浙江大学
ZheJiang University

物理实验基础

厉位阳
sunlight@zju.edu.cn

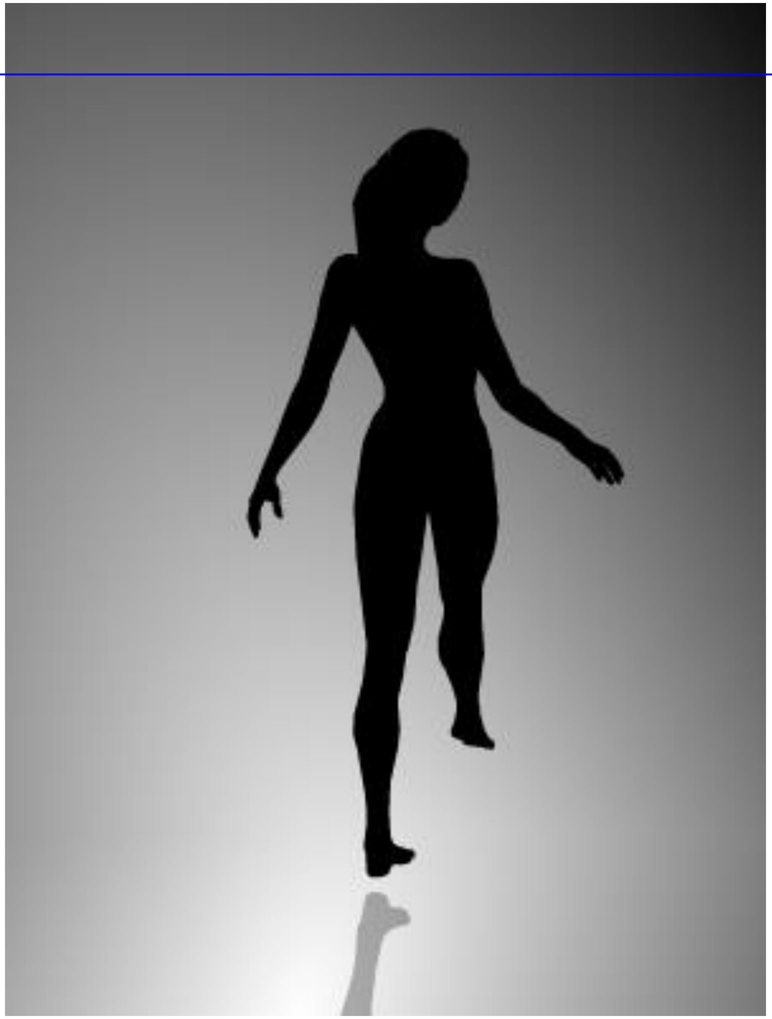
浙江大学 ZheJiang University

主要内容

一、物理实验的作用
二、实验测量与有效数字
三、误差与不确定度
四、有效数字与实验数据处理

一、物理实验的作用

1、物理实验是用实验的方法去观察、分析和研究物理现象和物理规律。



一、物理实验的作用

2、物理实验是探索性的科学实验研究的浓缩与提炼。在实验思想、实验方法和实验手段等方面是其他科学实验的基础。

3、物理实验不仅可以加深大家对理论的理解，更重要的是可使同学在基本的实验知识，在实验方法和实验技能诸方面得到较为系统、严格的训练，培养学生基本的实验能力、良好的实验习惯、严谨的科学风尚和优秀的品质，为今后的学习和工作打下良好的科学基础。

实验安全

二、实验测量与有效数字

1、关于测量

测量的四要素：被测对象、测量程序、测量准确度和计量单位

直接测量：所要测量的量不必将实测的量经过任何函数关系的计算而直接得到。

间接测量：通过欲测量的量与直接实测的量之间的已知函数关系，经过计算间接得到欲测量的量。

2、有效位数

可靠数字：通过直读获得的准确数字

存疑数字：通过估读得到的数字

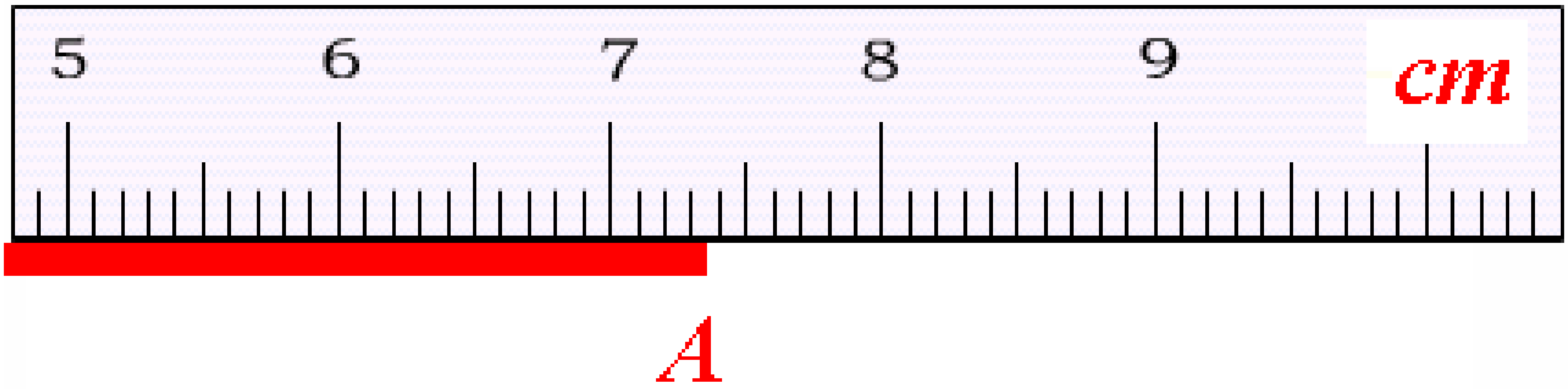
有效数字和有效位数：测量值的可靠数加上一位存疑数的全部数字称为有效数字。其总位数称为该测量的有效位数。

20福建

男：168.90

女：160.89

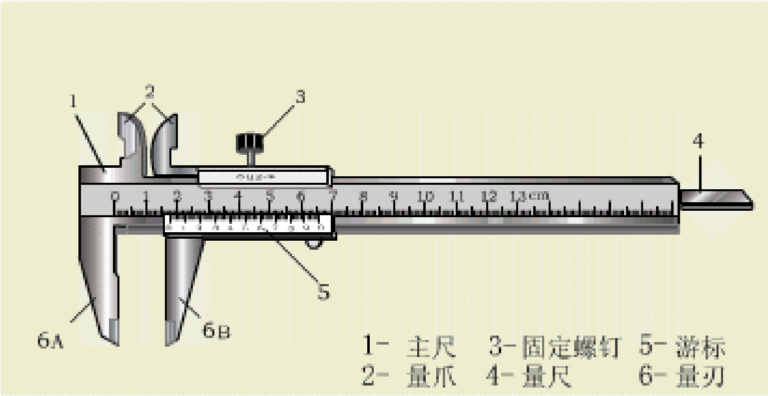
钢板尺测量A点位置



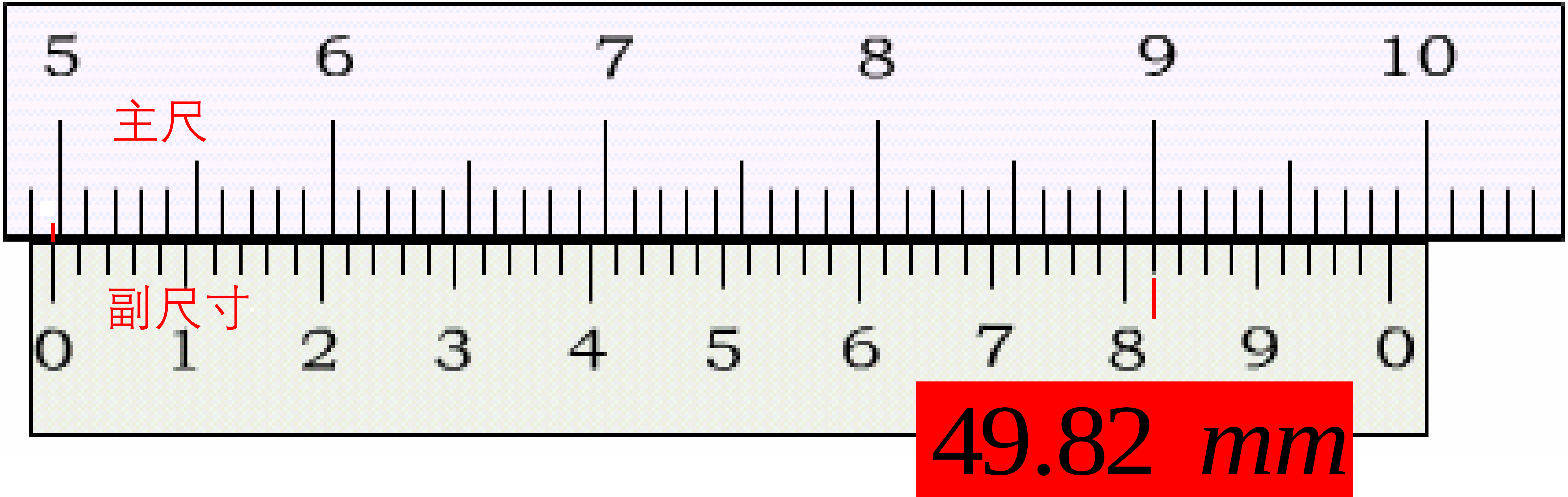
可靠数字：7.3
存疑数字：0.05
有效数字：7.35 cm
有效位数：3 位

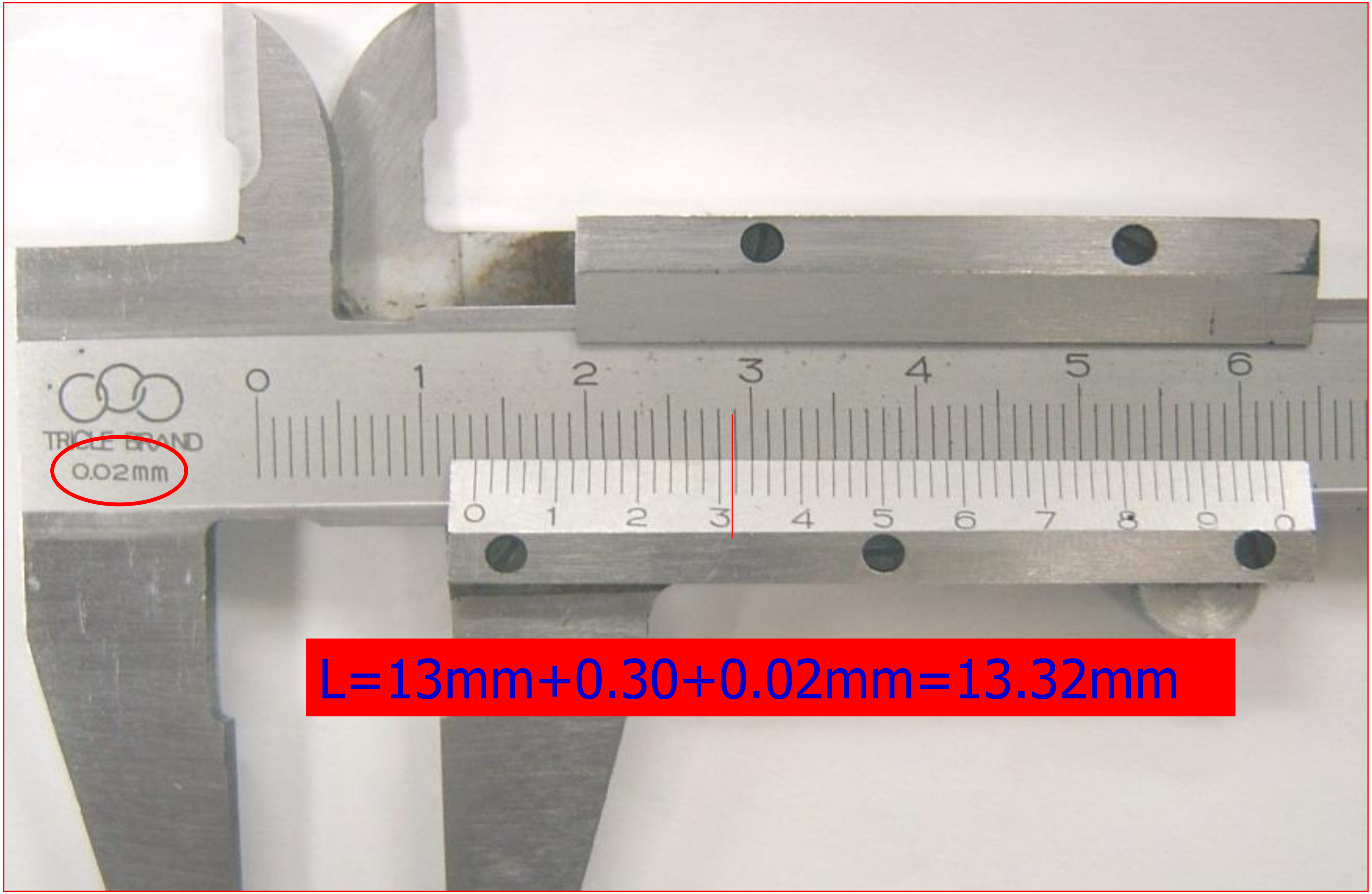
游标卡尺

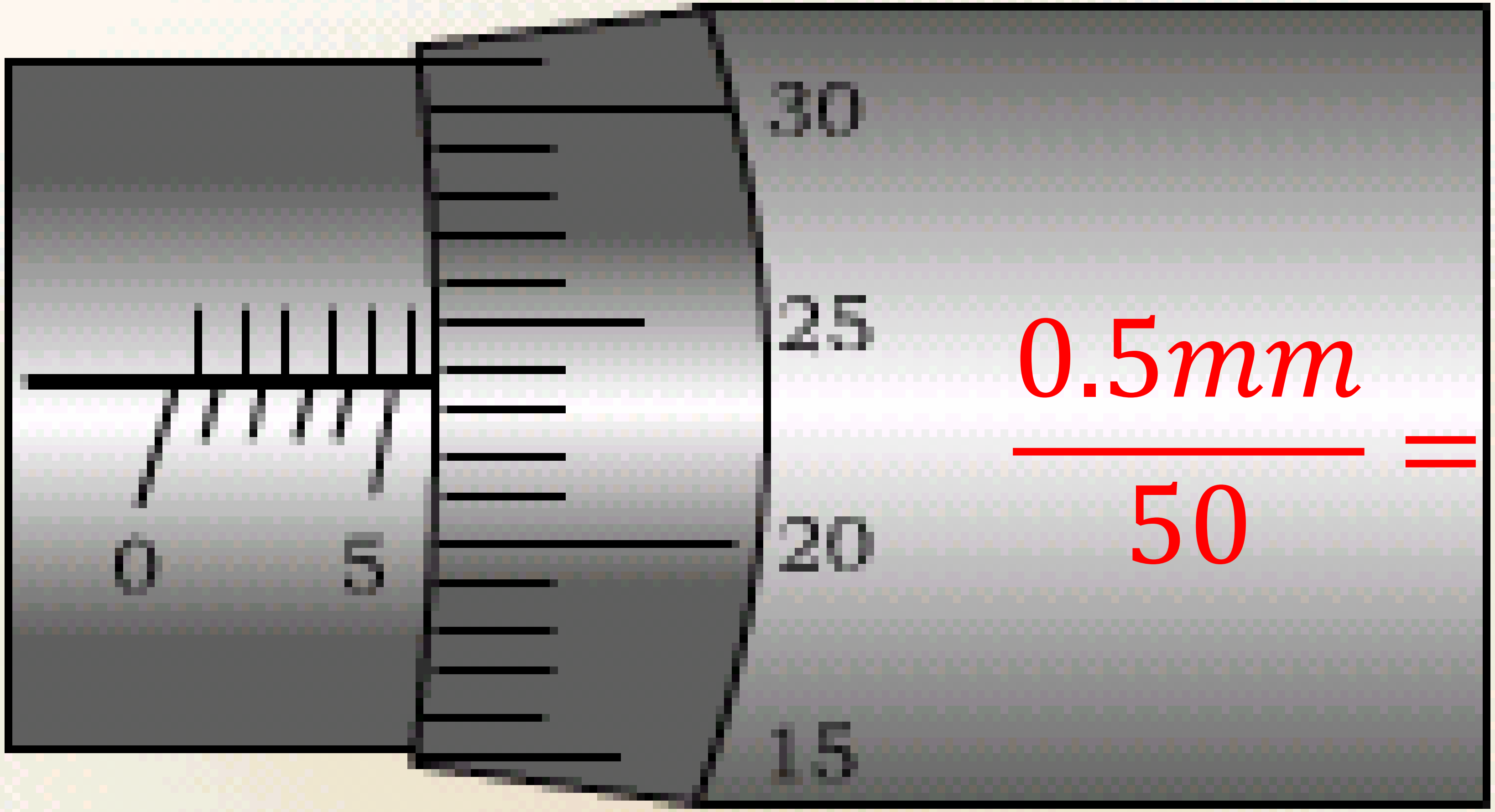
（三种规格0.02mm,0.05mm,0.1mm）



如：0.02mm:主尺49mm等于副尺寸50格　　1mm/50=0.02mm



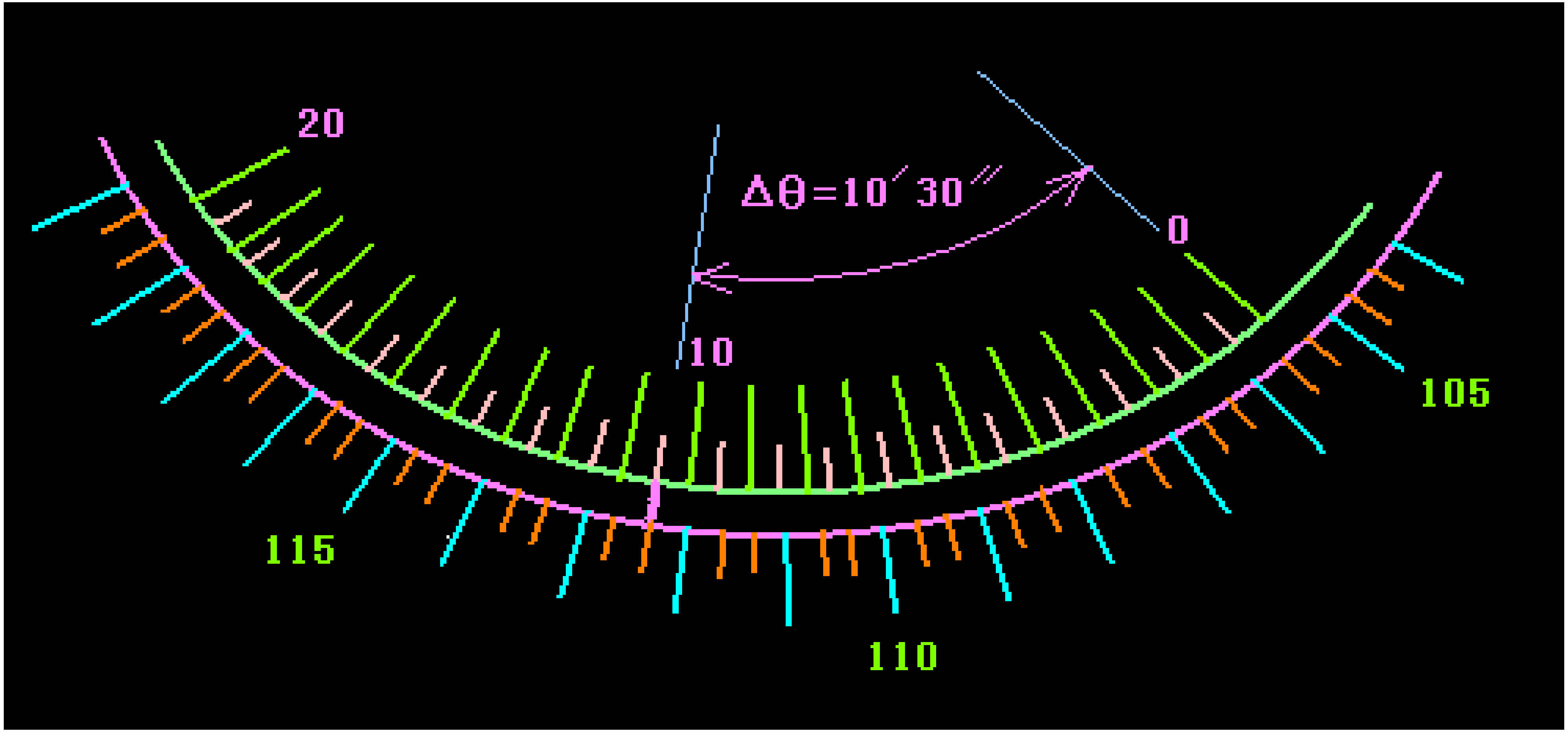

TRICLE BRAND
0.02mm
0 1 2 3 4 5 6
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0
L=13mm+0.30+0.02mm=13.32mm



$$\frac{0.5mm}{50}=0.01mm$$

5.5 + 0.237=5.737mm

？但计算5.5+0.237=5.7mm



39个20´角标---- 40个游标刻度

105°20´+ 10´30´´ =105°30´30´´

$$\frac{20'}{40\text{格}} = 30''$$

2、关于误差

任何测量都存在误差（注意误差是指与真值比较）

误差的定义：误差 = 测量值－真值

误差特点：普遍存在；是小量。

由于真值常常未知，无法得到误差值。

误差表示

（1）绝对误差=测量结果-被测量的真值

（2）相对误差（百分误差）：

$$相对误差E = \frac{|测量值 - 真值|}{真值} \times 100\%$$

（3）标准误差（标准差）：

$$标准误差 = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}|绝对误差|^2}$$

误差分类

（1）系统误差（装置误差）---有规则

（已定系统误差+未定系统误差）

在同等条件下，对同一个待测量进行多次测量，测量值和真值的偏离总是相同的那部分误差分量称作为已定系统误差。

例如：电表、读数显微镜的零位误差等。

已定系统误差可通过实验方法或引入修正值方法进行修正，也必须修正。

未定系统误差：已知存在于某个范围，而不知具体数值的系统误差。例如：游标卡尺的允差

部分实验仪器的允差举例

仪器名称	量程	分度值	允差
钢板尺	1m	1mm	±0.20mm
游标卡尺	125mm	0.02mm	±0.02mm
螺旋测微器(1级)	0~25mm	0.01	±0.004mm
电表（0.5级)			0.5%×量程

部分实验仪器的允差(示值误差)举例

仪器名称	量程	分度值	允差(示值误差)
钢板尺	1000mm	1mm	±0.20mm
钢板尺	500mm	1mm	±0.15mm
钢板尺	150mm	1mm	±0.10mm
机械式停表		0.1s	0.1s
数字毫秒表		0.1s	0.1s
物理天平	500g	0.05g	0.08g(接近满量程)
普通温度计	0—100^0C		1^0C
工业温度计	0—150^0C		0.5^0C

（2）随机误差（偶然误差）---无规则涨落，但存在一定的统计规律，大多数偶然误差服从或近似服从正态分布。

单峰性、对称性、有界性、抵偿性

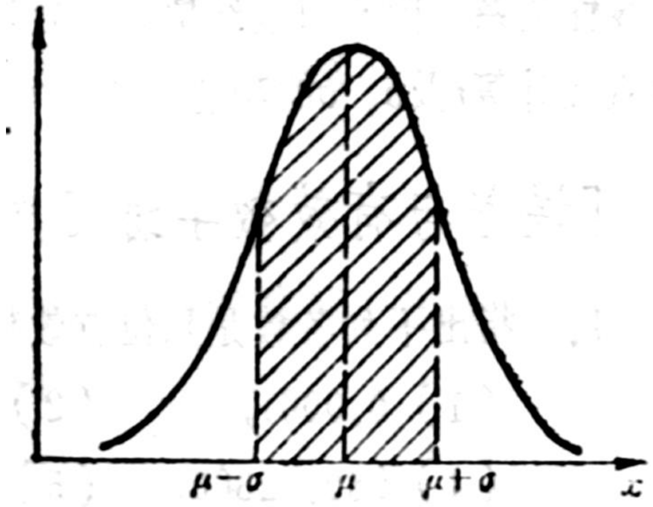
随机误差是不可修正的，但可以通过多次测量来减小它的影响。

（3）过失误差（粗大误差）

读错、写错、求错、仪器缺陷、使用不正确、环境干扰等。异常数据，科学评估，避免过失误差。

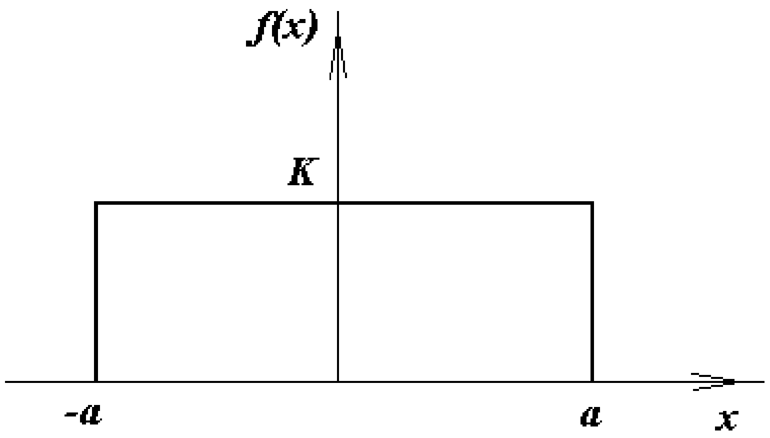
误差的分布---常见的两种测量误差分布

（1）正态分布



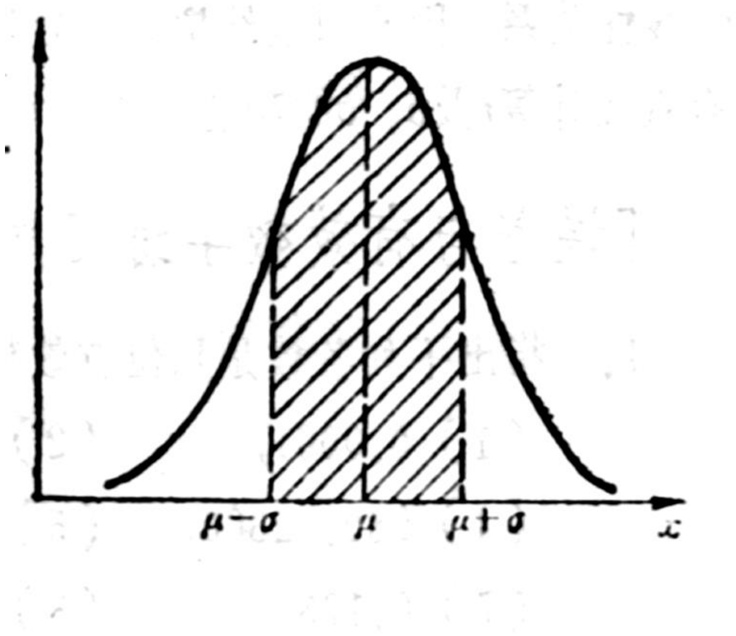
$$f(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

（2）均匀分布



（1）正态分布(又称Gauss分布)

物理实验中多次独立测量得到的数据一般可以近似看作服从正态分布。



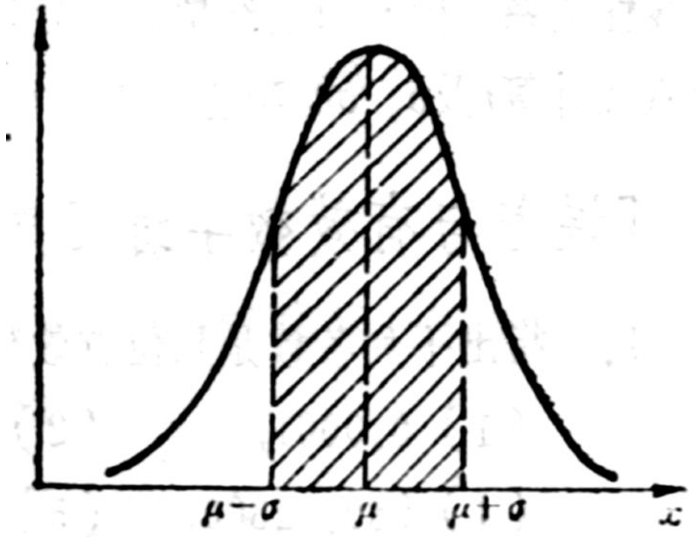
消除系统误差后，$\mu = \lim\limits_{n\to\infty}\dfrac{1}{n}\sum\limits_{i=1}^{n}x_i$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

称为数学期望值。μ表示 x 出现概率最大的值，通常就可以得到 x 的近似真值。

$\sigma = \lim\limits_{n\to\infty}\sqrt{\dfrac{1}{n}\sum\limits_{i=1}^{n}(x_i-\mu)^2}$ σ称为标准差，决定了线型的宽窄。σ越大， 正态曲线就越平坦 它表征了测量值的分散程度

曲线与x轴之间所包围的面积等于1。随机误差落在区域[-σ，σ]之内的概率为P



$$P=\int_{\mu-\sigma}^{\mu+\sigma} f(x)dx=68.3\%$$

这表示测量值落在[μ-σ，μ+σ]区间的概率是68.3%,若把区间范围扩大到[μ-2σ，μ+2σ]，则测量值落到此区域的概率为95.5%; 落到[μ-3σ，μ+3σ]区间的概率为99.7%。

假定对一个量进行了有限的n次测量，

测得的值为x_i(i =1, 2，…，n)，可以用多次测量的算术平均值

作为被测量的最佳估计值(假定无系统误差)

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} x_k$$

真值：$\mu = \lim_{n\to\infty} \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$

标准差：$\sigma = \lim_{n\to\infty} \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} (x_i - \mu)^2}$

标准偏差σ,
单次测量标准偏差(样本不确定度)$s(x)$,
平均值标准偏差(样本平均值不确定度)$s(\bar{x})$

真值：$\mu = \lim_{n\to\infty} \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$

$$\sigma = \lim_{n\to\infty} \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\mu)^2}$$

平均值：$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} x_k$　　一般$6 \le n \le 10$

$$s(x) = \sqrt{\frac{1}{n}[\sum_{k=1}^{n}(x_k-\mu)^2]} = \sqrt{\frac{1}{n-1}[\sum_{k=1}^{n}(x_k-\bar{x})^2]}$$

$$s(\bar{x}) = |\bar{x}-\mu| = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}[\sum_{k=1}^{n}(x_k-\bar{x})^2]}$$

例： 用50分度的游标卡尺测某一圆棒长度L，6次测量 结果如下（单位mm）：250.08，250.14，250.06, 250.10, 250.06, 250.10

则测得值的最佳估计值为：

$$L = \bar{L} = 250.09mm$$

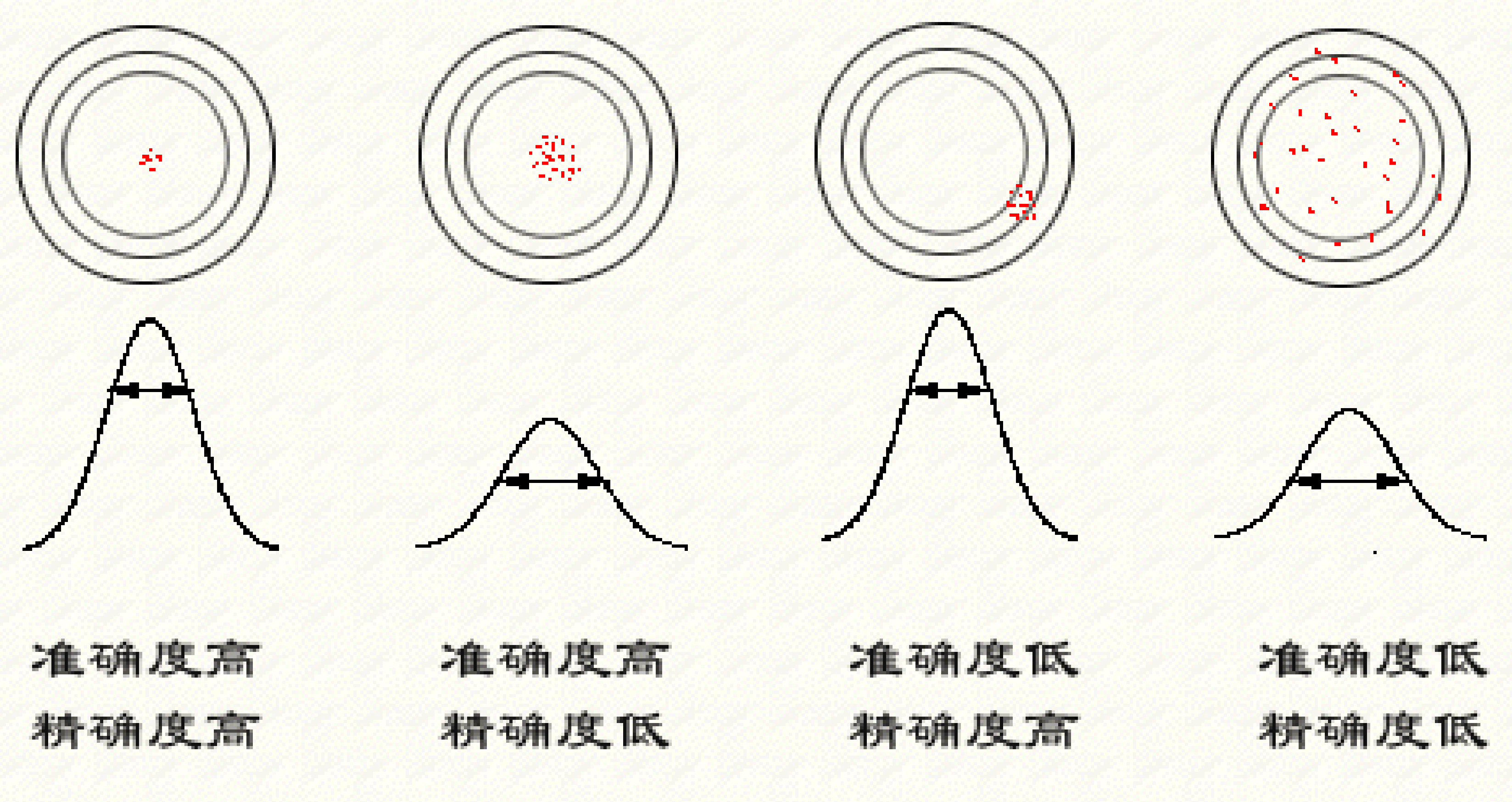
平均值的标准偏差：

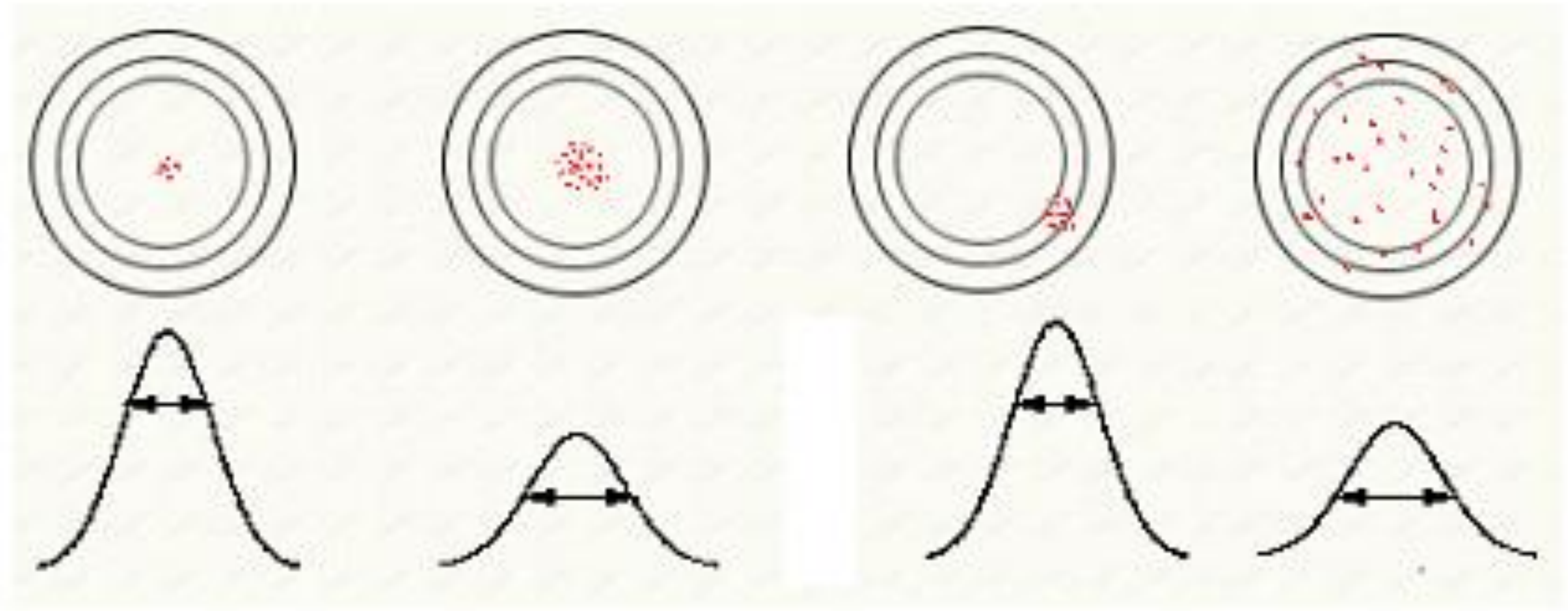
$$S_{\bar{L}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(L_i - \bar{L})^2}{n(n-1)}} = 0.01225 = 0.013mm$$

- 精密度、精确度与准确度？？

精密度：多次重复测量值相互接近的程度

准确度：测量平均值接近真值的程度





(A) (B) (C) (D)

精密度： A>C>B>D

准确度： A≈B≈D>C

精确度： A>B>D>C ?

$$\boxed{y = \bar{y} \pm u(\text{单位})}$$

测量不确定度与误差

- ◆ 不确定度表示由于测量误差存在而对被测量值不能确定的程度。不确定度是一定概率下的误差限值。
- ◆不确定度反映了可能存在的误差分布范围，即随机误差分量和未定系统误差的联合分布范围。
- ◆由于真值的不可知，误差一般是不能计算的，它可正、可负也可能十分接近零；而不确定度总是不为零的正值，是可以具体评定的。

测量不确定度的组成部分划分

直接测量的不确定度分为两类不确定度：

A 类分量 u_A —— 多次重复测量时 与随机误差有关的分量；可用统计方法评定的；

B 类分量 u_B ——与未定系统误差有关的分量；要用其他方法（非统计方法）评定的。

这两类分量在相同置信概率下用方和根方法合成总不确定度：

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

直接测量量A类不确定度估算过程

- 求测量数据列的平均值： $\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$
- 平均值的标准偏差： $s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}[\sum_{k=1}^{n}(x_k - \bar{x})^2]}$

当 5＜n≤10，置信概率为68.3%时，可简化认为:

$$u_A = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}[\sum_{k=1}^{n}(x_k - \bar{x})^2]}$$

直接测量量B类不确定度估算过程

根据使用仪器得出$\mathbf{u}_B$ $u_B = \Delta_{仪}$ 或 $u_B = \dfrac{\Delta_{仪}}{\sqrt{3}}$

总合成不确定度：$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$

给出直接测量的最后结果：

$$\boxed{\boldsymbol{y} = \bar{\boldsymbol{y}} \pm \boldsymbol{u}(\text{单位})}$$

在具体使用中，测量不确定度又有三种不同的表述：

1)直接测量的标准不确定度*u* (*standard uncertainty*)

2)间接测量的合成标准不确定度u_c (*combined standard uncertainty*)

3)扩展不确定度*U* (expanded uncertainty)

$$\boxed{\boldsymbol{y = \bar{y} \pm u}\textbf{(单位)}}$$

$\bar{y}$.....准确度？

u.....精密度？

$y = \bar{y} \pm u$......精确度？

直接测量量不确定度估算举例

例：用螺旋测微计测某一钢丝的直径，6次测量值y_i分别为：0.249,0.250, 0.247, 0.251, 0.253, 0.250; 同时读得螺旋测微计的零位x_0为：0.005, 单位mm，已知螺旋测微计的仪器误差为$\Delta_{仪}$=0.004mm，请给出完整的测量结果。

解：测得值的最佳估计值为

$$x = \frac{\sum_1^n x_i}{n} = \overline{x} - x_0 = 0.250 - 0.005 = 0.245mm$$

平均值的标准偏差

$$\boxed{s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}[\sum_{k=1}^{n}(x_k - \bar{x})^2]}}$$

$$\boxed{s(\bar{x}) = 0.001mm}$$

$$u_A = \frac{\Delta_{仪}}{\sqrt{3}} = \frac{0.004}{\sqrt{3}} = 0.003$$

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \approx \sqrt{s(\bar{x})^2 + \Delta_{仪}^2} = \sqrt{0.001^2 + 0.003^2} \approx 0.0032mm$$

$$x = 0.245 \pm 0.0032\ \ mm$$

$$x = 0.245 \pm 0.004\ \ mm$$

合成标准不确定度 u_c

间接测量　　是指利用某种已知的函数关系从直接测量量来得到待测量量的测量。设间接被测量量y与诸直接测量量X_i(i=1,2,···,n)由函数f来确定：　$y = f(x_1, x_2, ...x_i, ...x_n)$

用诸不确定度u (x_i)代替微分d x_i，有：

$$u_c = \sqrt{\sum \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} u(x_i)\right)^2}$$

(公式1)　适用于和差形式的函数

$$\frac{u_c}{y} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left[\frac{\partial \ln f}{\partial x_i}\right]^2 [u(x_i)]^2}$$

(公式2)　适用于积商形式的函数

$$y = f(x_1, x_2)$$

$$\Delta y = \frac{\partial f}{\partial x_1}\Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2}\Delta x_2$$

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}u(x_1)\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}u(x_2)\right)^2}$$

$$\boldsymbol{u_c = \sqrt{\sum (\frac{\partial f}{\partial x_i}u(x_i))^2}}$$

$$y = f(x_1, x_2) \qquad \ln y = \ln f(x_1, x_2)$$

$$\Delta(\ln y) = \frac{\Delta y}{y} = \frac{\partial \ln f}{\partial x_1}\Delta x_1 + \frac{\partial \ln f}{\partial x_2}\Delta x_2$$

$$\frac{u_c}{y} = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_1}u(x_1)\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_2}u(x_2)\right)^2}$$

$$\frac{u_c}{y} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}[\frac{\partial \ln f}{\partial x_i}]^2[u(x_i)]^2}$$

$$N = x \pm y \qquad u_N = \sqrt{u_x^2 + u_y^2}$$

$$N = xy \text{或} N = \frac{x}{y} \qquad \frac{u_N}{N} = \sqrt{\left(\frac{u_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{u_y}{y}\right)^2}$$

$$N = kx \qquad u_N = |k| u_x$$

$$N = x^k \qquad \frac{u_N}{N} = |k| \frac{u_x}{|x|}$$

合成标准不确定度举例

例： 设有一圆环，其外径为$\phi_{外}$=9.800±0.005mm，内径为$\phi_{内}$=4.500±0.005mm，高度h=5.000±0.005mm，

求环的体积V和不确定度。

解：环的体积为

$$V=\frac{\pi}{4}(\varphi_{外}^2-\varphi_{内}^2)h$$
$$=\frac{\pi}{4}(9.800^2-4.500^2)$$
$$=2.976\times10^2mm^3$$

根据（公式2）有：

$$\frac{\partial \ln f}{\partial \varphi_{外}} = \frac{2\varphi_{外}}{\varphi_{外}^2 - \varphi_{内}^2} = \frac{2 \times 9.800}{9.800^2 - 4.500^2}, \qquad \frac{\partial \ln f}{\partial \varphi_{内}} = -\frac{2\varphi_{内}}{\varphi_{外}^2 - \varphi_{内}^2} = -\frac{2 \times 4.500}{9.800^2 - 4.500^2}$$

$$\frac{\partial \ln f}{\partial h} = \frac{1}{h} = \frac{1}{5.000}$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \sqrt{\left(\frac{2\phi_{外}\Delta\phi_{外}}{\phi_{外}^2 - \phi_{内}^2}\right)^2 + \left(\frac{2\phi_{内}\Delta\phi_{内}}{\phi_{外}^2 - \phi_{内}^2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{2 \times 9.800 \times 0.005}{9.800^2 - 4.500^2}\right)^2 + \left(\frac{2 \times 4.500 \times 0.005}{9.800^2 - 4.500^2}\right)^2 + \left(\frac{0.005}{5.000}\right)^2}$$

$$= 0.0017 = 0.17\%$$

$\Delta V = V \times \Delta V/V = 2.976 \times 10^2 \times 0.17\% \approx 0.5\text{mm}^3$

因此，环的体积为 $V = (2.976 \pm 0.005) \times 10^2\ \text{mm}^3$

不确定度的另一计算方法:　　$f=V=\frac{\pi}{4}(\varphi_{外}^2-\varphi_{内}^2)h$

$$u_c=\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}u(x_1)\right)^2+\left(\frac{\partial f}{\partial x_2}u(x_2)\right)^2+\left(\frac{\partial f}{\partial x_3}u(x_3)\right)^2}$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_1}u(x_1)=\frac{\pi}{4}h(2\phi_{外}\cdot\Delta\phi_{外})$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_2}u(x_2)=\frac{\pi}{4}h(-2\phi_{内}\cdot\Delta\phi_{内})$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_1}u(x_1)=\frac{\pi}{4}(\phi_{外}{}^2-\phi_{内}{}^2)\Delta h$$

三、有效数字与实验数据处理

在实验中我们所测的被测量都是含有不确定度的数值，对这些数值不能任意取舍，要正确地反映出测量值的准确度。所以在记录数据、计算以及书写测量结果时，应根据测量误差或实验结果的不确定度来确定究竟应取几位有效位数。

3-1.有效数字的表示法

(1)作为一个通用规定，测量值只能写到也应该写到开始有误差的那一位。其后的数字按“四舍六入五单双”法则（即后面的数字是四及以下就舍掉，是六及以上就进一，遇五若前面是奇数就进一，最后一位就变成是偶数，若前面已是偶数，则舍掉）取舍。

(2)有效数字的位数多少直接反映测量的准确度。有效位数越多，表明测量的准确度越高。

(3)有效数值书写时应注意：有效数值的位数与小数点位置无关。也不因使用的单位不同而改变。

例如重力加速度某人测量值为980cm/s^2, 改写单位为m/s^2,仍为三位有效数字，即9.80m/s^2(≠9.8m/s^2　注意0不可随意添减)。

在运算过程中的有效数字取舍，一般遵循：加减运算的结果以参与运算的末位最高的数为准；乘除则以有效数字最少的数为准。

例如：

12.4+0.571=12.971=13.0;

$3600 \times 8.0 = 28800 = 2.9 \times 10^4$

例题：将下列数值取四位有效数字。

2.717<u>499</u>→2.717（舍）

5.165<u>509</u>→3.166（入）

4.510<u>500</u>→4.510。（凑偶）

4.511<u>500</u>→4.512。（凑偶）

4.510<u>501</u>→ 4.511

3-2.数值书写的要求

1) 有效数字的位数是由合成不确定度来确定。测量值的最后一位应与不确定度的最后一位对齐。一般地，总不确定度只取一位（首位大等于3时），或二位（首位小于3时）取二位，不可多取。例如：

$S=(2.3450\pm0.0320)cm^2$， $\rightarrow S=(2.34\pm0.034)cm^2$

$S= (2.3530\pm0.0212)cm^2$， $\rightarrow S= (2.353\pm0.022)cm^2$

2) 为方便起见，对较大或较小的数值，常采用科学记数法，即使用$\times10^n$的形式，例如重力加速度可写成$9.80\times10^{-3}km/s^2$；阿伏加德罗常数$6.02214199\times10^{23}/mol$等等。

3) 结果是由间接测量得到，其有效数字由算出结果的不确定度来确定。在没有给出各数值的不确定度时，由有效数字运算法则确定。

4) 一个完整的测量结果表达式应有几部分组成：

结果的代表符=（数值±不确定度）单位

例如： $N=(3.456\pm0.006)\ \mathrm{cm}$

有效数字运算法则应用举例：

1) $6.600 \div 6.0 = 1.1$

2) $(6788+67.88) \times 2.0 = 1.4 \times 10^4$

3) $(4400000 \pm 2000)m$的正确表达式

（$4.4000 \pm 0.0020) \times 10^6 m$

或:（$44000 \pm 20) \times 10^2 m$

4) $12^3 \times 3 = 5184 = 5 \times 10^3$

不确定度的取舍例题

$u_c = 0.12134$ ，可保留2位有效数， $u_c = 0.13$

$u_c = 0.1201$ ，可保留2位有效数， $u_c = 0.12$

$u_c = 0.3201$ ，只保留1位有效数， $u_c = 0.4$

$u_c = 0.3021$ ，只保留1位有效数， $u_c = 0.3$

$$\sin 85^0 = 0.9961946\ldots$$

$$\sin 84^0 = 0.994521\ldots$$

$$\sin 86^0 = 0.997564\ldots$$

$$\boxed{\sin 85^0 = 0.996}$$

或者按传递公式来决定有效位数：

$$\Delta \sin\theta = \cos\theta \cdot \Delta\theta$$

$$\sin\theta = \sin\theta \pm \cos\theta \cdot \Delta\theta$$

数据处理方法：

（1）列表法（原始数据和计算结果均可以列入其中）

（2）作图法（纵横坐标注明物理量及单位，实验数据可用“●”，“＋”，“×”，“⊙”等符号描点）

（3）最小二乘法

（4）逐差法

最小二乘法：

n组实验数据:(x_i, y_i)，若理论上满足直线方程：$y = bx + a$

各测量沿垂直于x轴的方向到直线的距离 的平方和为:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^{n} \left[y_i - (bx_i + a) \right]^2$$

要使ε最小，b和a取值为:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \varepsilon}{\partial b} = 0 \\ \dfrac{\partial \varepsilon}{\partial a} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} b = \dfrac{\overline{x \cdot y} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\overline{x^2} - (\bar{x})^2} \\ a = \bar{y} - b \cdot \bar{x} \end{cases}$$

逐差法：

在有些实验中，我们连续取得一些数据。如果依次相减，就会发现中间许多数据并未发挥作用，而影响到实验的可靠性。例如：金属杨氏弹性模量实验和等厚干涉的牛顿环实验等。

在金属杨氏弹性模量实验中，连续测量钢丝的伸长位置为：A_1、A_2、A_3、A_4、A_5、A_6、A_7、A_8、A_9、A_{10}等10个数据。若为求钢丝的伸长，依次相减，则伸长量ΔA有：

$$\Delta A=\frac{(A_2-A_1)+(A_3-A_2)+\cdots+(A_{10}-A_9)}{9}=\frac{A_{10}-A_1}{9}$$

中间各次测量均未起到作用。

为发挥多次测量的优越性，将数据分成前后两组：

A_1、 A_2、 A_3、 A_4、 A_5为一组，

A_6、 A_7、 A_8、 A_9、 A_{10}为另一组；

将这两组对应相减，得出5组，且每一组相减间距是原来临近间距的5倍，这样有：

$$\Delta A=\frac{(A_6-A_1)+(A_7-A_2)+(A_8-A_3)+(A_9-A_4)+(A_{10}-A_5)}{5\times 5}$$

这种处理数据的方法称为**逐差法**。此法的优点是充分利用所测的数据，有利于减少测量的随机误差和仪器带来的误差。

条件：线性，等间距

数据处理—作图法——*不当图例展示*

图1

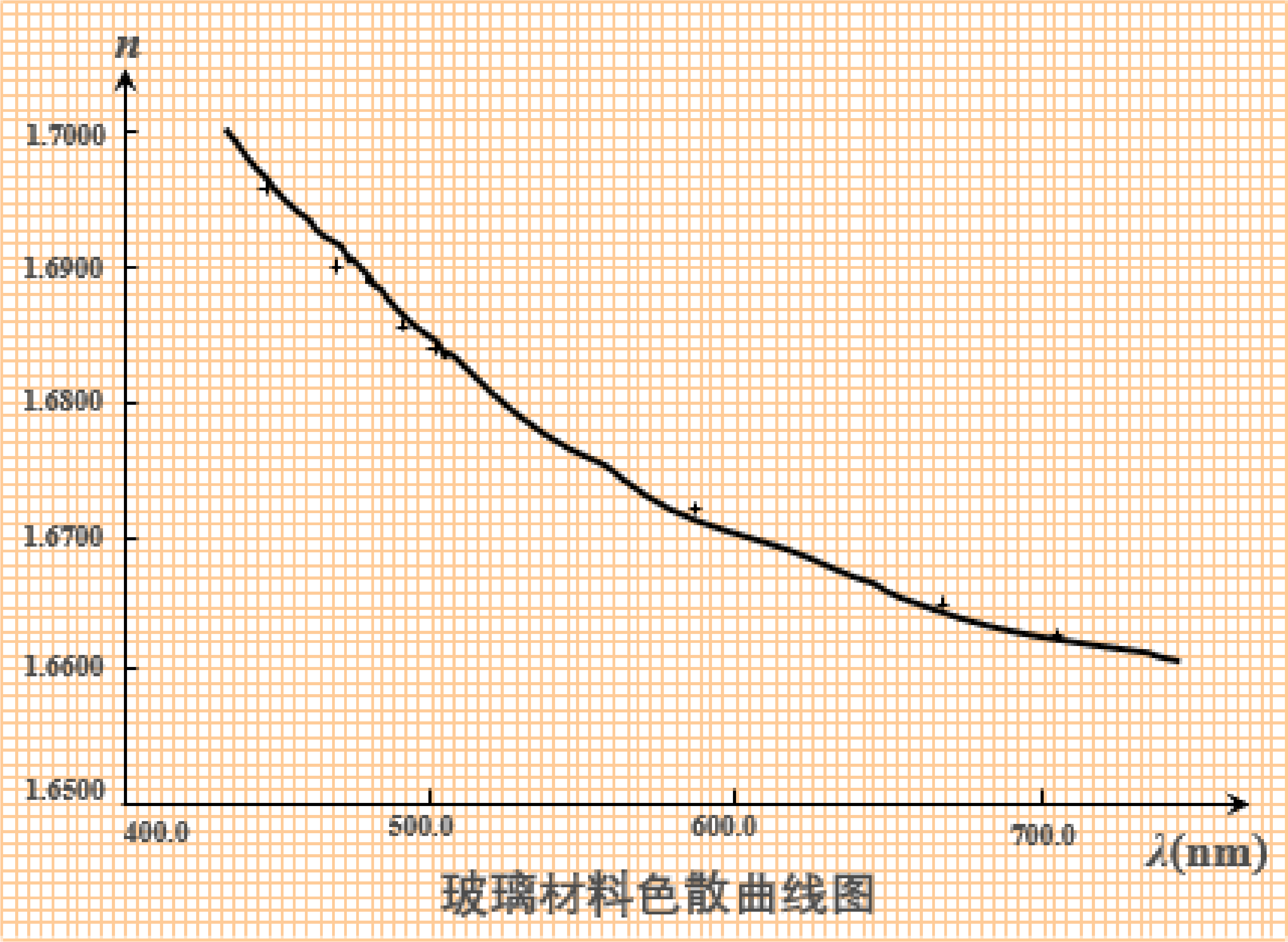
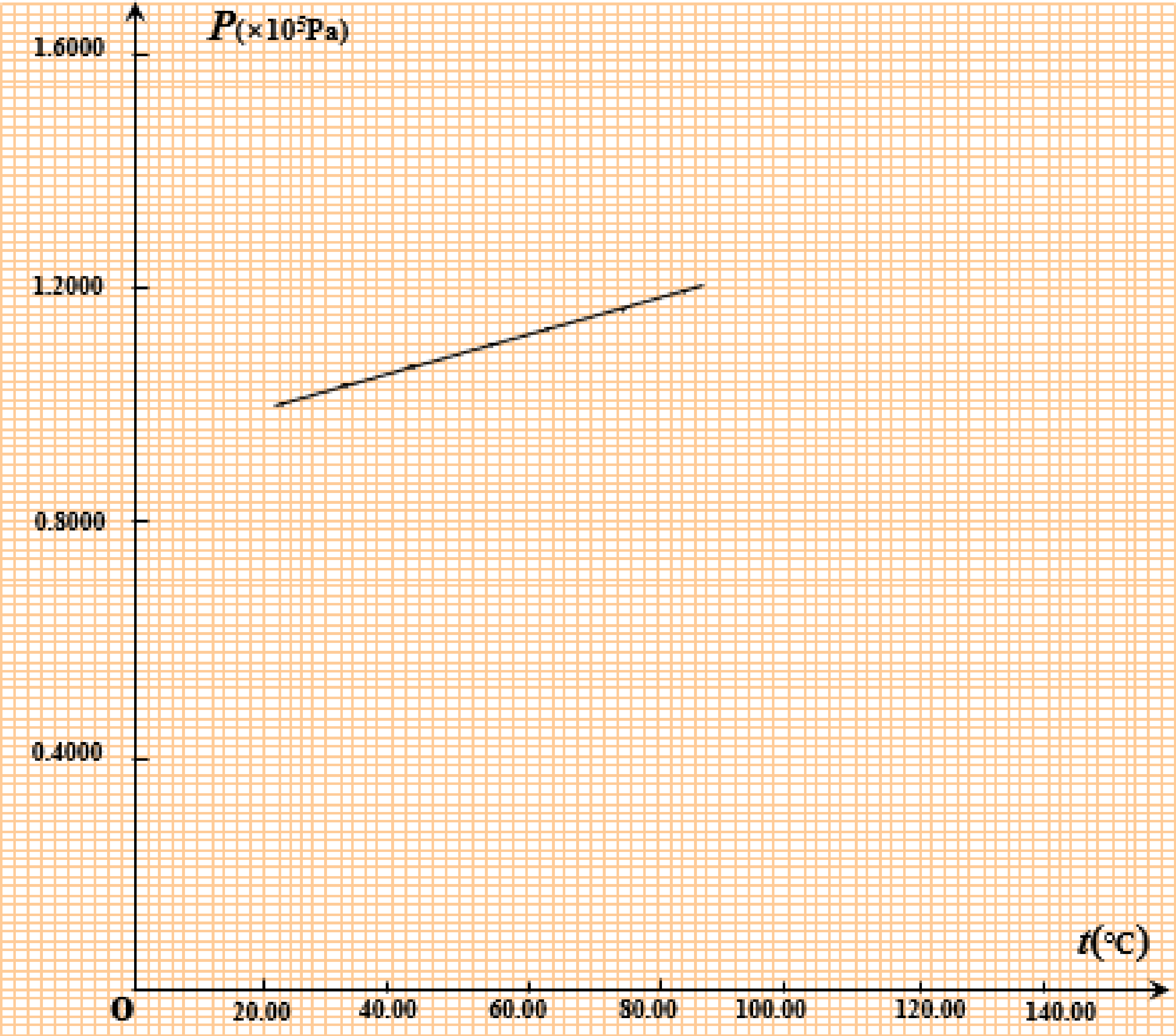
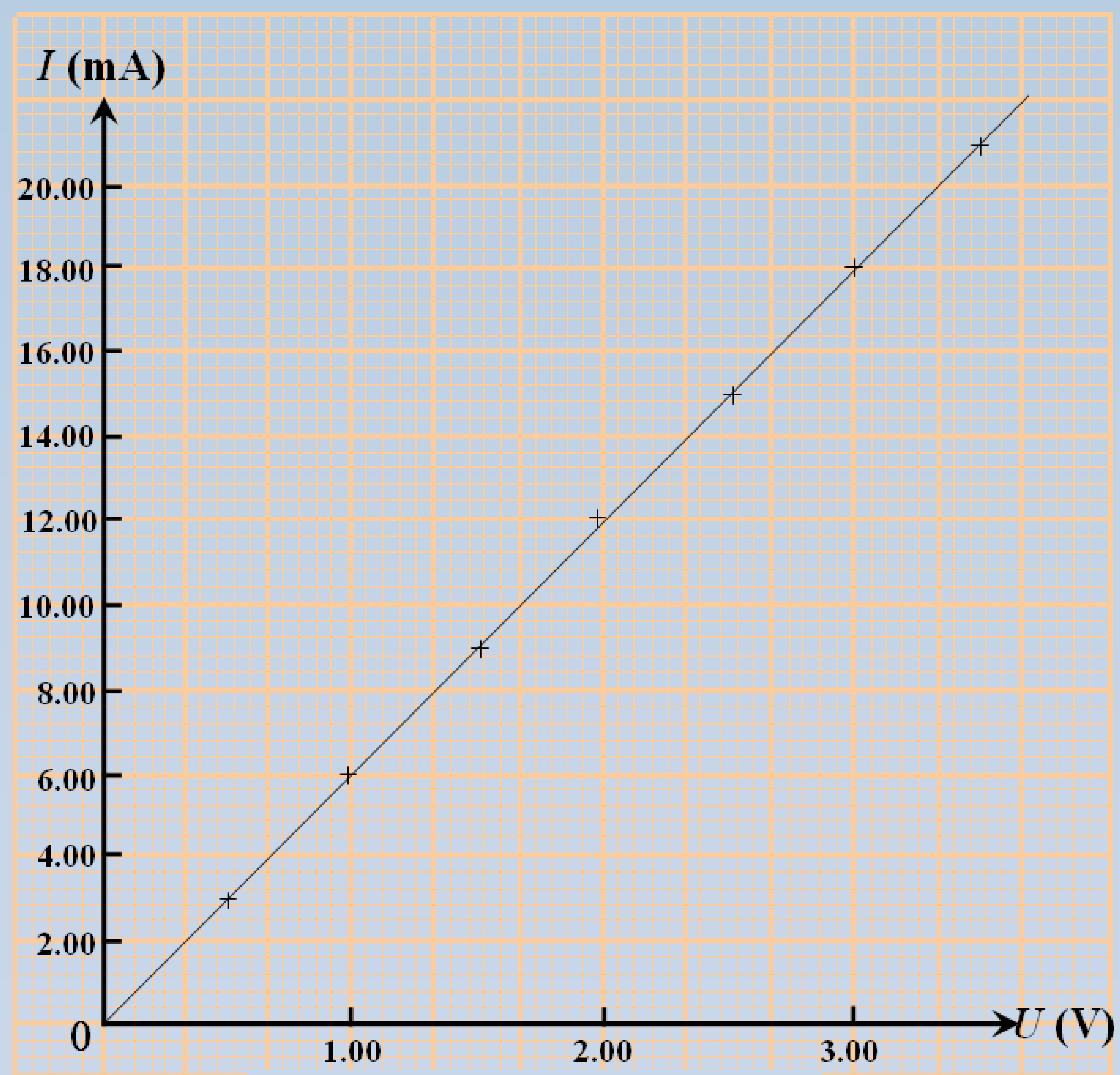


图2



定容气体压强～温度曲线

图3



电学元件伏安特性曲线

其它

1. 实验室守则

1） 没有预习不能做实验。

2） 按要求操作。

3） 不得穿拖鞋和背心进入，不得抽烟和吃东西。

4） 无故迟到超过十五分钟不得进实验室。

5） 遇到自己不能解决的问题应及时报告老师。

6） 做完实验要整理桌、凳，实验数据须经指导老师签字后才能离开实验室。

7） 实验报告（原始数据付后）在下次实验上交，迟交扣分。

2. 学生考勤

1）按时上课。迟到15分钟以上者，取消该次实验的上课资格，迟到15分钟以内者，任课教师将按情况对本次实验进行扣分。

2）不早退。认真完成实验内容和要求，只有当教师在数据记录本上签字后，并将实验仪器整理完毕，才可以离开实验室。

3）请假事宜：病假必须要有医院的证明；事假需持学生所在院系负责人签字的请假条。

4）病、事假过后，必须尽快与任课教师联系，将所缺实验补做。

3. 成绩评定办法

1）缺做一次实验，则本次实验成绩为0分。

2）缺做实验次数超过学校规定，则不得参加期末实验考试，本学期实验不给成绩。

3）如发现抄袭实验报告，如果是抄袭同学的，两人该实验最高不超过50分；如果发现抄袭的是上届学生的，则该实验以0分计。

4）补做实验是指做该实验前提前请假了的实验，补做实验不得超过2次，否则补做无效。

4. 评分参考标准

期末成绩=平时成绩×70%+期末考试×30%

平时成绩计算方法

1）预习报告及实验操作：40分

2）实验报告（60分）

5、物理实验课须知

1、开学三周内选好秋冬学期的全部14个实验（★为必需选做实验）。

2、物理实验选课初始密码为：学号+“-a”，例如：“3090104000-a”。

3、教师根据实验预约登记点名，并检查实验预习报告后开始上课。

4、实验数据需经指导教师签名，并整理好实验器材及桌椅后才能离开实验室。

5、及时在网上对所做的实验和指导教师评分（3天之内），否则无法查看自己本次实验的成绩。

6、实验报告必须按时交，实验报告封面上要详细写上实验时间（日期、周几上/下午）、指导教师名字、学号、专业、姓名，报告箱在东四二楼走廊上。

7、完成的实验报告投入标有实验时间和指导教师姓名的报告箱内。

8、教师改完的实验报告放在有教师名字发还的报告箱内。

10、实验考试时间根据教务处安排进行。

11、开放实验室：101室、138室、306室。周一至周五（8:30—16:00）.

12、至少要在开放实验室做一个未选的实验，实验报告不作要求，但必须在开放实验室登记。这将是实验课最终成绩的一部分。

虚拟实验网页版 网站：http://118.184.217.73:8570

（1）每个实验需要在虚拟仿真平台做预习测试。
（2）实验数据需要虚仿实验平台上提交。
（3）实验报告内容中，实验原理、实验设备和操作过程可简述；**以实验数据记录、实验数据处理、结果分析讨论为主；可附加关于实验内容相关的综述评论和思考；**建议以PDF文件（不要压缩）上交至“学在浙大”平台，每周交一次。
（4）实验数据原始记录需保留，以便返校后提交。

浙江大學
ZheJiang University

祝同学在非常时期的实验课有特殊收获
期待大家早日校圆相见！
谢谢！

厉位阳

sunlight@zju.edu.cn