

2.1 长度和物体密度的测量

天平牌JYT-10架盘天平
最大称量1000g 2009年11月
分度值1g 编号04561
常熟市金丰砝码仪器有限公司
等级 OIML R110 (苏)制00000154-号-2



实验简介

长度、质量和时间的测量是最基本的物理量测量，本实验通过对物体长度和质量的直接测量完成物体体积和密度的间接测量。一般长度的简单测量器具是米尺、游标卡尺和千分尺，最小分度值表征了它们的精度。常用的质量测量仪器是天平（物理天平和分析天平）。

本实验通过某些基本量和间接量的测量，达到学会一些基本测量仪器的正确使用、熟悉不确定度的计算和测量结果的正确表示。



实验目的

1. 了解游标卡尺、千分尺、天平的结构及测量原理，掌握它们的正确使用方法；
2. 理解有效数字的基本概念；
3. 熟悉不确定度的计算方法和测量结果的正确表示。



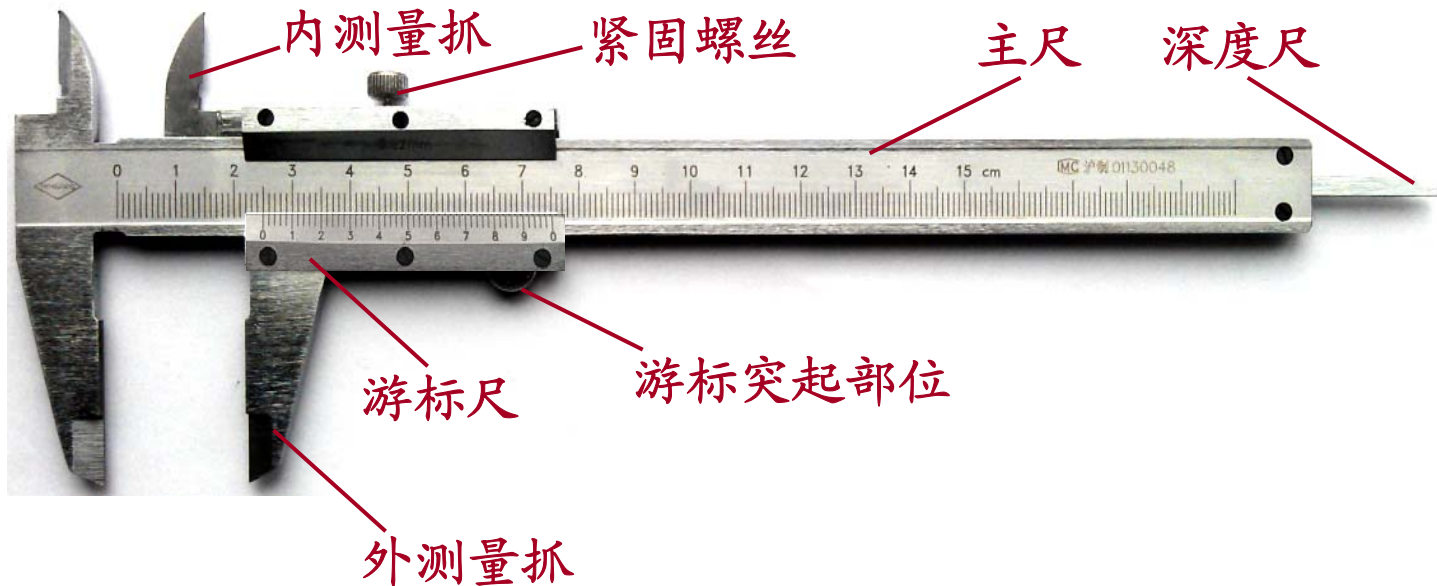
实验仪器

1. 游标卡尺 (0~150mm, $\Delta_{\text{仪}} = 0.02 \text{ mm}$)
2. 千分尺 (0~25mm, $\Delta_{\text{仪}} = 0.004 \text{ mm}$)
3. 天平 (量程1000g, $\Delta_{\text{仪}} = 0.5 \text{ g}$)



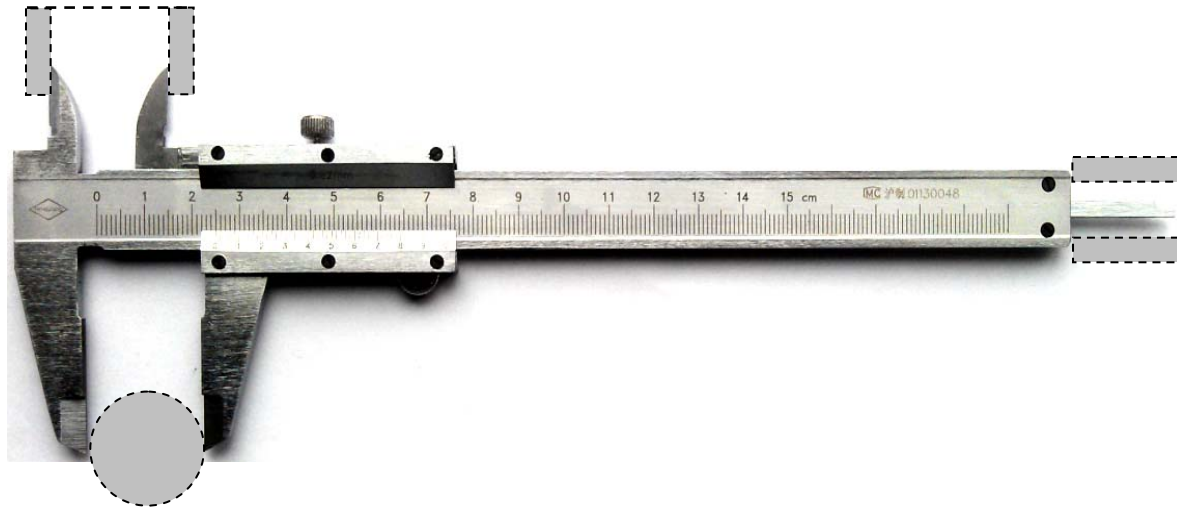
1. 游标卡尺

游标卡尺是一种利用游标原理制成的测量长度的常用量具，它由**主尺**及能在主尺上滑动的**游标**组成，其结构如下图所示。





游标卡尺的测量功能



- (1) 外测量抓：测量物体的长度、厚度及外径等。
- (2) 内测量抓：测量物体的内径。
- (3) 深度尺：测量物体的深度。



游标卡尺的分类

(1) 50分度游标卡尺： 最小分度**0.02mm**

游标尺上**50**个小格=主尺上**49**个小格

(2) 20分度游标卡尺： 最小分度**0.02mm**

游标尺上**20**个小格=主尺上**19**个小格

(3) 10分度游标卡尺： 最小分度**0.1mm**

游标尺上**10**个小格=主尺上**9**个小格



游标卡尺读数原理

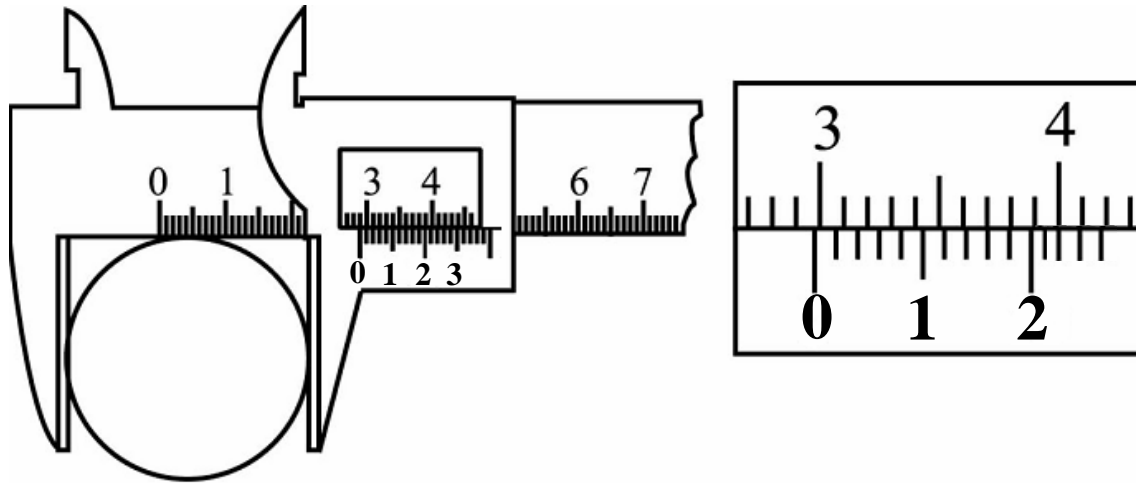
先读出游标尺零刻度线左边的**主尺**刻度所标明的以毫米为单位的长度量值的整数部分 L_0 ,

再注意**副尺**上是第几个刻度线与主尺上某一刻度线**对齐**, 如果是第 n 条, 那么副尺将给出以毫米为单位被测长度量值的小数部分 $n \delta$, 则被测物体的长度为:

$$L = (L_0 + n\delta) \text{ mm}$$



例：如图所示的最小分度值为**0.02mm**的游标卡尺读数为多少？



$$L = 29 + 12 \times 0.02 = 29.24 \text{ (mm)}$$



50分度游标卡尺读数方法

分度值是 0.02mm 的50分度游标卡尺的副尺刻度线标有0, 1, 2, 3, ..., 9数字, 这些数字在测量读数时提供了方便。

比如游标副尺上第30条刻度线与主尺某刻度线对齐, 第30条刻度线的标度数字为“6”, 6就代表了长度测量值毫米的小数部分是 0.60mm 。



注意事项:

- (1) 测量之前应检查游标卡尺的零点读数，看主副尺的零刻度线是否对齐，若没有对齐，须记下零点读数，以便对测量值进行修正。
- (2) 卡住被测物时，松紧要适当，注意保护游标卡尺的刀口。

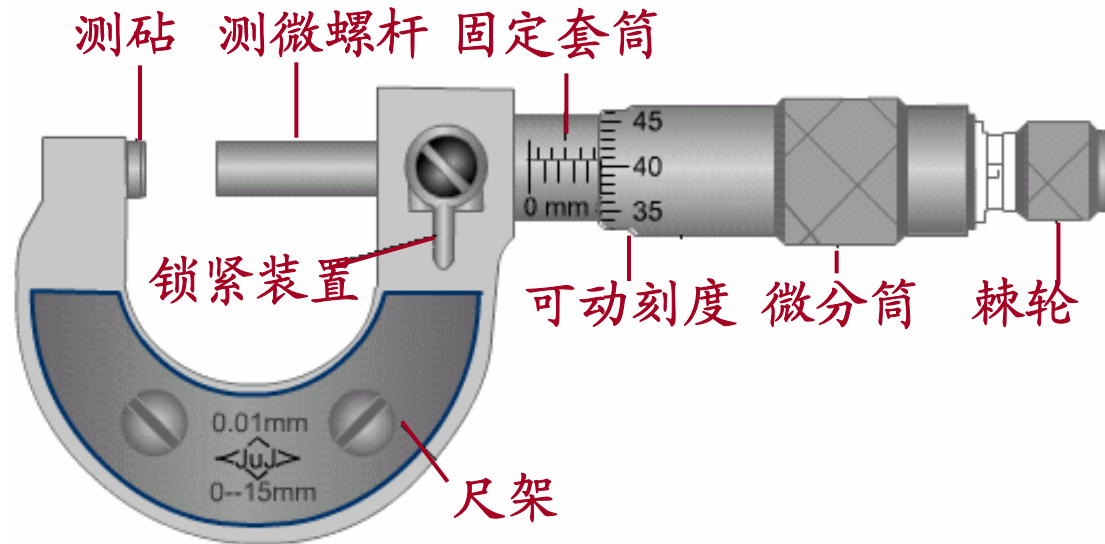


- (3) 测量圆筒内径时，要调整刀口位置，以便测出的是直径而不是弦长。
- (4) 游标卡尺是精密量具，特别要保护量爪和深度尺不被磨损，不允许测量表面粗糙的物体，尤忌在紧固螺钉锁紧的状态下挪动物体。



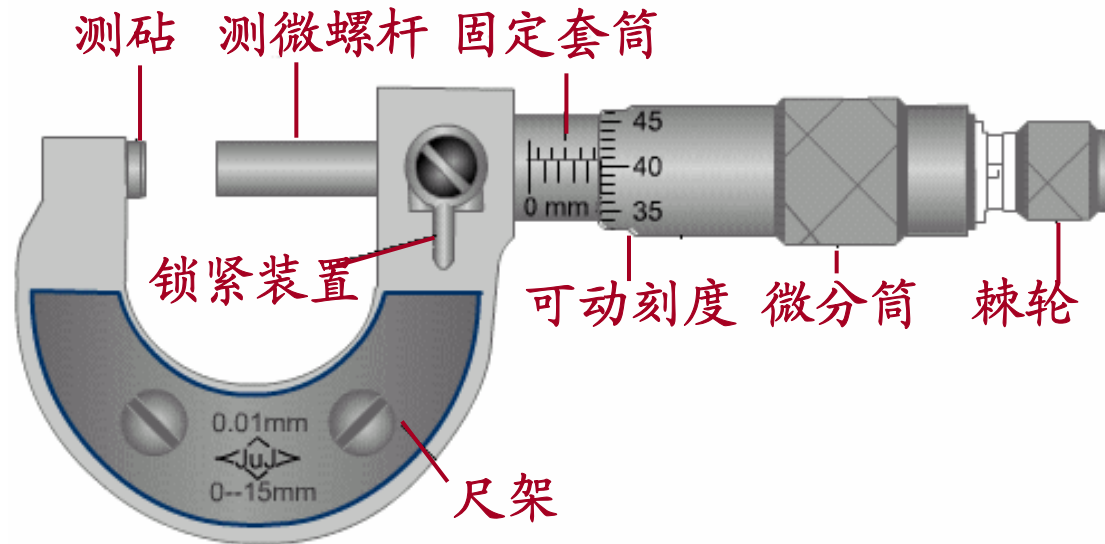
2. 千分尺

千分尺结构如下图所示。它主要由刻有分度值为0.5mm作为主尺的固定套管、螺距为0.5mm的精密测微螺杆和套在其上的带有50个均匀分度线的外套筒（又称微分筒）所组成。





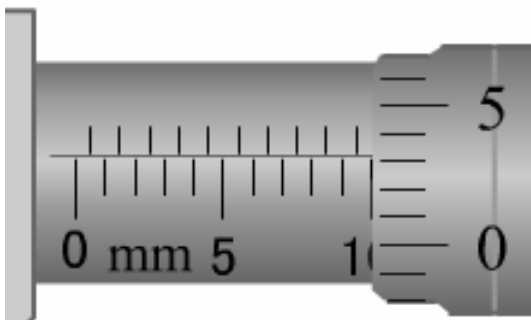
微分筒旋转一周（50个分度格）时，测微螺杆沿轴向移动一个0.5mm螺距的距离，所以微分筒每旋转一个小分度就相当于测微螺杆前进或后退0.01mm。0.01mm就是这种千分尺的**最小分度值**，由于还能再估读一位，可读出毫米的千分位，故名千分尺。





千分尺读数原理

读数值=固定套筒读数值+微分筒读数值（估读一位）



$$L = 10.0 + 0.03 + 0.001 = 10.031 \text{ (mm)}$$

固定套筒读数

微分筒读数

估读

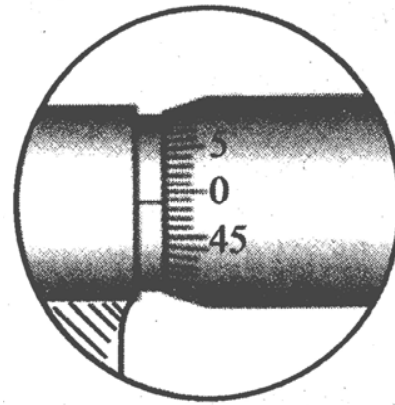


注意事项:

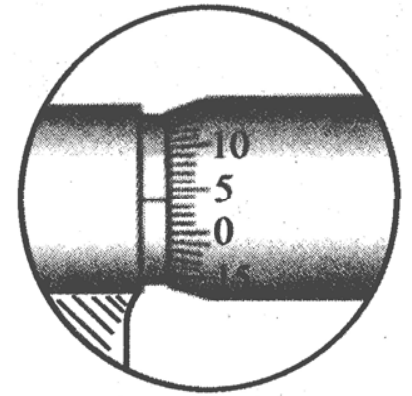
(1) 测量之前要检查零点读数。

待测物体长度量值
等于末读数减初读数
值，即：

$$L = L_{\text{末读数}} - x_0$$



$$x_0 > 0$$



$$x_0 < 0$$

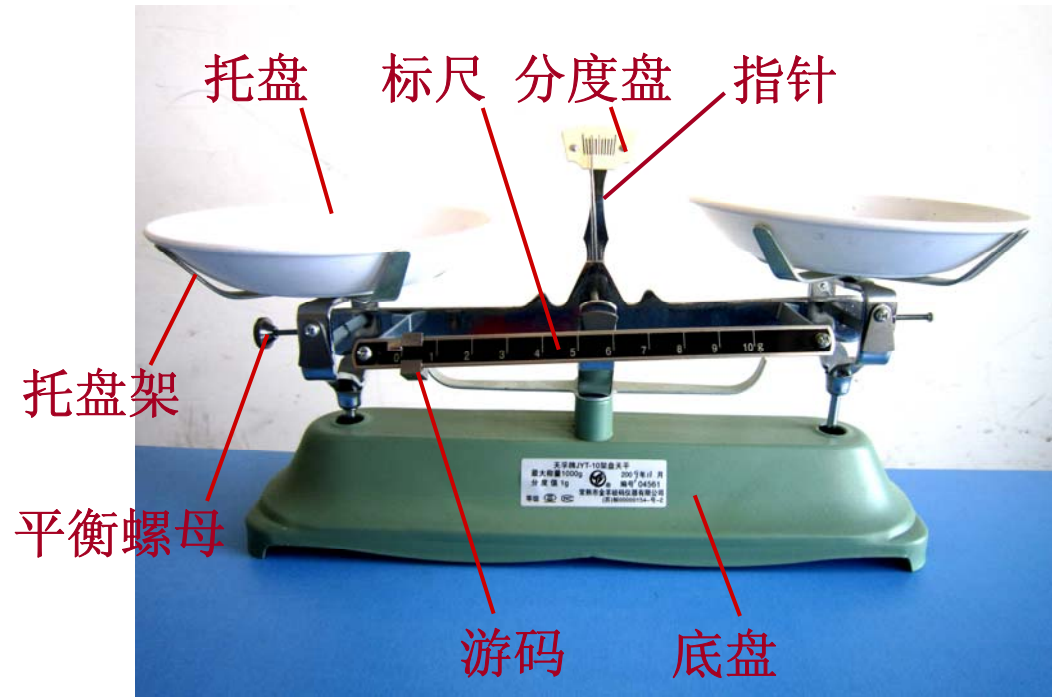


- (2) 测量时，在测微螺杆快靠近被测物体时应停止转动微分筒，而改用棘轮，听见“咯咯”声响时停止旋转。
- (3) 读数时，要注意固定刻度尺上表示半毫米的刻线是否已经露出。
- (4) 千分尺要估读。



3. 物理天平

实验室所用物理天平如右图所示，它由左右两个托盘、指针、标尺、平衡螺母、游码以及刻度尺等组成。





物理天平的使用

(1) 调零。

称量前，先把游码放在刻度尺的零点处，如果天平静止时指针指在刻度尺的中间（零点处），或摆动时指针在刻度尺左右两边摆动的格数接近相等，说明天平达到平衡。

如果天平未达到平衡，可以调节平衡螺母，使之达到平衡。



(2) 称量

称量时，一般把待测物体放在左盘，用镊子将砝码放在右盘，先加质量大的砝码，后加质量小的砝码，最后移动游码。

若称量某些物品的指定质量时（如粉末药品），可将指定质量的砝码放在左盘上，然后往右盘上加入粉末药品类物品，直至天平平衡。

称量完毕，应将砝码和镊子放回砝码盒，把游码移回零处。



实验测量原理

1. 测小球的体积

本实验用千分尺直接测量小球直径 D ，
由直径的直接测量值 D ，通过

$$V = \frac{\pi}{6} D^3$$

可间接测量出小球的体积 V 。



2. 测金属圆管的密度

本实验用游标卡尺测量圆管的外径 $D_{\text{外}}$ 、内径 $D_{\text{内}}$ 以及高度 h ；用托盘天平直接测量金属圆管的质量 m 。则金属圆管的密度为：

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{4m}{\pi h (D_{\text{外}}^2 - D_{\text{内}}^2)}$$



实验内容与数据处理

1. 用千分尺在不同部位对小球直径 D 直接测量6次，把数据计入数据表格2-1中，并计算出小球的体积 $V = \bar{V}$ (m^3)。
2. 用游标卡尺在不同部位分别对金属圆管的外径 $D_{\text{外}}$ 、内径 $D_{\text{内}}$ 及高度 h 直接测量6次；用托盘天平单次测量其质量 m 。把数据计入数据表格2-1中。



表 2-1 小球直径，圆管外径、内径、高度、质量测量表

测量次数 测量值	1	2	3	4	5	6	平均
小球直径 D/mm							
圆管外径 $D_{\text{外}}/\text{mm}$							
圆管内径 $D_{\text{内}}/\text{mm}$							
圆管高度 h/mm							
圆管质量 m/g							

3. 根据数据表格进行数据处理，以求得金属圆管的密度，并计算密度的不确定度，

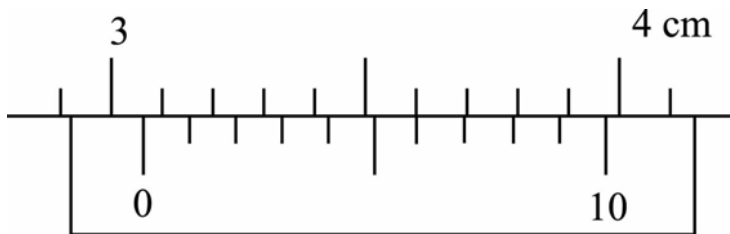
$$U_{\rho} = \bar{\rho} \sqrt{\left(\frac{U_m}{\bar{m}}\right)^2 + \left(\frac{U_h}{\bar{h}}\right)^2 + 4\left(\frac{\bar{D}_{\text{外}} U_{D_{\text{外}}}}{\bar{D}_{\text{外}}^2 - \bar{D}_{\text{内}}^2}\right)^2 + 4\left(\frac{\bar{D}_{\text{内}} U_{D_{\text{内}}}}{\bar{D}_{\text{外}}^2 - \bar{D}_{\text{内}}^2}\right)^2}$$

给出结果表示： $\rho = (\bar{\rho} \pm U_{\rho}) \text{ kg/m}^3$ 。

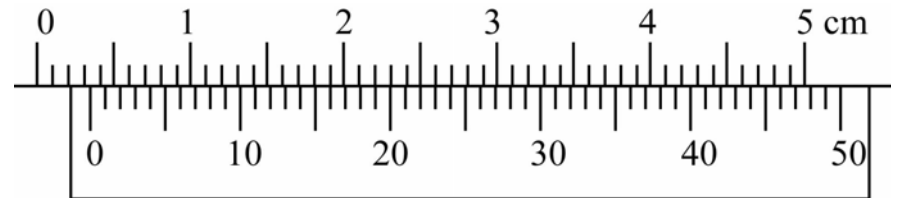


思考题

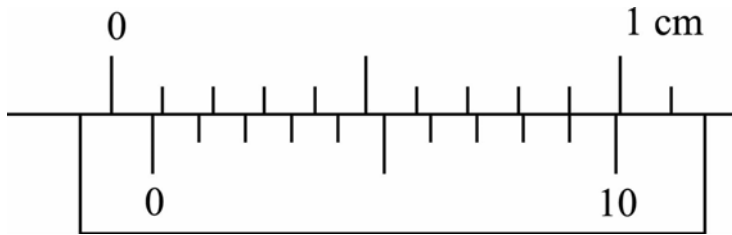
1. 下面 (1) ~ (8) 所示是游标卡尺和千分尺的测量读数，设它们零点均对齐，请读出所示的物体长度。



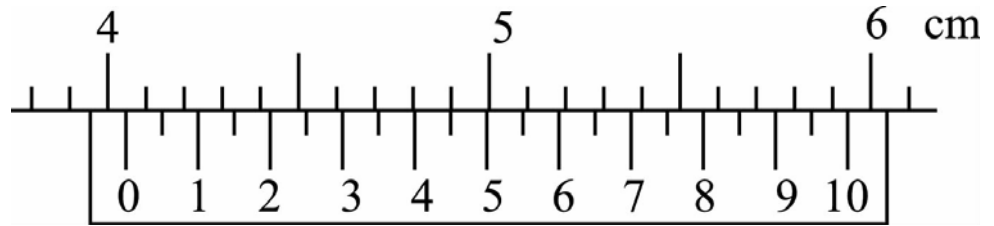
(1)



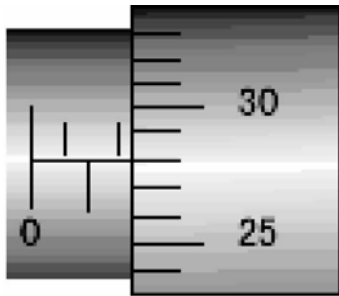
(2)



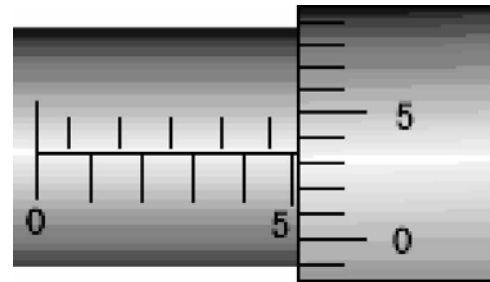
(3)



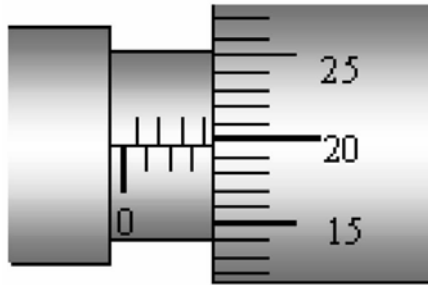
(4)



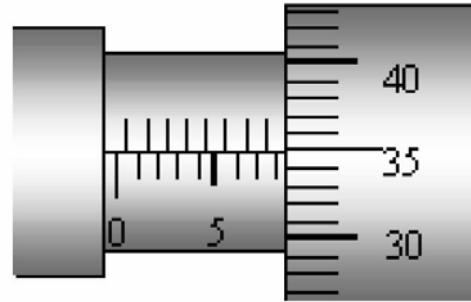
(5)



(6)



(7)



(8)

2. 用两个零读数分别为 0.003mm 和 -0.005mm 的螺旋测微器测得物体的直径为 1.730mm ，其实测长度分别为_____和_____。



附录

金属圆管密度的数据处理

金属圆管外径 $D_{\text{外}}$ 的算术平均值: $D_{\text{外}} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 D_{\text{外}i}$

$D_{\text{外}}$ 直径的A类不确定度: $u_{AD_{\text{外}}} = \sqrt{\frac{1}{6-1} \sum_{i=1}^6 (D_{\text{外}i} - \bar{D}_{\text{外}})^2}$

$D_{\text{外}}$ 直径的B类不确定度: $u_{BD_{\text{外}}} = \sqrt{\frac{1}{6-1} \sum_{i=1}^6 (D_{\text{外}i} - \bar{D}_{\text{外}})^2}$

$D_{\text{外}}$ 直径总的的不确定度: $U_{D_{\text{外}}} = \sqrt{u_{AD_{\text{外}}}^2 + u_{BD_{\text{外}}}^2}$



金属圆管内径 $D_{\text{内}}$ 的算术平均值: $D_{\text{内}} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 D_{\text{内}i}$

$D_{\text{内}}$ 直径的A类不确定度: $u_{AD_{\text{内}}} = \sqrt{\frac{1}{6-1} \sum_{i=1}^6 (D_{\text{内}i} - \bar{D}_{\text{内}})^2}$

$D_{\text{内}}$ 直径的B类不确定度: $u_{BD_{\text{内}}} = \sqrt{\frac{1}{6-1} \sum_{i=1}^6 (D_{\text{内}i} - \bar{D}_{\text{内}})^2}$

$D_{\text{内}}$ 直径总的的不确定度: $U_{D_{\text{内}}} = \sqrt{u_{AD_{\text{内}}}^2 + u_{BD_{\text{内}}}^2}$



金属圆管高度 h 的算术平均值:
$$h = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 h_i$$

h 高度的A类不确定度:
$$u_{Ah} = \sqrt{\frac{1}{6-1} \sum_{i=1}^6 (h_i - \bar{h})^2}$$

h 高度的B类不确定度:
$$u_{Bh} = \Delta_{\text{仪}}$$

h 高度总的 uncertainty:
$$U_h = \sqrt{u_{Ah}^2 + u_{Bh}^2}$$



金属圆管质量单次测量值:

$$m = m \pm U_m = (m + \Delta_{m\text{仪}})$$

金属圆管密度的最佳值:

$$\bar{\rho} = \frac{m}{\bar{V}} = \frac{4m}{\pi h (\bar{D}_{\text{外}}^2 - \bar{D}_{\text{内}}^2)}$$

金属圆管密度的不确定度:

$$U_{\rho} = \bar{\rho} \sqrt{\left(\frac{U_m}{\bar{m}}\right)^2 + \left(\frac{U_h}{\bar{h}}\right)^2 + 4\left(\frac{\bar{D}_{\text{外}} U_{D_{\text{外}}}}{\bar{D}_{\text{外}}^2 - \bar{D}_{\text{内}}^2}\right)^2 + 4\left(\frac{\bar{D}_{\text{内}} U_{D_{\text{内}}}}{\bar{D}_{\text{外}}^2 - \bar{D}_{\text{内}}^2}\right)^2}$$