


用拉伸法测金属的杨氏模量

中国民航飞行学院 物理实验室



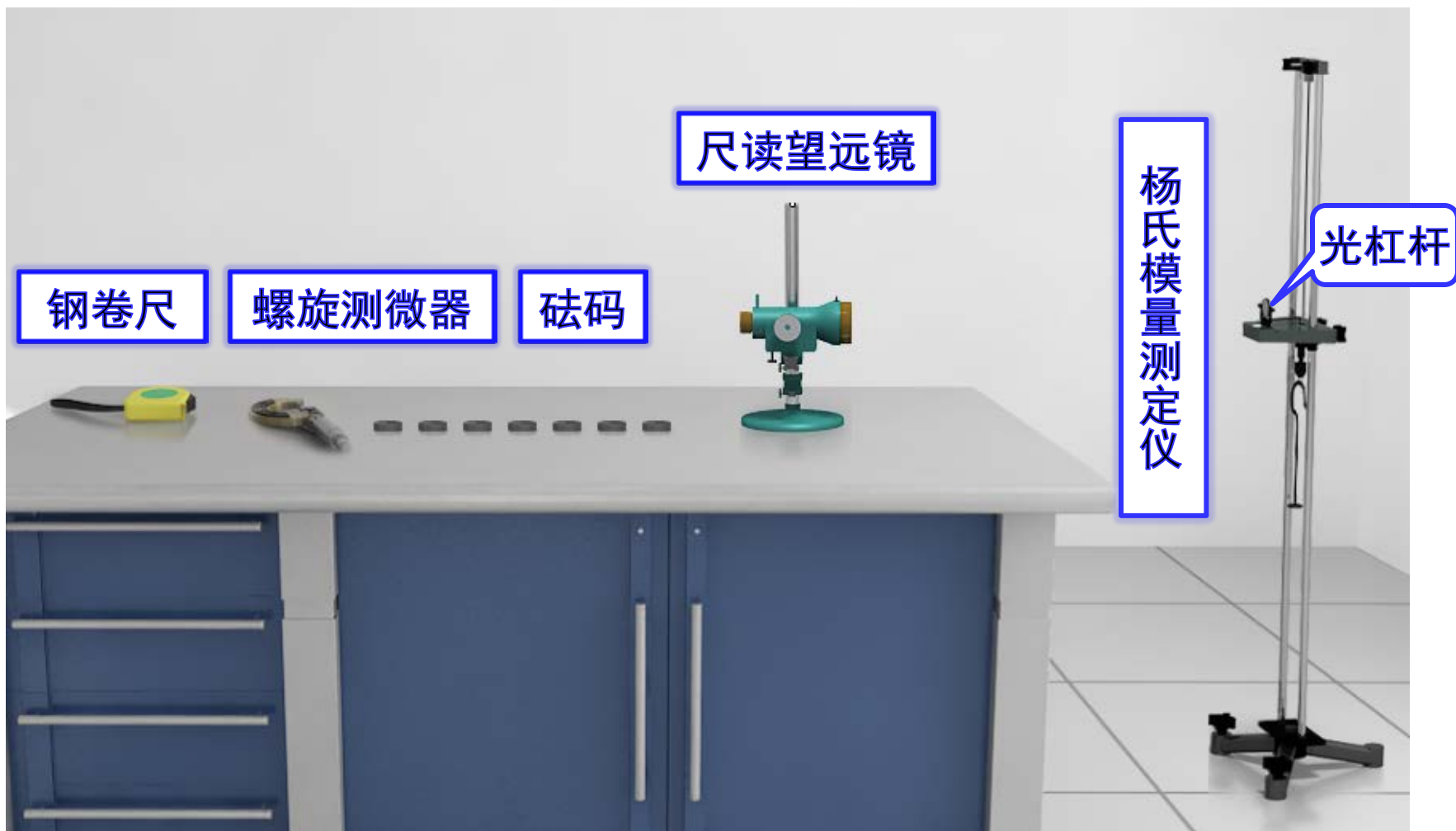
实验目的

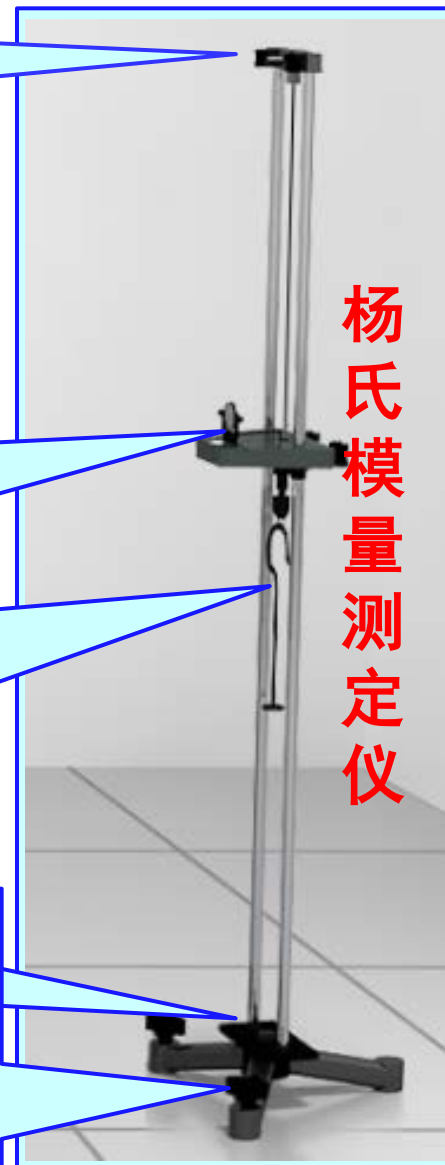
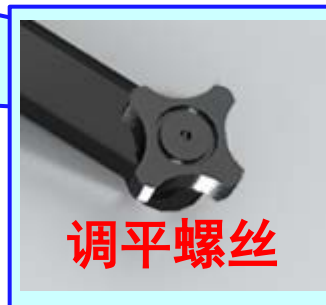
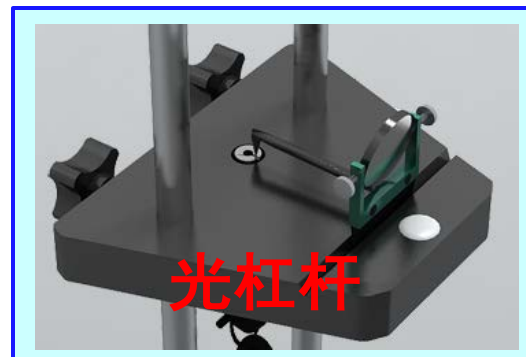
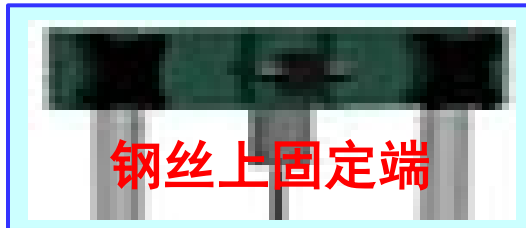
- 1、测定钢丝的杨氏模量
- 2、了解光杠杆测量微小长度的原理和方法
- 3、学会用逐差法处理实验数据
- 4、学会不确定度的计算方法及正确表达



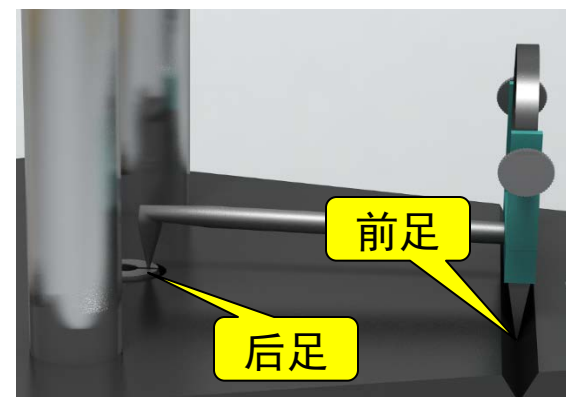
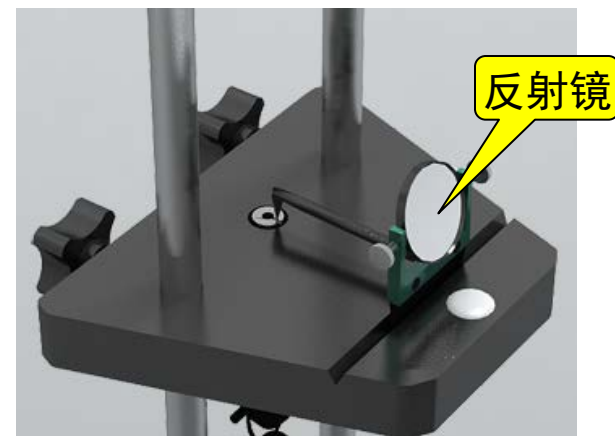
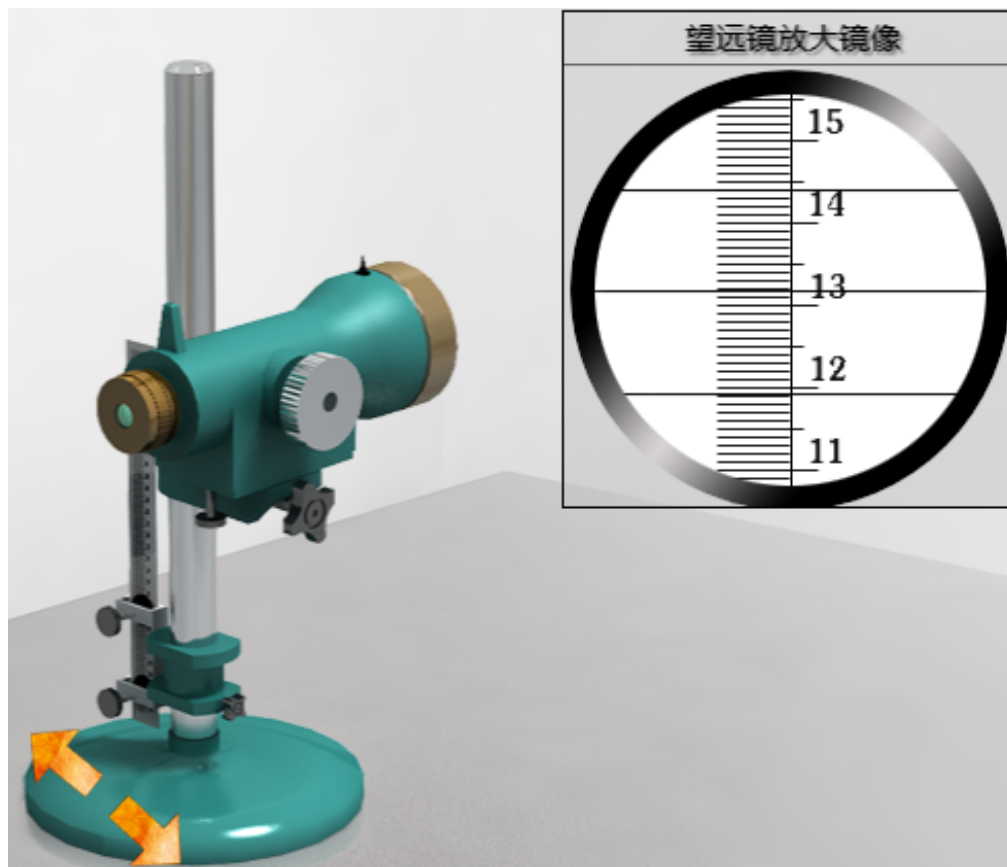
实验仪器

仪器介绍

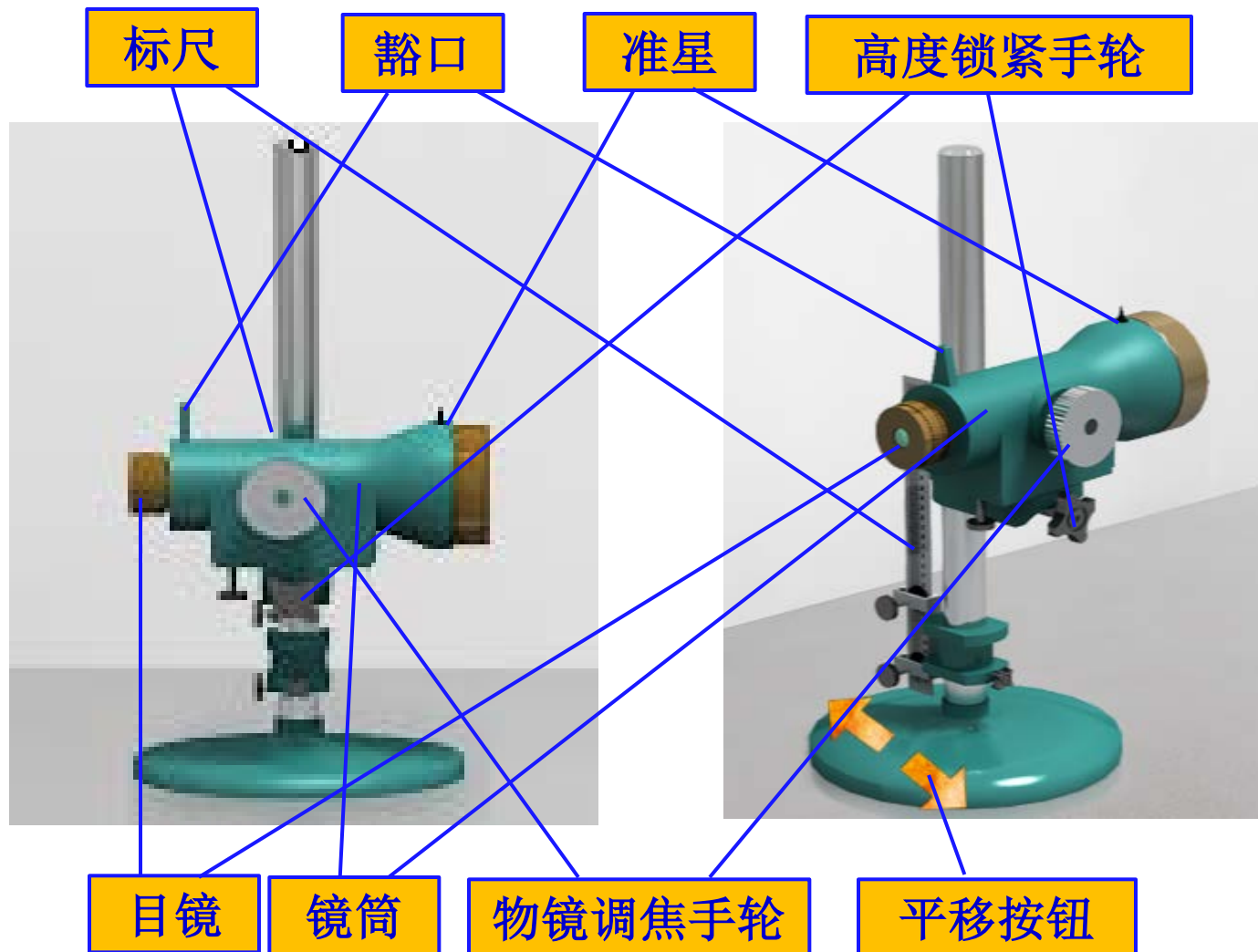




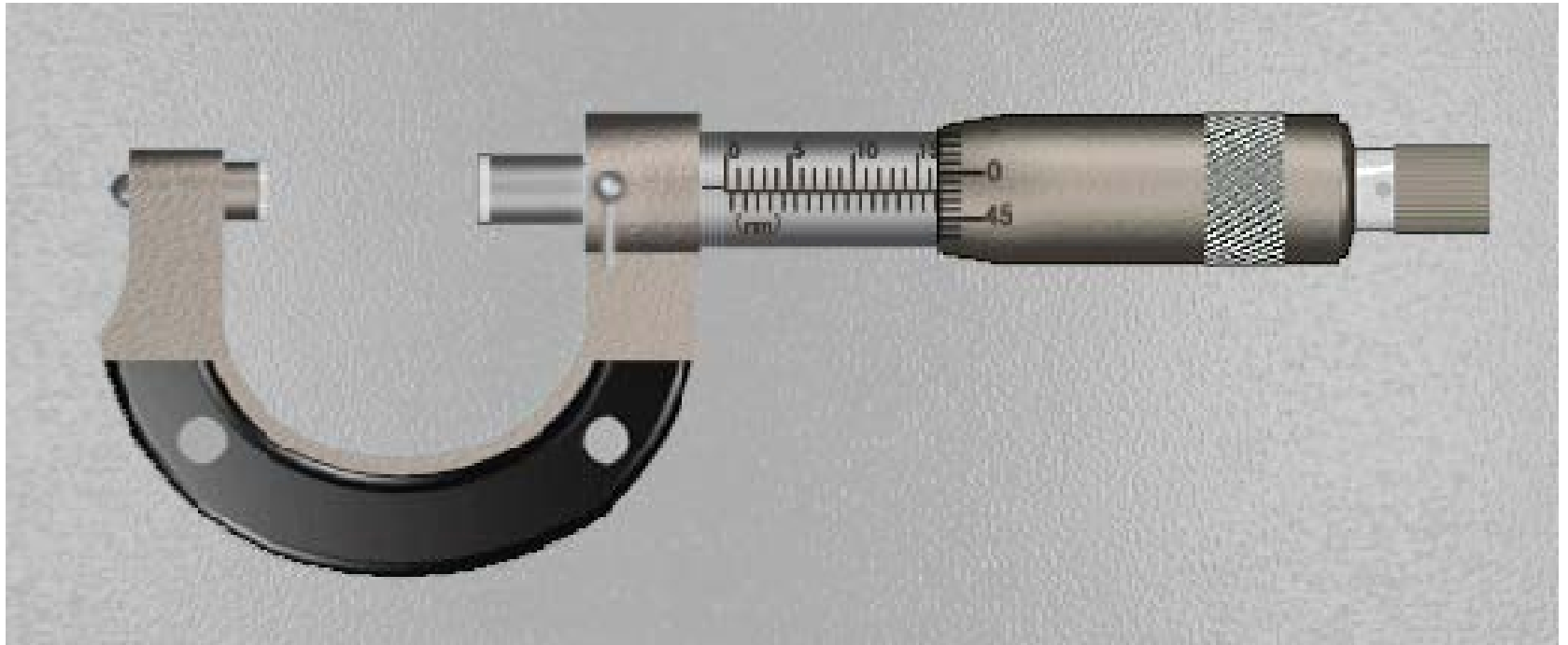
光杠杆



尺读望远镜



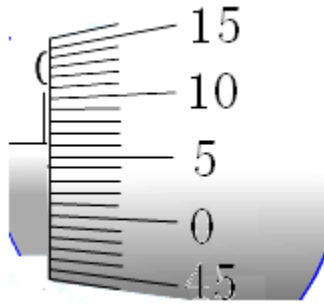
螺旋测微器（千分尺）



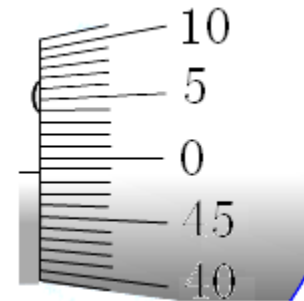
读数=固定套管+微分筒

微分筒= 格数 \times 0.01mm

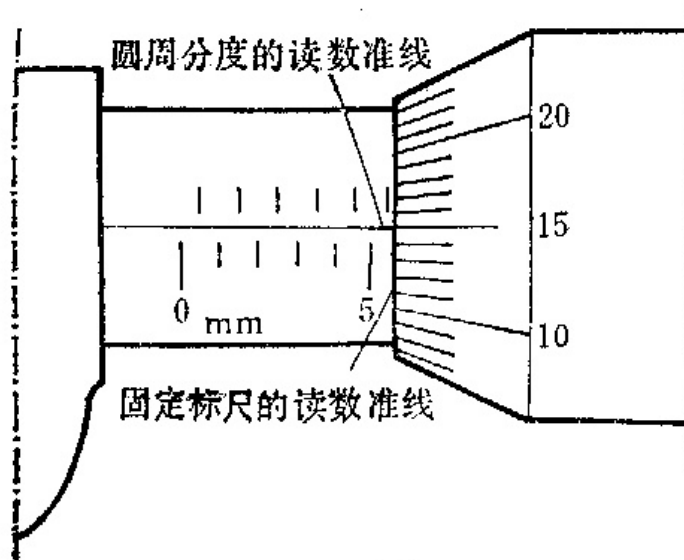
螺旋测微器零差 $d_0=$



$d_0=0.060\text{mm}$

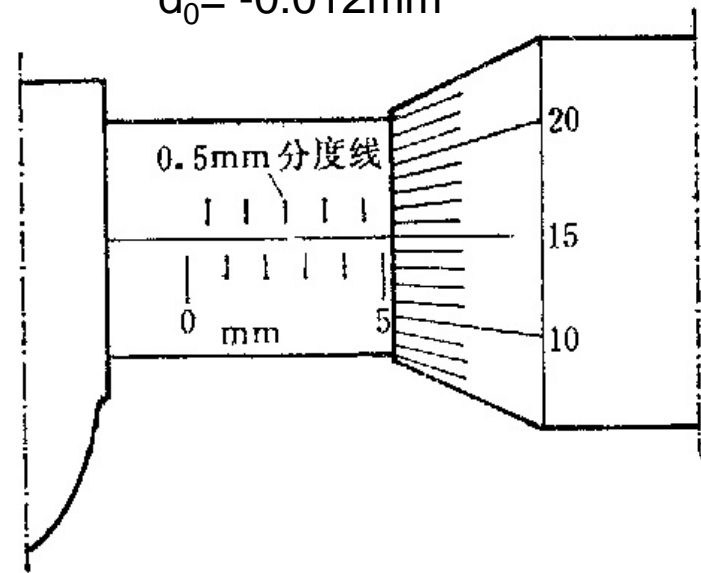


$d_0=-0.012\text{mm}$



(a)

$$A=(5+0.5+15.0 \times 0.01)\text{mm}$$



(b)

$$B=(5+15.0 \times 0.01)\text{mm}$$



实验原理

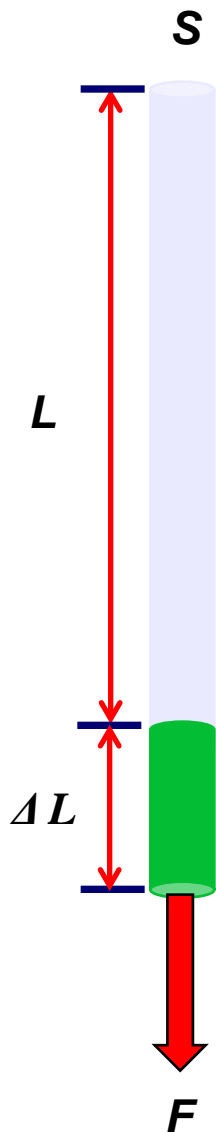
1. 杨氏模量

弹性形变



塑性形变





正应力: $\frac{F}{S}$ 线应变: $\frac{\Delta L}{L}$

在弹性范围内, 由胡克定律:

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

杨氏模量:

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

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

单位: $\text{N/m}^2 = \text{Pa}$ 常用: $\text{GPa} = 10^9 \text{Pa}$

E越大，越难变形，刚性越强。

单位：G(10⁹)Pa



钢192~216



铁113~157



铜73~127

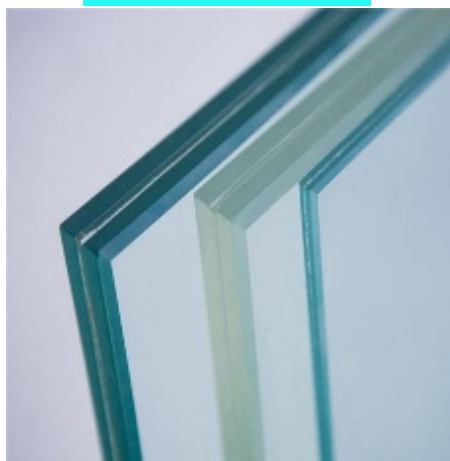


铝 约70

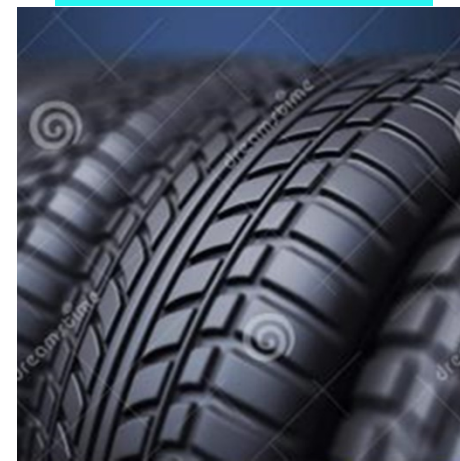
铅 约70



玻璃 约55

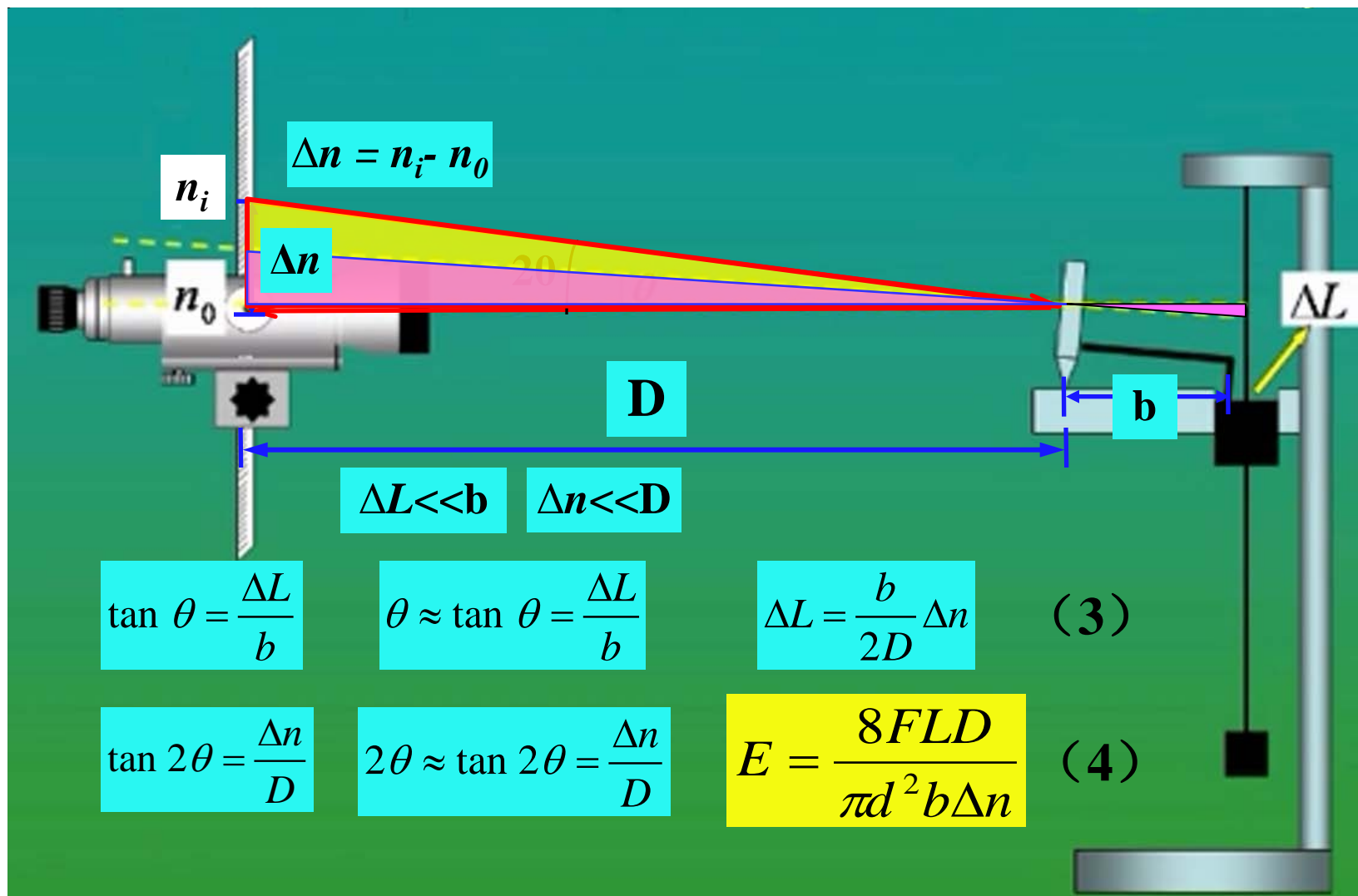



橡胶 约0.0078




2. 光杠杆放大原理

ΔL 很小，需要放大测量：




$$E = \frac{8\Delta mgLD}{\pi d^2 b} \cdot \frac{1}{\Delta n} \quad (5)$$

- Δm : 增加砝码质量
- L : 钢丝原长
- D : 反射镜中心到标尺的距离
- d : 钢丝外径（直径）
- b : 光杠杆常数的长度
- Δn : 通过望远镜读数



实验内容

一、仪器调节

(1) 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。

(2) 调节支架底脚螺丝，确保平台水平。调金属丝夹头上下位置，使夹头顶部与平台的上表面共面。

(3) 光杠杆的调节：将光杠杆放在平台上，前足（刀口）放在平台前面的横槽内，后足放在活动金属丝夹头上，但不可与金属丝相碰。

(4) 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，使望远镜和反射镜处于同等高度，调节望远镜目镜，使目镜内分划板刻线（叉丝）清晰，用物镜调焦手轮，使标尺像清晰。

二、测量

(1) 用钢卷尺或者米尺测量金属丝的原长 L 和平面镜与标尺之间的距离 D ，以及光杠杆的臂长 b 。

$L(\text{mm})$	$D(\text{mm})$	$b(\text{mm})$

(2) 用螺旋测微器测金属丝直径 d ，上、中、下各测2次，共6次，然后取平均值。

序号 <i>i</i>	1	2	3	4	5	6	平均值
直径 $d_i(\text{mm})$							

(3) 砝码托盘中未放置砝码时，记录望远镜中标尺的读数为 n_0 ，作为钢丝的起始长度。在砝码托盘上逐次加0.50kg砝码(可加到3.50kg)，观察每增加0.50kg时望远镜中标尺上的读数 n_i^+ ，然后再将砝码逐次减去，记下对应的读数 n_i^- ，取两组对应数据的平均值 \bar{n}_i 。

序号i	1	2	3	4	5	6	7	8
砝码质量 m_i (kg)	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50
加力时标尺刻度 n_i^+ (mm)								
减力时标尺刻度 n_i^- (mm)								
平均标尺刻度(mm) $\bar{n}_i = (n_i^+ + n_i^-)/2$								



数据处理

(1)逐差法处理 Δn

将 \bar{n}_i 分成2组，每隔四项相减，得到相当于每次加2.00kg时标尺读数的变化，即 $n_1' = \bar{n}_5 - \bar{n}_1$ ， $n_2' = \bar{n}_6 - \bar{n}_2$ ， $n_3' = \bar{n}_7 - \bar{n}_3$ 和 $n_4' = \bar{n}_8 - \bar{n}_4$ ，并求出平均值。将测得的各量代入公式(5)，计算钢的杨氏模量 E 。

i	1	2	3	4	平均值
n_i'					

表1. 实验中所用工具及其相关参数

量具名称	量程	分辨力	Δ_{inst}	用于测量
标尺(mm)	80	1	0.5	Δn
钢卷尺(mm)	3000	1	0.5	L 、 D 、 b
螺旋测微器(mm)	25	0.01	0.004	d

(2) E 的不确定度 U_E 由下式计算 (不考虑 g 的影响, 即 $U_g=0$)

$$U_E = E \cdot \sqrt{\left(\frac{U_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{U_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{U_m}{m}\right)^2 + \left(-2 \frac{U_d}{d}\right)^2 + \left(-\frac{U_b}{b}\right)^2 + \left(-\frac{U_{\Delta n}}{\Delta n}\right)^2}$$

1) 根据测量条件, 对于一次性测量数据, 相应的不确定度计算如下:

$$U_L = \Delta_{\text{仪}L}$$

$$U_D = \Delta_{\text{仪}D}$$

$$U_b = \Delta_{\text{仪}b}$$

2) 对于 m , $U_m=0.01\text{kg}$ 。

3) 因 d 是多次测量, 所以既有 A 类不确定度, 也有 B 类不确定度。

$$U_d = \sqrt{U_{Ad}^2 + U_{Bd}^2}, \text{ 其中 } U_{Ad} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n-1}}, \quad U_{Bd} = \frac{\Delta_{\text{仪}d}}{\sqrt{3}}$$

4) 采用逐差法求得的 Δn 的不确定度:

$$U_{\Delta n} = \sqrt{U_{A\Delta n}^2 + U_{B\Delta n}^2}, \text{ 其中 } U_{A\Delta n} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta n_i - \overline{\Delta n})^2}{n-1}}, \quad U_{B\Delta n} = \frac{\Delta_{\text{仪}\Delta n}}{\sqrt{3}}$$

5) 写出金属丝的杨氏模量的完整表达式为: $E \pm U_E$, $U_{rE} = \frac{U_E}{E} \times 100\%$