长约 1m，其上端夹紧悬挂于支架顶部，穿过中空的圆柱形管制器后，下端被管制器底部夹紧，支架中部有一平台，平台中一圆孔，管制器能在孔中上下自由移动，砝码加在管制器下的砝码托上，金属丝因受到拉力而伸长。

砝码加在砝码托上，拉伸钢丝，钢丝伸长后带动管束器下降，光杆杠杆后足随之下降。从望远镜中观察标尺读数的变化，并记录。

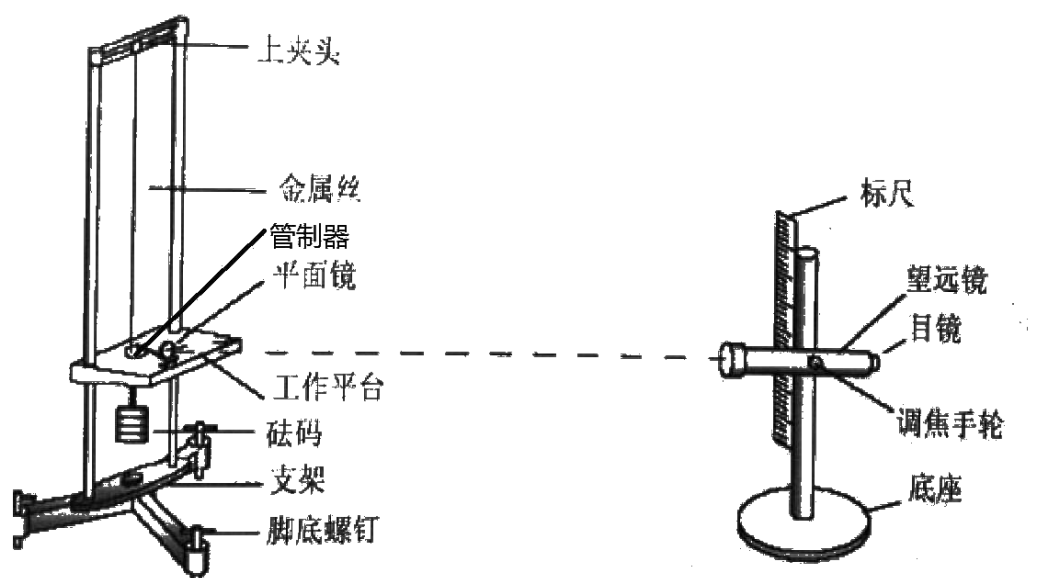


图 3-3 杨氏模量测量仪实验装置

## 实验要求（与数据处理）

### 1. 预习要求

- (1) 理解杨氏模量的物理意义及定义。
- (2) 理解光杠杆的放大原理。
- (3) 初步了解杨氏模量实验仪实验装置的工作原理。

## 2. 实验过程要求

### (1) 调节仪器

a. 调节支架底部螺丝，确保平台的水平；调节平台的上下位置，使管制器顶部与平台的上表面共面。

b. 光杠杆的调节。光杠杆和镜尺组是测量金属丝伸长量  $\Delta L$  的关键部件。调节光杠杆处于正常工作状态。

c. 镜尺组的调节。调节望远镜、直尺和光杠杆三者之间的相对位置，调节望远镜目镜及物镜焦距，使标尺像清晰，见图 3-3。

### (2) 测量

a. 砝码托的质量为  $m_0$ ，记录望远镜中标尺的初始读数  $b_0$  作为钢丝的起始长度。

b. 在砝码托上逐次加相同质量的砝码，记录每增加一个砝码时望远镜中标尺上的读数  $b_i$ ，然后再将砝码逐次减去，记下对应的读数  $b_i'$ ，取相同砝码的两组数据的平均值  $\bar{b}_i$ 。

c. 选用合适的仪器测量金属丝的长度  $L$ ，平面镜与标尺之间的距离  $D$ ，光杠杆的臂长  $l$ ，金属丝直径  $d$ 。

## 3. 数据处理要求

把式 (5) 改写为

$$b_i = 2DLF_i / SE = MF_i \quad (6)$$

其中  $M = 2DL / (SE)$ ，在一定的实验条件下， $M$  是一个常量，做  $\bar{b}_i - F_i$  关系图，其斜率为  $M$ 。由图上得到  $M$  的数据后可由式 (7) 计算杨氏模量

$$E = 2DL / (SIM) \quad (7)$$

用最小二乘法对数据进行线性拟合，并附图，求出杨氏模量及其不确定度。

## 思考题

### 1. 预习思考题

(1) 什么是材料的杨氏模量，它和材料的长度、横截面积是否有关？

(2) 光杠杆放大原理是什么，它的放大倍数由那些量决定？

## 2. 实验过程思考题

(1) 实验过程中，如果从望远镜中看到的尺子不清晰是因为什么，如何调节才能使得尺子读数清晰？

(2) 实验过程中，当从望远镜看到尺子的初始值较大，调节什么仪器可以使初始值较小，以免加砝码后读数溢出？

(3) 如何准确测量光杠杆的臂长？

## 3. 实验报告思考题

(1) 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  $2D/L$ ，根据此式能否以增加  $D$  减小  $L$  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？

(2) 实验中，各个长度量用不同的仪器来测量是怎样考虑的，为什么？

## 参考资料

[1] 吴泳华，霍剑青，浦其荣. 大学物理实验. 北京: 高等教育出版社, 2005. 11, 137-141

[2] 张志东，魏怀鹏，展永. 大学物理实验（第四版），2011.8，北京：科学出版社，129-134

[3] 徐建强，徐荣历. 大学物理实验（第二版）. 北京: 科学教育出版社, 20014. 1, 220-225

[4] 孙丽媛，祖新慧. 大学物理实验. 北京: 清华大学出版社, 2014. 4, 42-46

[5] 江美福，方建性. 大学物理实验教程. 北京: 科学出版社, 2009. 08 104-106

[6] 张海鲲，邵明辉，崔晓军. 大学物理实验. 北京: 高等教育出版社, 2015. 8, 153-157

[7] 毛爱华，武娥. 大学物理实验. 北京: 机械工业出版社, 2015. 1, 53-56

## 附件 1

## 激光杠杆及其放大作用

用激光器作光杠杆的方法有两种：

第一种方法：激光器出光口装有十字形光阑，将取代原来光杠杆的反射平面镜，置于杨氏模量的管制器上，调节十字光斑位置使其直接照射到标尺上，激光器随着管制器高度变化仰角发生变化，读取标尺上读数，直接利用光杠杆原理，其放大倍数为  $D/b$ ，这样通过改变  $D$  的大小而任意调节放大倍数，此实验装置简单，思路清晰，便于调节。

第二种方法：是用前端装有十字形光阑的激光器取代原实验装置上的望远镜，将十字光斑经平面镜反射后照射到标尺上而读数。此方法原理清晰，实验装置简单，操作方便。

## 参考资料

[1]胡成华，周平. 大学物理. Vol. 25No. 3. 2006. 03

## 附件 2

### 实验名称：固体热膨胀系数的测量

#### 待研究的问题

学会用光杠杆法测量微小长度的变化；

测定金属棒的线膨胀系数。

#### 实验原理

不同的材料热胀冷缩的相对长度变化是不同的，物理上为了表征材料这种特性，定义物理量线膨胀系数  $\alpha$  来描述。

线膨胀是指固体材料在受热膨胀时，在一维方向上的伸长。在一定的温度范围内，固体受热后，其长度会增加。

设固体原长为  $L$ ，由初温  $t_1$  加热升温至末温  $t_2$ ，物体伸长长度的变化为  $\Delta L$ ，则有

$$\Delta L = \alpha L(t_2 - t_1) \quad (8)$$

上式表明，物体受热后其伸长量与温度的增加量成正比，和原长也成正比。和物理本身的性质  $\alpha$  有关， $\alpha$  称为固体的线膨胀系数。

$$\alpha = \Delta L / L(t_1 - t_2) \quad (9)$$

利用正文中光杠杆的实验原理，可以测量物理受热后伸长的微小量，从上式可得

$$\alpha = bl / 2DL(t_1 - t_2) \quad (10)$$

### 参考资料

[1] 江美福，方建性 大学物理实验教程．北京：科学出版社，2009.08  
108-109

轩植华，梁燕