

大学物理实验

绪 论

肖婷

浙江大学物理实验中心

xiaoting@zju.edu.cn 东四-209
Tel: 13777456512

实验室安全

实验安全

实验室主要危害种类：

- 1、人为因素：不安全行为等
- 2、化学类：火灾、爆炸、腐蚀、中毒等
- 3、物理类：强光、强电、辐射等
- 4、生物类：细菌、微生物等
- 5、环境类：实验室废弃物等
- 6、设备类：高温、高压、强场等
- 7、用电、压力容器：触电、火灾、爆炸

安全最危险的因素是“人”！


高校实验室安全事故案例

1、 2009年10月23日下午1时10分许，北京理工大学5号教学楼901教学实验室，化工与环境学院一名老师和两名学生，观看两名技术人员调试新购厌氧培养箱设备时，因为违规操作，误灌氢气引发爆炸，5名师生受伤。



2、2010年5月26日，昆明理工大学莲华校区矿业大楼6楼一实验室突发火情。事故原因是学生做完实验出门时忘记关电路引发火灾，所幸无人受伤。





3、大连某理工大学三束实验室发生触电事故造成一们研究生死亡；2005年初，南京某高校电工电子实验室在教学实验过程中，由于师生操作不当，一名学生触电身亡；2010年5月25日，浙江工业大学实验室爆炸起火，原因为学生独自一人做实验，因操作不慎将化学药品石油醚滴落到地上，引起自燃。

大部分安全事故是人为失误、疏忽和不遵守规定造成的！

进入实验室注意事项

- 禁止饮食，禁止抽烟。
 - 禁止在实验室里奔跑或大声喧哗，妨碍或分散别人注意力。
 - 禁止做一些未经允许的实验。
 - 实验前一定要认真阅读相关文献，对待所有的仪器一定要小心、仔细。
 - 一定要熟悉实验室的安全程序。
 - 不用潮湿的手接触电器。实验时，应先连接好电路后才接通电源，实验结束时先切断电源再拆线路。
 - 遇到疑问一定要问实验老师，发现不安全细节一定要报告实验老师。
-



请务必记住：

事故的制造者不一定是事故的受害者，他人不安全行为的后果可能由你来承受！

所以，为了你自己的安全，请及时提醒、纠正或报告你发现的不安全行为！

实验课要求与违规处理办法

物理实验教学中心

2021.3

物理实验课须知（普通物理学实验I）

- 1、每周实验时间为3节课，共做14个实验。学生在开学三周内选好春夏学期的全部14个实验（★为必需选做实验, ▲为新实验，选做的同学请到实验中心网站下载实验讲义），排好自己的实验课表，今后按课表时间内容上课。选课三周后截止。物理实验选课网址：<http://10.78.25.243> 用户名为学号，初始密码为：学号+“-a”，例如：“3090104000-a”。
- 2、实验要认真预习，写好实验预习报告，没有预习的同学不允许上课。
- 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确认，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,交报告箱在东四二楼210旁学生部落。
- 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、批改后的实验报告学期中不发放，报告中出现的问题通过选课系统的评语框进行反馈。如对报告有疑问联系任课老师查看。
- 9、未经许可，不能随意拿别人的实验报告。
- 10、实验考试时间根据教务处安排进行。
- 11、实验课过程中如发生违反实验课规范的行为，依照《物理实验学生守则及违规处理办法》进行相应处理。



实验课要求

- ◆ 《普通物理学实验I》共14个实验项目，必做实验“示波器”、“分光计”。平时成绩占70%，期末考试占30%。
- 实验报告左上角表明实验台号，实验结束未整理仪器当次实验扣3分。
- 迟交一周当次实验扣5分，迟交两周及以上扣10分。
- 实验报告上交后不发放，如对报告有疑问联系任课老师查看。
- 不得无故缺课，病假或事假须提供请假条，并及时补做实验。
- 不得抄袭、伪造数据，或伪造老师签名。
- 不得让他人替做实验。

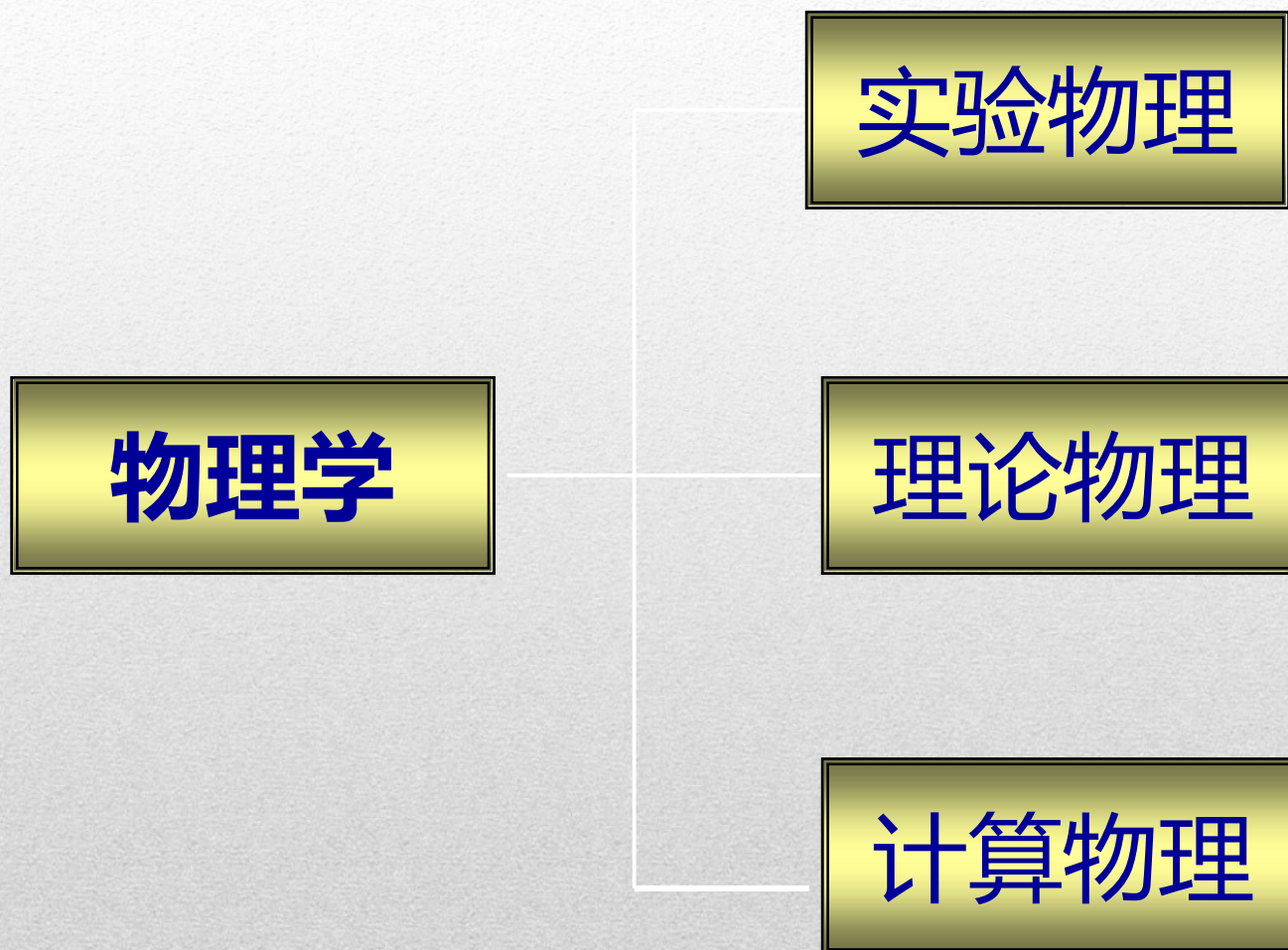
违规处理办法

- ◆ 实验课过程中如发生违反实验课规范的行为，依照《物理实验学生守则及违规处理办法》进行相应处理。
- 因病或事假不能按时进行实验课学习，应提前向指导老师请假，并提供由相关单位盖章的病假条或事假条，及时与指导教师联系补做本次实验。请假次数不能超过三次以上，否则，需要重修本门实验课。
- 无故缺席实验课的学生，本次实验成绩计0分，累计两次及以上者，取消本学期实验课成绩。
- 实验报告上原始数据如无任课教师的签字，本次实验成绩计0分。
- 如发现有伪造指导老师签字、伪造数据、抄袭报告现象者，本学期实验课成绩不超过60分，两次及以上被发现者，取消本学期实验课成绩。
- 请他人代替进行实验者，一经发现，该学生及替做者本学期实验成绩均被取消，如果替做者不是本次实验课学生，则向所在院系通报，由学生所在院系处理。并将两学生情况通报所在院系和教务处。
- 相关情况全部归物理实验教学中心解释。

目 录

- 一、概 述
- 二、实验测量与误差、不确定度
- 三、有效数字表示
- 四、实验数据处理
 - 作图法、表格法、逐差法、线性回归
- 五、实验基本要求

一. 概述



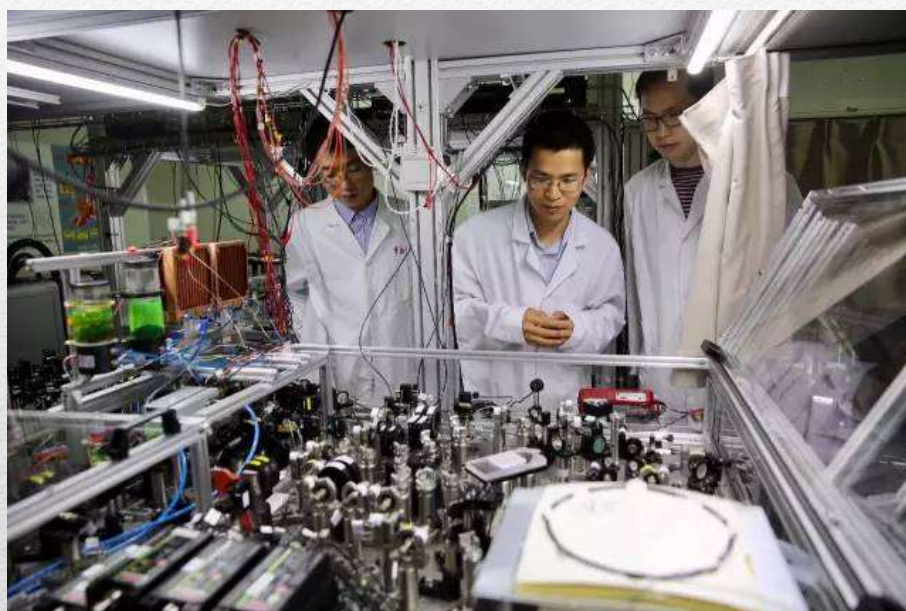
物理学首先是一门实验科学

物理实验是以客观事实为基础，依靠观察和实验来研究物质结构及其运动规律的科学。

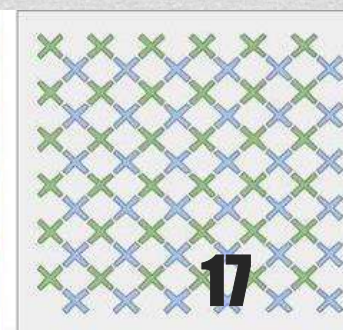
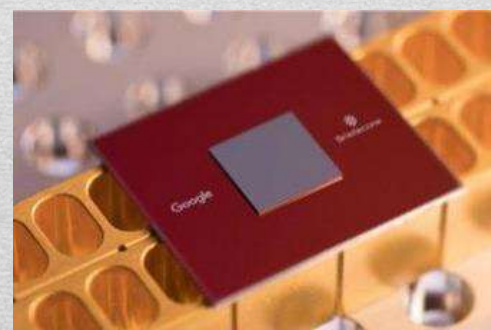
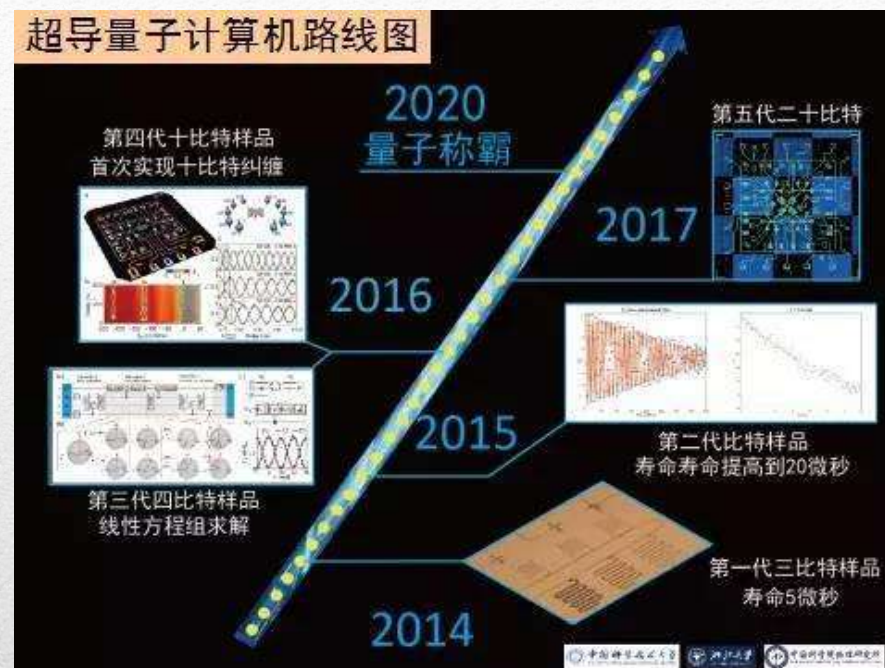
任何物理概念的建立或物理规律的承认都必须以严格的科学实验为依据，并为以后的实验所证实。

现代科技的发展离不开实验技术

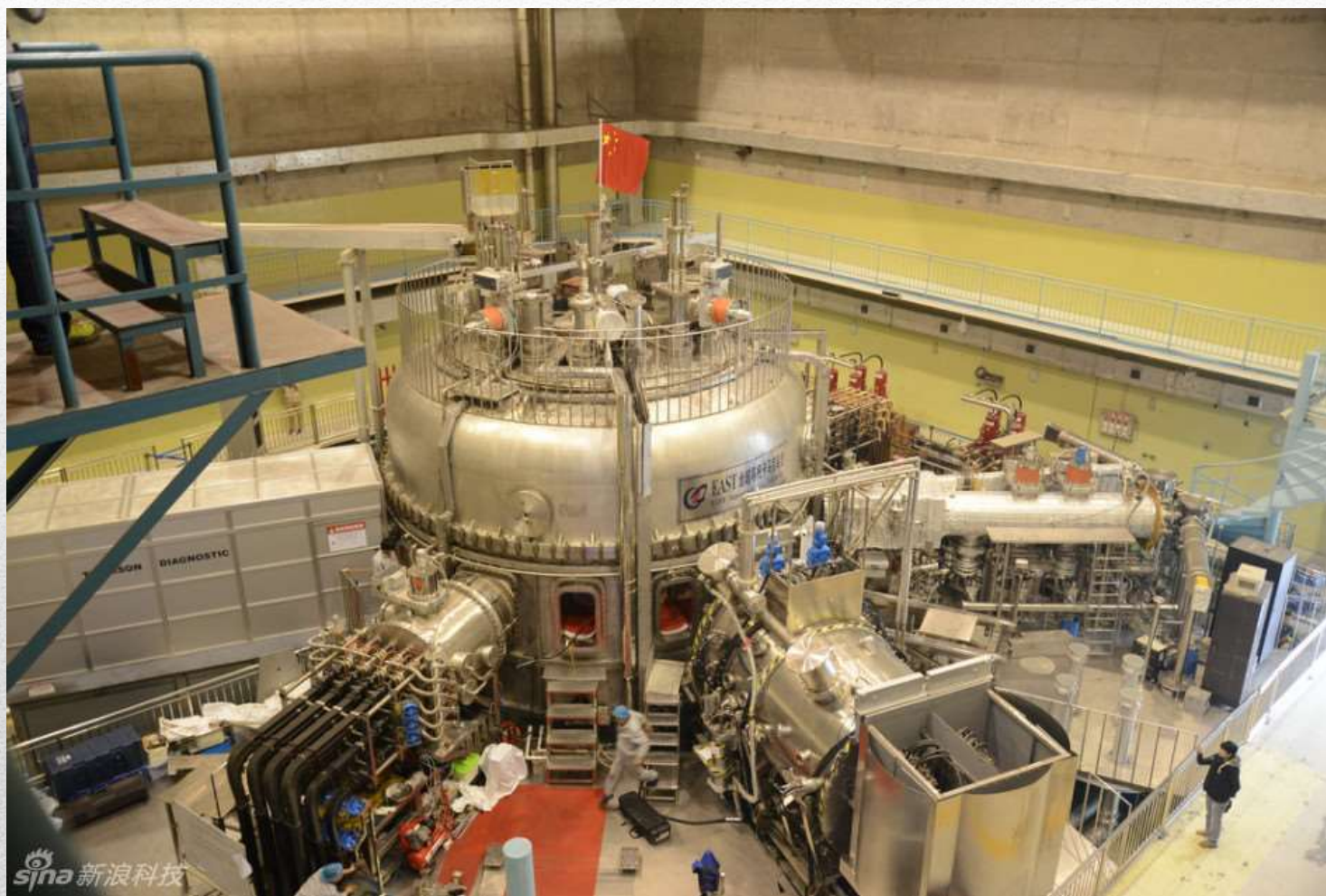
量子计算机



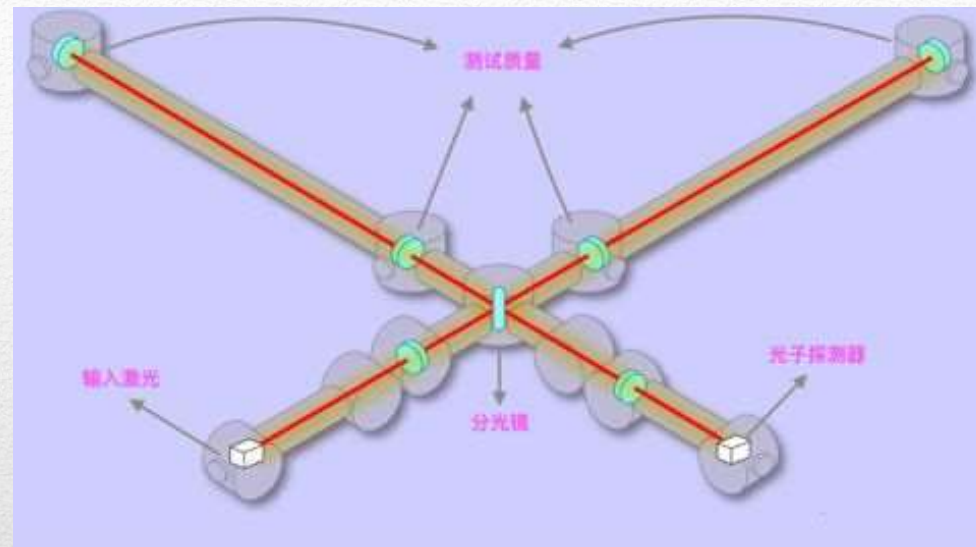
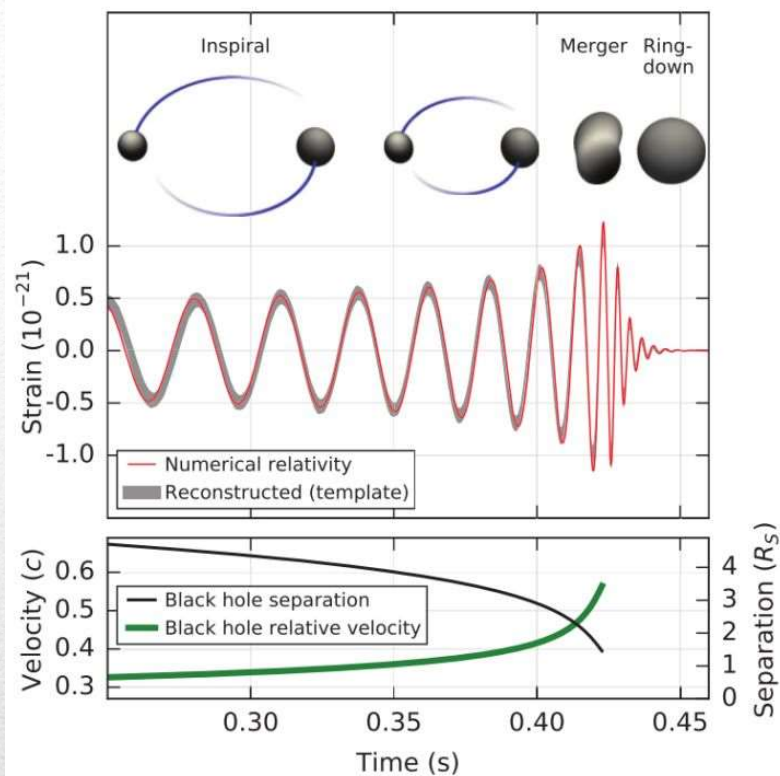
超导量子计算机路线图



可控核聚变 – 合肥EAST装置（人造小太阳）



2017年Nobel物理学奖： 引力波探测 – 迈克尔逊干涉



二. 物理实验与测量误差、不确定度

- **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
- **任何测量都可能存在误差**（注意误差是指与真值比较）

测量结果表达：

物理实验：测量为基础的研究。因此，最后应给出一个完整的测量结果表达式：

以钢丝的杨氏模量为例：

测量结果为： $E = (1.89 \pm 0.08) \times 10^{11} \text{ (N/m}^2\text{)}$

或 $E = 1.89 \times 10^{11} (1 \pm 4.3\%) \text{ (N/m}^2\text{)}$

应包括：测量量（代表符号）、测量量值、不确定度、测量值的单位。

表示测量的真值落在

$(1.89 - 0.08 \text{ --- } 1.89 + 0.08) \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ 范围内的概率很大。不确定度的取值与一定的概率相关联

✧ **误差的定义** 误差=测量值-真值

特点：普遍 相对于真值 未知

✧ 引入**不确定度** 对测量结果可靠度进行量度

重要性：了解误差的来源，分析误差的性质，做到正确处理数据和估算不确定度。目的是为了更好地**优化实验**，**合理选择仪器**，提高实验的**精度和准确度**并给出正确的实验结果和误差的范围。

•从偏差的分析中也可能发现新现象和新规律。 **22**

误差表示:

1) 绝对误差: 测量结果-被测量的真值

2) 相对误差: $E = (\text{测量的绝对误差} / \text{被测量的真值})$
(用百分数表示)

误差分类： 系统误差、 随机误差、 过失误差

(1) 系统误差：
已定系统误差

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以可预知的方式变化的测量误差的分量。

原因：测量仪器、测量方法、环境等

例如：电表、读数显微镜的零位误差等

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	$\pm 0.20\text{mm}$
游标卡尺	125mm	0.02mm	$\pm 0.02\text{mm}$
螺旋测微器(1级)	25mm	0.01mm	$\pm 0.004\text{mm}$
电表 (0.5级)			$0.5\% \times \text{量程}$

(2) 随机误差:

对同一量、多次重复测量、每次测量值相对于真值有一个无规律的涨落（大小、方向）的误差分量。

原因：多样，实验条件和环境的无规则涨落变化，被测量对象本身的不确定性等。

特点：单峰、对称、有界、抵偿性

—取多次测量的平均值有利于消减随机误差

(3) 过失误差（粗大误差）

读错、写错、使用不正确、环境干扰等。应避免

随机变量的统计规律——正态分布

正态分布(又称Gauss分布):

多次独立测量, 近似服从正态分布。

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

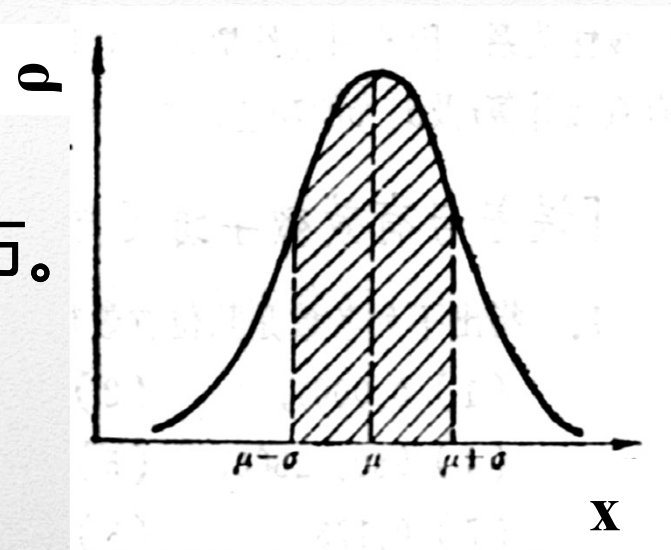
$$-\infty < x < +\infty$$

μ 表示 x 出现概率最大的值, 消除系统误差后称为**数学期望值**。通常就可以得到 x 的真值。

$$\mu = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

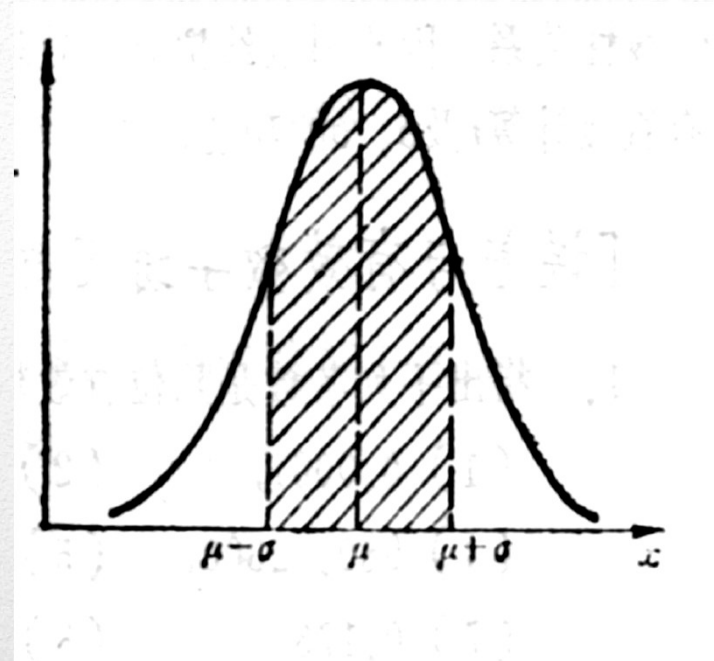
$$\sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}$$

σ 称为**标准差**, 决定了线型的宽窄。 σ 越大, 正态曲线越平坦, 表征测量值分散程度大



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

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



测量值范围	概率
$[\mu-\sigma, \mu+\sigma]$	68.3%
$[\mu-2\sigma, \mu+2\sigma]$	95.4%
$[\mu-3\sigma, \mu+3\sigma]$	99.7%

有限的 n 次测量，测得的值为 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ ，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)

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

用标准偏差 s 表示测得值的分散性 s 按贝塞尔公式求出：

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

注意这是对**单次**测量的标准偏差。

算术平均值的标准偏差：

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

s 大，测得值分散，随机误差分布范围宽，测量的精密度低；

s 小，测得值密集，随机误差分布范围窄，测量的精密度高；

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

测量列的标准偏差

$$S_L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}{n-1}} = 0.03mm$$

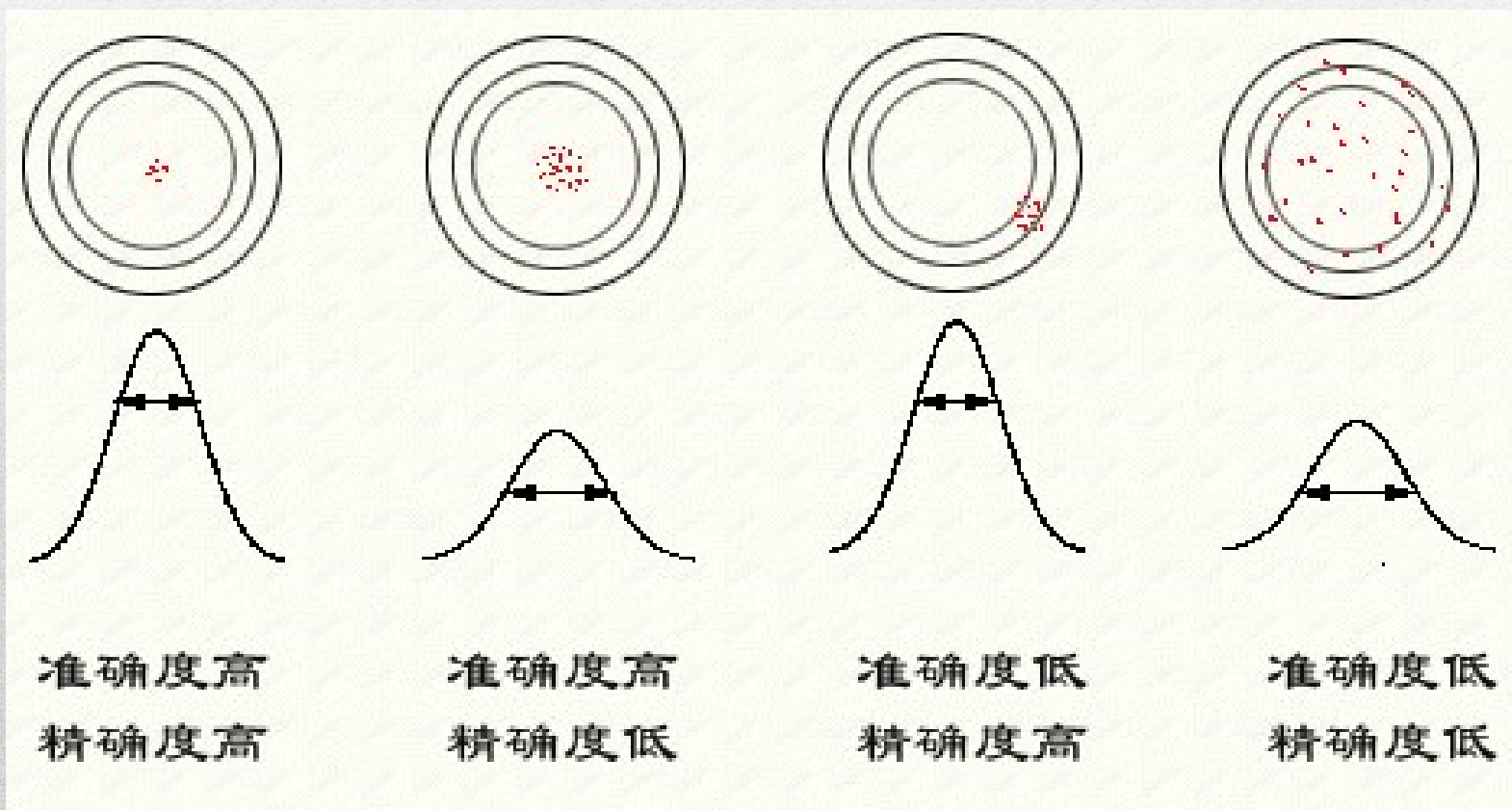
平均值的标准偏差：

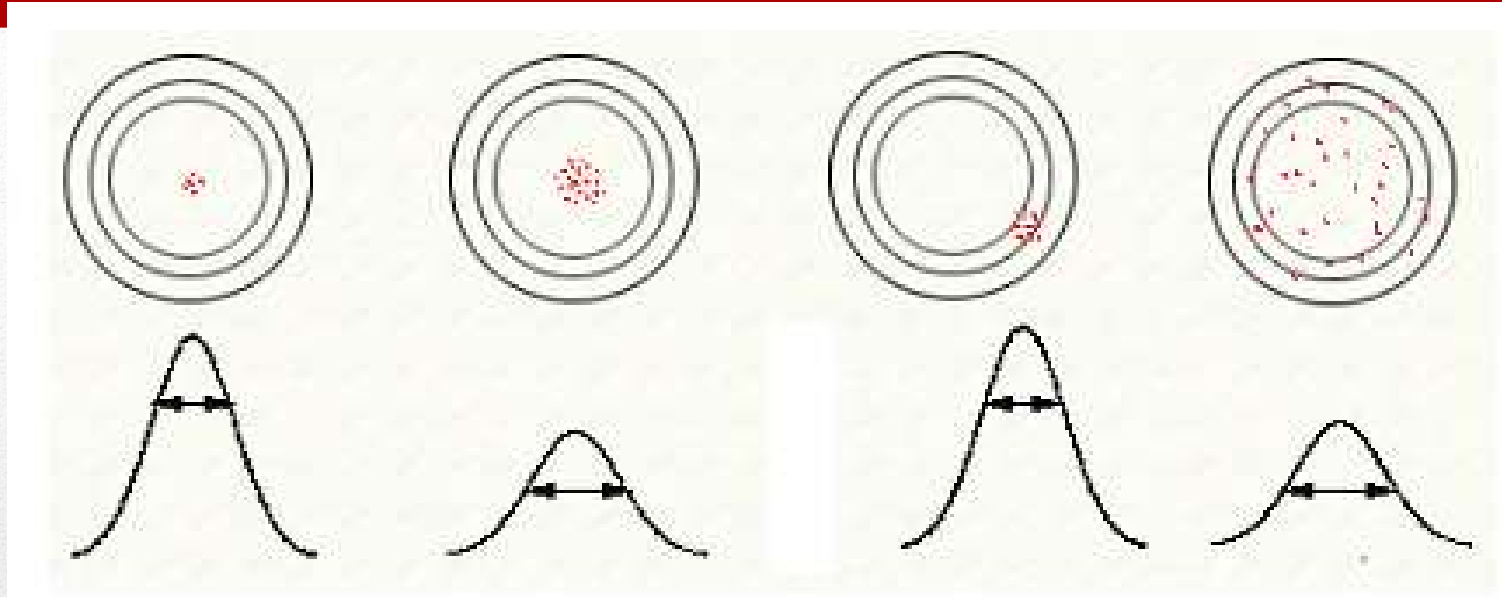
$$S_{\bar{L}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}{n(n-1)}} = 0.02mm$$

- 精密度与准确度

精密度：多次重复测量值相互接近的程度

准确度：测量值接近真值的程度





(A)

(B)

(C)

(D)

精密度: $A > C > B > D$

正确度: $A \approx B \approx D > C$

准确度: $A > B > D > C$

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

总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；

B 类分量 u_B —— 与未定系统误差有关的分量。

*A*类评定：

可用统计方法评定的不确定度部分

*B*类评定：

要用其他方法（非统计方法）评定的不确定度部分

直接测量量不确定度估算过程（小结）

- ✓ 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:

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

- ✓ 当 $5 < n \leq 10$ ，置信概率为95%时，可简化认为 $u_A \approx s$

- ✓ 根据使用仪器得出 u_B $u_B = \Delta_{\text{仪}}$

- 由 u_A 、 u_B 合成总不确定度 u

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

- 给出直接测量的最后结果:

$$y = \bar{y} \pm u$$

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：0.004，单位mm，已知螺旋测微计的仪器误差为 $\Delta_{\text{仪}}=0.004\text{mm}$ ，请给出完整的测量结果。

解：测得值的最佳估计值为

$$x = \bar{x} - x_0 = 0.250 - 0.004 = 0.246\text{mm}$$

测量列的标准偏差

$$s(x) = \sqrt{\frac{1}{6-1} \left[\sum_{k=1}^6 (x_k - \bar{x})^2 \right]} = 0.002\text{mm}$$

平均值的标准偏差

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} = 0.001\text{mm}$$

测量次数 $n=6$ ，可近似有

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \approx \sqrt{s(\bar{x})^2 + \Delta_{\text{仪}}^2} = \sqrt{0.001^2 + 0.004^2} \approx 0.00424\text{mm}$$

则：测量结果为 $X=0.246 \pm 0.005\text{mm}$

合成标准不确定度

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

$X_i(i=1,2,\cdots,n)$ 由函数 f 来确定:

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \cdots)$$

用诸不确定度 $u(x_i)$ 代替微分 dx_i , 有:

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

适用于和差形式的函数

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

适用于积商形式的函数

合成标准不确定度举例

例 设有一圆环，其外径为 $\phi_{\text{外}}=9.800\pm0.005\text{mm}$ ，
内径为 $\phi_{\text{内}}=4.500\pm0.005\text{mm}$ ，高度 $h=5.000\pm0.005\text{mm}$ ，
求环的体积 V 和不确定度。

解：环的体积为

$$\begin{aligned} V &= \frac{\pi}{4}(\phi_{\text{外}}^2 - \phi_{\text{内}}^2)h \\ &= \frac{\pi}{4}(9.800^2 - 4.500^2) \times 5.000 \\ &= 2.976 \times 10^2 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

根据（08）公式有：

$$\frac{\partial \ln f}{\partial \phi_{\text{外}}} = \frac{2\phi_{\text{外}}}{\phi_{\text{外}}^2 - \phi_{\text{内}}^2} = \frac{2 \times 9.800}{9.800^2 - 4.500^2}$$

$$\frac{\partial \ln f}{\partial \phi_{\text{内}}} = -\frac{2\phi_{\text{内}}}{\phi_{\text{外}}^2 - \phi_{\text{内}}^2} = -\frac{2 \times 4.500}{9.800^2 - 4.500^2}$$

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

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

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

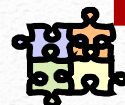
$$= 0.0055 = 0.55\%$$

$$\Delta V = V \times \Delta V / V = 2.976 \times 10^2 \times 0.55\% \approx 2 \text{ mm}^3$$

因此，环的体积为

$$V = (2.98 \pm 0.02) \times 10^2 \text{ mm}^3$$

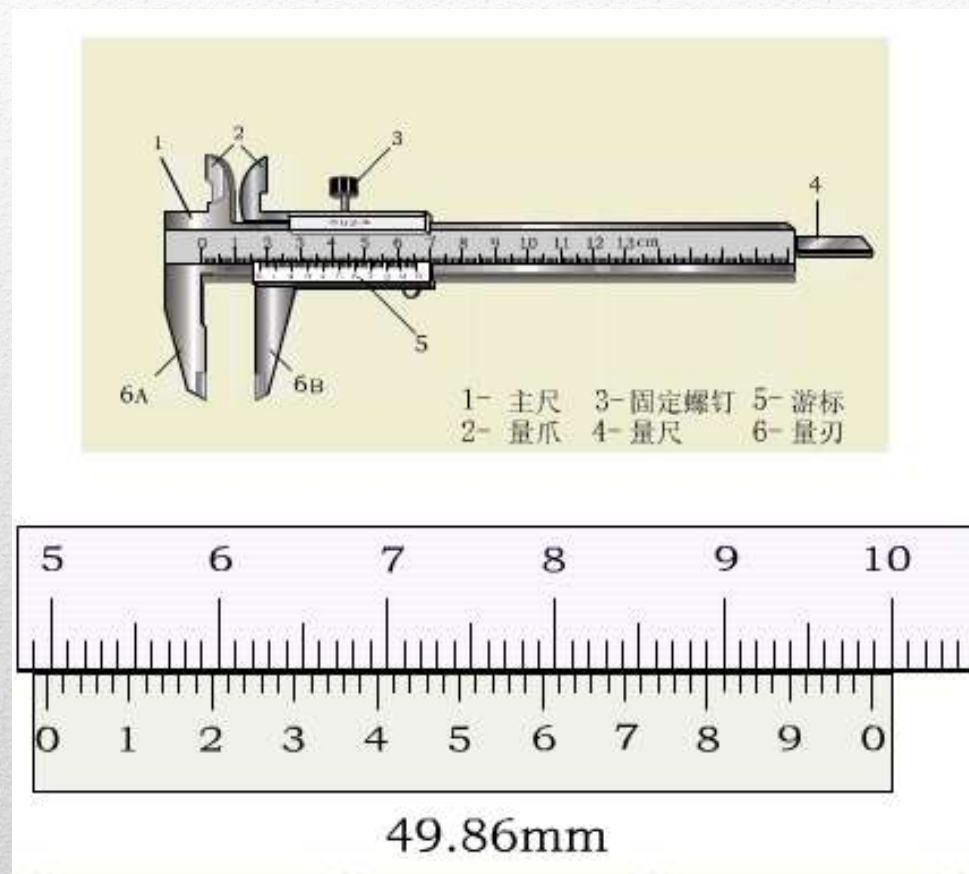
仪器读数举例

 直接测量量（原始数据）的读数应反映仪器的精确度

游标类器具

游标卡尺、
分光计度盘、
大气压计等

读至游标最小分度的
整数倍，即不需估读。

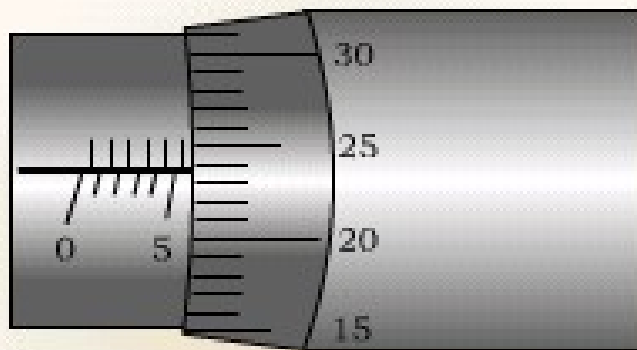


数显仪表及有十进歩式标度盘的仪表

(电阻箱、电桥、电位差计、数字电压表等)

一般直接读取仪表的显示值。





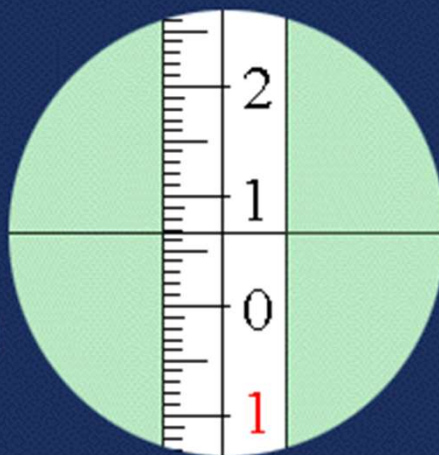
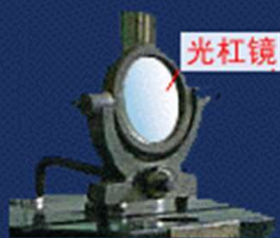
5.737mm

指针式仪表及其它器具

读数时估读到仪器

最小分度的 $1/2 \sim 1/10$,
或使估读间隔不大于仪器
基本误差限的 $1/5 \sim 1/3$ 。

金属丝杨氏模量的测定

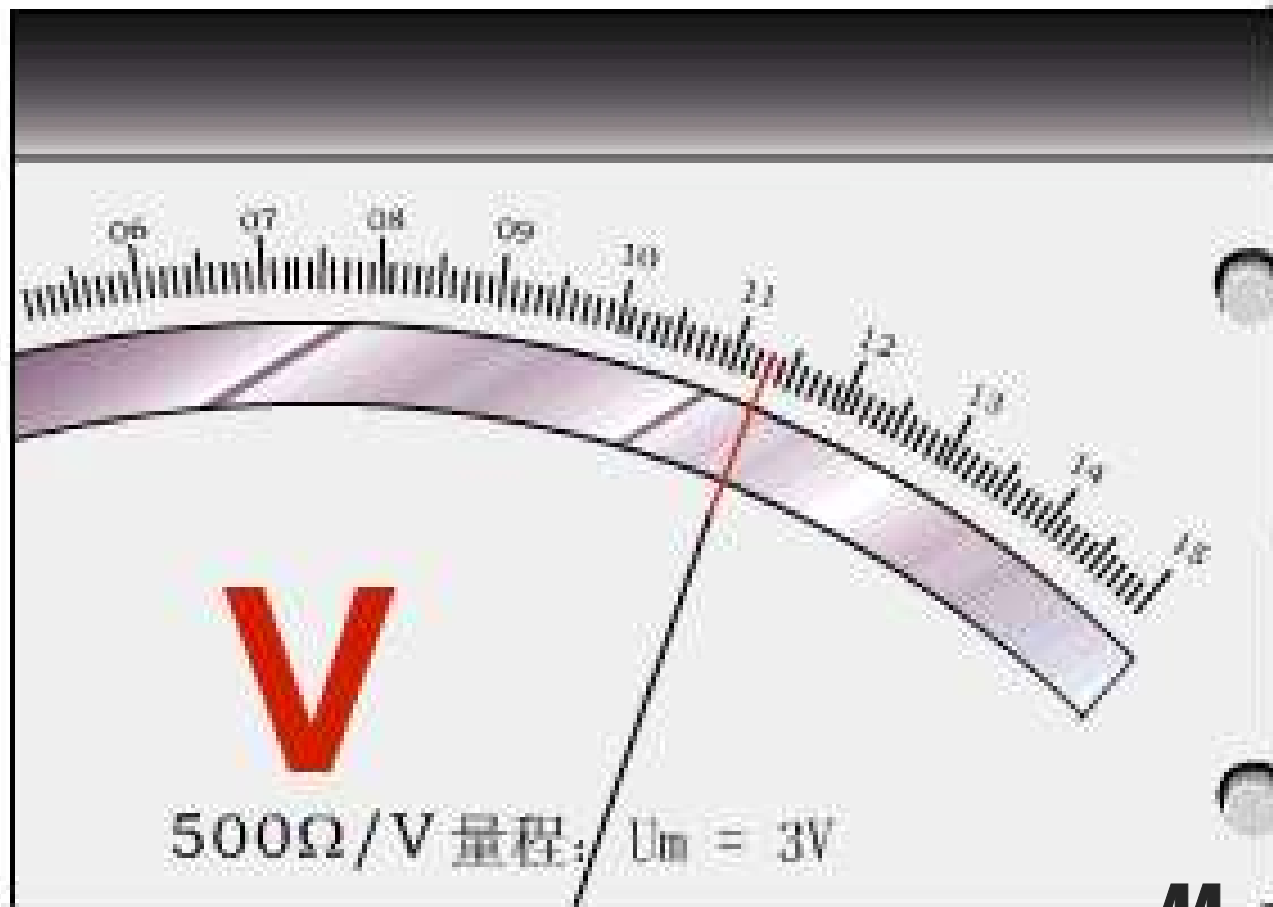


实验原理
虚拟实验



直接读数注意事项

注意指针指在整刻度线上时读数的有效位数。



读数为 2.260V

三、有效数字表示

被测量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。

在记录数据、计算及书写测量结果时，应根据测量误差或实验结果的不确定度来确定应取几位有效位数。

有效数字的表示方法

(1) 测量值应写到开始有误差的那一位到两位。其后的数字按“**四舍六进五凑双**”法则取舍。

—— 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。

(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 ($\neq 9.8\text{m/s}^2$ 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, 有时可比其多取一位。

例如: $12.4 + 0.571 = 13.0$; $3600 \times 8 = 2.9 \times 10^4$

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或二位，不可多取。例如： $S=(2.35\pm0.03)\text{cm}^2$ 。

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

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 \pm 不确定度) 单位

例如: $N=(3.456\pm0.002) \text{ cm}$

有效数字应用举例:

1) $6.600\div6.0=1.1$

2) $(6788+67.88)\times2.0=1.4\times10^4$

3) $(4400000\pm2000)m$ 的正确表达式

$$(440.0\pm0.2)\times10^4m$$

4) $12^3\times3=5\times10^3$

四、实验数据处理

实验测量获得数据，须经过正确的数据处理，得到有意义的结果。因此数据处理也是实验的重要环节。

数据整理的重要步骤-----列表法：

在原始数据记录以及整理数据时，都要进行正规列表。将各量的关系有序地排列成表格形式。既有利于一目了然地表示各物理量之间的关系，又便于发现实验中的问题。

数据处理的表格法---逐差法：

有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。是实验中常用的处理数据的方法。为了直观和便于处理，也常用列表格方法来表示。⁵²

例如实验一金属杨氏弹性模量的数据处理:

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 $\Delta(\Delta S)$ (cm)
		增砝码时	减砝码时	平均值		
1	0	$S_0=0.00$	$S_0'=0.10$	$\bar{S}_0 = 0.05$	$\Delta S_1 = \bar{S}_4 - \bar{S}_0 = 3.61$	$\Delta(\Delta S)_1=0.03$
2	1×9.80	$S_1=0.99$	$S_1'=1.00$	$\bar{S}_1 = 1.00$	$\Delta S_2 = \bar{S}_5 - \bar{S}_1 = 3.55$	$\Delta(\Delta S)_2=0.03$
3	2×9.80	$S_2=1.80$	$S_2'=1.90$	$\bar{S}_2 = 1.85$	$\Delta S_3 = \bar{S}_6 - \bar{S}_2 = 3.60$	$\Delta(\Delta S)_3=0.02$
4	3×9.80	$S_3=2.70$	$S_3'=2.80$	$\bar{S}_3 = 2.75$	$\Delta S_4 = \bar{S}_7 - \bar{S}_3 = 3.57$	$\Delta(\Delta S)_4=0.01$
5	4×9.80	$S_4=3.62$	$S_4'=3.70$	$\bar{S}_4 = 3.66$	$\overline{\Delta S} = 3.58$	$\overline{\Delta(\Delta S)} = 0.023$ 53
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	$S_7=6.32$	$S_7'=6.32$	$\bar{S}_7 = 6.32$		

作图法处理实验数据

作图法可以分为二种：

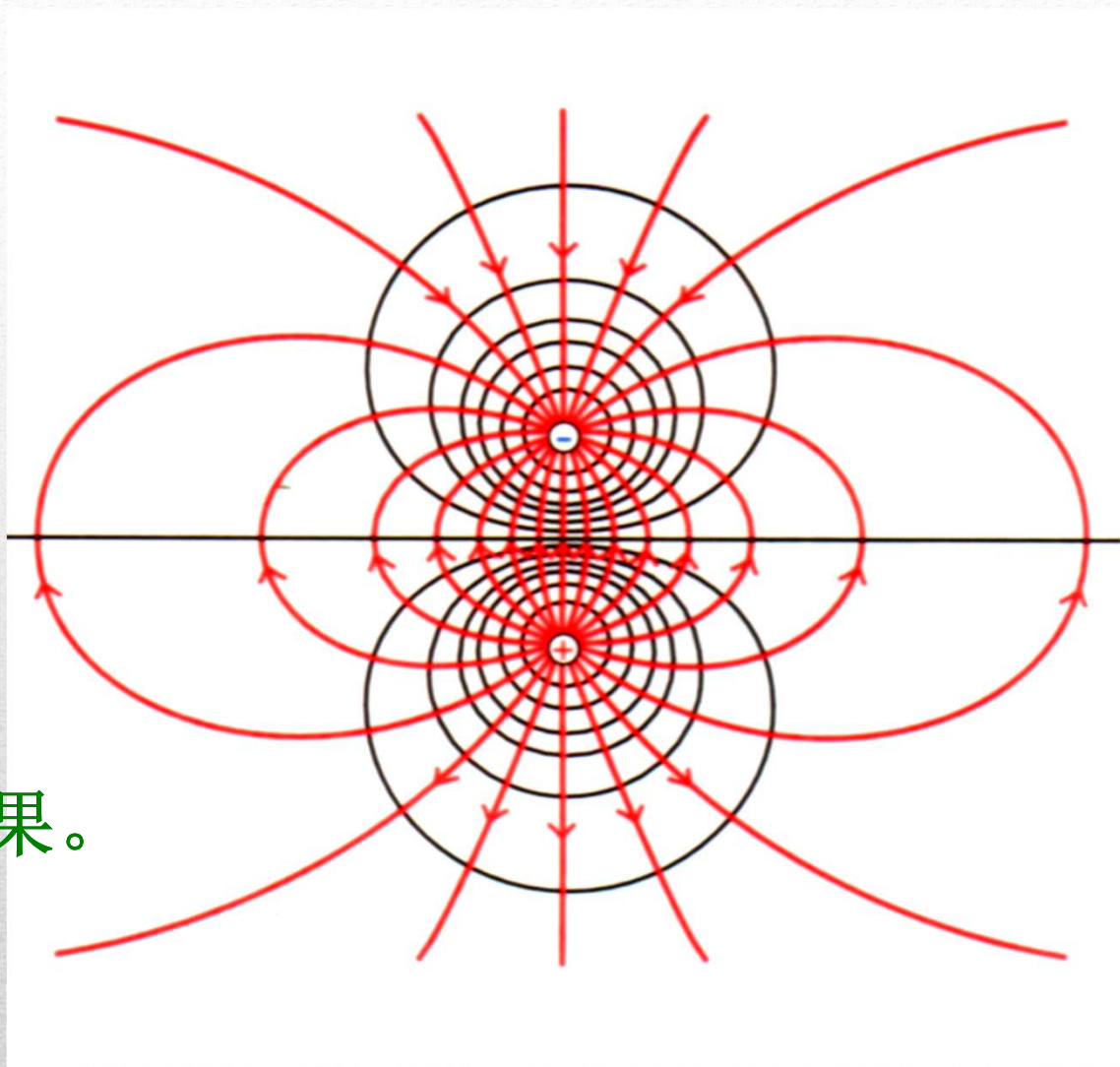
一、图示法，它用图形曲线来表达物理量的变化。
例如静电场模拟实验。

二、图解法，它是用作图的方法来寻求两个物理测量量的解析关系。

图示法

是用图形来表达物理量的变化。如静电场模拟实验中就是采用此法。

从图示法中，有时也能得出定量的结果。



图解法处理实验数据

图解法可形象、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。作图时要先整理出数据表格，并要用坐标纸作图。

作图步骤：实验数据列表如下

$U(V)$	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

作图六点要求：

1、选择合适的坐标分度值，确定坐标纸的大小

坐标分度值的选取应能反映测量值的有效位数，一般以 $1 \sim 2\text{mm}$ 对应于测量仪表的最小分度值或对应于测量值的次末位数) 。

2、标明坐标轴：

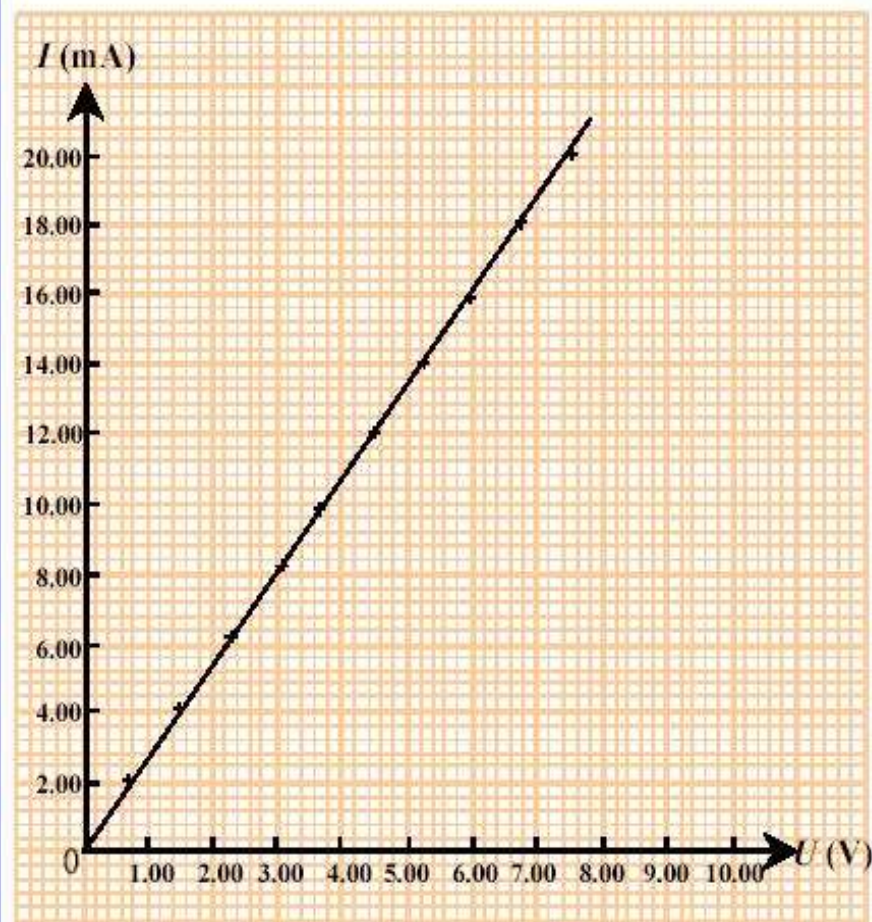
用粗实线画坐标轴，用箭头标轴方向，标坐标轴的名称或符号、单位，再按顺序标出坐标轴整分格上的量值。

3、标实验点：

实验点可用“+”、“•”、“◆”等符号标出（同一坐标系下不同曲线用不同的符号）。

4、连成图线：

用直尺、曲线板等把点连成直线、光滑曲线。使图线两边的实验点与图线最为接近且分布大体均匀。

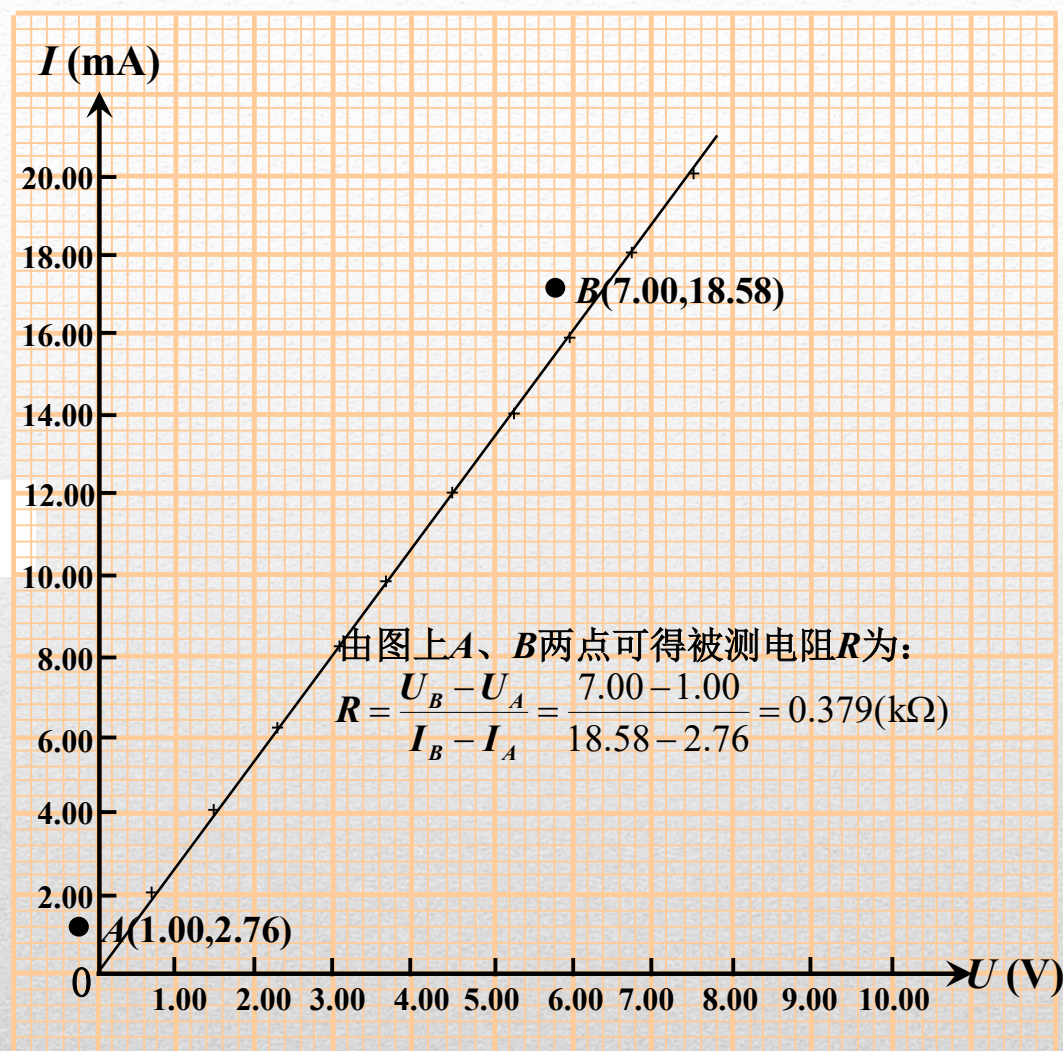


5. 标出图线特征:

标明实验条件或从图上得出的某些参数。利用所绘直线可给出被测电阻 R 大小: 从所绘直线上读取两点 A 、 B 的坐标就可求出 R 值。

6. 标出图名:

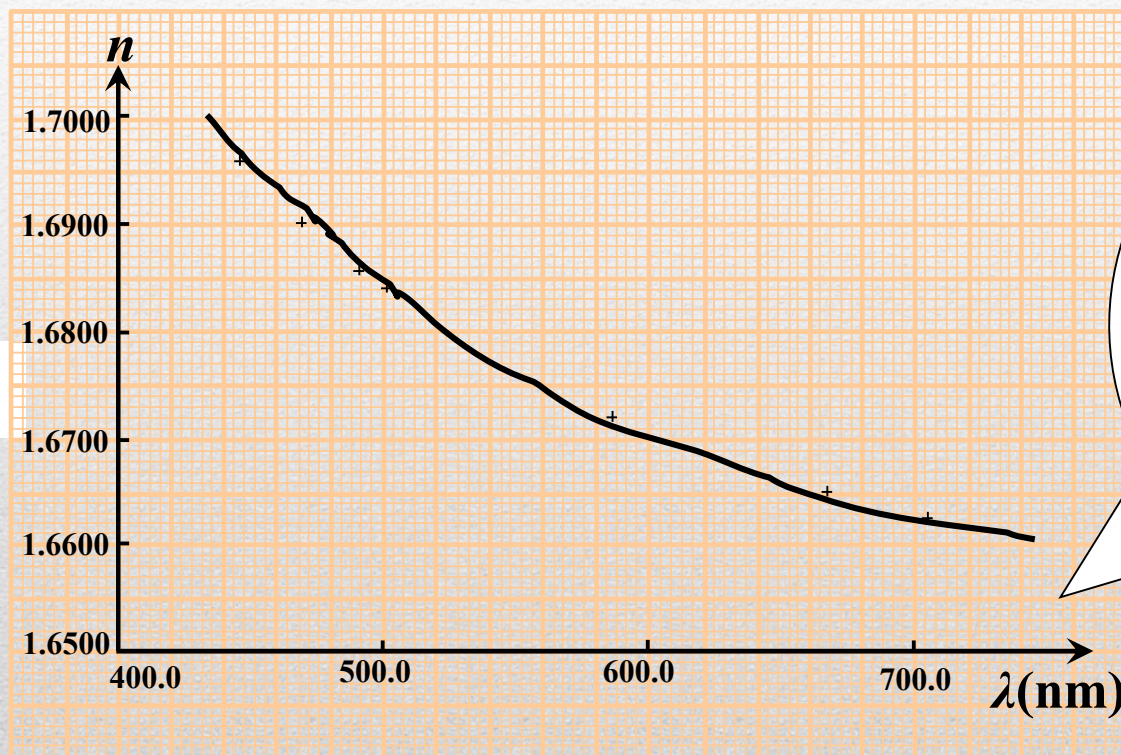
在图线下方或空白位置写出图线的名称及某些必要的说明。



电阻伏安特性曲线

●不当图例展示：

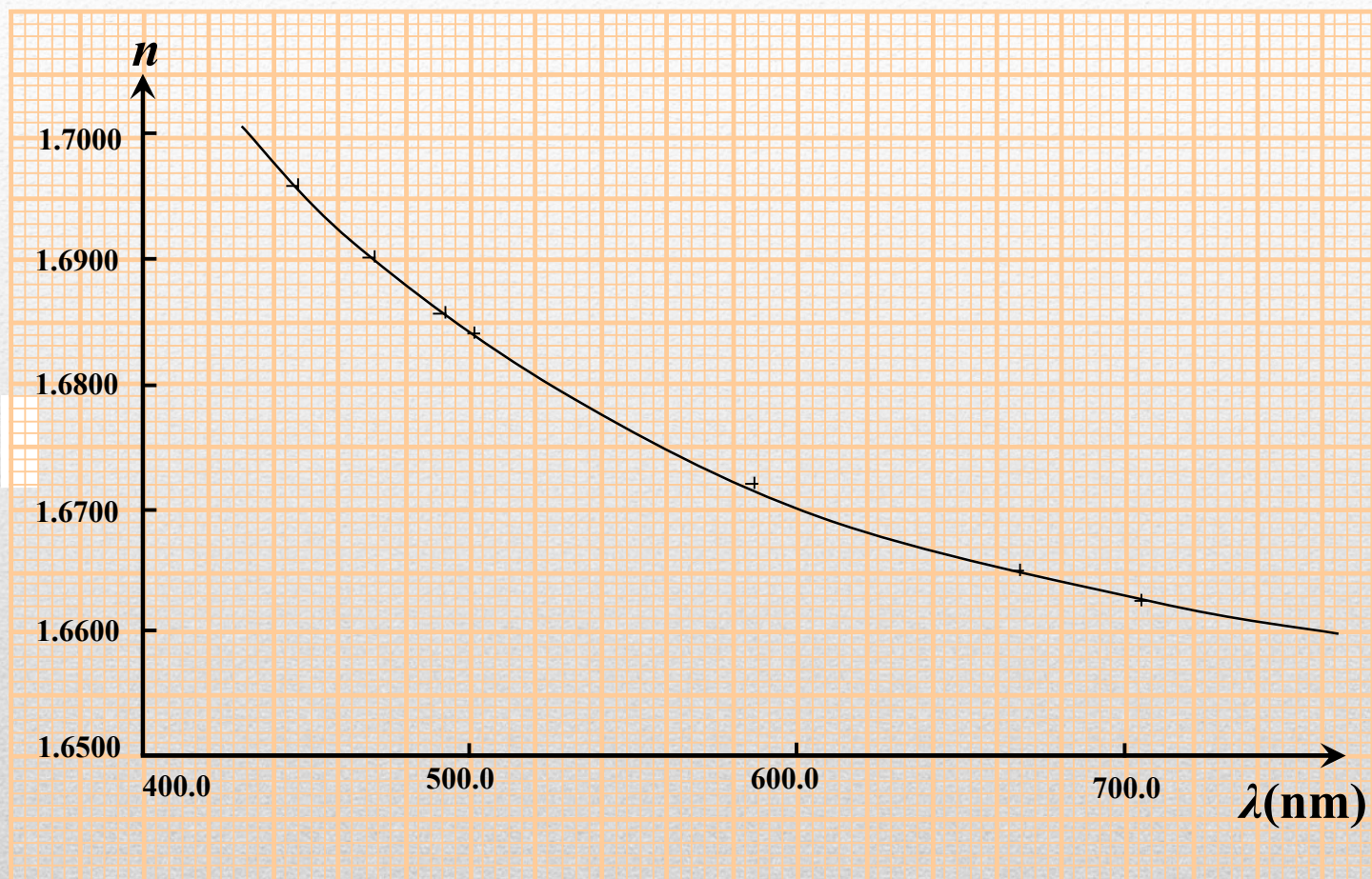
图1



曲线太粗，不均匀，不光滑。
应该用直尺、曲线板等工具把实验点连成光滑、均匀的细实线。

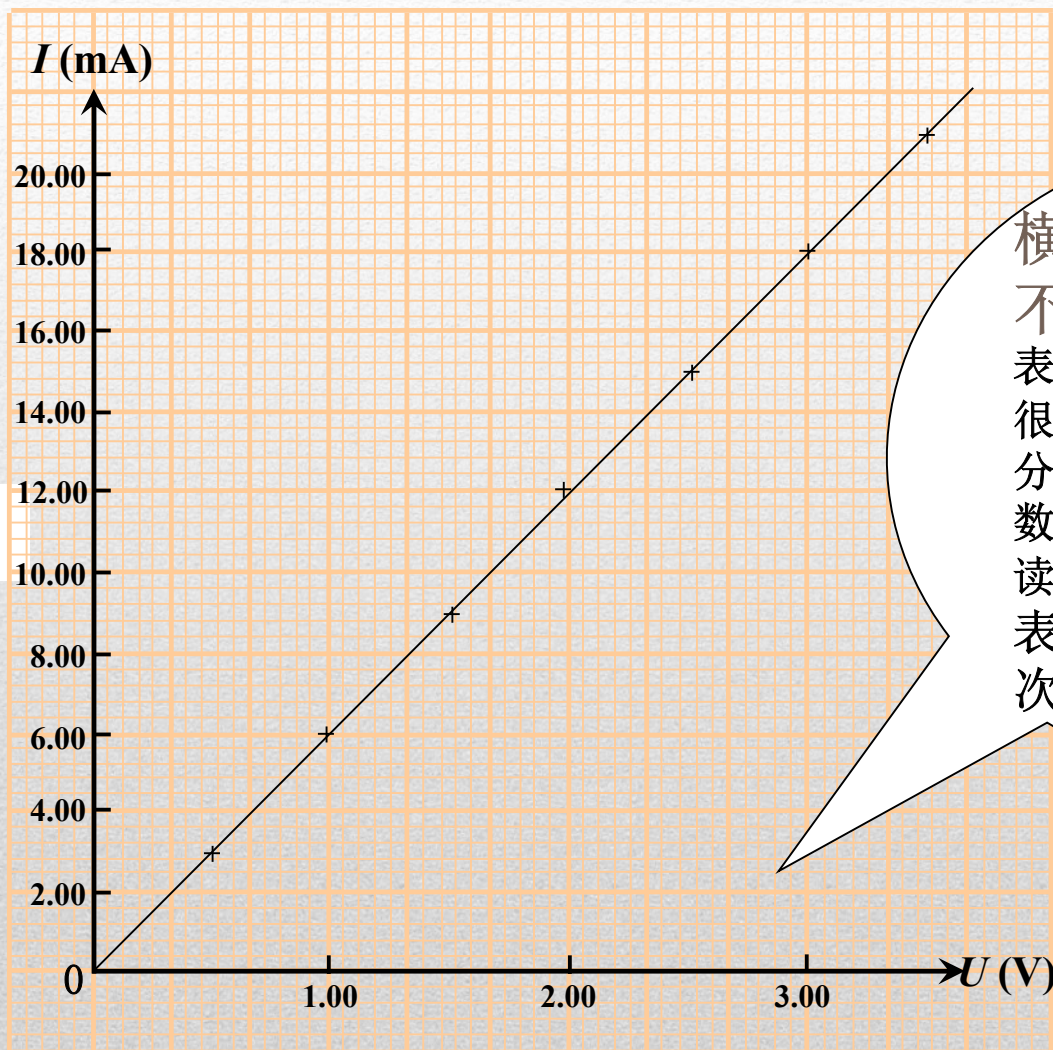
玻璃材料色散曲线图

改正为:



玻璃材料色散曲线图

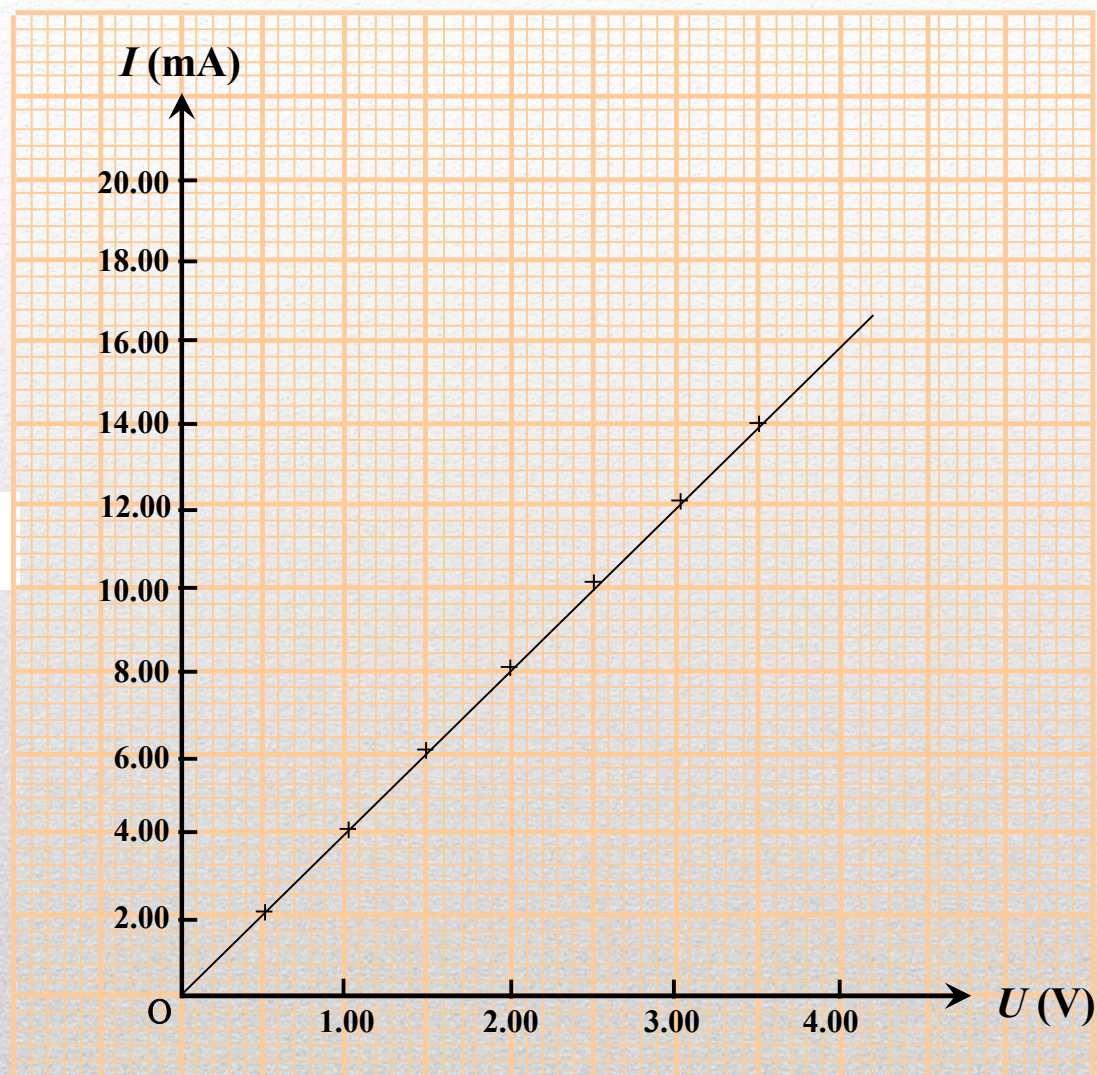
图2



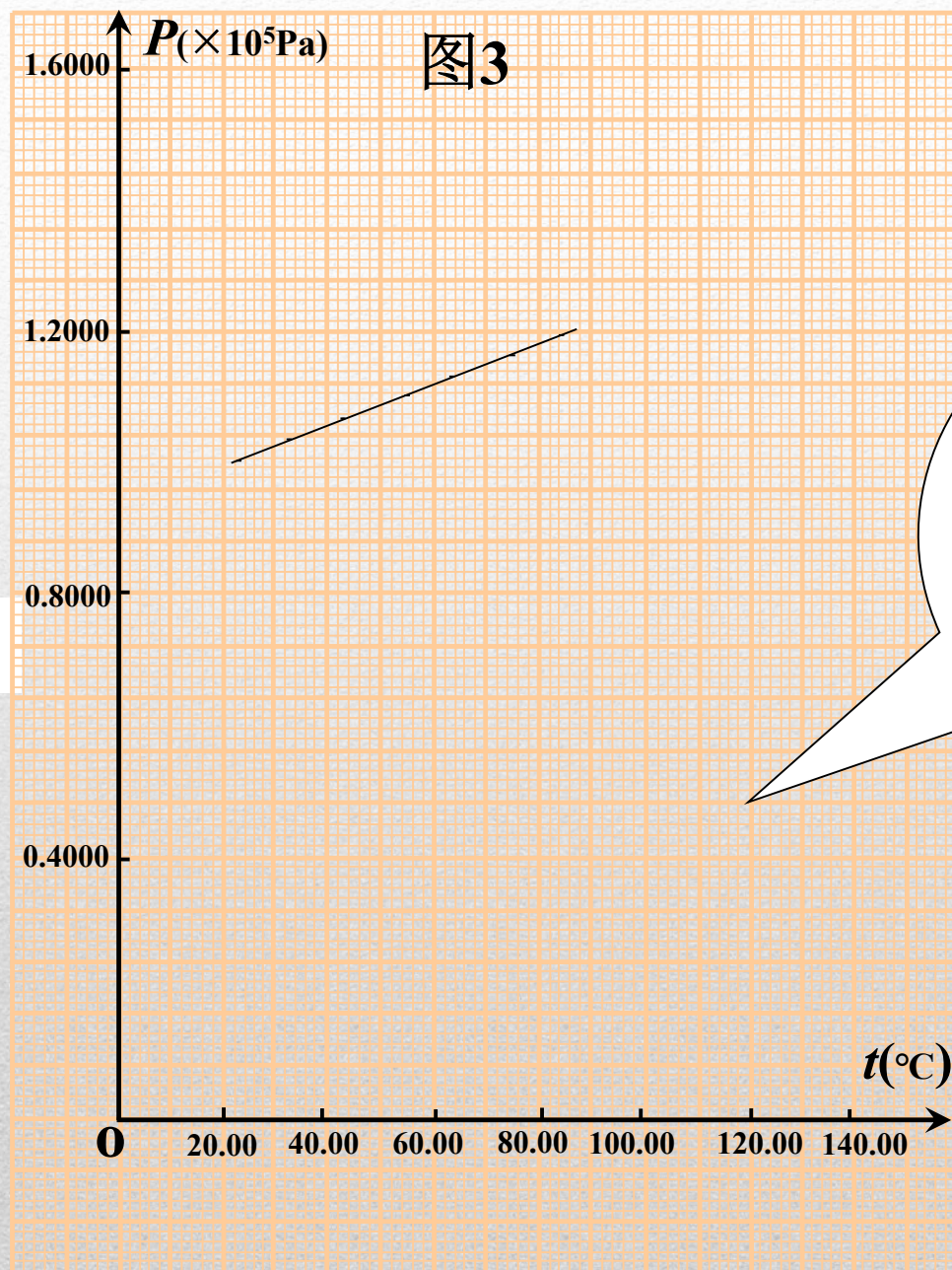
横轴坐标分度选取不当。横轴以3 cm 代表1 V，使作图和读图都很困难。实际在选择坐标分度值时，应既满足有效数字的要求又便于作图和读图，一般以1 mm 代表的量值是10的整数次幂或是其2倍或5倍。

电学元件伏安特性曲线

改正为：



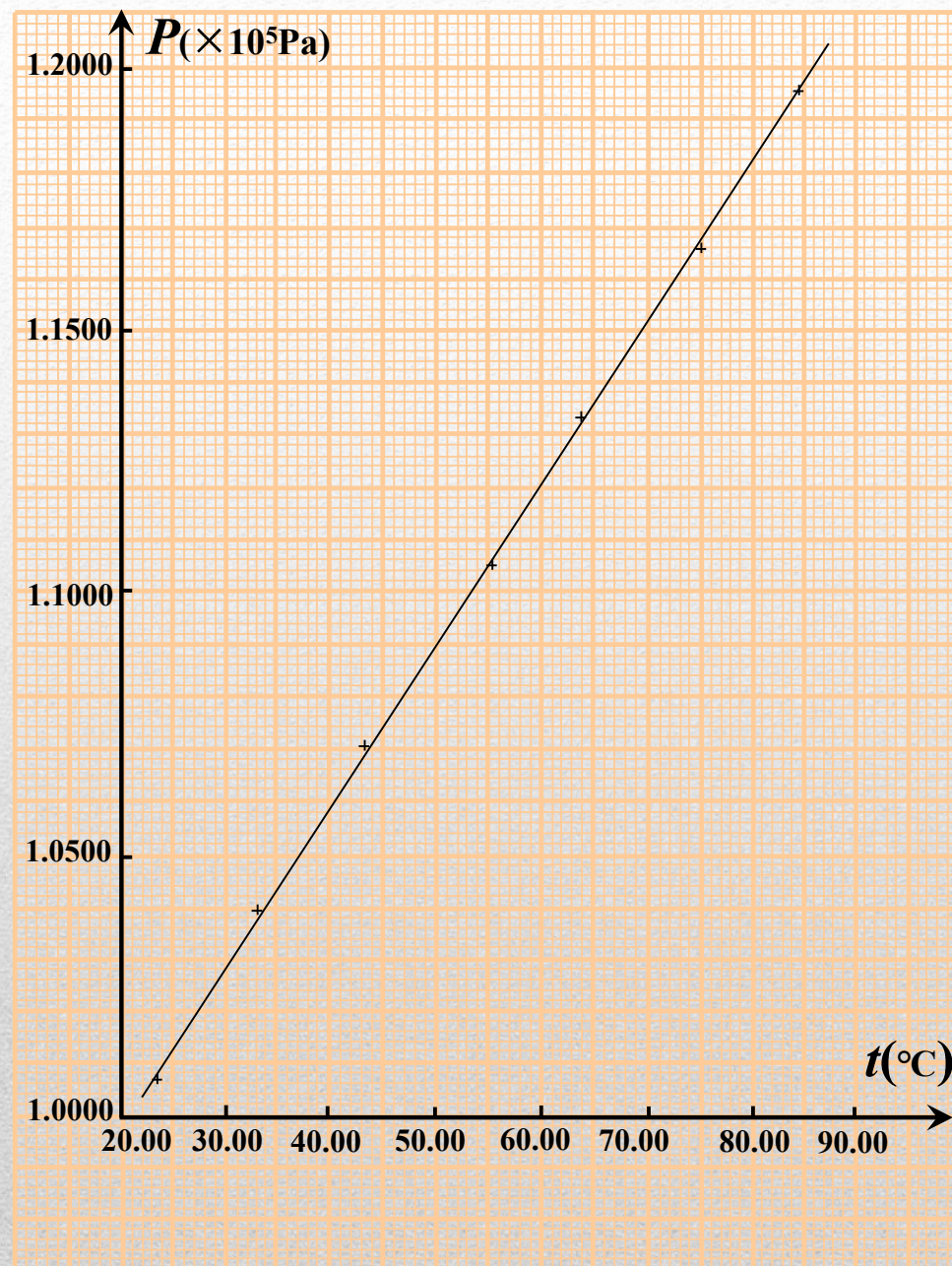
电学元件伏安特性曲线



图纸使用不当。
实际作图时，
坐标原点的读
数可以不从零
开始。

定容气体压强~温度曲线

改正为：



定容气体压强~温度曲线

数据的直线拟合(最小二乘法)

设此两物理量 x 、 y 满足线性关系，且假定实验误差主要出现在 y_i 上，

设拟合直线公式为 $y = f(x) = a + bx$ ，当所测各 y_i 值与拟合直线上各估计值 $f(x_i) = a + bx_i$ 之间偏差的平方和最小，即

$$s = \sum [y_i - f(x_i)]^2 = \sum [y_i - (a + bx_i)]^2 \longrightarrow \min$$

时，所得拟合公式即为最佳经验公式。

据此有 $\frac{\partial s}{\partial a} = -2 \sum (y_i - a - bx_i) = 0$

$$\frac{\partial s}{\partial b} = -2 \sum (y_i - a - bx_i)x_i = 0$$

$$a = \frac{\sum x_i y_i \sum x_i - \sum y_i \sum x_i^2}{(\sum x_i)^2 - n \sum x_i^2}$$

$$b = \frac{\sum x_i \sum y_i - n \sum x_i y_i}{(\sum x_i)^2 - n \sum x_i^2}$$

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

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

r 表示两变量之间的函数关系与线性的符合程度， $r \in [-1, 1]$ 。

$|r| \rightarrow 1$ ， 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)。

实验基本要求

1. 做好预习,写好预习报告。

教师在课上要检查预习情况，记录预习成绩。

2.到实验室在动手前先了解仪器的使用方法和规则尤其是，人身和仪器的安全。实验中要仔细观察和记录。分析实验过程的合理性与规律。

3. (1) 阅读有关资料、调整仪器、观察现象、记录数据。在此过程中要认真和事实求是地做好实验，重视自己的实验能力的培养。

4. 认真写好实验报告。它是你这次实验的总结。要字迹清楚、图表正确，完整、误差分析定量、有效数字正确等。

实验报告评分标准：

一、实验前的预习

1、基本要求：

(1) 写好实验目的、主要原理、公式（要注明式中各量的意义）、电路图或光路图及关键步骤。

(2) 在草表一栏画好原始数据表格

预习报告要求字迹端正，**简明扼要，重点明确**，切忌照抄教材，未写预习报告者不能进行实验。

预习报告成绩为20分，其中原理和内容占主要，原理10分，内容和其他10分。

- 1) 原理中缺少有关公式和说明扣5分；
- 2) 无主要的图示扣5分；
- 3) 全文抄袭教材扣5分；
- 4) 抄袭别人的内容分别不给分。

二、实验过程的考核

1、基本要求：

学生要认真作好实验的整体布局，仔细阅读有关仪器使用说明书，正确使用和调节仪器设备，操作规范、读数正确、实验结束后数据经老师签字、整理好仪器，方可离开实验室。

实验操作分为30分

- 1) 违反操作规程。损坏仪器以至无法实验者30分不给；
- 2) 抄袭和伪造数据30分不给；
- 3) 操作中对仪器故障能自己排除，可适当加分；
- 4) 对仪器误差或缺陷有自己的见解和提出改进的意见可加分。

上述两项加分不超过10分

三、实验报告

数据处理和结果，误差分析，实验心得及思考题解答等，要求学生数据清晰无涂改，误差分析合理，对实验作必要的讨论等。

评分办法：这部分总分50分。

其中数据处理和结果**30分**，误差分析**10分**，实验心得及思考题解答**10分**。1) 结果有效数字严重错误扣5分；2) 不确定度计算及表示错误扣5分；3) 结果计算错误或违背了理论值和公认值（非仪器本身引起的）扣20分；4) 抄袭和伪造数据与结果者扣30分。

下述情况可加分：

- 1) 对产生的误差分析合理，有独到的见解；
- 2) 对整个实验提出改进意见和合理人建议；
- 3) 报告整体规范，书写整洁、清楚。以上加分每次不超出10分。

祝同学们物理实验课学有所获
谢谢！