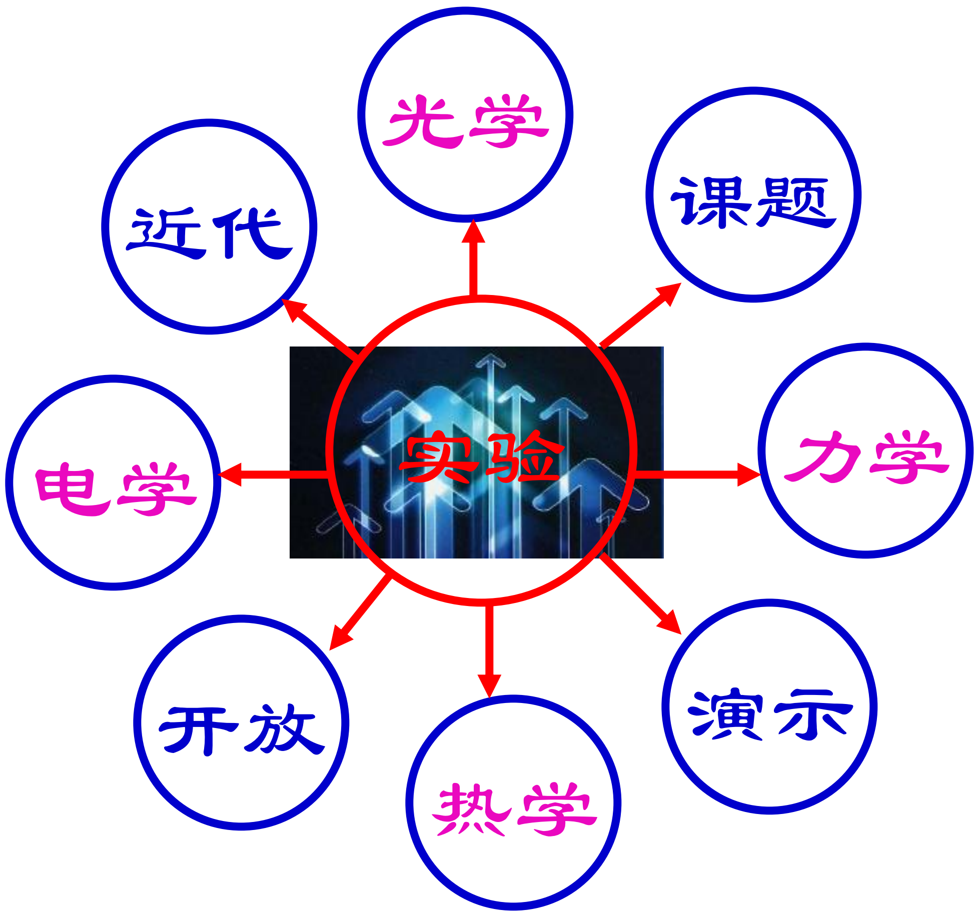
1.1实验分布



二.物理实验

大体分为两类：

一是定性反映客观事物本质属性的概念。如机械运动、分子运动、热平衡、磁场、交流电等；

二是定量反映客观事物本质属性的概念，这种概念就是物理量。如长度、速度、热量、功、电流强度等。

2.1七个基本物理量

长度的单位：米；

质量的单位：千克；

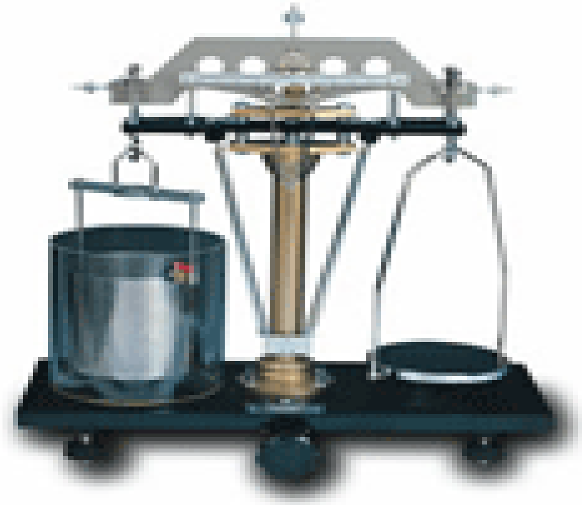
时间的单位：秒；

电流的单位：安培；

热力学温度的单位：开尔文；

物质的量的单位：摩尔；

发光强度的单位：坎德拉。



2.6实验报告要求

①必须要有实验结果的分析讨论：讨论是实验的升华，是得高分的保证。

②分析讨论：分析实验结果和现象；讨论实验误差的大小和原因；有何体会。

③实验报告绝对不能互相抄袭，凑数据，要实事求是，不合格重做。

④注：每次实验报告的批改，都有一个评分标准，老师按评分标准给出成绩。

三. 测量

四个要素：

1) 测量对象

2) 测量方法

3) 测量单位

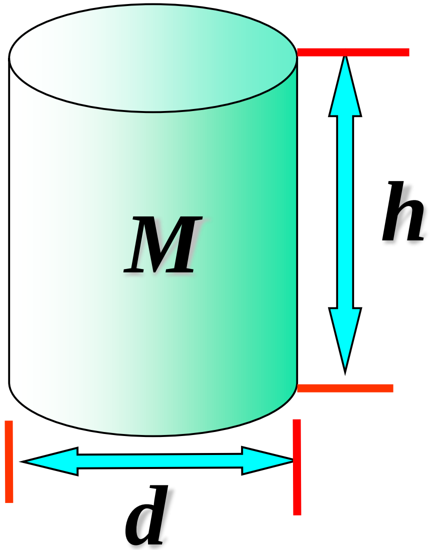
4) 测量不确定度

3.1测量分类

间接测量

$$\rho=\frac{M}{V}=\frac{4M}{\pi d^2 h}$$

直接测量



3.2直接测量与间接测量

直接测量：把一个待测物理量和标准物理量进行比较。如米尺测长度、用温度计测温度、用电压表测电压等都是直接测量，所得的物理量如长度、温度、电压等

间接测量：由直接测量的物理量根据已知公式、规律进行计算而求出待测物理量。如单摆法测重力加速度g时，，其中T(周期)、L(摆长)是直接测量值，而g就是间接测量值。

3.3误差

绝对误差 $\Delta = x - x_0$

相对误差 $E = \dfrac{\Delta}{x_0} \times 100\%$

误差的种类

（1） 系统误差

（2） 随机误差

（3） 粗大误差

例题

用一把米尺来测量长度分别为50cm和5cm的两物体，分析其绝对误差和相对误差。

解：米尺的最小刻度为1mm，所得值的最后一位都是用眼睛估计的，对一般人来说，视觉误差在最小刻度的0.2倍左右。所以，我们取仪器上最小刻度的0.2倍作为人的视力带来的绝对误差。即0.2

绝对误差

$L_1 = 50cm$　　$\Delta L_1 = 0.2mm$

$L_2 = 5cm$　　$\Delta L_2 = 0.2mm$

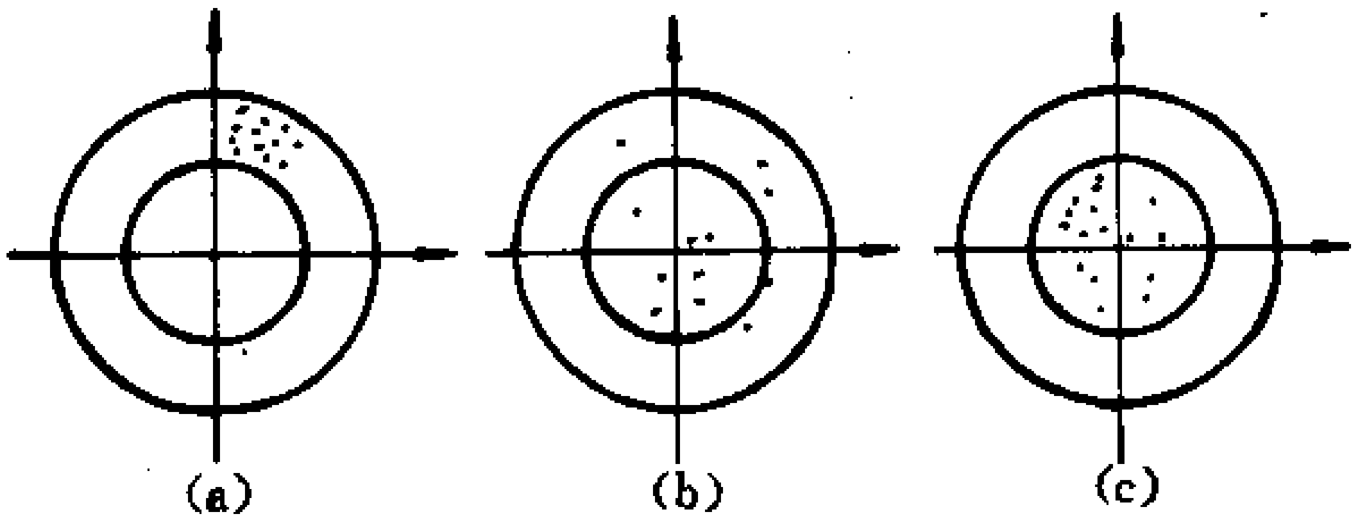
相对误差

$$E_1 = \frac{0.2\times 10^{-1}}{50}\times 100\% = 0.04\%$$

$$E_2 = \frac{0.2\times 10^{-1}}{5}\times 100\% = 0.4\%$$

3.4测量结果的评价

(1) 精密度 (2) 准确度 (3) 精确度



例题

图a准确度低、精密度高，

图b准确度高、精密度低，

图c精确度高，既准确又精密。

3.5仪器误差

$$\Delta_{仪}=量程\times级别\%$$

例题 求电压表仪器误差。电压表量程100mV，等级0.5。

$$\Delta V=100\times0.5\%=0.5mV$$

例题 测1.5V电压，要求测量结果相对误差不大于1.5%，应该选下面哪种仪器：0.5级量程5伏；1.0级量程2伏；2.5级量程1.5伏。

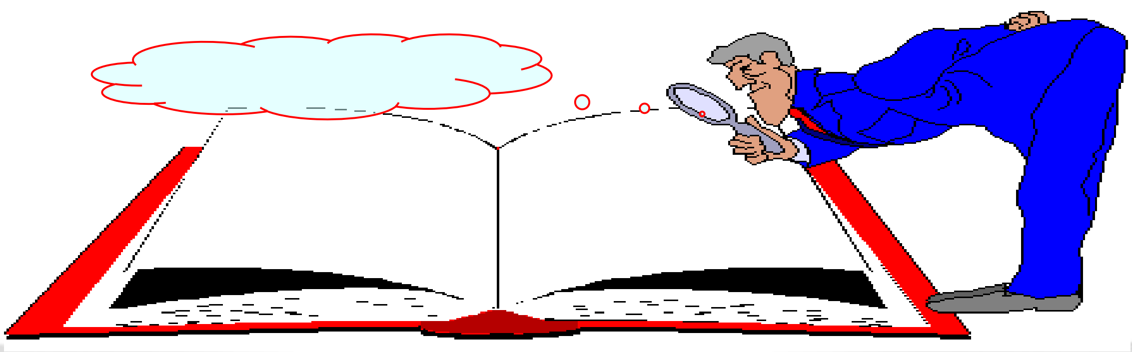
$$2V\times1.0\%\div1.5V=1.33\%$$

四.不确定度

表达式三个要素：

数值、单位、不确定度。

$$x = \overline{x} \pm U_x$$ （单位）



4.1算术平均值

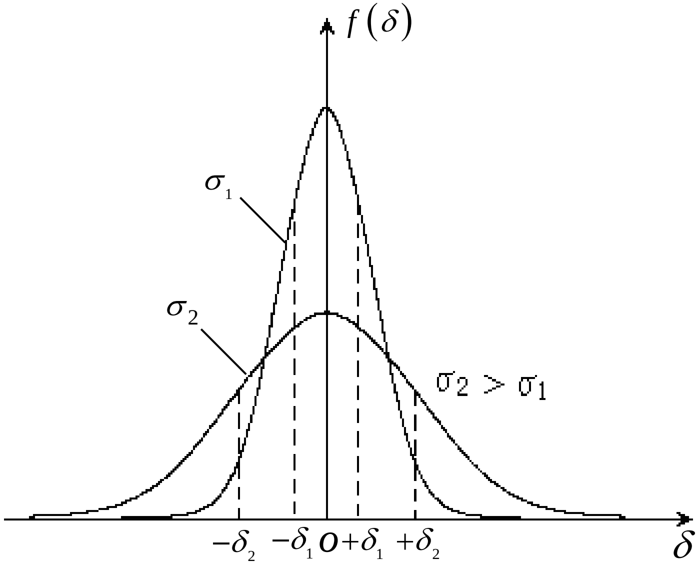
$$\bar{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i$$

实际测量一般取n=6～10即可

4.2标准偏差

$$s=\sqrt{\frac{\sum\left(y_i-\bar{y}\right)^2}{n-1}}$$

4.3随机误差正态分布的性质



$$\lim_{n\to\infty}\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta_i=0$$

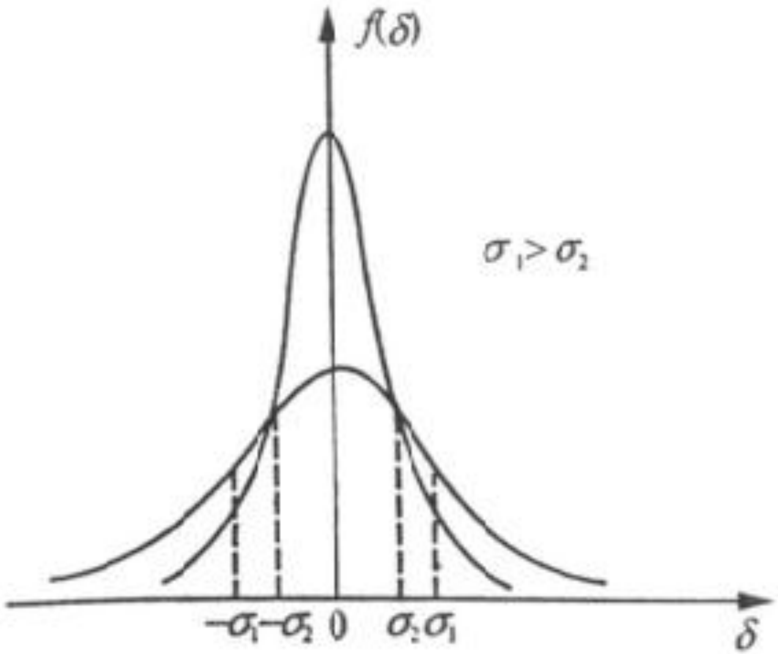
① **单峰性**：绝对值小的误差出现的可能性（概率）大，绝对值大的误差出现的可能性小。

② **对称性**：大小相等的正误差和负误差出现的机会均等，对称分布于真值的两侧。

③ **有界性**：非常大的正误差或负误差出现的可能性几乎为零。

④ **抵偿性**：当测量次数非常多时，正误差和负误差相互抵消，于是，误差的代数和趋向于零。

4.4标准误差的物理意义



图： σ与δ的离散性关系

$$f(0)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}$$

若测量的标准误差σ很小，则测得值的离散性小，重复测量所得的结果相互接近，**测量的精密度高**；

如果σ很大，误差分布的范围就较宽，说明测得值的离散性大，**测量的精密度低**。

4.5算术平均值的标准偏差

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2}{n(n-1)}}$$

实验用

4.6不确定度分类

不确定度表示由于测量误差的存在而对被测量值不能确定的程度。

1）用数理统计方法处理， 称为A类不确定度；

2）用非数理统计方法处理,统称为B类不确定度。

4.7总不确定度

A类分量用统计方法估计 $\Delta_A = \sqrt{\dfrac{\sum\limits_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2}{n(n-1)}}$

B类分量用其它方法估计 $\Delta_B = \Delta_{仪器}$

总不确定度：$\Delta = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} = \sqrt{S_x^2 + \Delta_{仪器}^2}$

4.8不确定度的传递

设一间接测量值$y=f(A, B, C...H)$是彼此独立的直接测量值A、B、$C...H$的函数，其不确定度分别为$\Delta A \Delta B \Delta C$ … ΔH

- 对函数求全微分，合并同类项：

$$dy = \frac{\partial f}{\partial A} dA + \frac{\partial f}{\partial B} dB + \frac{\partial f}{\partial C} dC + \cdots + \frac{\partial f}{\partial H} dH$$

将微分符号变为不确定度符号△，取方和根

$$\boxed{\Delta_y = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial A}\right)^2 (\Delta_A)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial B}\right)^2 (\Delta_B)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial C}\right)^2 (\Delta_C)^2 + \cdots + \left(\frac{\partial f}{\partial H}\right)^2 (\Delta_H)^2}}$$

- 对函数求自然对数，对对数式求全微分，合并同类项

$$\ln y = \ln f \qquad \frac{dy}{y} = \frac{\partial \ln f}{\partial A} dA + \frac{\partial \ln f}{\partial B} dB + \frac{\partial \ln f}{\partial C} dC + \cdots + \frac{\partial \ln f}{\partial H} dH$$

将微分符号变为不确定度符号△，取方和根

$$\boxed{\frac{\Delta_y}{y} = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln f}{\partial A}\right)^2 (\Delta_A)^2 + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial B}\right)^2 (\Delta_B)^2 + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial C}\right)^2 (\Delta_C)^2 + \cdots + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial H}\right)^2 (\Delta_H)^2}}$$

例题：推导方法

- 例：函数 $y=\dfrac{x_1^k\cdot x_2^m}{x_3^n}$ 的不确定度传递公式。

解：先对函数式取对数，得

$$\ln y = k\ln x_1 + m\ln x_2 - n\ln x_3$$

对各自变量求偏导数得：

$$\frac{\partial y}{\partial x_1}=\frac{k}{x_1},\quad \frac{\partial y}{\partial x_2}=\frac{m}{x_2},\quad \frac{\partial y}{\partial x_3}=-\frac{n}{x_3}$$

代入不确定度传递公式，得：

$$\frac{u_y}{y}=\sqrt{k^2\left(\frac{u_{x_1}}{x_1}\right)^2+m^2\left(\frac{u_{x_2}}{x_2}\right)^2+n^2\left(\frac{u_{x_3}}{x_3}\right)^2}$$

例题：求不确定度的传递式

$$N=\frac{x^3}{(x-y)}$$

解：

$$\ln N=3\ln x-\ln(x-y)$$

$$\frac{\partial \ln N}{\partial x}=\frac{3}{x}-\frac{1}{x-y}=\frac{2x-3y}{x(x-y)}$$

$$\frac{\partial \ln N}{\partial y}=\frac{1}{x-y}$$

$$\frac{\Delta N}{N}=\sqrt{\left[\frac{2x-3y}{x(x-y)}\cdot\Delta x\right]^2+\left(\frac{\Delta y}{x-y}\right)^2}$$

例题：单次测量

例：测电流单次测量。I=8.61mA，无零点误差。电流表等级0.5，量程10mA。

$$I_0 = 8.61mA$$

$$\Delta I = 10 \times 0.5\% = 0.05mA$$

$$I = 8.61 \pm 0.05(mA)$$

$$E_I = 0.58\%$$

例题：多次测量－直接测量

例：用螺旋测微计测量一微小长度，重复测量6次

n	1	2	3	4	5	6
l(mm)	2. 567	2. 565	2. 569	2. 570	2. 571	2. 568

零点误差=−0. 005mm ，螺旋测微计的仪器误差0. 004mm

- 算术平均值： $\bar{l} = \frac{1}{6}\sum_{i=1}^{6} l_i = 2.5683(mm)$
- 最佳估计值： $l_0 = 2.5683 - (-0.005) = 2.5733(mm)$
- A类分量：

$$\Delta_A = S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{6}\left(l_i - \bar{l}\right)^2}{6(6-1)}} = 0.0009(mm)$$

- B类分量： $\Delta_B = \Delta_{仪器} = 0.004(mm)$
- 总不确定度： $\Delta_l = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} = \sqrt{0.0009^2 + 0.004^2} = 0.005(mm)$
- 测量结果： $l = 2.573 \pm 0.005(mm) \quad E_l = 0.20\%$

例题：间接测量

例：已知圆柱体的质量m=76.18±0.04g，直径D=19.84±0.02mm，高h=31.24±0.02mm。计算圆柱体的密度及其不确定度。

解： $$\rho=\frac{m}{\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2\times h}=\frac{76.18\times10^{-3}}{\pi\times\left(\frac{19.84\times10^{-3}}{2}\right)^2\times31.24\times10^{-3}}=7887.8kg/m^3$$

$$\ln\rho=\ln\frac{4}{\pi}+\ln m-\ln D^2-\ln h \qquad \frac{\partial\ln\rho}{\partial m}=\frac{1}{m} \qquad \frac{\partial\ln\rho}{\partial D}=-\frac{2}{D} \qquad \frac{\partial\ln\rho}{\partial h}=-\frac{1}{h}$$

$$\frac{\Delta_\rho}{\rho}=\sqrt{\left(\frac{\partial\ln\rho}{\partial m}\right)^2(\Delta_m)^2+\left(\frac{\partial\ln\rho}{\partial D}\right)^2(\Delta_D)^2+\left(\frac{\partial\ln\rho}{\partial h}\right)^2(\Delta_h)^2}$$

$$=\sqrt{\left(\frac{1}{m}\right)^2\times(\Delta_m)^2+\left(\frac{2}{D}\right)^2\times(\Delta_D)^2+\left(\frac{1}{h}\right)^2\times(\Delta_h)^2}$$

$$=\sqrt{\left(\frac{1}{76.18}\right)^2\times(0.04)^2+\left(\frac{2}{19.84}\right)^2\times(0.02)^2+\left(\frac{1}{31.24}\right)^2\times(0.02)^2}\approx0.0022=0.22\%$$

$$\Delta_\rho=\rho\times\frac{\Delta_\rho}{\rho}=7887.8\times0.0022\approx17kg/m^3 \qquad \rho=(7888\pm17)kg/m^3$$

4.9常用函数的不确定度传递公式

函数的表达式	不确定度的传递公式
$y = x_1 \pm x_2$	$u_c = \sqrt{u_{x_1}^2 + u_{x_2}^2}$
$y = x_1 \cdot x_2$ 或 $y = \dfrac{x_1}{x_2}$	$\dfrac{u_c}{y} = \sqrt{(\dfrac{u_{x_1}}{x_1})^2 + (\dfrac{u_{x_2}}{x_2})^2}$
$y = \dfrac{x_1^k \cdot x_2^m}{x_3^n}$	$\dfrac{u_c}{y} = \sqrt{k^2(\dfrac{u_{x_1}}{x_1})^2 + m^2(\dfrac{u_{x_2}}{x_2})^2 + n^2(\dfrac{u_{x_3}}{x_3})^2}$

函数的表达式	不确定度的传递公式
$w = kx$	$U_w = kU_x$
$w = \sin x$	$U_w = \lvert\cos\rvert U_x$
$w = \ln x$	$U_w = \dfrac{U_x}{x}$

浙江大学
ZheJiang University

五.有效数字

若用一个最小分度数为1mm的米尺去测量一个物体的长度，由尺上读出该物体的长度为41.15cm，其中前三位数41.1cm是直接根据尺上刻度读出的，称为可靠数字。而最后一位0.05cm是由最小刻度之间估计出来的，称为可疑数字。

浙江大学 ZheJiang University

5.1有效数字保留规则

最后结果按“四舍六入五看左右”法仅保留一位有误差数码。（“四舍六入五看左右”的具体方法是：舍弃数字中最左边一位数为小于四（含四）舍，为大于六（含六）入，为五时则看五后若非零的数则入，若皆为零则往左看拟留的末位数位奇数则入、为偶数则舍）

例题：将下列数值取四位有效数字。

2.71749→2.717（舍）

5.165509→3.166（入）

4.510500→4.510。（凑偶）

4.511500→4.512。（凑偶）

例题

用游标卡测量某物体，长度约为8.88cm，现用精度为0.1mm的量具，可测出（ 4 ）位有效数字；若以精度为0.2mm的游标卡，则可测出（ 3 ）位有效数字。

5.2不确定度的有效位数保留规则

不确定度一般情况下只取一位。测量量的平均值的最后一位应与误差所在位对齐。当合成标准不确定度最左边的第一位非零有效数字是1和2时，可取2位，而3以上则只可用一位有效数字。欲保留的最低位后的这位数不为零则进位，如为零则舍去。

例题

(9.80±0.034)cm，(9.804±0.03)cm，

它们应分别改为：

(9.80±0.04)cm，(9.80±0.03)cm。

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，$u_c = 0.3$

5.3有效数字与换算单位

十进制单位变换

在十进制换算单位中，测量结果的单位变换不影响有效数字位数。

例题

1.2kg＝1.2×10^3g，1200g＝1.200kg，切不可写为1.2kg＝1200g，1200g＝1.2kg。

浙江大学 ZheJiang University

非十进制单位变换

保持误差所在位在单位变换后还是有效数字的末位。

例如： $\overline{\varphi}=93.5^{o}$ 用弧度表示。

粗略判断其误差不小于0.1°。若要改用弧度为单位，则先换算其误差约为：

$$\frac{\pi}{180}\times 0.1\approx 0.002rad$$

故

$$\overline{\varphi}=\frac{\pi}{180}\times 93.5=1.632rad$$

浙江大学
ZheJiang University

测量结果的科学表示方法

测量结果的表示，一般应采用科学表示法，即用有效数字乘以10的幂指数的形式来表示。一般小数点前只取一位数字，幂指数不是有效数字。

例题　1.5kg可写成1.5×10^3g，不能写成1500g。

(5234±1) km应写成（5.234±0.001）$\times10^6$m。

(0.000456±0.000003) s应写成（4.56±0.03）$\times10^{-4}$s。

函数表示方法（通用）

我们给出一种简单直观的方法，即将自变量可疑位上下变动一个单位，观察函数结果在哪一位上变动，结果的可疑位就取在该位上。

例题

如求 $\sqrt[20]{3.25}$，因为

$$\sqrt[20]{3.24} = 1.0605405$$

$$\sqrt[20]{3.25} = 1.0607039$$

$$\sqrt[20]{3.26} = 1.0608669$$

所以取 $\sqrt[20]{3.25} = 1.0607$

常数和系数的有效数字

在运算过程，公式中的常数（如等）和系数（如，等）可以认为有效数字位数是无限多位的，常数和系数的位数只要取到不降低运算结果的有效数字位数即可，通常取的位数应比测量数据中有效数字位数最少者多取一位。

5.4有效数字的运算规则

总的原则是：

①准确数字与准确数字进行四则运算时，其结果仍为准确数字。

②准确数字与存疑数字以及存疑数字与存疑数字进行四则运算时，其结果均为存疑数字。

③在最后的结果中只保留一位存疑数字，其后的数字是无意义的，应按有效数字舍入规则截去。

浙江大学
ZheJiang University

5.5加减乘除运算

加减法运算规则：若干项加减运算时，仍然按正常运算进行，计算结果的最后一位，应取到与参加加减运算各项中某项最后一位最靠前的位置对齐。

例题 $3.1\underline{1}+1056.\underline{7}+10\underline{3}-9.86\underline{2}=115\underline{3}$

乘除法运算规则：计算结果的有效数字位数保留到与参加运算的各数中有效数字位数最少的位数相同。

例题 $\underline{2.7}\times 3.902=11$

例题

A=80.5，B=0.0014，C=3.08326， D=764.9，

求 $N=ABC/D$

[解]

$$N = \frac{ABC}{D}$$

$$= \frac{80.5 \times 0.0014 \times 3.08}{765} = 4.5 \times 10^{-4}$$

5.6带误差运算

例题

(3.12±0.02)+(5.23±0.04)=8.35 ±0.04

$$u_c = \sqrt{u_{x_1}^2 + u_{x_2}^2}$$

(3.12±0.02)×(5.23±0.04)=16.32 ±0.06

$$\frac{u_c}{y} = \sqrt{\left(\frac{u_{x_1}}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{u_{x_2}}{x_2}\right)^2}$$

浙江大学 ZheJiang University

5.7 函数运算有效数字取位

［例题］ 已知 $x = 56.7$ ，$y = \ln x$ ，求 y。

［解］ 因 x 的有误差值是在十分位上，所以取 $\Delta x \approx 0.1$，利用误差传递公式 $\Delta y = |f'(x)|\Delta x$ 去估计 y 的误差位

$\Delta y = \dfrac{\Delta x}{x} = \dfrac{0.1}{56.7} \approx 0.002$ ，说明 y 的误差值在千分位上，故

$$y = \ln 56.7 = 4.038$$

5.8其它有效数字的读取

1、一般读数应读到最小分度，然后再估读一位。

2、有时读数的估计位，就取在最小分度位。例如，仪器的最小分度值为0.5，则0.1-0.4,0.6-0.9都是估计的，不必估到下一位。

3、游标类量具，读到游标分度值。多数情况下不估读，特殊情况估读到游标分度值的一半。

4、数字式仪表及步进读数仪器不需估读。

5、特殊情况，直读数据的有效数字由仪器的灵敏阈决定。例如在“灵敏电流计研究”中，测临界电阻时，调节电阻箱“×10Ω”仪器才刚有反应，尽管最小步进值为“×0.1Ω”，电阻值只记录到“×10Ω”。

6、若测量值恰为整数，必须补零，直补到可疑位。

六. 实验数据的处理方法

列表法

作图法

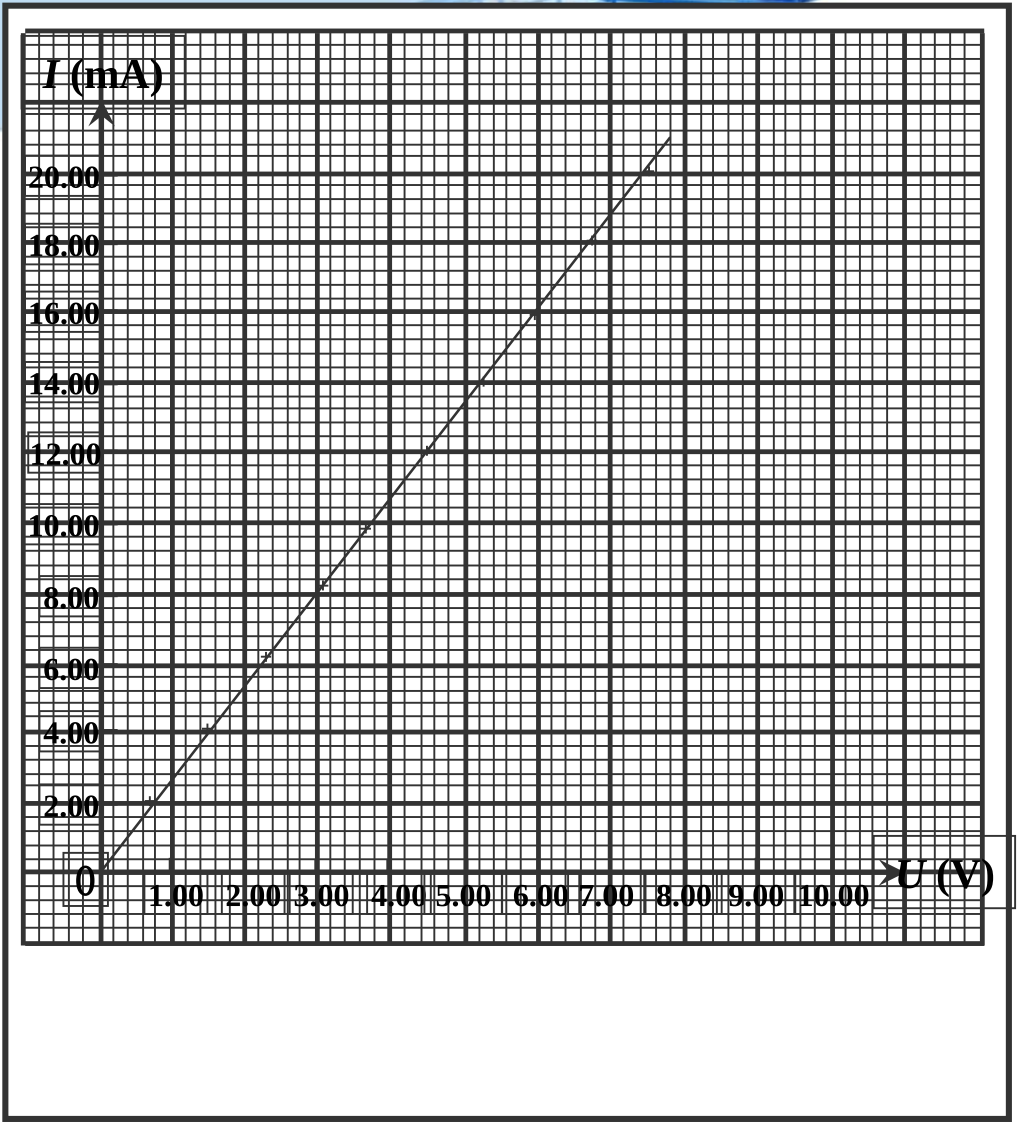
逐差法

最小二乘法

数据处理—*作图法*

作图六点要求：

1. 选择合适的坐标分度值。
2. 标明坐标轴。
3. 标实验点。
4. 连成图线。
5. 标出图线特征。
6. 标出图名。



实验例子—金属杨氏弹性模量的数据处理—*逐差法*

序号	荷重砝码质量 mg (N)	标尺读数 S (*cm*)			荷重砝码质量差4牛顿时的读数差ΔS (*cm*)	ΔS的绝对误差Δ (ΔS) (*cm*)
		增砝码时	减砝码时	平均值		
1	**0**	**S_0=0.00**	**S_0'=0.10**	$\bar{S}_0=0.05$	$\Delta S_1=\bar{S}_4-\bar{S}_0=3.61$	**Δ (ΔS)$_1$=0.03**
2	**1×9.80**	**S_1=0.99**	**S_1'=1.00**	$\bar{S}_1=1.00$	$\Delta S_2=\bar{S}_5-\bar{S}_1=3.55$	**Δ (ΔS)$_2$=0.03**
3	**2×9.80**	**S_2=1.80**	**S_2'=1.90**	$\bar{S}_2=1.85$	$\Delta S_3=\bar{S}_6-\bar{S}_2=3.60$	**Δ (ΔS)$_3$=0.02**
4	**3×9.80**	**S_3=2.70**	**S_3'=2.80**	$\bar{S}_3=2.75$	$\Delta S_4=\bar{S}_7-\bar{S}_3=3.57$	**Δ (ΔS)$_4$=0.01**
5	**4×9.80**	**S_4=3.62**	**S_4'=3.70**	$\bar{S}_4=3.66$	$\overline{\Delta S}=3.58$	
6	**5 ×9.80**	**S_5=4.51**	**S_5'=4.59**	$\bar{S}_5=4.55$		
7	**6 ×9.80**	**S_6=5.40**	**S_6'=5.49**	$\bar{S}_6=5.45$		
8	**7 ×9.80**	**S_7=6.32**	**S_7'=6.32**	$\bar{S}_7=6.32$		

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。

最小二乘法　（线性回归）

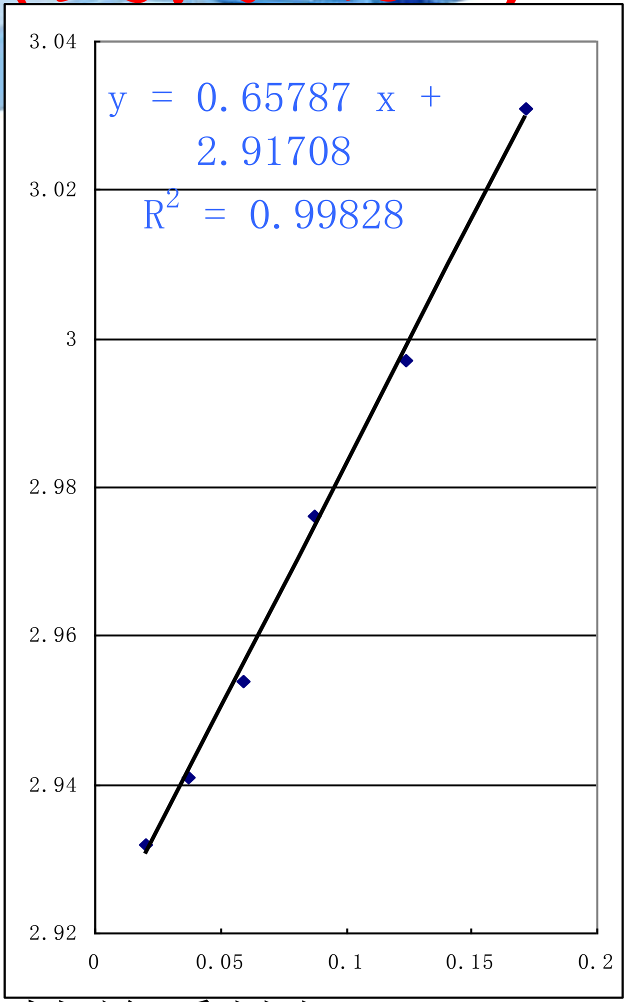
$$y = b_0 + b_1 x$$

$$S = \sum_{i=1}^{n} \delta y_i^2 = \sum_{i=1}^{n} [y_i - (b_0 + b_1 x_i)]^2$$

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}$$

$$b_1 = \frac{\bar{x} \cdot \bar{y} - \overline{xy}}{(\bar{x})^2 - \overline{x^2}}$$

$$r = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sqrt{(\overline{x^2} - \bar{x}^2)(\overline{y^2} - \bar{y}^2)}}$$



$|r| \to 1$, 线性关系越好

最小二乘法应用举例

为确定电阻随温度变化的关系式，测得不同温度下的电阻如表一。试用最小二乘法确定关系式：$R = a + b\ t$。

表一 电阻随温度变化的关系

t/℃	19.0	25.0	30.1	36.0	40.0	45.1	50.0
R/Ω	76.30	77.80	79.75	80.80	82.35	83.90	85.10

解：

1. 列表算出：$\sum t_i, \sum R_i, \sum t_i^2, \sum R_i t_i$

2. 写出a、b的最佳值满足方程

$$\hat{a} + \hat{b}\frac{\sum t}{n} = \frac{\sum R}{n};\quad \hat{a}\frac{\sum t}{n} + \hat{b}\frac{\sum t^2}{n} = \frac{\sum Rt}{n}$$

n	t/℃	R/Ω	t^2/℃^{2}	$R\,t$/ Ω ℃
1	19.1	76.30	365	1457
2	25.0	77.80	625	1945
3	30.1	79.50	906	2400
4	36.0	80.80	1296	2909
5	40.0	82.35	1600	3294
6	45.1	83.90	2034	3784
7	50.0	85.10	2500	4255
n=7	$\sum t_i$ =245.3	$\sum R_i$ =566.00	$\sum t_i^2$ =9326	$\sum R_i t_i$ =20044

列表数据代入方程：
$$\begin{cases} \hat{a} + \dfrac{245.3}{7}\hat{b} = \dfrac{566.00}{7} \\ \dfrac{245.3}{7}\hat{a} + \dfrac{9326}{7}\hat{b} = \dfrac{20044}{7} \end{cases}$$

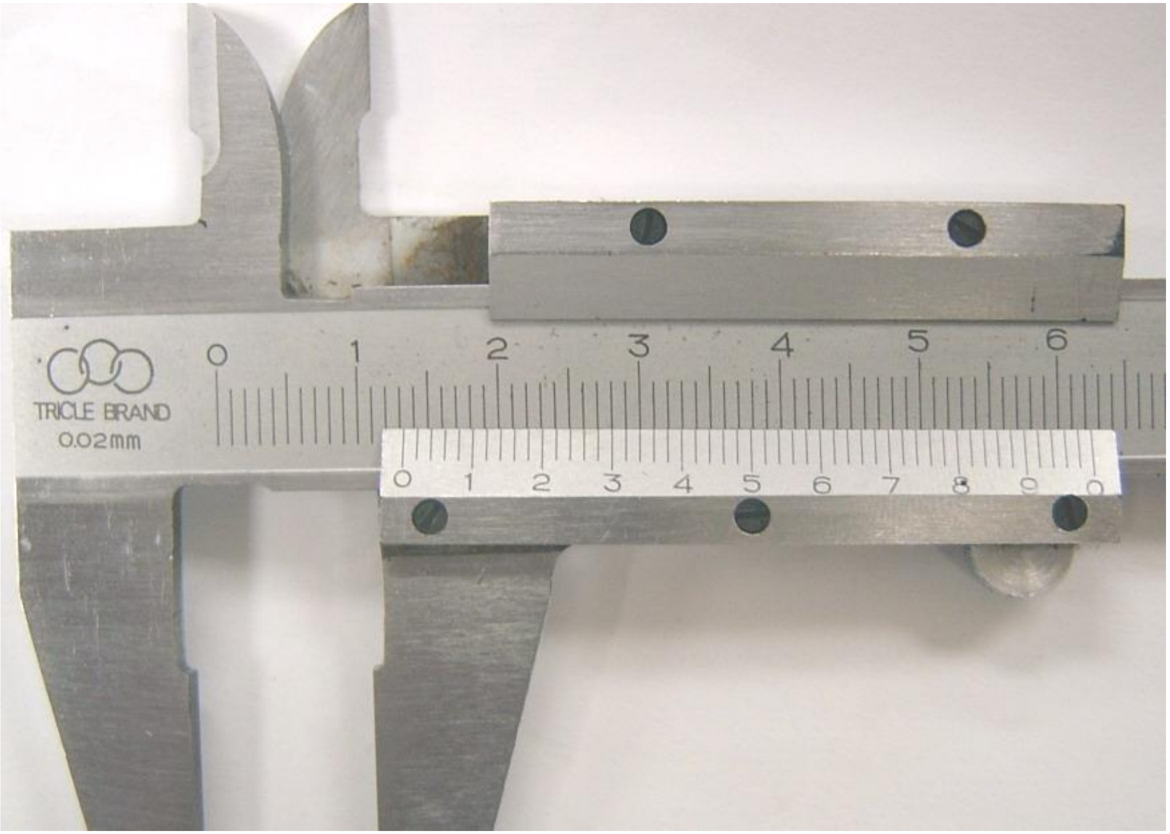
解出：
$$\begin{cases} \hat{a} = 70.79\Omega \\ \hat{b} = 0.2873\Omega/°C \end{cases}$$

3. 写出待求关系式：

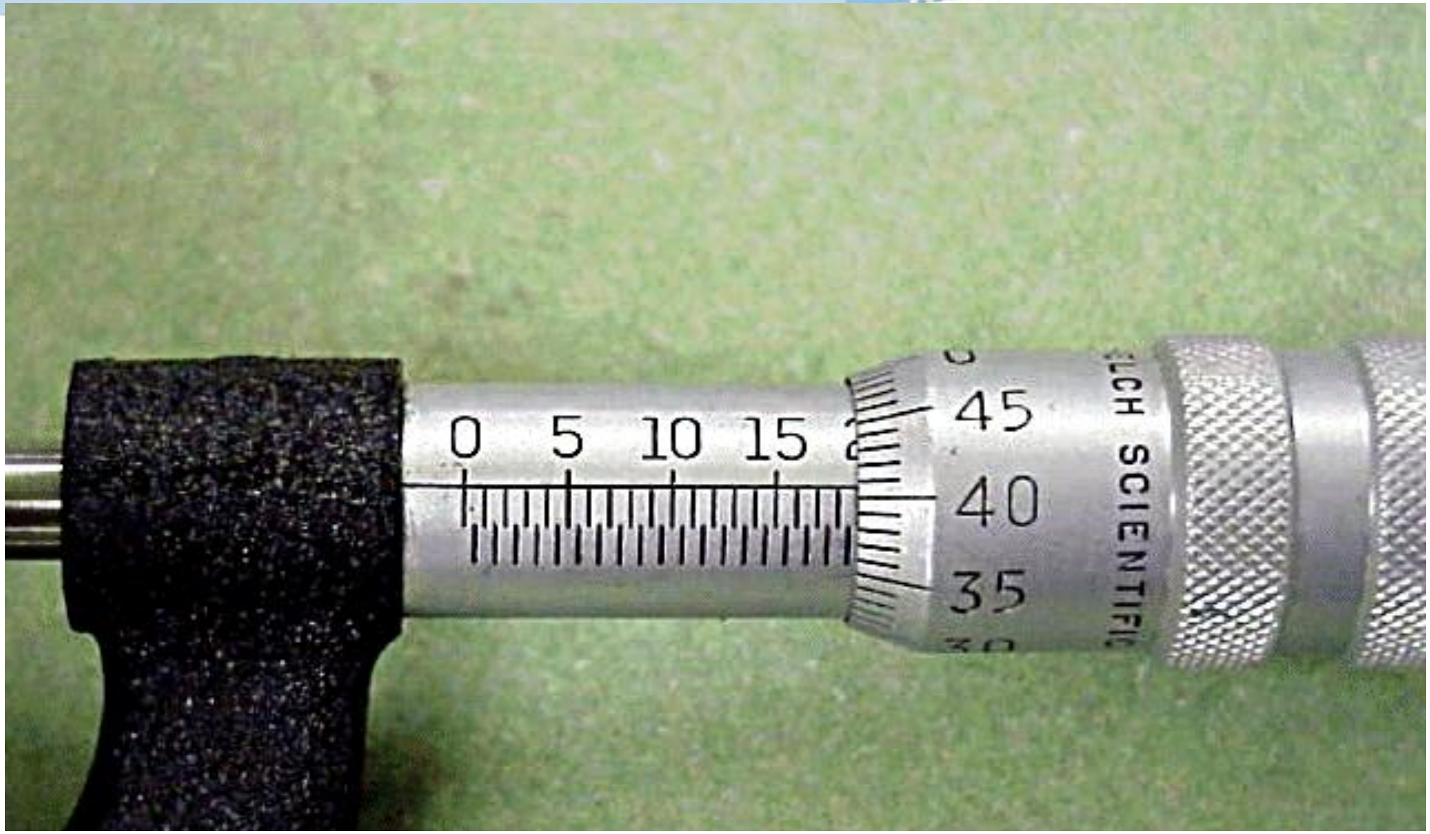
$$R = 70.79 + 0.2873t$$

R——Ω； t——℃

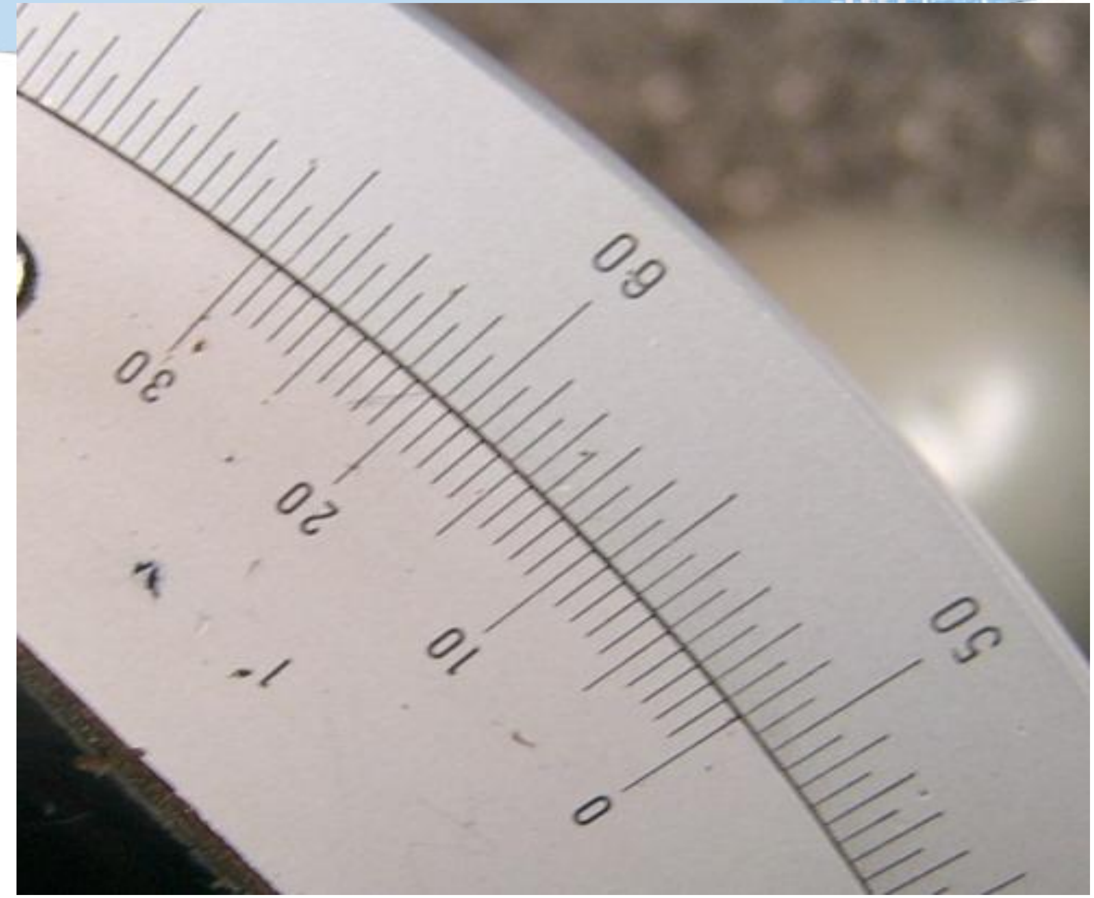
七. 测量仪器读数



$$L=13mm+15\times 0.02mm=13.30mm$$



L=18mm+0.5mm+40.5×0.01mm
=18.905mm



$A=51^\circ +2'=51^\circ 02'$

例题

（1）游标卡尺最小刻度为1mm，游标上有50小格，其总长度为49mm,问此游标卡尺的最小分度值为多少？若游标的零刻度线在主尺的11mm与12mm之间，且游标的第19根刻度线与主尺的某一根刻度线重合，问此时游标尺的读数为多少？

$1-49/50=0.02$　　　　　　$11\text{mm}+19\times0.02$

（2）试设计一角游标，使其最小读数为30′′，已知主刻度盘上每小格为20′。

$\Delta_{仪}$在实验报告册最后有详细说明

约定正确使用仪器时选取的$\Delta_{仪}$值

米尺	$\Delta_{仪}$＝0.5mm
游标卡尺（20、50分度）	$\Delta_{仪}$＝最小分度值（0.05mm或0.02mm）
千分尺	$\Delta_{仪}$＝0.004mm或0.005mm
分光计	$\Delta_{仪}$＝最小分度值（1′或30″）
读数显微镜	$\Delta_{仪}$＝0.005mm
各类数字式仪表	$\Delta_{仪}$＝仪器最小读数
记时器（1s、0.1s、0.01s）	$\Delta_{仪}$＝仪器最小分度（1s、0.1s、0.01s）
物理天平（0.1g）	$\Delta_{仪}$＝0.05g
电桥（QJ23型）	$\Delta_{仪}$＝$K\%\cdot R$（K是准确度或级别，R为示值）
电位差计（UJ33型）	$\Delta_{仪}$＝$K\%\cdot v$（K是准确度或级别，v为示值）
转柄电阻箱	$\Delta_{仪}$＝$K\%\cdot R$（K是准确度或级别，R为示值）
电表	$\Delta_{仪}$＝$K\%\cdot M$（K是准确度或级别，M为示值）
其它仪器、量具	$\Delta_{仪}$是根据实验际情况由实验室给出示值误差限

八. 重点实验（考试）

示波器

分光计

8.1 示波器

例题

1. 有一50HZ信号，在示波器上出现两个周期波，则扫描周期是多少？

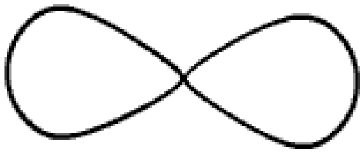
25HZ

2. 为了使示波器上显示稳定的波形，锯齿波电压周期T_y与被测量信号电压周期T_x必须满足（ $T_x= nT_y$ ）关系；如示波器上波形若向左移动，则应该（增加，**减小**）信号频率，使波形稳定；示波器上波形若向右移动，则应该（**增加**，减小）信号频率，使波形稳定。

ZheJiang University

例题

图为做示波器实验时从示波器荧光屏上观察到的两个相互垂直的电振动合成的李萨如图形，已知：$f_X = 100.0 \pm 0.5Hz$，请给出 f_Y 的结果表达式。



$$f_X = 200.0 \pm 1.0Hz$$

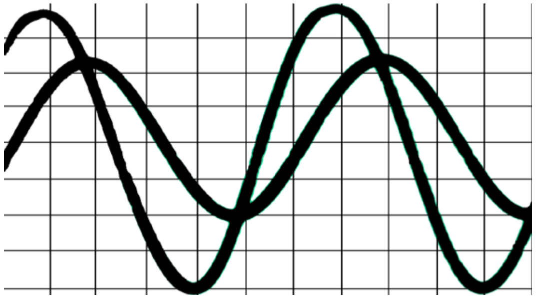
例题

在示波器的使用实验中学习了正弦信号通过RC电路后产生位相差的测量，现两正弦波形如图所示：

a. 在图上标出位相延迟△T的位置，如果△T=10ns，周期T=50 ns，位相差等于多少？

输入波形

输出波形



b. 实验中发现输出波形的幅度变小，是什么原因？

c. 输入，输出波形的周期是否一样?

8.2分光计

例题

1.试根据光路图分析，说明为什么望远镜光轴与平面镜法线平行时，在目镜内应看到“十”形反射像与“ 丰 ”形叉丝的上方交点相重合?

2.在分光计实验中，我们已经学过了通过测量发自平行光管的狭缝像经三棱镜两光学面反射后的位置从而测定三棱镜顶角的实验方法。现请设计一个用自准直法测定三棱镜顶角的方法，要有示意图及步骤。