

## 实验 4.20 金属线膨胀系数的测定

### 【实验目的】

1. 理解线膨胀系数的意义，掌握测定金属杆线膨胀系数的方法。
2. 掌握用光杠杆测量固体微小伸长量的原理及方法。

### 【实验仪器】

金属线胀系数测定仪、光杠杆、米尺、望远镜、游标卡尺、电子温度计。

### 【实验原理】

#### 一、尺度望远镜与光杠杆的测量微小长度原理

在金属线胀系数测量实验中，通常利用尺读望远镜与光杠杆测量金属杆（金属丝）的微小伸长量。

光杠杆装置如图 4.20.1(a)所示，它是由平面镜和三脚架构成，平面镜与三脚架平面垂直。在本实验中，光杠杆后足固定于工作平台的横槽中，前足（动足）放在待测物的测量平台中心。当待测物的长度发生变化时，待测物的测量平台中心会相应升降，光杠杆的前足随着平台中心一起升降，镜面则以两只后足的连线为轴转动。



图 4.20.1(a)

在图 4.20.1(b)中，M 为光杠杆平面镜面，A 为望远镜旁边的标尺，光杠杆的后足到两只前足连线的垂直距离为  $Z$ ，标尺到光杠杆镜面的距离为  $D$ 。由反射定律可知：初始状态下望远镜筒的对称轴线与平面镜 M 垂直，平面镜 M 与标尺平行，望远镜视场中间十字叉丝的横丝线对应标尺上的读数为  $A_0$ ；当待测物的长度伸长  $\delta$  时，光杠杆后足下降，平面镜面转过  $\theta$  角，其法线也随之转过  $\theta$  角，望远镜视场中间十字叉丝的横丝线对应标尺上的读数为  $A_m$ 。从图中可以看出：

$$\begin{aligned}\tan\theta &= \frac{\delta}{Z} \\ \angle A_m O A_0 &= 2\theta \\ \tan 2\theta &= \frac{\Delta A}{D} = \frac{A_m - A_0}{D}\end{aligned}$$

由于 $\theta$ 角很小，所以

$$\theta \approx \tan\theta = \frac{\delta}{z} \qquad 2\theta \approx \tan 2\theta = \frac{A_m - A_0}{D}$$

消去 $\theta$ ，得

$$\delta = \frac{(A_m - A_0)Z}{2D} \qquad A_m - A_0 = \frac{2D\delta}{z}$$

标尺读数差 $A_m - A_0$ 比实际伸长量 $\delta$ 放大了 $\frac{2D}{z}$ 倍，即利用光杠杆放大原理可以将测量微小长度变化量 $\delta$ 转化为对一般量 $A_m - A_0$ 的测量。

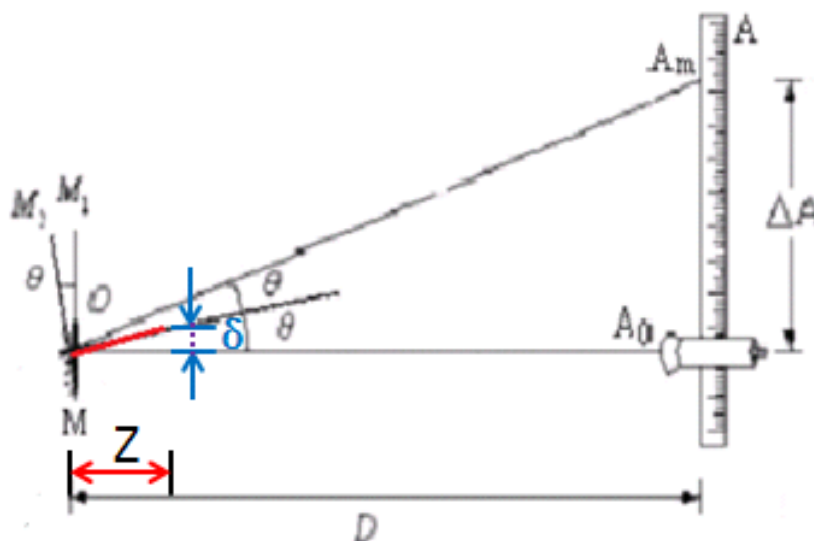


图 4.20.1(b)

## 二、线胀系数测量的基本原理

任何物体都具有“热胀冷缩”的特性，这个特性在工程设计、精密仪表设计、材料的焊接和加工中都必须加以考虑。线胀系数是描述材料受热膨胀的一项重要参数，金属线胀系数的测定是大学物理实验中一个重要的热学实验。测量金属线胀系数的方法按加热方式分为流水加热法、水蒸气加热法、电加热法等；按测量方式分为：千分表法、组合法、单色光的劈尖干涉法、光杠杆法、传感器测量法等。目前，金属线胀系数测量较为常见的是利用电加热待测金属杆，采用温度计在多个温度工作点下，用尺度望远镜和光杠杆测量金属杆由不同状态温差所引起的长度变化，从而得到金属杆的线胀系数。

固体加热时，体积将增大，这是一般物体所具有“热胀冷缩”的特性，固体

受热后长度的增长称为“线膨胀”，其长度  $L$  和温度之间的关系为

$$L = L_0(1 + \alpha t + \beta^2 t + \dots) \quad (4.20.1)$$

式中  $L_0$  为温度  $t=0^\circ\text{C}$  时的长度。 $\alpha$ 、 $\beta$ ……是和被测物质有关的常数，都是很小的数值。而  $\beta$  以后各系数和  $\alpha$  相比更小。所以在常温下可以忽略，则 (4.20.1) 式可写成：

$$L = L_0(1 + \alpha t) \quad (4.20.2)$$

式中  $\alpha$  就是通常所称的线胀系数，其物理意义为温度每升  $1^\circ\text{C}$  度时物体的伸长量与它在零度时的长度比，单位是  $^\circ\text{C}^{-1}$ 。

如果在温度  $t_1$  和  $t_2$  时，金属杆的长度分别为  $L_1$  和  $L_2$  则可写出：

$$L_1 = L_0(1 + \alpha t_1) \quad (4.20.3)$$

$$L_2 = L_0(1 + \alpha t_2) \quad (4.20.4)$$

将式 (4.20.3) 代入式 (4.20.4)，化简后得：

$$\alpha = \frac{L_2 - L_1}{L_1(t_2 - \frac{L_2}{L_1}t_1)} \quad (4.20.5)$$

由于  $L_2$  与  $L_1$  变化微小， $L_2/L_1 \approx 1$  所以 (4.20.5) 式可近似写成

$$\alpha = \frac{L_2 - L_1}{L_1(t_2 - t_1)} = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta t} \quad (4.20.6)$$

其中  $\Delta L$  是温度由  $t_1$  升至  $t_2$  时金属棒的伸长量。

利用光杠杆和尺读望远镜测量微小长度变化量  $\Delta L$ ，记下温度为  $t_1$ ，尺读望远镜中读数为  $A_{m1}$ ，温度为  $t_2$  时，尺读望远镜中的读数为  $A_{m2}$ ，则金属棒的伸长量为

$$\Delta L = \frac{|A_{m2} - A_{m1}|Z}{2D} \quad (4.20.7)$$

将式 (4.20.7) 代入式 (4.20.6) 得

$$\alpha = \frac{|A_{m2} - A_{m1}|Z}{2DL_1(t_2 - t_1)} \quad (4.20.8)$$

式 (4.20.8) 中， $D$  为镜面到米尺的距离， $Z$  为光杠杆后足尖到前两足尖连线间的垂直距离。

由于单人用米尺测量光杠杆镜面到标尺的距离  $D$  比较困难，可以通过尺读望远镜与光杠杆的远距离测量原理测量， $D=50n$ ，其中  $n$  是望远镜内上、下视距丝  $PQ$  在标尺上的读数为  $P_1$ 、 $Q_1$  之差。

### 三、尺读望远镜与光杠杆的调节过程

1、使尺读望远镜和光杠杆的镜面处于同一高度，望远镜筒对称轴线与镜面垂直；

2、粗调，通过望远镜上方边缘观察到光杠杆镜面内标尺的像，左右调节尺读望远镜的位置，使光杠杆镜面内标尺的像在望远镜的中间；

3、调节目镜，使十字叉丝处于最清晰的状态；

4、调节望远镜物镜的调焦旋钮，使视场中出现清楚的标尺像，调节刻度尺上下位置，十字叉丝中心点应落在刻度尺的 $-2.00\sim-3.00\text{cm}$  区间。

注意：由于标尺的最小分度为  $1\text{mm}$ ，标尺的“0”刻度在中心位置，向两端刻都有相同的刻度值，用红黑两色区分，读数前请先规定一端刻度值为正，则另一端刻度值为负，读数参照米尺的读法，读数要估读一位。如图 4.20.2 中若先规定黑色刻度值为负，则望远镜视场中十字叉丝横丝对应的读数为 $-3.70\text{cm}$ 。

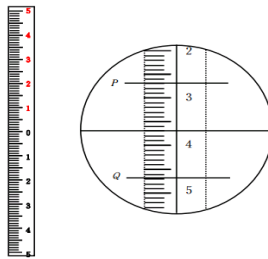


图 4.20.2

#### 【实验内容】

1. 用卷尺测量金属棒在室温下的长度  $L$ ，重复测量 5 次，然后将被测棒慢慢放入孔中，直到被测棒的下端接触底面，上端露出筒外。

2. 调节好光杠杆及望远镜。

3. 记下初温 $t_0$ ，记录标尺的初读数 $A_0$ 。注意测量过程中不要使光杠杆和平面镜发生移动或转动。

4. 将调压电位器放置零端，接通电源，调节电位器旋钮，使指示灯发出微弱的光亮。从金属棒温度达到  $40^\circ\text{C}$  开始，温度每升高变化  $5^\circ\text{C}$  时，记录标尺读数 $A_1$ 。加热到  $80^\circ\text{C}$  时停止加热，温度每降低  $5^\circ\text{C}$  时，记录标尺读数  $A_1'$ 。

5. 用米尺测量  $D$  值；

6. 使用游标卡尺测量光杠杆的距离  $Z$ 。

7. 逐差法计算金属的线胀系数及其不确定度。（注：本实验测定的金属杆为紫铜，它的线胀系数： $\alpha_{\text{标}} = 1.72 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ）

**【数据记录及处理】**

表 4.20.1 测量 Z、L 以及 D 值

次数	1	2	3	4	5	平均值
Z/mm						
L/mm						
D/cm						

表 4.20.2 测量尺读望远镜尺读数

次数	金属杆温度/ $^\circ\text{C}$	升温/cm		降温/cm		平均值/cm	$\Delta A_i = (\overline{A_{i+4}} - \overline{A_i})$
		$A_i$	读数	$A_i'$	读数	$\overline{A_i} = \frac{A_i + A_i'}{2}$	
1	30	$A_1$		$A_1'$			
2	35	$A_2$		$A_2'$			
3	40	$A_3$		$A_3'$			
4	45	$A_4$		$A_4'$			
5	50	$A_5$		$A_5'$			
6	55	$A_6$		$A_6'$			$\Delta \overline{A}/\text{cm}$
7	60	$A_7$		$A_7'$			
8	65	$A_8$		$A_8'$			
9	70	$A_9$		$A_9'$			
10	75	$A_{10}$		$A_{10}'$			

**【注意事项】**

1. 读数是在温度连续变化过程中进行的，读数要快而准。当实验仪器在固定温度报数时，应立即读取望远镜内标尺的示数，否则温度会发生变化，影响准确性。

2. 读数过程中务必不要调节或移动望远镜系统，读数时眼睛不要碰在在望远镜上。
3. 做实验时，注意放光杠杆时要小心，以免打碎光杠杆。
4. 实验结束后及时关闭加热电源，拔下标尺指示灯的电源。

**【思考题】**

1. 本实验的误差来源主要有哪些？
2. 本实验并非绝热系统，对实验结果是否有影响？
3. 被测金属棒的端面及下支撑面若不平整对实验结果会产生怎样的影响？