



物理实验导论课绪论

上海交通大学物理实验中心

2018年9月





1. 为什么要上物理实验课

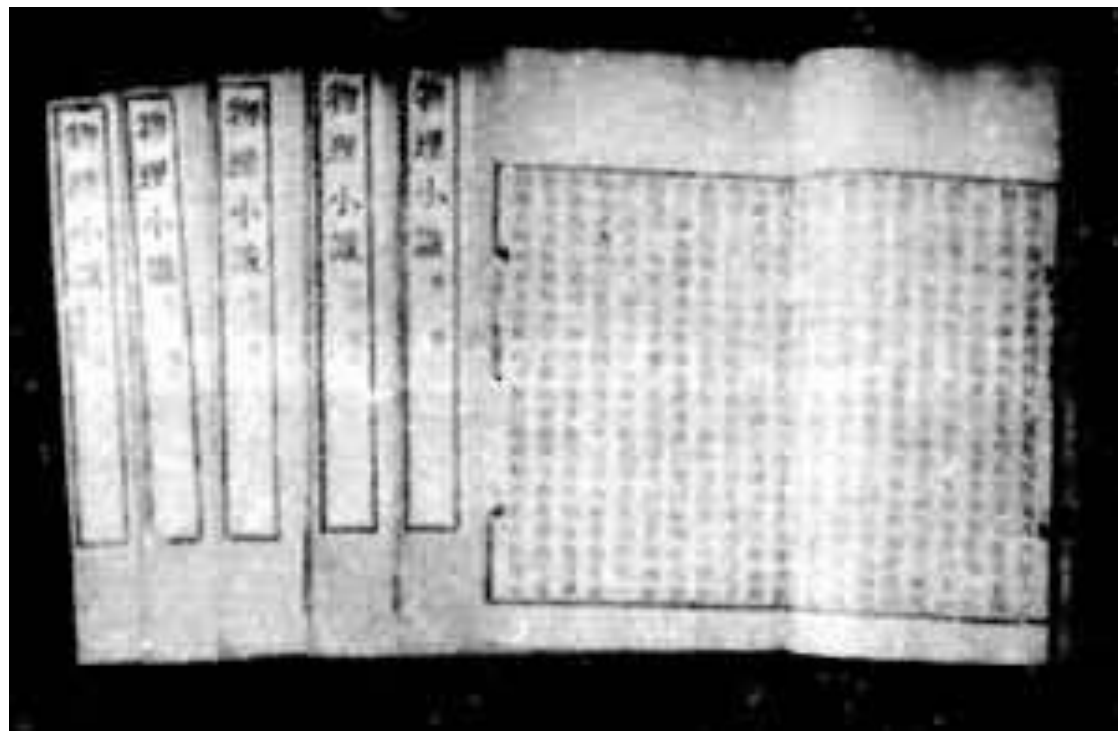
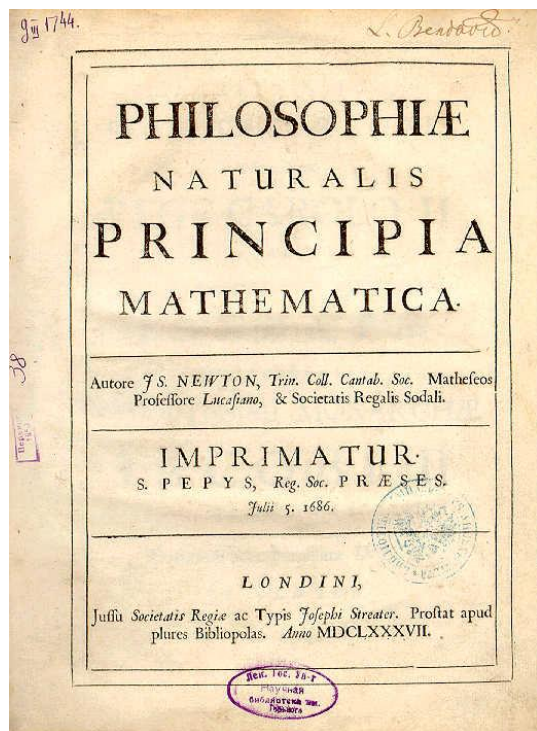
1.1 物理实验的作用

1.2 物理实验课的目的





“物理”起源



“物理”源于古希腊文
 $\varphi\upsilon\sigma\iota\kappa$, 原意: 自然.
上图为牛顿所著“自然哲学之数学原理”

汉、日语中“物理”一词源自方以智
(明末清初) 百科全书式著作
《物理小识》



问：什么物理学？

答：研究（猜想）自然世界的基本规律！

问：与数学研究自然世界有何不同？

答：数学研究中没有客观实验！

问：客观实验有什么用？

答：检验研究成果科学意义的唯一手段





问：实验只有检验这一用途吗？

答：不是！实验的现象是发现自然规律的“密码”

问：能不能像学数学一样学物理呢？

答：不能！根本不知道自然的基本规律是什么

问：那物理该怎么学（或研究）？

答：实验 + 逻辑 （逻辑**最精妙**的形式是数学）



物理学是研究物质运动一般规律及物质基本结构的科学，是**自然科学的基础学科**。



物理实验的作用



超导核磁共振成像（MRI） 物理实验的作用



物理学的核心——揭示自然世界的内在规律

物理学的基石——实验

为什么实验是物理学的基石？





检验规律

$$\mathbf{F} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{a}$$

提示规律



能包容未知——允许有误差





物理学是一门**实验科学**，物理实验在物理学的产生、发展和应用过程中起着重要作用。



马德堡半球实验（奥托·冯·居里克）

物理实验的作用



以诺贝尔物理学奖为例：

- **80%**以上的诺贝尔物理学奖给了实验物理学家。
- 其余**20%**的奖中很多是实验和理论物理学家分享的。





诺贝尔物理学奖华人获得者

李政道：生于上海，美籍华人，1957年获诺贝尔物理学奖，时年31岁

杨振宁：生于安徽，美籍华人，1957年获诺贝尔物理学奖，时年35岁

丁肇中：生于美国，美籍华人，1976年获诺贝尔物理学奖，时年40岁

朱棣文：生于美国，美籍华人，1997年诺贝尔物理学奖，时年49岁

崔琦：生于河南，美籍华人，1998年获诺贝尔物理学奖，时年59岁





杨振宁

弱相互作用中宇称不守恒



李政道



丁肇中

独立发现新的 J/ψ 基本粒子

物理实验的作用



朱棣文

发明了用激光冷却
和俘获原子的方法



崔琦

量子霍尔效应



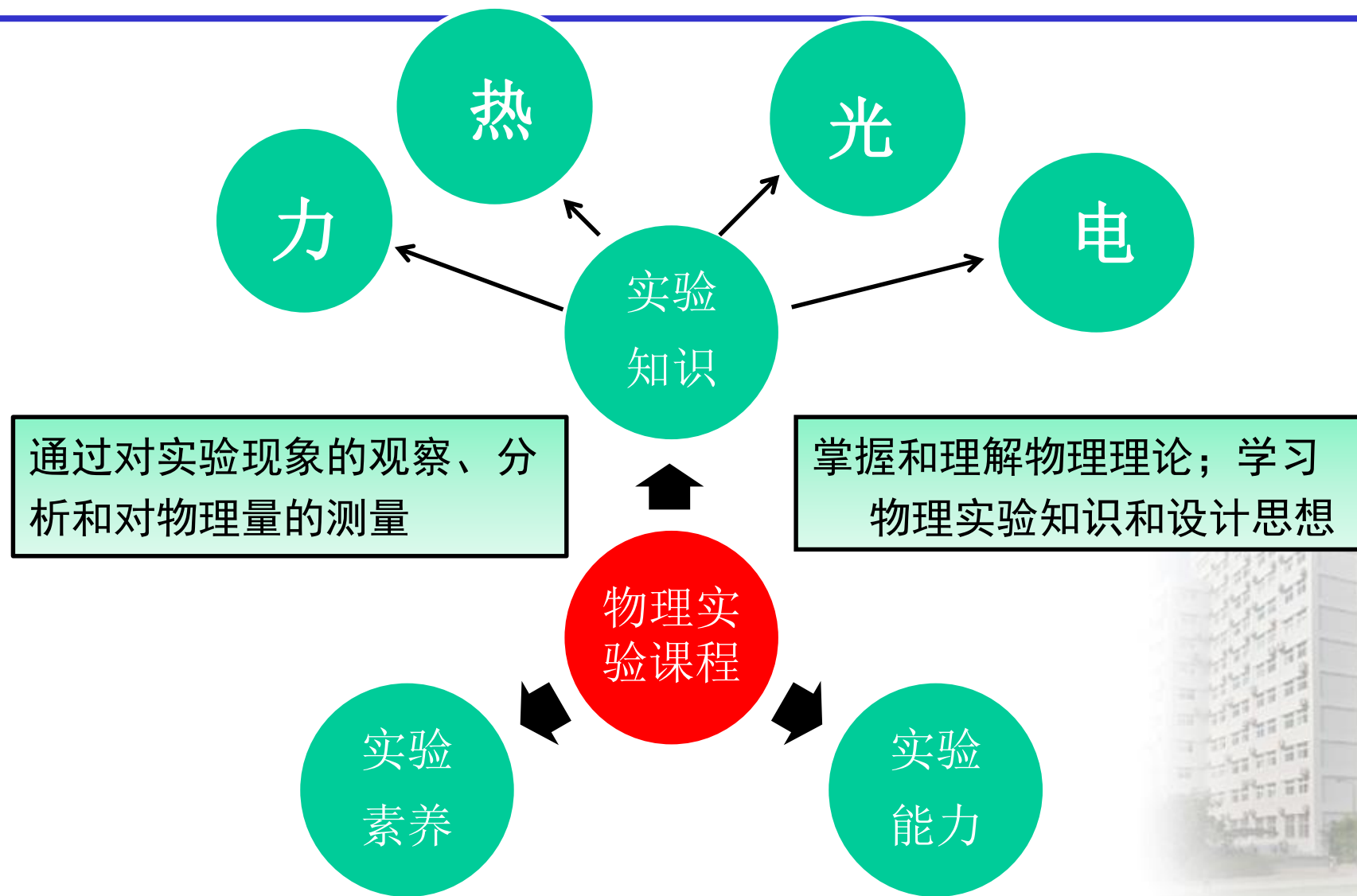
高锟

光纤之父

物理实验的作用



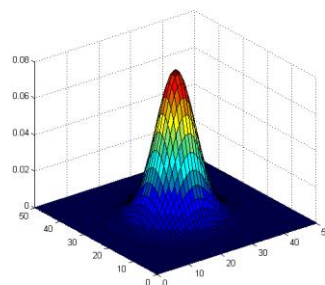
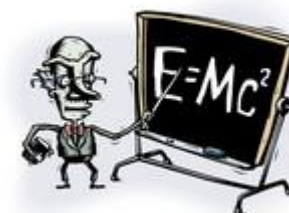
物理实验课的目的是什么？

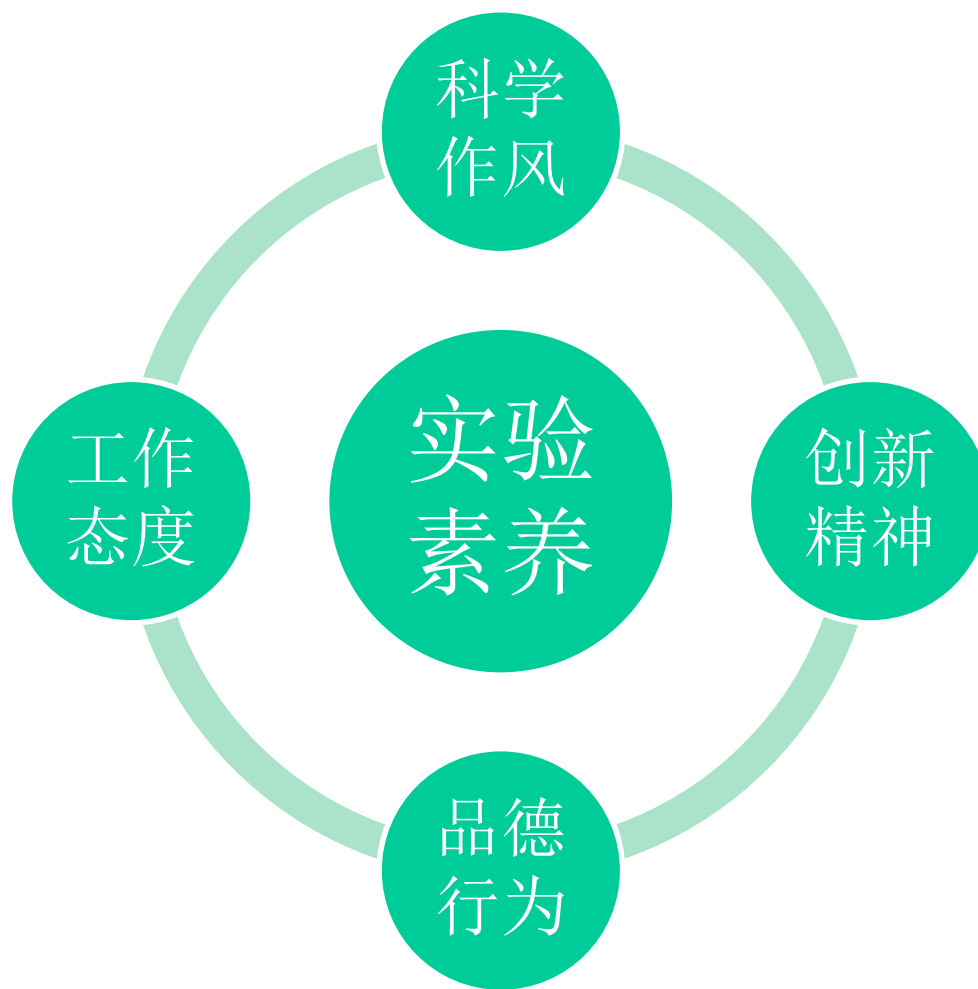


培养实验能力



上海交通大学
Shanghai Jiao Tong University





2. 测量、误差和不确定度估计



2.1 测量与有效数字

2.2 测量误差和不确定度估算的基础知识



- 测量
- 有效数字的读取
- 有效数字的运算
- 有效数字尾数的舍取规则



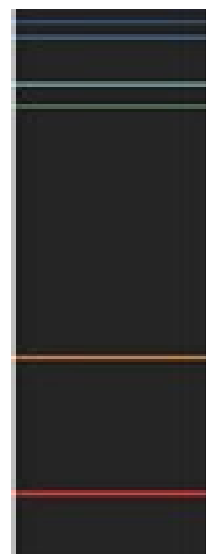
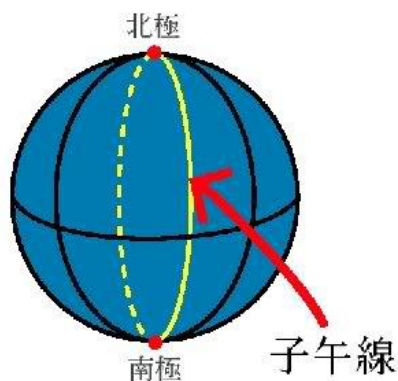
测量用合适的工具或仪器，通过科学的方法，将反映被测对象某些特征的物理量（被测物理量）与选作标准单位的同类物理量进行比较的过程，其比值即为被测物理量的测量值。



例：长度测量



标准单位：



古代常以人体的一部分作为长度的单位。

“布指知寸，布手知尺，舒肘知寻。”

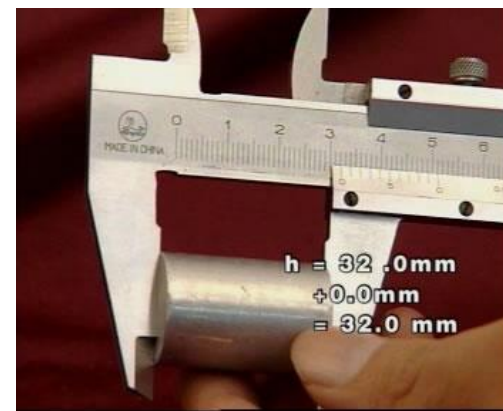
1790年法国国民议会通过决议，决定采用通过巴黎的地球子午线的四分之一的千万分之一为长度单位

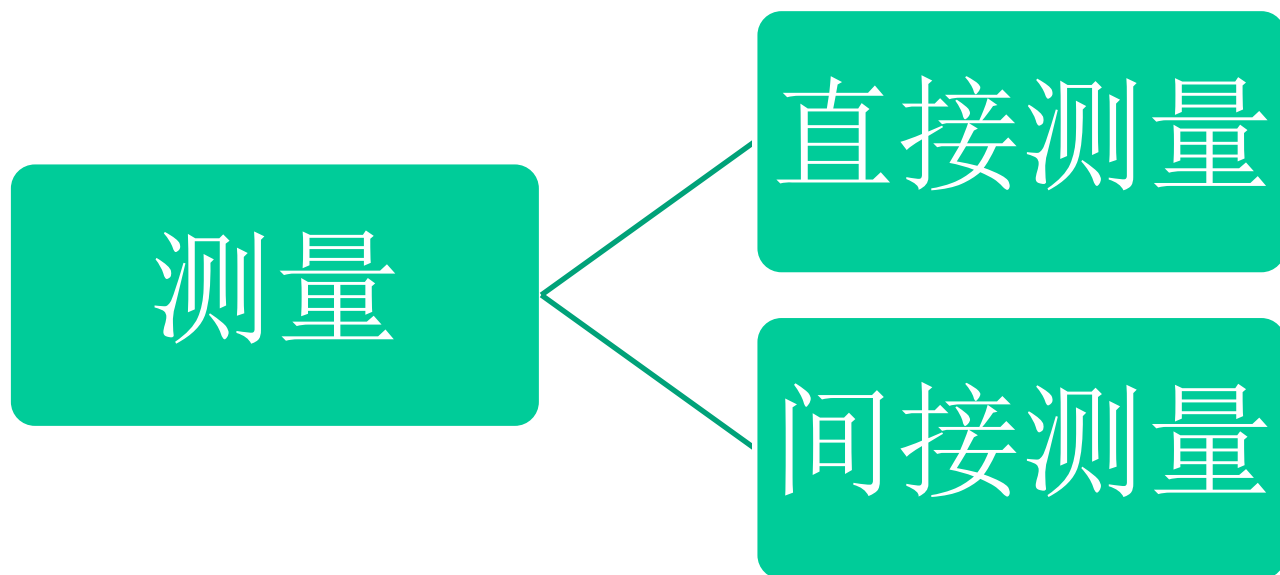
1927年国际协议，以金属镉(Cd)的红色光谱线的长度1553164.13倍作为米的长度单位

1983年10月第十七届国际计量大会通过了米的新定义：“米是光在真空中1 / 299792458秒的时间间隔内所经路程的长度”。



测量工具:







直接测量：直接将待测物理量与选定的同类物理量的标准单位相比较直接得到测量值





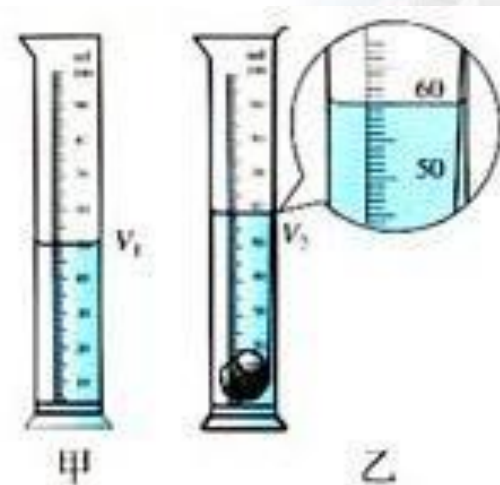
间接测量：利用直接测量的量与被测量之间的已知函数关系，求得该被测物理量



ρ



m



V



测量结果表示

测量值 = 读数值(有效数字)+单位

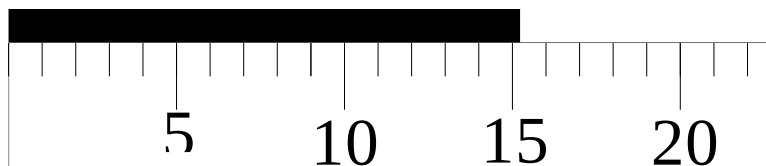
有效数字：可靠数字+可疑数字（一位）



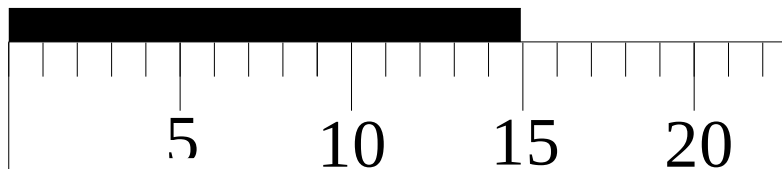


有效数字的读取

15.2mm



15.0mm



$$980 \text{ cm} / \text{s}^2 = 9.80 \text{ m} / \text{s}^2 = 0.00980 \text{ km} / \text{s}^2 \neq 9.8 \text{ m} / \text{s}^2$$



$$632.8\text{nm} = 0.6328\mu\text{m} = 6.328 \times 10^{-7} \text{ m}$$





有效数字的运算：加、减法

诸量相加（相减）时，其和（差）数在小数点后所应保留的位数与诸数中小数点后位数最少的一个相同。

$$\begin{array}{r} 4.178 \\ + 21.3 \\ \hline 25.478 = 25.5 \end{array}$$





有效数字的运算：乘、除法

诸量相乘（除）后其积（商）所保留的有效数字，只须与诸因子中有效数字最少的一个相同。

$$\begin{array}{r} 4.178 \\ \times 10.1 \\ \hline 4178 \\ 4178 \\ \hline 421978 = 42.2 \end{array}$$





有效数字的运算：乘方、开方

有效数字与其底的有效数字相同

$$2.56^3 = 16.8$$

$$2.56^{\frac{1}{3}} = 1.37$$





有效数字的运算：取对数

运算后的尾数位数与真数位数相同

例： $\lg 1.938 = 0.2973$

$$\lg 1938 = 3 + \lg 1.938 = 3.2973$$





有效数字的运算：指数函数

运算后的有效数字的位数与指数的小数点后的位数相同（包括紧接小数点后的零）

例： $10^{6.25} = 1.8 \times 10^6$

$$10^{0.0035} = 1.008$$





有效数字的运算：三角函数

取位随角度有效数字而定

$$\text{例： } \sin 30^{\circ} 00' = 0.5000$$

$$\cos 20^{\circ} 16' = 0.9381$$





有效数字的运算： 注意点



- **正确数**不适用有效数字的运算规则。
- **取常数**与测量值的有效数字的位数相同。



数字修约

按照一定的规则确定一致的位数，然后舍去某些数字后面多余的尾数的过程

数字修约规则（国家标准文件：GB8170-87）

口诀：4舍6入5看右，5后有数进上去，
尾数为0向左看，左数奇进偶舍弃。

例：将下列数字全部修约为四位有效数字

- 1) 尾数 < 5 , $1.11840000 \rightarrow 1.118$
- 2) 尾数 > 5 , $1.11860000 \rightarrow 1.119$
- 3) 尾数 $= 5$,
 - a) 5右面还有不为0的数
 $1.11859999 \rightarrow 1.119$ $1.11850001 \rightarrow 1.119$
 - b) 5右面尾数为0则凑偶
 $1.11750000 \rightarrow 1.118$ $1.11850000 \rightarrow 1.118$



注意： 一次性修约到指定的位数

例：将数字10.2749945001修约为四位有效数字。

一步到位：10.2749945001——10.27（正确）。

错误结果：

10.2749945001——10.274995—— 10.275——10.28



2. 测量误差和不确定度估算的基础知识



- 误差
- 随机误差的处理
- 测量结果的不确定度表示
- 间接测量不确定度的合成





误差

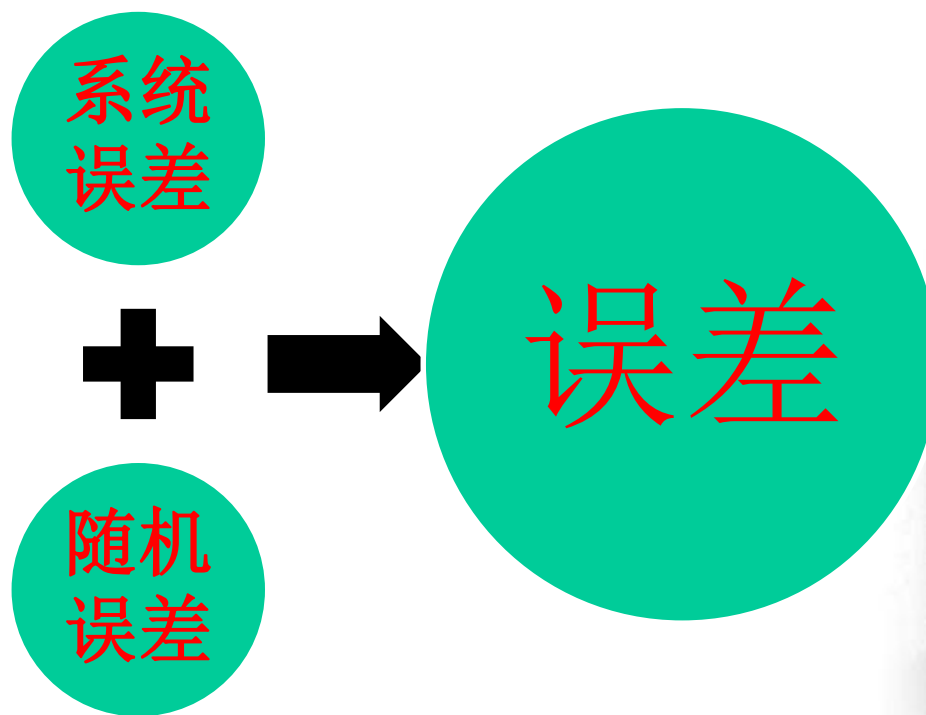
对一待测物理量 x

误差 $\Delta x = \text{测量结果 } x - \text{真值 } \mu$

真值：物理量在一定实验条件下的客观存在值



测量误差存在于一切测量过程中，可以控制得越来越小，不可能为零。





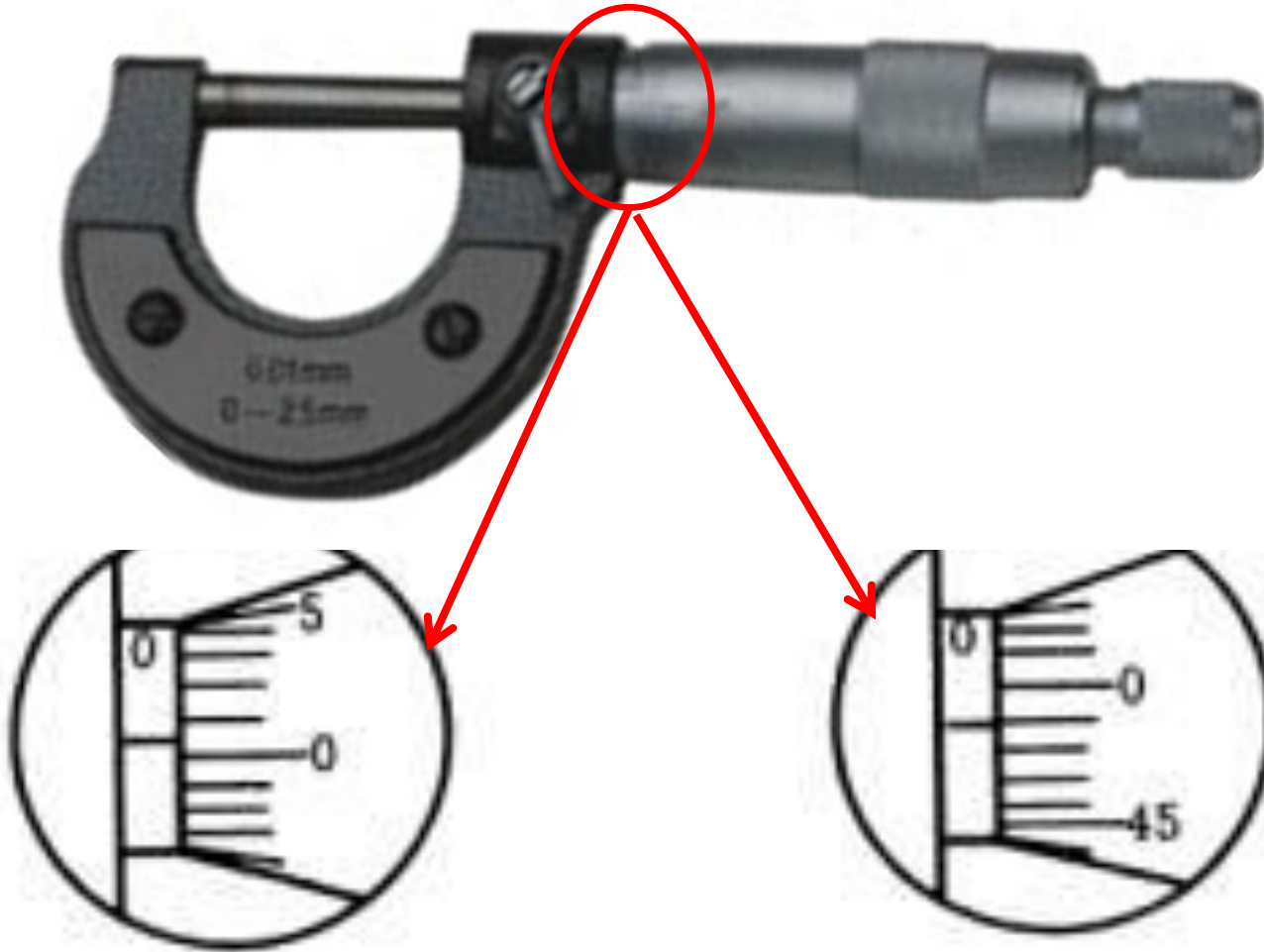
系统误差

定义：在对同一被测量的多次测量过程中，绝对值和符号保持恒定或随测量条件的改变而按确定的规律变化。

- **产生原因：**由于测量仪器、测量方法、环境带入。
- **分类及处理方法：**
 - 1 **已定系统误差：必须修正**
电表、螺旋测微计的零位误差；
测电压、电流时由于忽略表内阻引起的误差。
 - 2 **未定系统误差：要估计出分布范围**
如：螺旋测微计制造时的螺纹公差等。



系统误差



定义：在对同一量的多次重复测量中绝对值和符号以不可预知方式变化的测量误差分量。

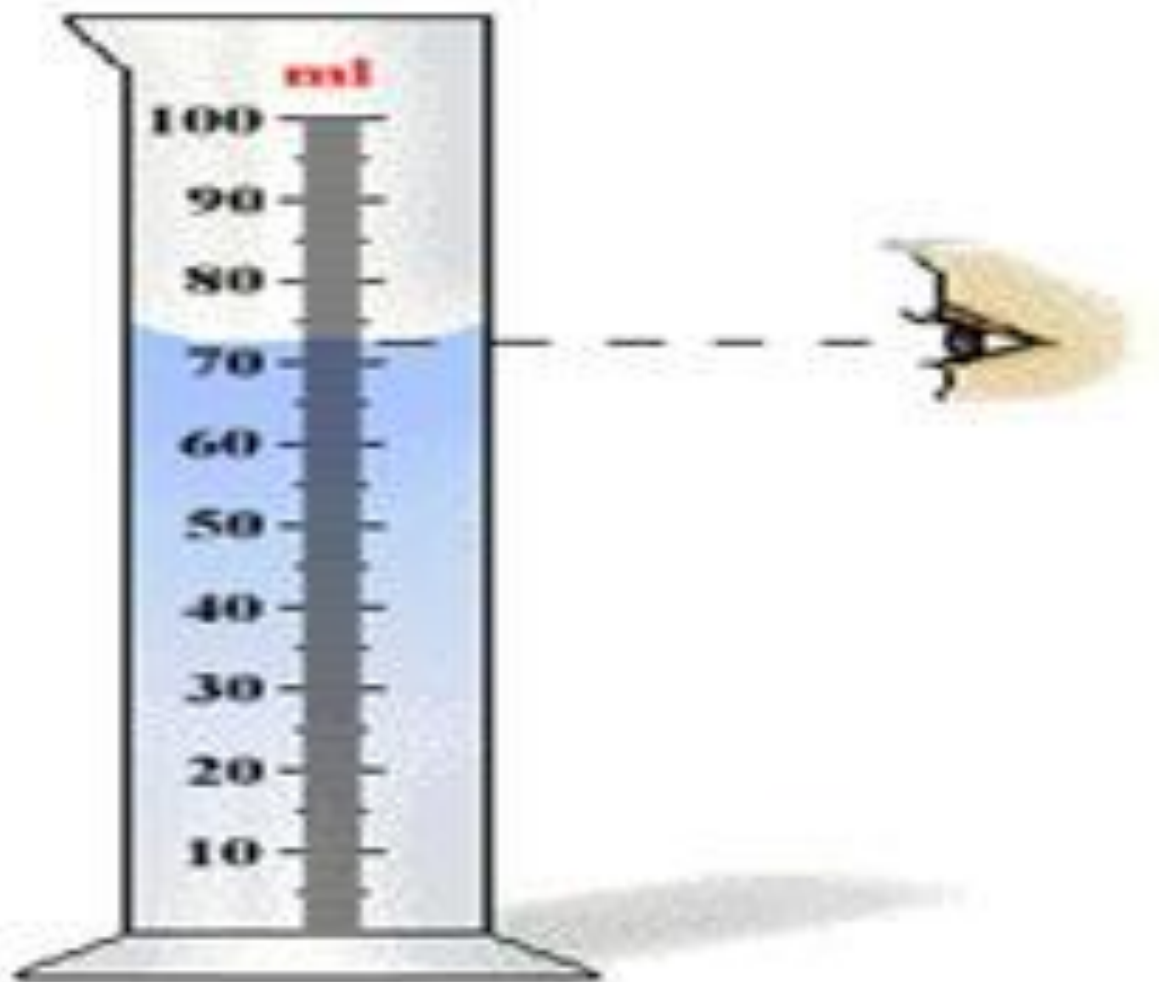
- **产生原因：**实验条件和环境因素无规则的起伏变化，引起测量值围绕真值发生涨落的变化。

例如：

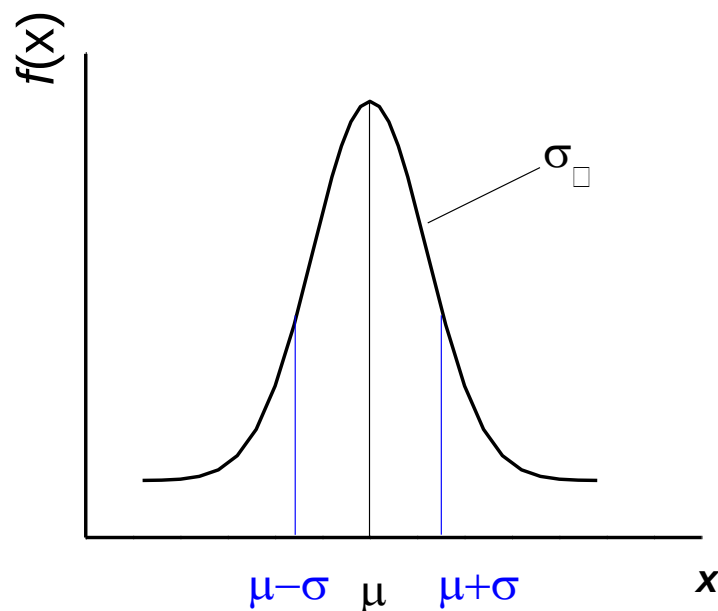
- 电表轴承的摩擦力变动
- 螺旋测微计测力在一定范围内随机变化
- 操作读数时的视差影响



随机误差



- (1) 小误差出现的概率比大误差出现的概率大；
- (2) 无穷多次测量时服从正态分布；
- (3) 具有抵偿性。取多次测量的平均值有利于消减随机误差。



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

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

μ 为真值

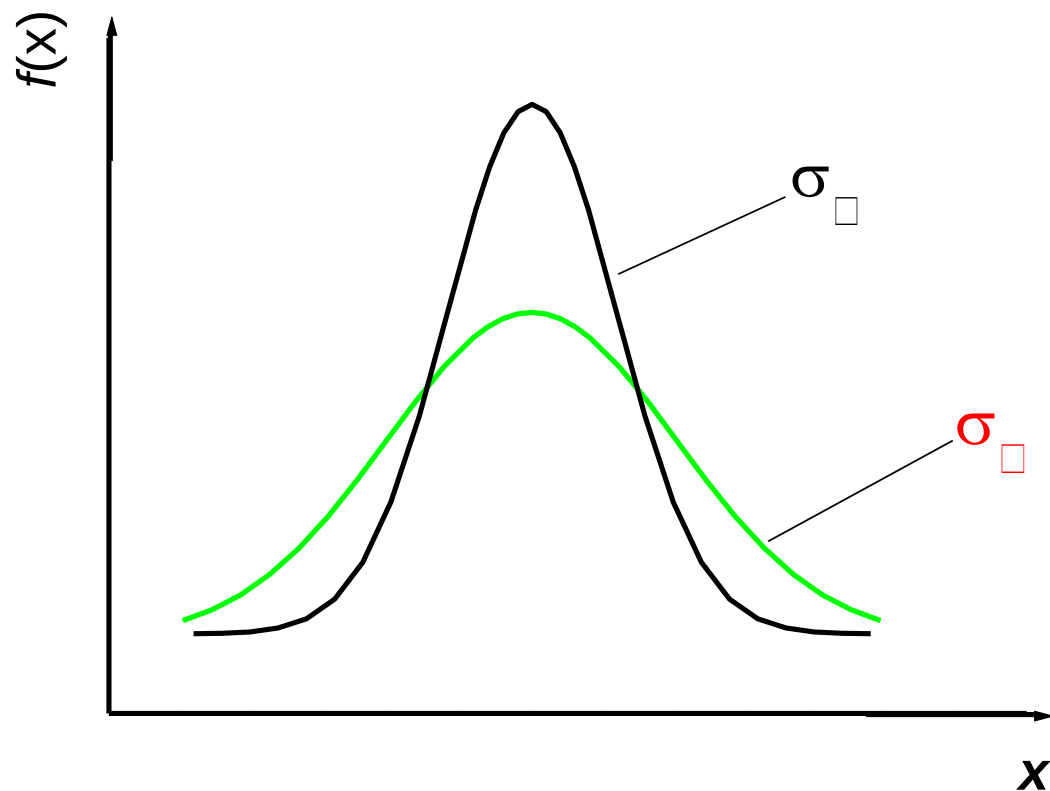
σ 为标准差

$f(x)$ 为 x 的分布函数





标准差表示测量值的离散程度



标准差小：

测得值很密集，随机误差分布范围窄，测量的精密度高；

标准差大：

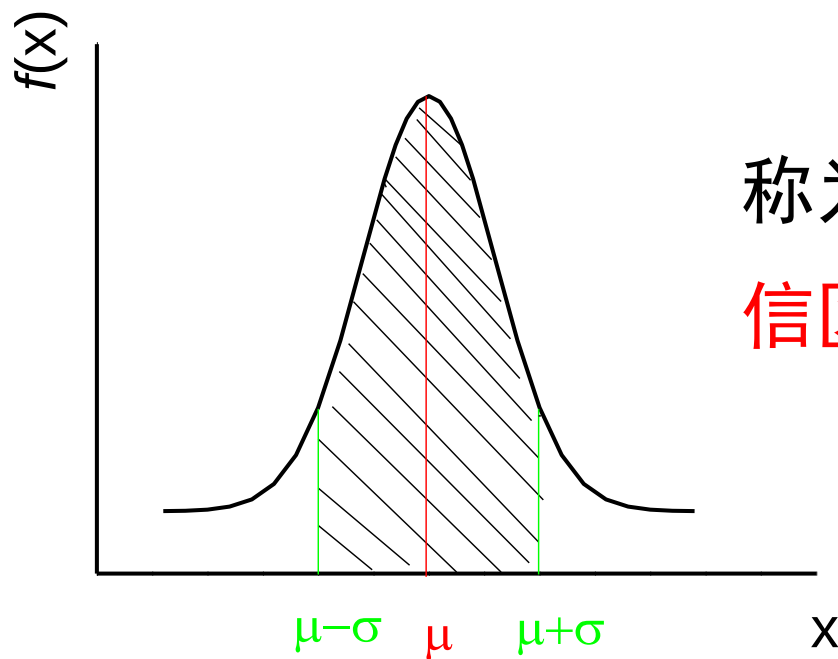
表示测得值很分散，随机误差分布范围宽，测量的精密度低。





任意一次测量值落入区间 $[\mu - \sigma, \mu + \sigma]$

的概率为 $P = \int_{\mu - \sigma}^{\mu + \sigma} f(x) dx = 0.683$



这个概率叫**置信概率**，也
称为**置信度**。对应的区间叫**置
信区间**，表示为：

$$x = \mu \pm \sigma$$





扩大置信区间，可增加置信概率

$$[\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma]$$

$$P = \int_{\mu - 2\sigma}^{\mu + 2\sigma} f(x) dx = 0.954$$

$$[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$$

$$P = \int_{\mu - 3\sigma}^{\mu + 3\sigma} f(x) dx = 0.997$$





在测量次数 n 较小的情况下，测量将呈 t 分布

n 较小时，偏离正态分布较多，
 n 较大时，趋于正态分布。

t 分布时，置信区间和置信度的计算需要对特殊函数积分，且不同的测量次数对应不同的值，计算很繁。





平均值

假定对一个物理量进行了 n 次测量，测得的值为 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$

$$\bar{x} = \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) / n$$

可以用多次测量的算术平均值作为被测量的最佳估计值，测量次数 n 为无穷大时，算术平均值等于真值。





根据统计理论，有限测量时，算术平均值不等于真值，它的标准偏差为：

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (\bar{x} - x_i)^2}{n(n-1)}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

而 $\sigma_{\bar{x}}$ 的意义可以理解为：

待测物理量处于区 $[\bar{x} - \sigma_{\bar{x}}, \bar{x} + \sigma_{\bar{x}}]$ 内的概率为0.683。



物理实验中，置信度一般取作**0.95**，这时
 t 分布相应的置信区间可写为：

$$X = \bar{X} \pm t_{0.95} \sigma_{\bar{X}} = \bar{X} \pm \frac{t_{0.95}}{\sqrt{n}} \sigma_x$$

n	3	4	5	6	7
$\frac{t_{0.95}}{\sqrt{n}}$	2.48	1.59	1.24	1.05	0.926

一般，我们取测量次数为6次。



概念： 不确定度 u 是由于测量误差存在而对被测量值不能确定的程度。

意义： 不确定度是一定**置信概率**下的**误差限值**，反映了可能存在的误差分布范围。

置信概率一般取0.95



A 类分量 Δ_A : 可以用统计学方法估算的分量, 一般指随机误差。

测量次数很大时, $\Delta_A = 2\sigma_x = \frac{2}{\sqrt{n}} \sigma_x$

测量次数不大时, $\Delta_A = \frac{t_{0.95}}{\sqrt{n}} \sigma_x$



B 类分量 Δ_B : 不能用统计学方法估算的分量, 一般指系统误差。

若不特别说明

$$\Delta_B = \frac{\text{仪器允差}}{c}$$

c 叫置信因子, 置信度取0.95时, **$c = 1.05$**





合成方法:

$$u_x = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2}$$

相对不确定度:

$$u_{rx} = \frac{u_x}{x} \times 100\%$$

结果表示:

$$\begin{cases} x = \bar{x} \pm u_x \\ u_{rx} = \frac{u_x}{x} \times 100\% \end{cases}$$

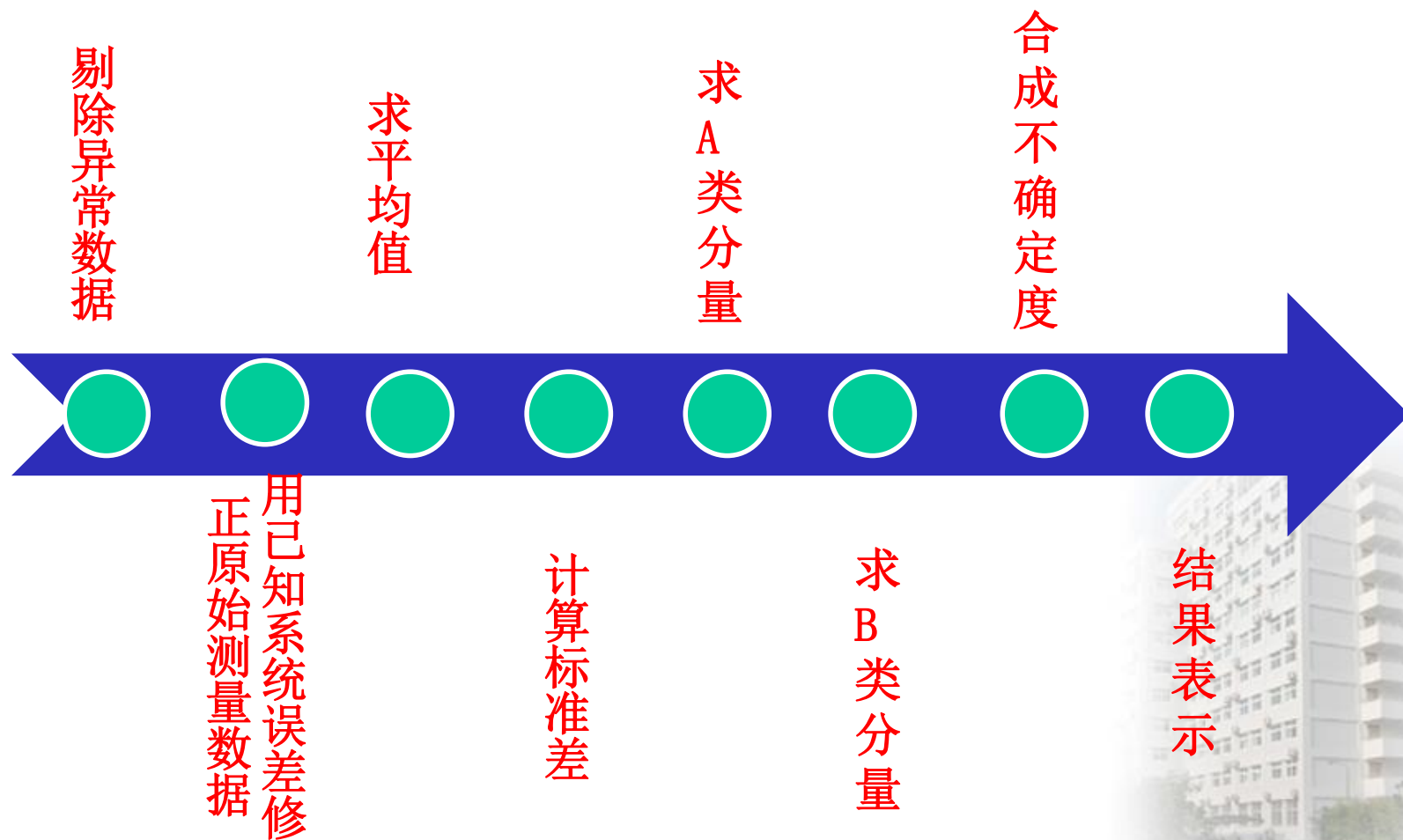


注意：

1. 平均值有效数字位数**不要超过**测量值的有效数字；
2. 不确定度和相对不确定度**保留1-2位有效数字**；
3. 不确定度的**最后一位数字要和平均值的对齐**。



直接测量量不确定度估算过程与表示



直接测量不确定度计算举例



例1：用螺旋测微计测某一钢丝的直径，原始数据见下表，请给出完整的测量结果。

原始数据表格

$d_0 = +0.004 \text{ mm}$, 螺旋测微计的仪器允差为 $\Delta_{\text{仪}} = 0.004 \text{ mm}$						
	1	2	3	4	5	6
$d'_i \text{ (mm)}$	0.249	0.250	0.247	0.251	0.253	0.250



例 1 解:

$d_0 = +0.004 \text{ mm}$, 螺旋测微计的仪器允差为 $\Delta_{\text{仪}} = 0.004 \text{ mm}$

	1	2	3	4	5	6
$d'_i \text{ (mm)}$	0.249	0.250	0.247	0.251	0.253	0.250
$d_i = d'_i - d_0 \text{ (mm)}$	0.245	0.246	0.243	0.247	0.249	0.246
$\bar{d}_i \text{ (mm)}$	0.246					
$\bar{d} - d_i \text{ (mm)}$	0.001	0.000	0.003	-0.001	-0.003	0.000

没有异常数据, 不用剔除



例 1 解:

$$\sigma_d = \sqrt{\sum (\bar{d} - d_i)^2 / (n-1)} = 0.002(mm)$$

$$\Delta_A = \frac{t_{0.95}}{\sqrt{n}} \sigma_x = 1.05 \sigma_x \approx 0.002 mm$$

$$\Delta_B = \frac{\Delta_{\text{仪}}}{1.05} \approx 0.004(mm)$$

$$u_d = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} \approx 0.004(mm)$$

$$u_{rd} = \frac{u_d}{d} \times 100\% = 2\%$$





测量结果表示为

$$\begin{cases} d = 0.246 \pm 0.004(mm) \\ u_{rd} = 2\% \end{cases}$$



设待测量与各直接测量之间有函数关系：

$$X = f(x_1, x_2, x_3, \cdots, x_n)$$

待测量的**平均值**可直接用各量平均值计算，则：

$$\bar{X} = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \cdots, \bar{x}_n)$$

不可分别计算再取平均——非线性





间接测量不确定度的计算

待测量量的不确定度与各直接测量量的不确定度的关系为：

(1)
$$u_x = \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} u_{x_i} \right)^2}$$
 计算和差形式方便

(2)
$$\frac{u_x}{x} = \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_i} u_{x_i} \right)^2}$$
 计算乘除指数形式方便





常用公式

$$X = X_1 \pm X_2 \quad u_X = \sqrt{u_{X_1}^2 + u_{X_2}^2}$$

$$X = X_1 X_2 \text{ 或 } X_1 / X_2 \quad u_{rX} = \sqrt{u_{rX_1}^2 + u_{rX_2}^2}$$

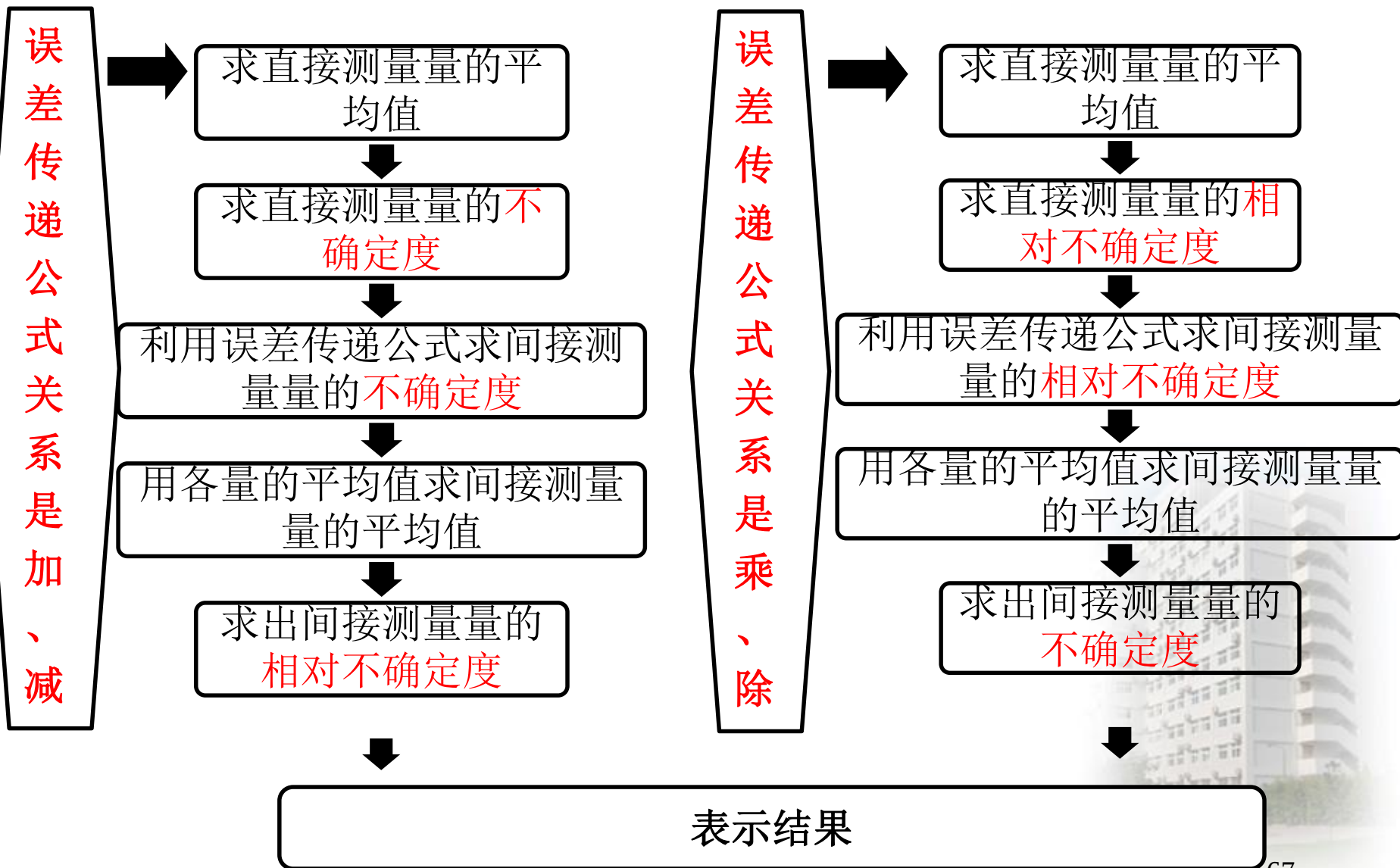
$$X = X_1^k X_2^m \quad u_{rX} = \sqrt{(ku_{rX_1})^2 + (mu_{rX_2})^2}$$

同学们可以用偏微分知识自己推导这些公式





间接测量的不确定度合成过程





间接测量量的不确定度合成举例

例2： 已测得金属环的外形尺寸如下，要求给出其体积的测量结果

$$D_{\text{内径}} = 2.880 \pm 0.004 \text{ cm}、D_{\text{外径}} = 3.600 \pm 0.004 \text{ cm}、h = 2.575 \pm 0.004 \text{ cm}$$

解：

$$1. \quad \bar{V} = \frac{\pi}{4} (\bar{D}_{\text{外径}}^2 - \bar{D}_{\text{内径}}^2) \bar{h} = 9.436 (\text{cm}^3)$$

2. 由于间接测量与直接测量量之间没有简单关系，故先推导出间接测量的合成不确定度

$$\begin{aligned} u_V &= \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} u_{x_i} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial D_{\text{内径}}} u_{D_{\text{内径}}} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial D_{\text{外径}}} u_{D_{\text{外径}}} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial h} u_h \right)^2} \\ &= \frac{\pi}{4} \sqrt{(2D_{\text{内径}} h u_{D_{\text{内径}}})^2 + (2D_{\text{外径}} h u_{D_{\text{外径}}})^2 + [(D_{\text{外径}}^2 - D_{\text{内径}}^2) u_h]^2} = 0.08 (\text{cm}^3) \end{aligned}$$



间接测量量的不确定度合成举例

3. 求相对不确定度

$$u_{rV} = \frac{u_V}{V} = 0.8\%$$

4. 实验结果表示

$$\begin{cases} V = 9.44 \pm 0.08(\text{cm}^3) \\ u_{rV} = 0.8\% \end{cases}$$





3. 数据处理的作图法最小二乘法

3.1 作图法处理实验数据

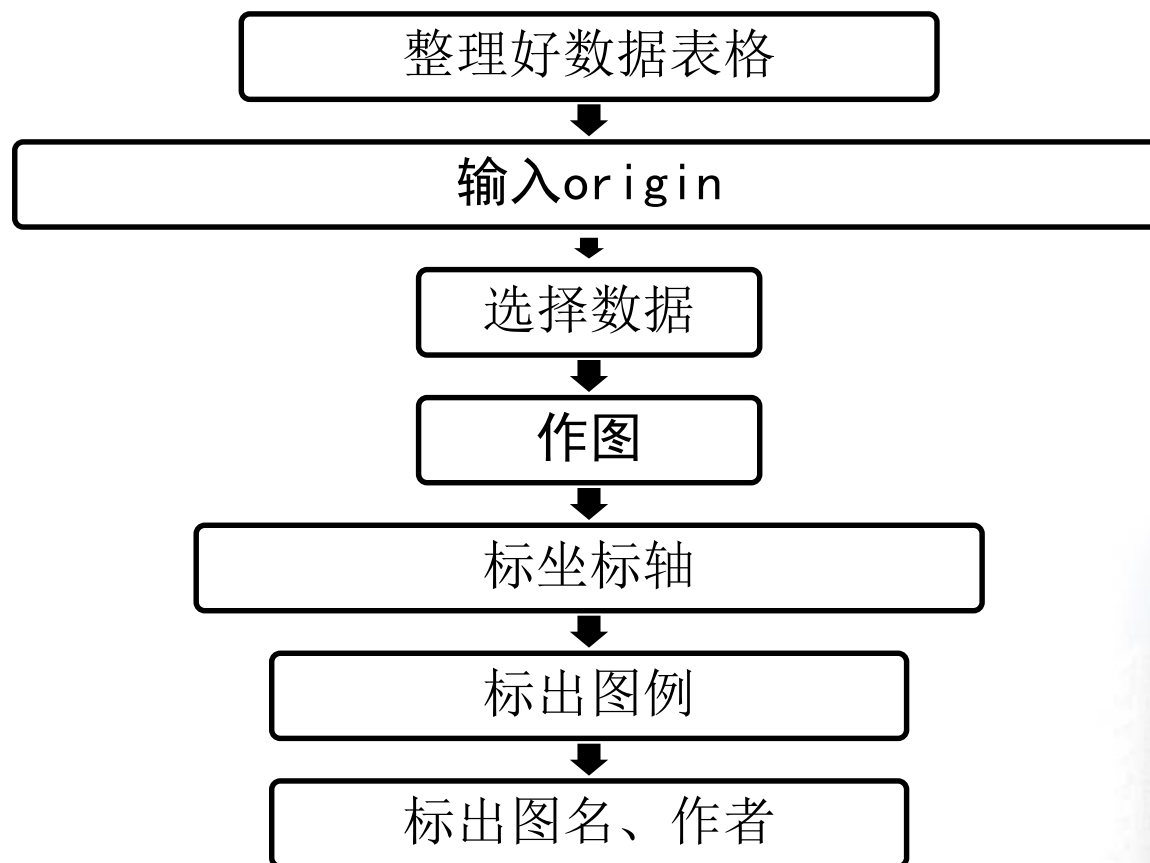
3.2 最小二乘法直线拟合



作图法可形象、直观地显示出物理量之间的函数关系，也可用来求某些物理参数，因此它是一种重要的数据处理方法。



作图法处理实验数据步骤





作图法处理实验数据步骤

例3:

表1：伏安法测电阻实验数据

$U(V)$	0.74	1.52	2.33	3.08	3.66	4.49	5.24	5.98	6.76	7.50
$I(mA)$	2.00	4.01	6.22	8.20	9.75	12.00	13.99	15.92	18.00	20.01

OriginPro 8 - C:\Users\panwei\Documents\Origin User Files\UNTITLED - /Folder1/ - [Book1]

File Edit View Plot Column Worksheet Analysis Statistics Image Tools Format Window Help

新建工作本 增加一列 做散点图

Plot

- Line
 - Symbol
 - Scatter

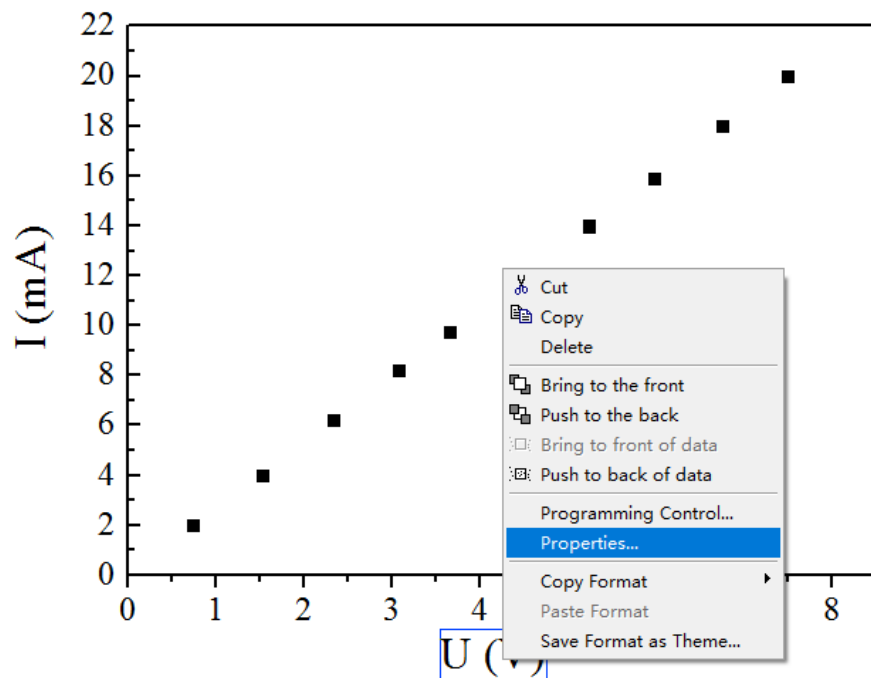
UNTITLED

Folder1

	A(X)	B(Y)
Units		
Comments		
Long Name	U (V)	I (mA)
1	0.74	
2	1.52	4.01
3	2.33	6.22
4	3.08	8.20
5	3.66	9.75
6	4.49	
7	5.24	13.99
8	5.98	15.92
9	6.76	
10	7.50	20.01
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

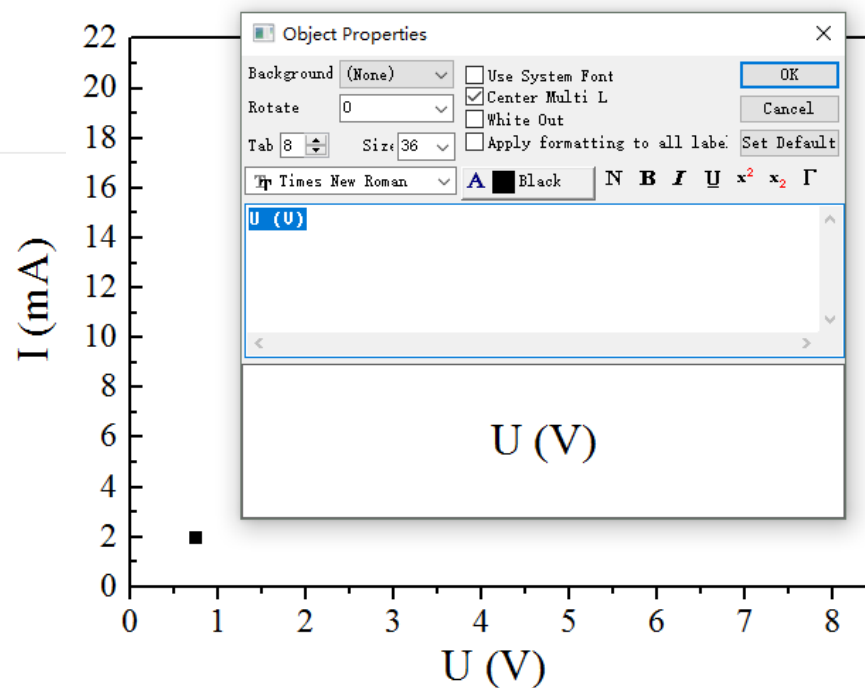
Name T V S M C E

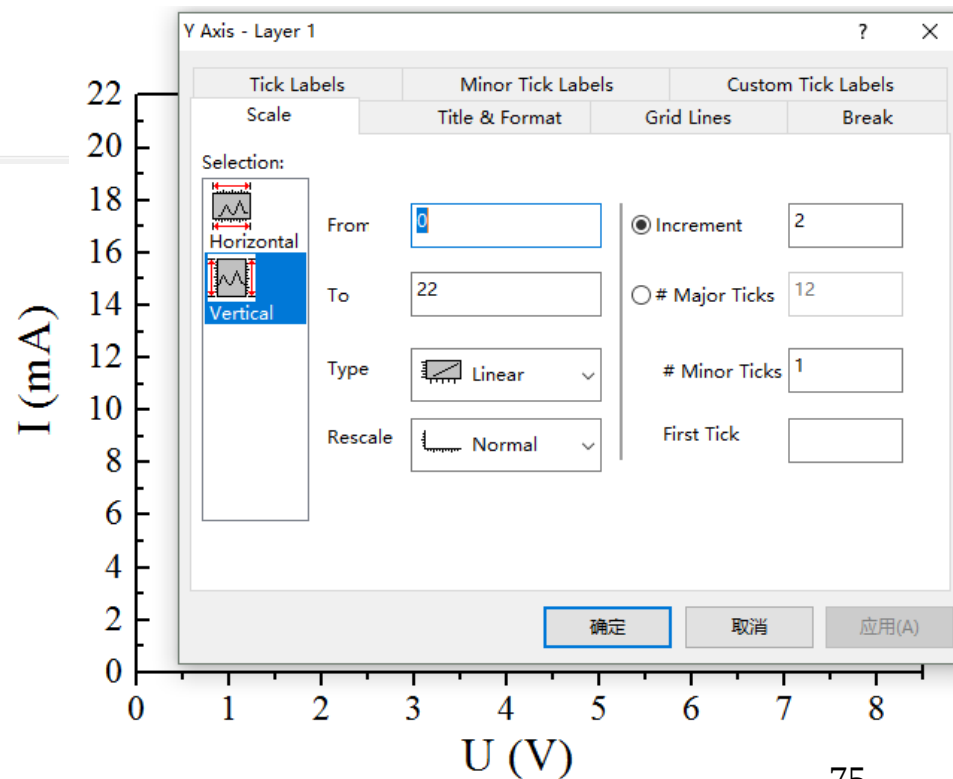
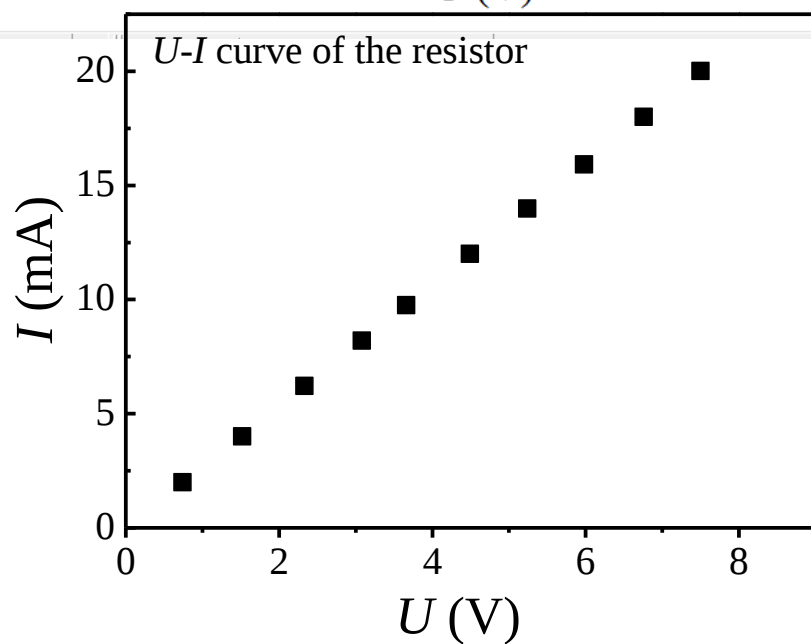
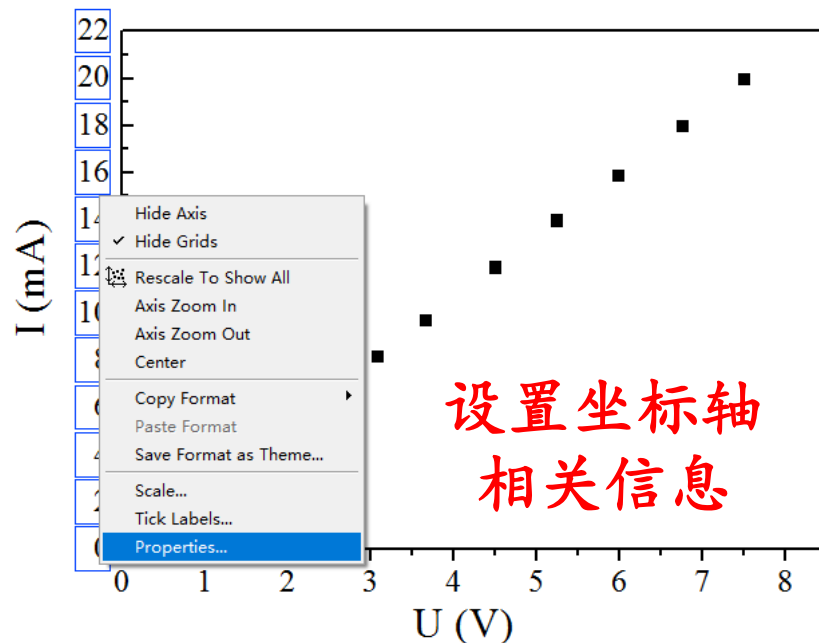
Book1 V M 7 2 2 C



设置坐标轴物理量

设置物理量字体大小、类型等信息







最小二乘法直线拟合

设两物理量 x 、 y 满足线性关系 $y = a + bx$ ，
等精度地测得一组互相独立的实验数据

$$\{x_i, y_i\} \quad i = 1, \dots, n$$

当所测各 y_i 值与拟合直线上的 $a + bx_i$ 之间偏差的平方和最小，即

$$Q = \sum_{i=1}^n [y_i - (a + bx_i)]^2 \quad \text{最小}$$

Q 叫残差

所得系数 a, b 最好, 拟合公式即为最佳经验公式。





$$\frac{\partial Q}{\partial a} = \sum_{i=1}^n 2[y_i - (a + bx_i)](-1) = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial b} = \sum_{i=1}^n 2[y_i - (a + bx_i)](-x_i) = 0$$





解方程得：

$$a = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i y_i\right) \left(\sum_{i=1}^n x_i\right) - \left(\sum_{i=1}^n y_i\right) \left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right)}{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2 - n \sum_{i=1}^n x_i^2} = \frac{\overline{xy} \cdot \bar{x} - \bar{x}^2 \cdot \bar{y}}{\bar{x}^2 - \overline{x^2}}$$

$$b = \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right) \left(\sum_{i=1}^n x_i\right) - n \left(\sum_{i=1}^n x_i y_i\right)}{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2 - n \sum_{i=1}^n x_i^2} = \frac{\bar{x} \cdot \bar{y} - \overline{xy}}{\bar{x}^2 - \overline{x^2}}$$





相关系数 r :

最小二乘法处理数据除给出 a 、 b 外，还应给出相关系数 r ， r 定义为

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{其中} \quad \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad \bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$$

$r \in [-1, 1]$ 。

$|r| \rightarrow 1$ ， x 、 y 间线性关系好，

$|r| \rightarrow 0$ ， x 、 y 间无线性关系，拟合无意义。

物理实验中一般要求 r 绝对值达到0.999以上(3个9以上)





a 、 b 、 r 的具体求解方法：

1. 用计算机Excel 程序;
2. 用计算机Origin软件或Matlab软件

Origin软件的试用版下载：

<ftp://ftp2.sjtu.edu.cn/software/Science/>

3. 自己编程。

用最小二乘法处理前一定要先用

作图法作图，以剔除异常数据!!!

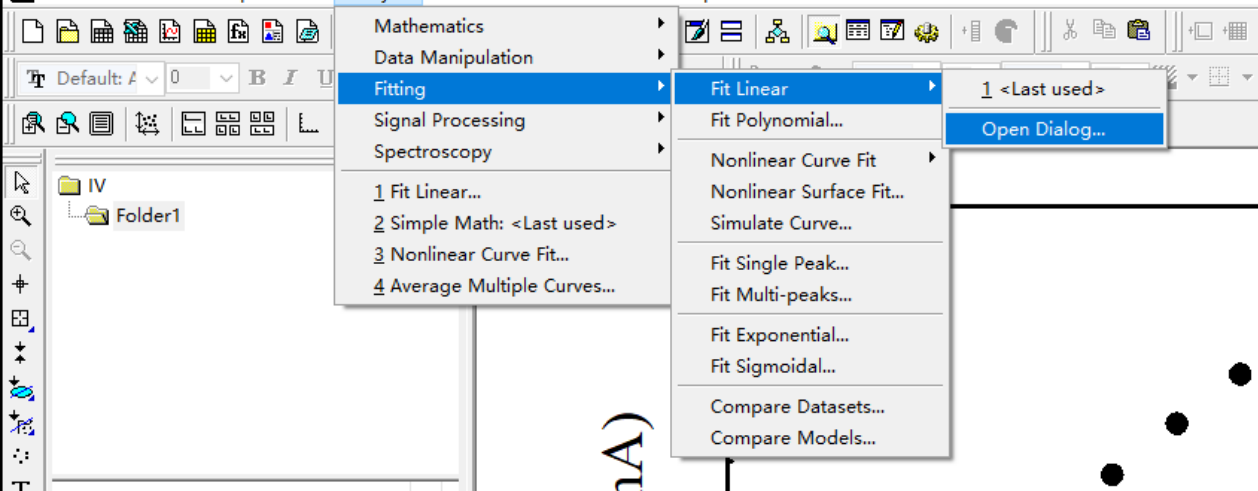


对伏安特性曲线进行线性拟合



OriginPro 8 - C:\Users\panwei\Desktop\IV - /Folder1/ - [Graph1]

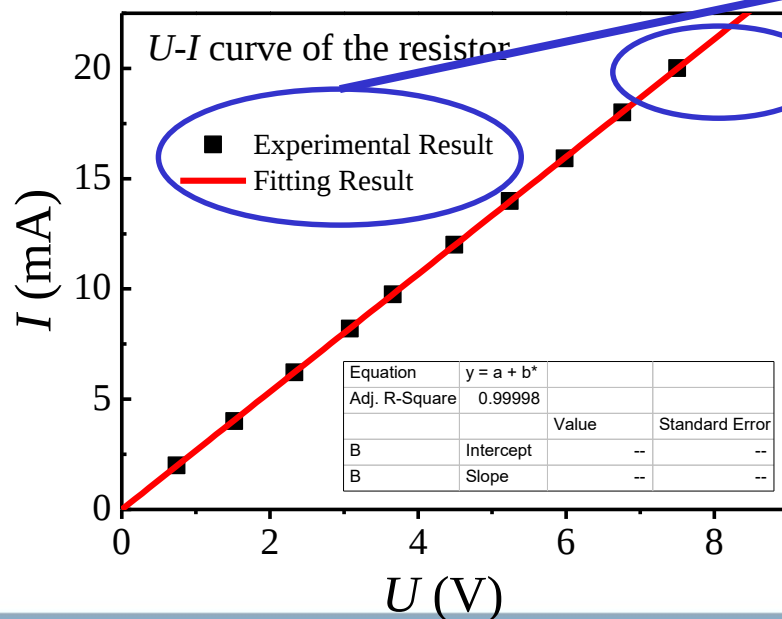
File Edit View Graph Data Analysis Tools Format Window Help



$I(A)$

图例

拟合线两端出头



Update Table

	A	B	C	D
1	Equation	$y = a + b \cdot x$		
2	Adj. R-Square	0.99998		
3			Value	Standard Error
4	B	Intercept	--	--
5	B	Slope	--	--



绪论课作业 (p19-21)

- 1, 2, 6, 9题
- 第9题在第3周周二交, 要求打印计算机作图结果





4. 课程基本信息

4. 1 实验安排

4. 2 分组说明

4. 3 成绩计算

4. 4 报告要求





实验安排

上课时间：2-9周周二晚18:00-21:00，10-13周完成自主实验

考核时间：暂定14周周二晚自主实验答辩

序号	实验项目	教室	指导教师
1	声速	实验楼201	叶曦
2	粘滞系数	实验楼309	
3	简谐振动	实验楼414	
4	薄透镜焦距	实验楼307	潘葳
5	温度传感器	实验楼301	
6	自主实验		

教学周	日期	组1	组2
2	9月18日	绪论（18:00-20:00）	
3	9月25日	粘滞系数（18:00-21:00）	薄透镜焦距（18:00-21:00）
5	10月9日	薄透镜焦距（18:00-21:00）	粘滞系数（18:00-21:00）
6	10月16日	简谐振动（18:00-21:00）	温度传感器 （18:00-21:00）
7	10月23日	声速（18:00-21:00）	
8	10月30日	温度传感器 （18:00-21:00）	简谐振动（18:00-21:00）
9	11月6日		声速（18:00-21:00）



实验分组说明

序号	学号	姓名	组别	序号	学号	姓名	组别
1	518072910001	黄心悦	1	1	518072910015	徐涤非	2
2	518072910002	田葳		2	518072910016	杨璟昊	
3	518072910003	毕择武		3	518072910017	杨孟奇	
4	518072910004	郭弈含		4	518072910018	杨宜霖	
5	518072910005	韩泽宇		5	518072910019	张昊天	
6	518072910006	郝胤辰		6	518072910020	张恒御	
7	518072910007	黄炯谕		7	518072910021	张嘉宁	
8	518072910008	李力可		8	518072910022	张文博	
9	518072910009	李润邦		9	518072910023	赵彦博	
10	518072910010	李宗良		10	518021910019	苏大策	
11	518072910011	吕涌波		11	518021910411	郝时杰	
12	518072910012	宁旭辉		12	518021911246	顾玓	
13	518072910013	王杰		13	518030910205	武浩渺	
14	518072910014	吴天翼		14	518070910059	王鑫	
				15	518070910091	胡皓东	



实验成绩计算

- 5个常规实验比例（65%），其中单个实验的成绩分布
 - 预习 20-25 pts:
包含：简单的实验原理，实验目的，实验方法简介，
分步测量的直接测量量及计算实验结果的公式
 - 操作 40 pts:
 - 报告 40-35 pts:
 - 报告迟交：每迟一周扣5pts
 - 提交实验报告时需要同时提交经审核过的原始数据，
无原始数据报告按0分计
- 自主实验成绩比例（35%）



实验报告要求——粘滞系数



上海交通大学
Shanghai Jiao Tong University

实验名称，实验人，指导老师，完成时间

- 一个简短的引言（150字以内）介绍实验内容和实验目的
- 一个简短的段落（半页纸以内）介绍实验方法和实验装置（若对预习报告满意，可忽略上述要求，直接交预习报告）
- 数据记录表格及数据处理过程（包括不确定度计算过程）
- 结果（包括误差及不确定度）计算
- 结论及分析讨论



实验报告要求——薄透镜焦距



上海交通大学
Shanghai Jiao Tong University

实验名称，实验人，指导老师，完成时间

- 一个简短的引言（150字以内）介绍实验内容和实验目的
- 一个简短的段落（半页纸以内）介绍实验方法（可直接提交预习报告）
- 数据记录表格及数据处理结果（包括不确定度）
- 结论



实验报告要求——简谐振动



上海交通大学
Shanghai Jiao Tong University

实验名称，实验人，指导老师，完成时间

- 一个简短的引言（150字以内）介绍实验内容和实验目的
- 一个简短的段落（半页纸以内）介绍实验方法（可直接提交预习报告）
- 数据记录表格及数据处理结果
- 规范的数据图（origin软件作图）
- 结论



实验报告要求——声速



上海交通大学
Shanghai Jiao Tong University

实验名称，实验人，指导老师，完成时间

- 一个简短的引言（150字以内）介绍实验内容和实验目的
- 一个简短的段落（半页纸以内）介绍实验方法（可直接提交预习报告）
- 数据记录表格及数据处理结果
- 规范的数据图（origin软件作图）
- 结论



实验报告要求——温度传感器



上海交通大学
Shanghai Jiao Tong University

实验名称，实验人，指导老师，完成时间

- 一个简短的引言（150字以内）介绍实验内容和实验目的
- 一个简短的段落（半页纸以内）介绍实验方法和实验装置（若对预习报告满意，可忽略上述要求，直接交预习报告）
- 数据记录表格及数据处理过程（包括不确定度计算过程）
- 结果（包括误差及不确定度）计算
- 规范的数据图（origin软件作图）
- 结论及分析讨论





实验要求——自主实验

1. 总共17道题，以团队形式完成其中1道题
2. 每道题目限选人数2-4人
3. 第3周周二晚上课前提交选题和组队名单
4. 第5周周二晚前提交计划书，应包括题目解析、计划完成路线、拟采用的设备等具体信息
5. 6-13周完成自主实验（缺乏的耗材可自行购买，开发票后报销）
6. 暂定第14周完成答辩，具体时间地点提前2-3周发布



物理楼和物理实验楼



上海交通大学
Shanghai Jiao Tong University



高楼
物理楼

矮楼
实验楼



收获在于努力！

