

普通物理实验绪论

Introduction to Normal Physical Experiment

清华大学实验物理教学中心

刘滢滢

主要内容

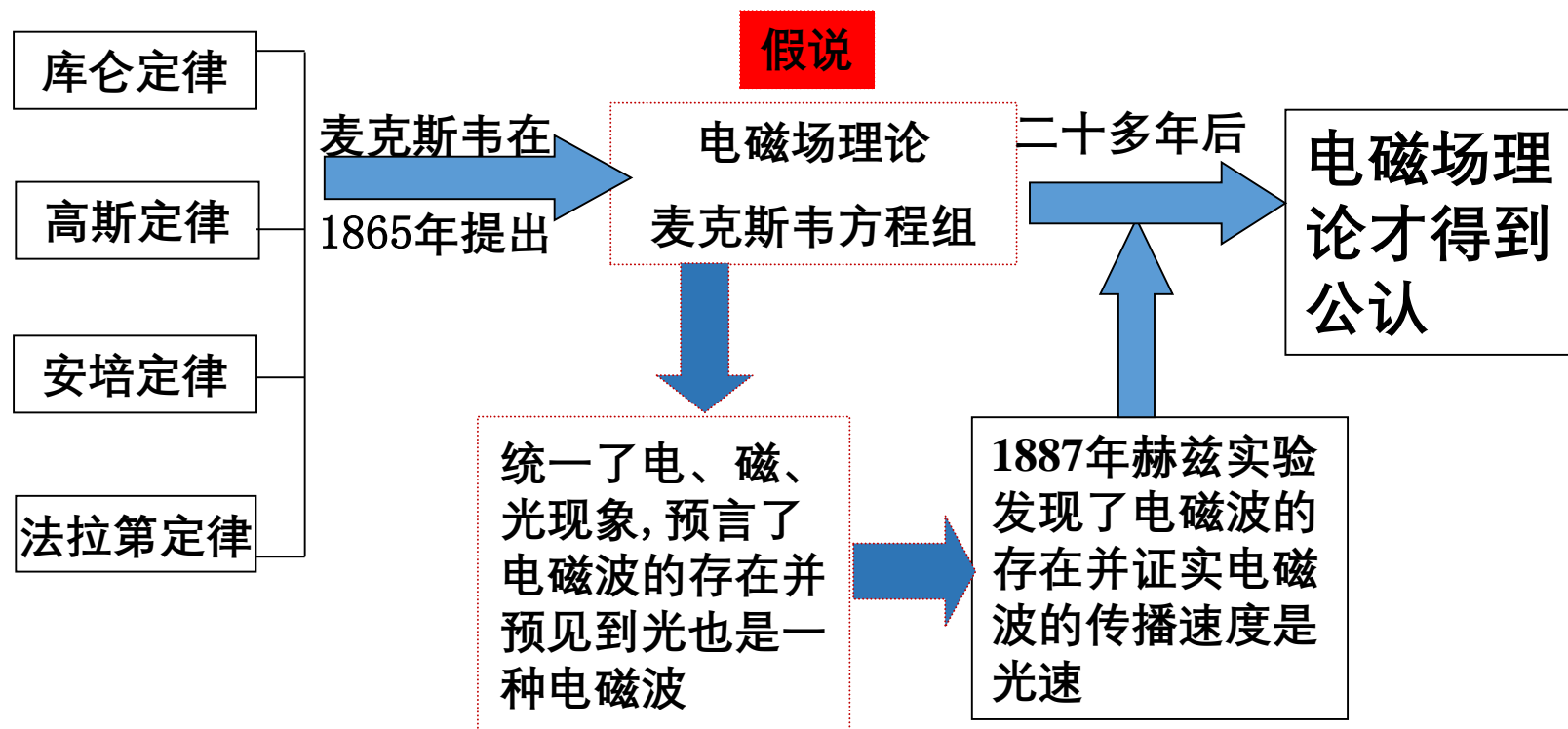
- §1. 物理实验课程介绍
- §2. 课程安排与学生须知
- §3. 课程基础知识

§1. 关于物理实验课

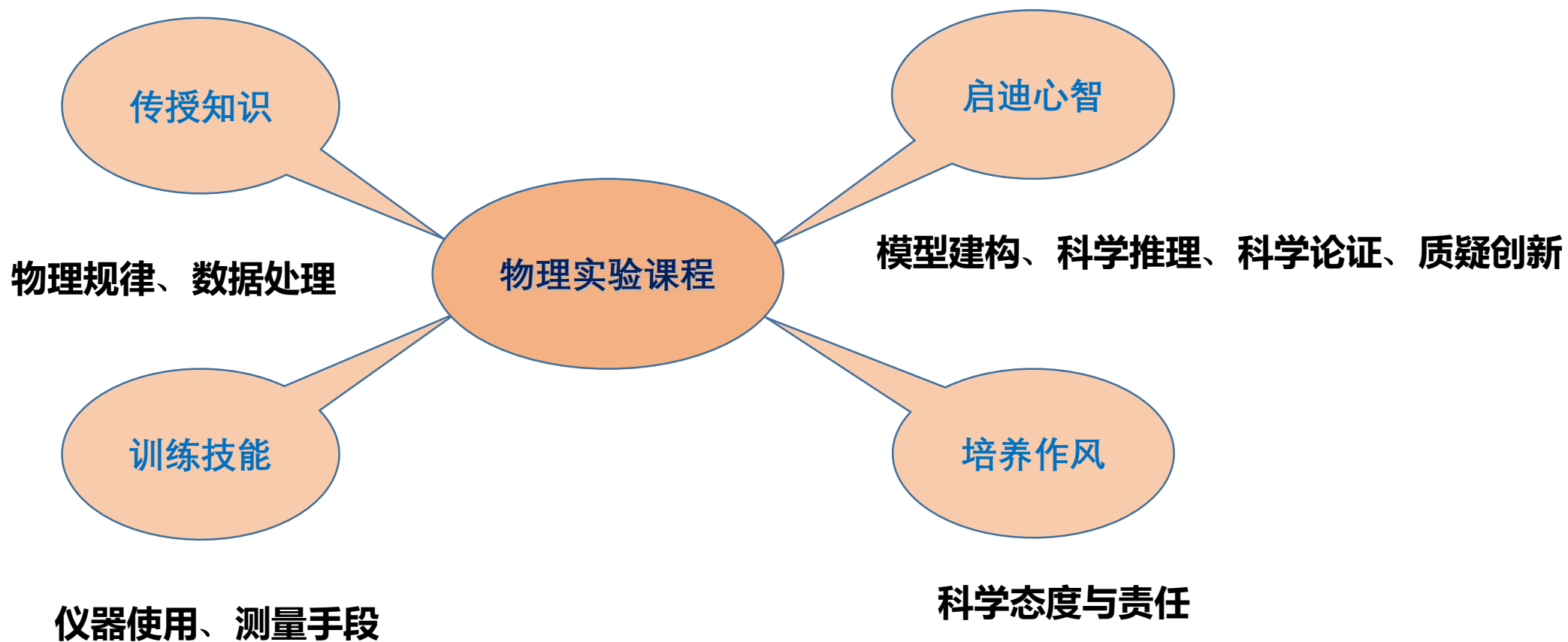
一、物理实验的作用：

- 1.实验可以发现新事实，实验结果可以为物理规律的建立提供依据；
- 2.实验又是检验理论正确与否的重要判据.

● 电磁场理论的提出与公认



二、物理实验课程目的



§2 课程概况和须知

- ▶ 课程名称：物理实验A(1)
- ▶ 教材： 2024春物理实验A(1)课程资料 一网络学堂
- ▶ 参考书：
 - 1 物理实验教程第二版，丁慎训，张连芳，清华大学出版社
 - 2 基础物理实验，吕斯华，段家牴；北京大学出版社
 - 3 大学物理实验第一册，吴泳华等，高等教育出版社
 - 4 大学物理实验第二册，谢行恕等，高等教育出版社



学生须知

- 物理实验A(1): 1次绪论+7次实验课
- 实验上课时间: 周一下午1:30 – 4:50
- 实验地点: 六教5—7层, 按循环表上实验

物理实验A(1) 分组实验循环

周次	2, 3	4, 5	6, 7	8, 9	10, 11	12, 13	14, 15
P	摩擦	阻尼	示声	弦振动	热导	焦距	分光计
Q	热导	摩擦	阻尼	焦距	分光计	示声	弦振动

说明：**阻尼**实验要求写完整报告，其它实验要求写极简报告（有特殊要求的按特殊要求写）。每次实验报告要求整合成单个PDF文件（非多文件压缩包），做完实验的一周之内提交到网络学堂签字教师的作业箱。

实验地点

代号	实验名称	房间(六教)
阻尼	阻尼振动和受迫振动	6B602
分光计	分光计的调节和色散曲线的测量	6B604(内)
示声	示波器的原理和使用及声速测量	6A503
热导	准稳态法测不良导体的导热系数和比热	6A504
摩擦	摩擦系数测量实验	6B502
焦距	透镜焦距的测量	6B606
弦振动	弦振动实验	6B508

预习（1分）

- ▶ 看讲义、预习视频、查阅资料完成预习思考题，上课签到时交。有特殊要求的实验以老师要求为准。

课上操作（6分或5分）

- ▶ 不许迟到，独立操作，严禁抄袭。

报告（3分或4分）

- ▶ 根据上课要求完成报告，存成一个pdf文件提交到学堂相应电子报告箱。

报告要求

- **完整的实验报告**应包括以下1—7项内容（**极简报告**含1、5、7项内容）：
 - 1列出实验名称
 - 2实验目的、实验原理
 - 3实验仪器：名称、规格、编号（或实验台号）
 - 4实验任务或实验步骤：列出关键事项，简单明了
 - 5数据处理：包括实验数据整理、数据处理过程（计算、作图、不确定度分析等）、实验结果
 - 6实验小结（据实分析，不写虚）
 - 7报告末尾附上有教师签字的原始数据记录。

- _____ (实验名称) **实验报告**
- 实验者姓名: ____ 学号: ____ 实验日期: ____ 实验台号: _____
- **实验目的**
- _____
- **实验仪器**
- (主要仪器的名称、型号、规格等)
- **实验原理**
- (简明扼要, 概括提炼总结, 不抄讲义)
- **实验内容 (或步骤)**
- (列出关键事项, 简单明了)
- **数据处理及结果**
- (数据整理、计算、作图、误差分析、结果表达、结论等)
- **实验小结**
- (对实验中遇到的问题或疑问进行深入分析探讨, 据实分析, 不写虚)
- **原始数据记录**
- (原始数据记录, 应有教师签名)

- 写作规范: 内容简明扼要, 条理清晰, 错别字较少, 书面整洁, 图表规范
- 数据处理: 必要说明, 步骤, 主要计算公式、数据代入式, 图、表制作, 结果表达 (有效位数、单位), 结论分析
- 建议、思考、小结

※不交报告单次实验最高得分不超过5分

物理实验完整报告格式

实验室安全

- 第一注意人身安全

尤其注意防触电、防激光烧伤眼睛、防高温烫伤、防低温冻伤…
遇紧急情况听从指挥，有序从紧急疏散通道撤离。

- 第二注意仪器安全

通过阅读讲义、上课听讲，了解各实验的注意事项，爱护仪器设备，严格按照规程操作仪器，特别是精密仪器、部件。

§3.课程基础知识

§3-1 测量误差及不确定度估算的基础知识

§3-2 实验数据有效位数的确定

§3-3 数据表格设计

§3-4 作图法处理实验数据

§3-5 最小二乘法处理实验数据

§3-1 测量误差及不确定度

- 物理实验以测量为基础
- 测量分为直接测量和间接测量
如：电阻的测量（万用表，伏安法）
温度的测量（温度计，传感器）
- 任何测量都存在误差
(测量不可能无限准确)

测量误差的定义和分类

误差 $dy = \text{测量结果 } y - \text{真值 } Y_t$

▶ 误差特性：

普遍性、误差是小量

▶ 误差的表示方法：

— 绝对误差 dy — 相对误差 dy / Y_t

▶ 误差分类

— 系统误差 — 随机误差

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以可预知的方式变化的测量误差的分量。

- 产生原因：

由测量仪器、测量方法等带入

单摆实验

- $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ 成立的前提条件……
- 仅考虑摆角修正: $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left(1 + \frac{1}{4} \sin^2 \frac{\theta}{2}\right)$

伏安法测电阻

系统误差的分类及处理方法

- 未定系统误差：

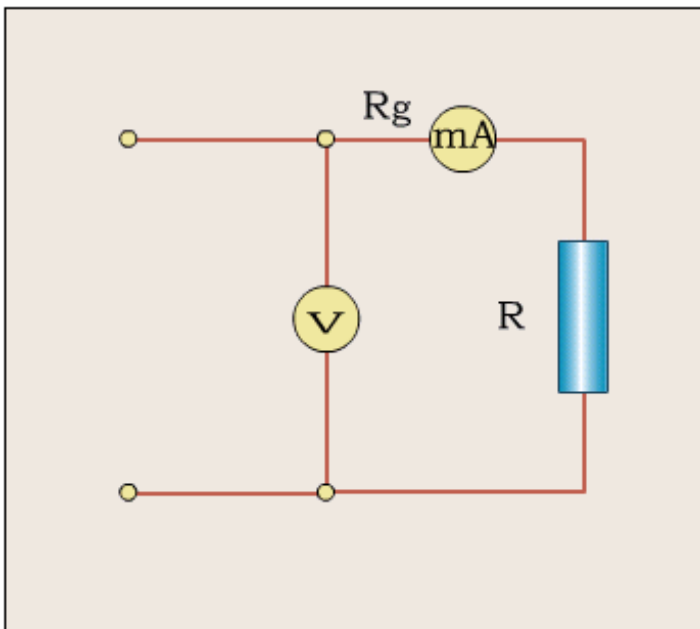
要估计出分布范围（大致与 B 类不确定度 Δ_B 相当）

如：螺旋测微计制造时的螺纹公差等

- 已定系统误差：必须修正

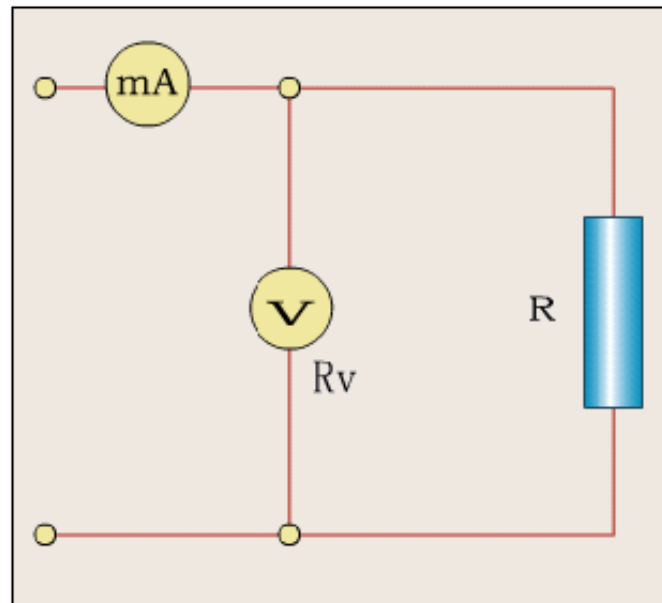
修正公式：测量结果 - 已定系统误差

已定系统误差的修正



内接法

$$R = \frac{U}{I} - R_g$$



外接法

$$R = \frac{U}{I - U/R_v}$$

随机误差

- 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。

随机误差

- 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。

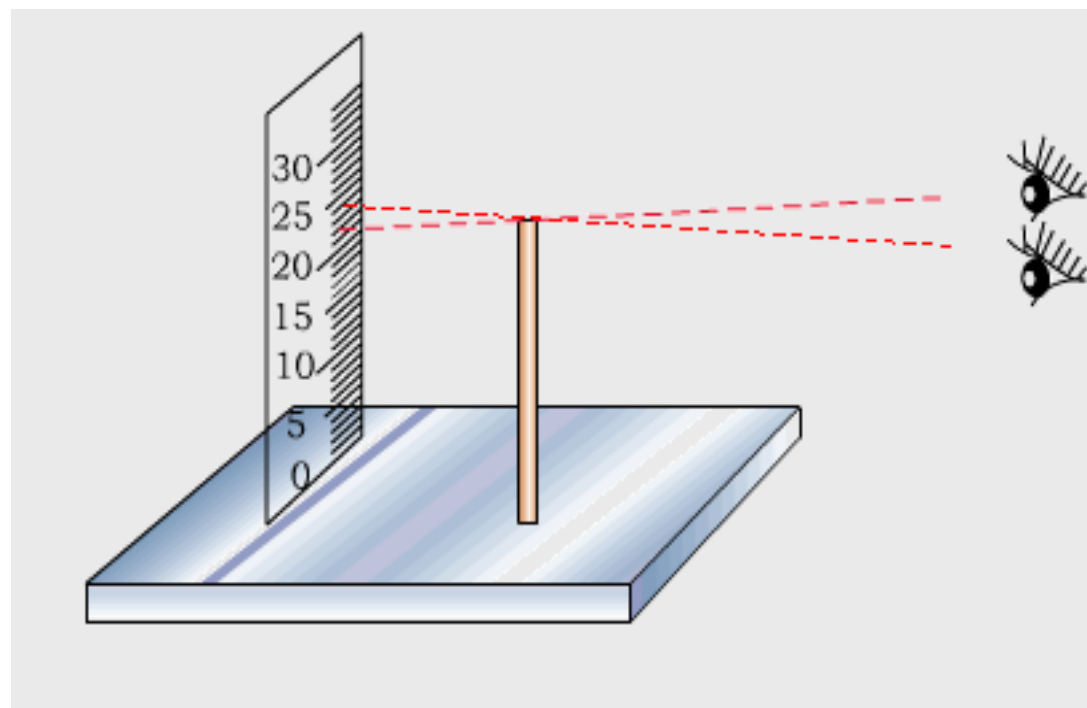
例如：电表轴承的摩擦力变动；

螺旋测微计测距在一定范围内随机变化；

估读不准；

操作读数时的视差影响；

操作读数时的视差影响



▶ 讲义习题举例

对某一量进行测量时，下列各例中哪些因素可能使测量主要产生系统误差，哪些因素可能使测量主要产生随机误差？
(BCF) (AEH)

- A.螺旋测微计微分套筒圆周上的刻线（50格）和固定套筒上纵刻线不在同一曲面，读数时有一定视差；
- B.磁电式电压表放置在离其它磁铁很近的地方，使内部磁场变弱且不均匀，对电压测量的影响；
- C.天平的左右臂臂长不等，对质量测量的影响；
- D.电流表的零点（位）不对，但在测量结果中已经扣除了零位影响；
- E.望远镜未调消视差，对瞄准和读数的影响；
- F.水银温度计的玻璃毛细管各处粗细不均匀而产生的示值误差分量；
- G.在海拔高、重力加速度小的地区使用水银气压计测大气压，已作重力加速度修正；
- H.对某种测量，读数时要估读到最小分度（格）的 $1/10$ ，而读不准，可能差生的误差。

随机误差的特点

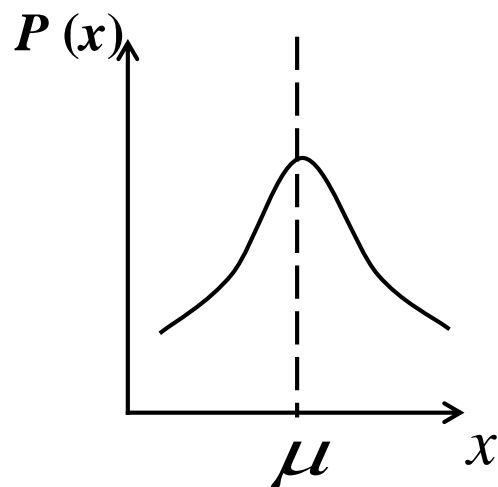
①一般小误差出现的概率比大误差出现的概率大；

②多次测量时分布对称，具有抵偿性：

因此取多次测量的平均值有利于消减随机误差。

随机变量的分布——正态分布 (Gauss)

大量相对独立微小因素共同作用下得到的随机变量服从正态分布。



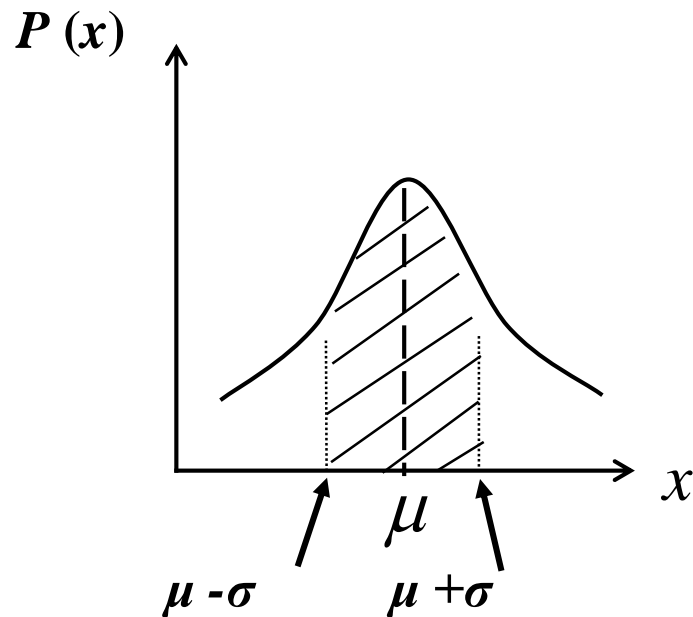
$$p(x, \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$$

$$\mu = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum x}{n} \quad \sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{\sum (x - \mu)^2}{n}}$$

$$\xi = \int_{x_1}^{x_2} p(x) dx$$

随机变量的分布-----正态分布

$$\xi = \int_{\mu-\sigma}^{\mu+\sigma} p(x) dx = 0.683$$



简写为: $x = \mu \pm \sigma$ $\xi = 0.683$

换写为: $\mu = x \pm \sigma$ $\xi = 0.683$

表示真值落在 $(x - \sigma, x + \sigma)$ 区间的概率为0.683, 其它区间的概率为:

$$\mu = x \pm 2\sigma \quad \xi = 0.954$$

$$\mu = x \pm 3\sigma \quad \xi = 0.997$$

随机变量的分布-----正态分布

实验的任务是通过实际测量数据求 μ 、 σ 。

可用 n 次测量值的 \bar{x} 、 s_x 来估算 μ 、 σ ：

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad s_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

此时可用右式来
表示实验结果

$$\mu = x \pm S_x \quad \xi = 0.683$$

$$\mu = \bar{x} \pm S_{\bar{x}} = \bar{x} \pm \frac{S_x}{\sqrt{n}} \quad \xi = 0.683$$

t 分布

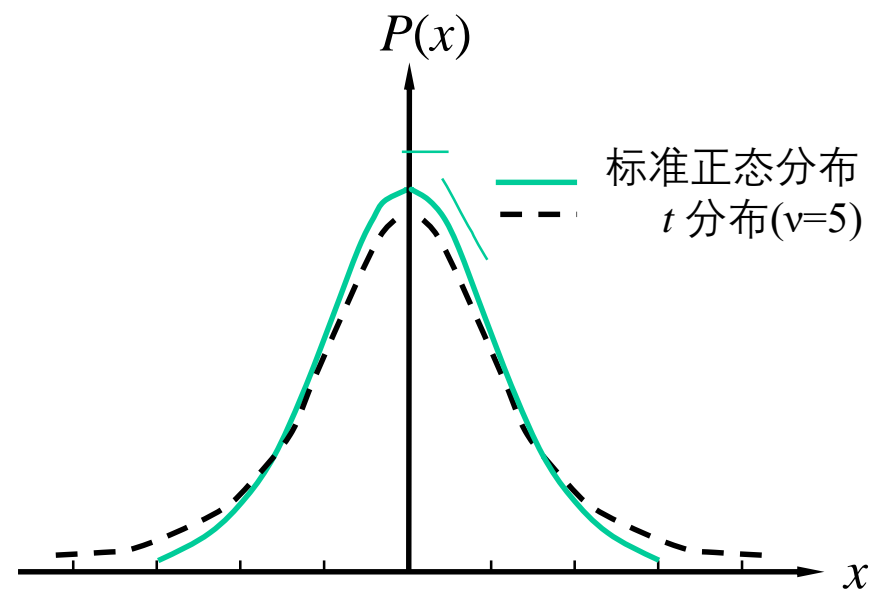
实际上 $\frac{\bar{x}-\mu}{S_{\bar{x}}}$ 不符合标准正态分布，而符合 t 分布

$\mu = \bar{x} \pm S_{\bar{x}}$ 概率小于0.683，为达到相同置信概率应乘以一个系数 $t_{0.683}(\nu)$ ，其它概率应乘以 $t_{\xi}(\nu)$ ——可查表，自由度 $\nu=n-1$ 。

结果表示为：

$$\mu = \bar{x} \pm t_{\xi}(\nu) S_{\bar{x}}$$

$$\mu = \bar{x} \pm \frac{t_{\xi}(\nu)}{\sqrt{n}} S_x$$



随机误差的处理

假定对一个量进行了 n 次测量，测得的值为 y_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)

$$\bar{y} = (\sum_{i=1}^n y_i) / n$$

用标准偏差 S 表示测得值的分散性

S 按贝塞耳公式求出：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}}$$

测量误差与不确定度

- ◆ 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。

直接测量量不确定度的估算

总不确定度分为两类不确定度：

A 类分量 Δ_A ——多次重复测量时用统计学方法估算的分量；

B 类分量 Δ_B ——用其他方法（非统计学方法）评定的分量。

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：

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

(我校物理实验教学中一般用总不确定度，置信概率取为95%)

★ A 类分量 Δ_A 的估算（直接测量）——数理统计

n 次测量 $\{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_{n-1}, x_n\}$

☆ 测量列算术平均:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

——被测量量的最佳估计值

☆ 测量列标准偏差:
(贝塞尔公式)

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

s_x 大: 分散, 分布宽,
精密度低

☆ 平均值标准偏差:

$$s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}}$$

s_x 小: 密集, 分布窄,
精密度高

☆ $t_p(\nu)$ 分布因子修正:

$$\Delta_A = t_p(\nu) \cdot s_{\bar{x}} = t_p(n-1) \cdot \frac{s_x}{\sqrt{n}}$$

注: 有限次测量情况下 (小样本), 测量结果符合 $t_p(\nu)$ 分布
(p 为置信概率, $\nu=(n-1)$ 为自由度因子) 而非正态分布。

$\nu=n-1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	100
$t_{0.95}(\nu)$	12.71	4.30	3.18	2.78	2.57	2.46	2.36	2.31	2.26	2.23	2.18	2.14	2.09	1.98

直接测量量不确定度的估算

简化处理方法：

— A 类分量 Δ_A 的估算： $\Delta_A = t_{\xi}(\nu) S_{\bar{y}} = \frac{t_{\xi}(n-1)}{\sqrt{n}} S_y$

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

置信概率95%的 t 因子可以查表

— B 类分量 $\Delta_B = \Delta_{\text{仪}}$ ：认为 Δ_B 主要由仪器误差来决定

— 不确定度合成：

$$\Delta = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} = \sqrt{\left(\frac{t}{\sqrt{n}} S_y\right)^2 + \Delta_{\text{仪}}^2}$$

直接测量量不确定度的估算

结果表示：

——以测量列 y 的平均值再修正掉已定系统误差项 y_0 得到被测对象的量值。

——由 A 、 B 类不确定度合成总不确定度

则：

$$Y = (\bar{y} - y_0) \pm \sqrt{\left(\frac{t}{\sqrt{n}} S_y\right)^2 + \Delta_{\text{仪}}^2}$$

完整的测量结果表示

- 完整的测量结果应表示为： $Y = y \pm \Delta$

以电阻测量为例

$$R = (913.0 \pm 1.4) \Omega$$

测量对象 测量对象的量值 测量的不确定度 测量值的单位

$Y = y \pm \Delta$ 表示被测对象的真值落在 $(y - \Delta, y + \Delta)$ 范围内的概率很大， Δ 的取值与一定的概率相联系。

直接测量量不确定度的估算练习

用螺旋测微计测量钢丝直径(单位mm): 6次测量结果分别为:
 $y_i=0.245, 0.251, 0.247, 0.252, 0.254, 0.251$; 已知: 仪器零位
 $y_0=0.006, \Delta_{\text{仪}}=0.004$; 请写出必要的计算过程给出测量结果

解: 测得值的最佳估计值为

$$y = \bar{y} - y_0 = 0.250 - 0.006 = 0.244\text{mm}$$

测量列的标准偏差 $S_y = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} = 0.0033\text{mm}$

测量次数 $n=6$, $\nu=n-1=5$, 查表有 $t=2.57$

$$\Delta = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} = \sqrt{\left(\frac{t}{\sqrt{n}} S_y\right)^2 + \Delta_{\text{仪}}^2} = 0.005\text{mm}$$

则: 测量结果为 $Y=(0.244 \pm 0.005)\text{mm}$

间接测量量的不确定度合成

$$Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots)$$

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

和差形式

$$\frac{\Delta_Y}{Y} = \sqrt{\sum \left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_i} \Delta_{x_i} \right)^2}$$

乘、除、指数形式

实用公式

$$\varphi = x \pm y$$

$$\varphi = x \cdot y \text{ 或 } x/y$$

$$\varphi = x^k y^m$$

$$\Delta_\varphi = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2}$$

$$\frac{\Delta_\varphi}{\varphi} = \sqrt{\left(\frac{\Delta_x}{x} \right)^2 + \left(\frac{\Delta_y}{y} \right)^2}$$

$$\frac{\Delta_\varphi}{\varphi} = \sqrt{\left(k \frac{\Delta_x}{x} \right)^2 + \left(m \frac{\Delta_y}{y} \right)^2}$$

间接测量量的不确定度合成过程

1.先写出（或求出）各直接测量量 x_i 的不确定度

2.依据 $Y = f(x_1, x_2 \cdots x_n)$ 关系求出 $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ 或 $\frac{\partial \ln f}{\partial x_i}$

3.用
$$\Delta_Y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta_{x_i} \right)^2} \quad \frac{\Delta_Y}{Y} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_i} \Delta_{x_i} \right)^2}$$

求出 Δ_Y 或 $\frac{\Delta_Y}{Y}$

4.完整表示出 Y 的值 $Y = y \pm \Delta$

❖ 间接测量量不确定度估算举例

例：已测得金属环的外径：

$$D_2 = 3.600 \pm 0.004 \text{ cm}$$

内径：

$$D_1 = 2.880 \pm 0.004 \text{ cm}$$

高度：

$$h = 2.575 \pm 0.004 \text{ cm}$$



求环体积？

数据计算处理——

环体积

$$V = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) h = \frac{\pi}{4} \times (3.600^2 - 2.880^2) \times 2.575 = 9.436 \text{ cm}^3$$

偏导数

$$\frac{\partial \ln V}{\partial D_2} = \frac{2D_2}{D_2^2 - D_1^2}, \quad \frac{\partial \ln V}{\partial D_1} = \frac{-2D_1}{D_2^2 - D_1^2}, \quad \frac{\partial \ln V}{\partial h} = \frac{1}{h}$$

相对不确定度

$$\frac{\Delta_V}{V} = \sqrt{\left(\frac{2D_2\Delta_{D_2}}{D_2^2 - D_1^2}\right)^2 + \left(\frac{-2D_1\Delta_{D_1}}{D_2^2 - D_1^2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_h}{h}\right)^2} = 0.0081$$

不确定度

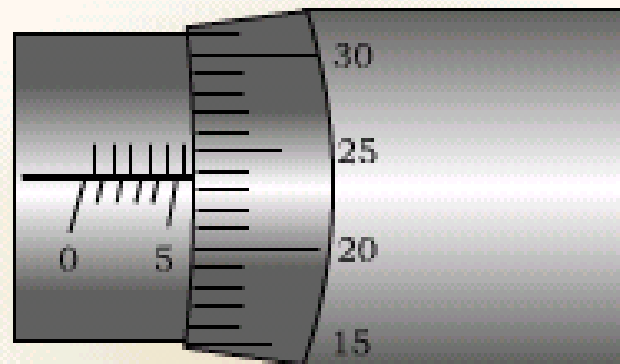
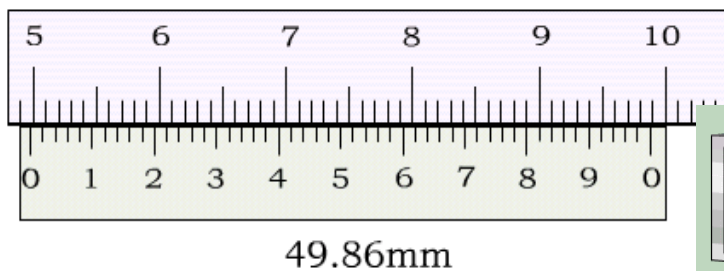
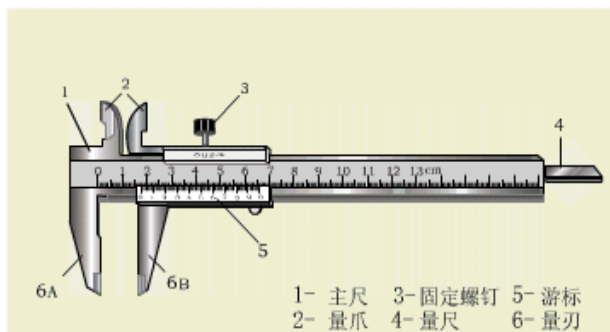
$$\Delta_V = V \cdot \frac{\Delta_V}{V} = 9.436 \times 0.0081 = 0.076 \text{ cm}^3$$

测量结果

$$V = 9.44 \pm 0.08 \text{ cm}^3$$

§3-2 实验数据有效位数的确定

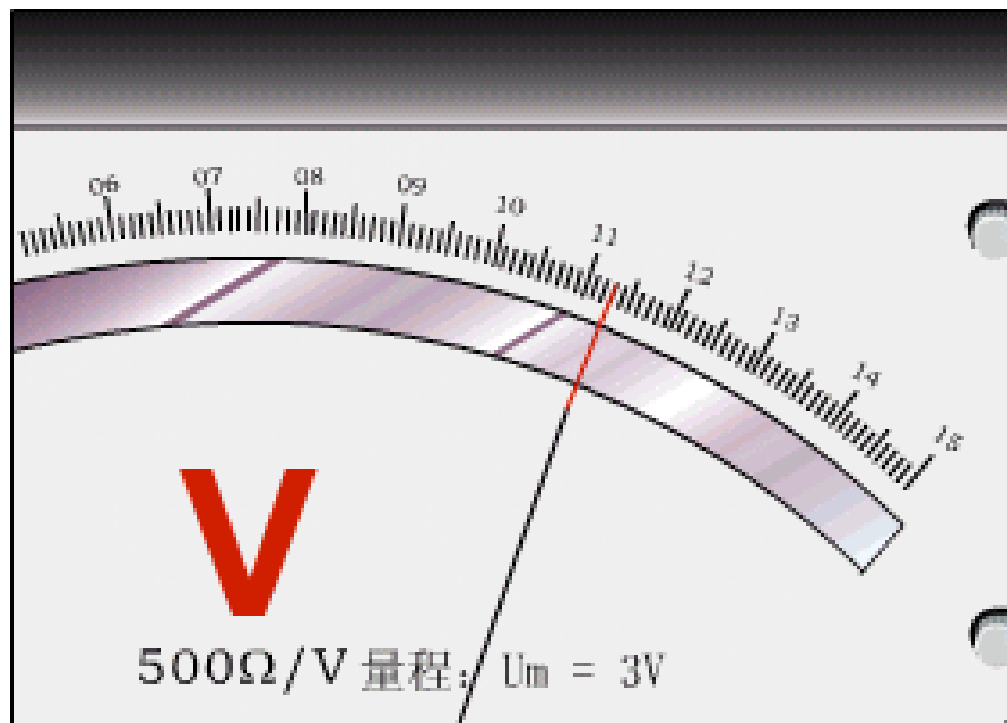
1. 直接测量量的读数应反映仪器的准确度



5.737mm

✘ 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

2.中间运算结果的有效位数

✘ 用计算器进行计算时中间结果可不作修约或适当多取几位（不能任意减少）。

✘ 加减运算的结果末位以参与运算的末位最高的数为准。

如 $11.4 + 2.56 = 14.0$

$75 - 10.356 = 65$

✘ 乘除运算结果的有效位数，可比参与运算的有效位数最少的数多取一位。

如 $4000 \times 9 = 3.6 \times 10^4$

$2.000 \div 0.99 = 2.00$

3.测量结果表达式中的有效位数

✗ 总不确定度 Δ 的有效位数取2位（首位3以上可取1位）

例：估算结果 $\Delta=0.548\text{mm}$ 时， $\Delta=0.55\text{mm}$ 或 $\Delta=0.5\text{mm}$

$\Delta=1.37\ \Omega$ 时，取为 $\Delta=1.4\Omega$

✗ 被测量值有效位数的确定

$Y=y\pm\Delta$ 中,被测量值 y 的末位要与不确定度 Δ 的末位对齐

$$V = \frac{\pi}{4}(D_2^2 - D_1^2)h = 9.436\text{cm}^3 \quad \Delta_V = 0.08\text{cm}^3$$

最终结果为： $V=(9.44\pm0.08)\text{cm}^3$

§3-3 数据表格的设计

- 要有表格名称，注明仪器编号（实验台号）；
- 已知参数和只需测一次的物理量放在第一行；
- 根据测量任务、被测量的数目及测量次数、中间过程量等设计表格的结构；
- 合理安排各物理量的位置，一般先列直接测量量、再列计算量；
- 物理量的符号用斜体书写，单位符号用正体；
- 数据有效位数合理。

§3-4 作图法处理实验数据

①选择坐标纸，确定分度值

数据范围、不确定度

②建立坐标系（轴）

名称、单位、分度

③描点绘线

描实验点（+，*，△，×）

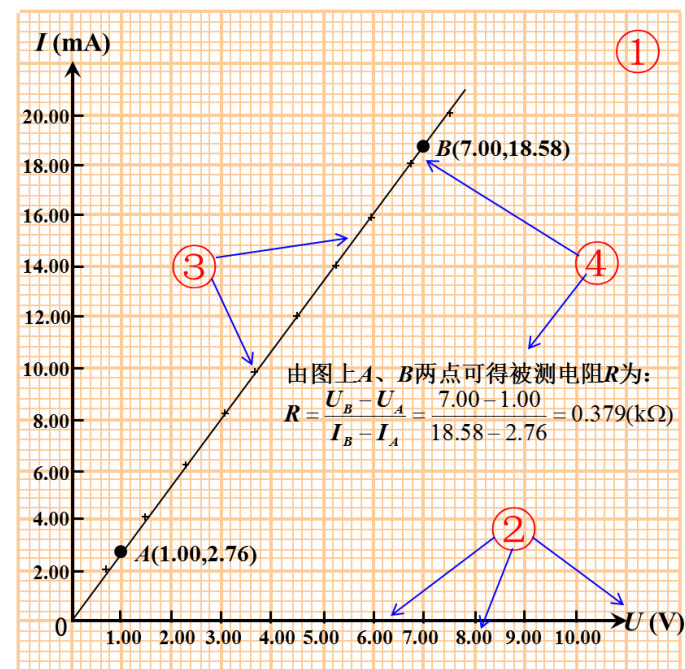
绘平滑曲线（直尺，曲线板）

④标注特征，计算参数

特征，参数：斜率、截距、峰位、半高宽等

⑤标注名称

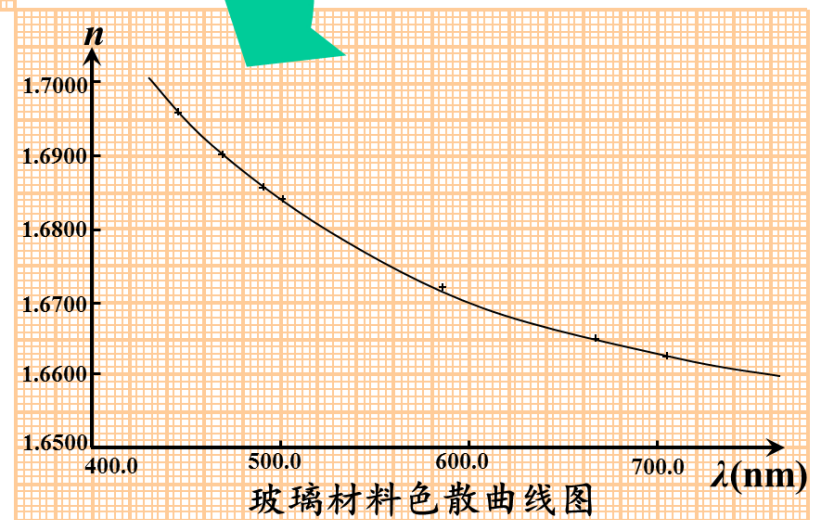
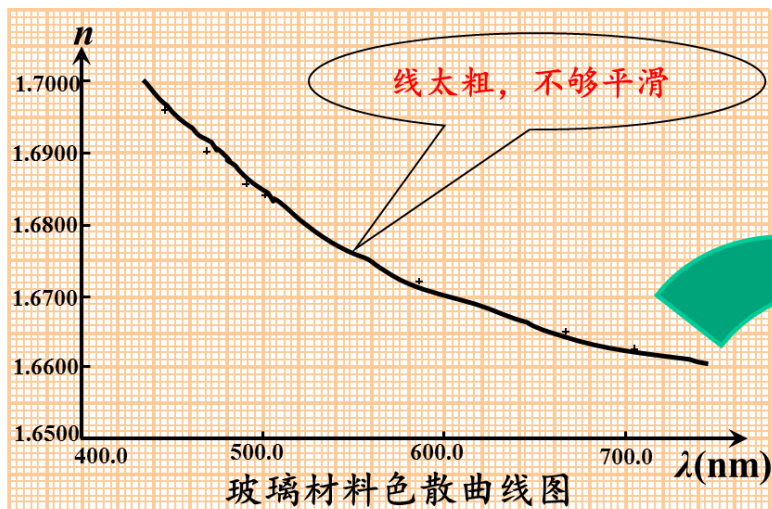
图名、测试条件等



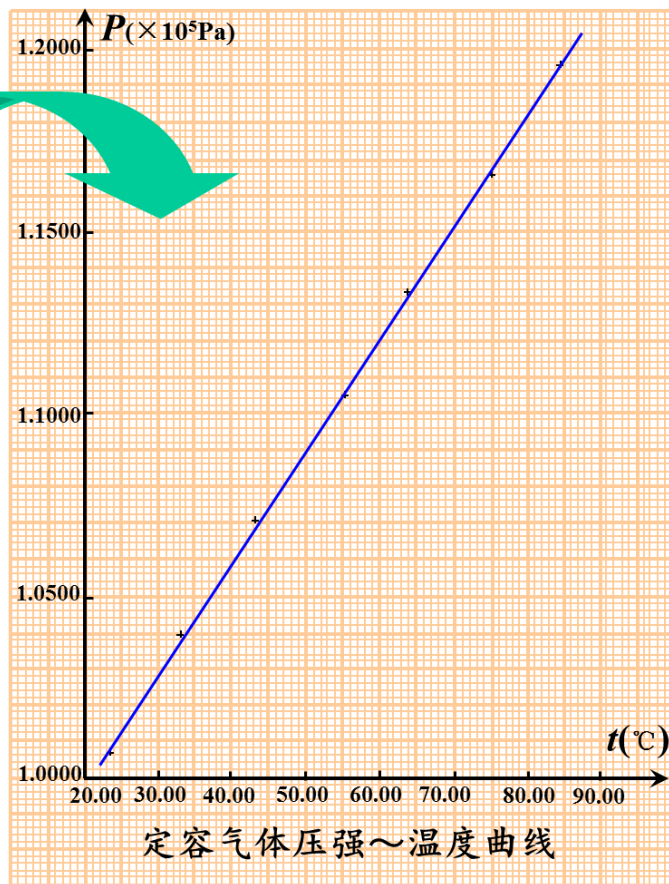
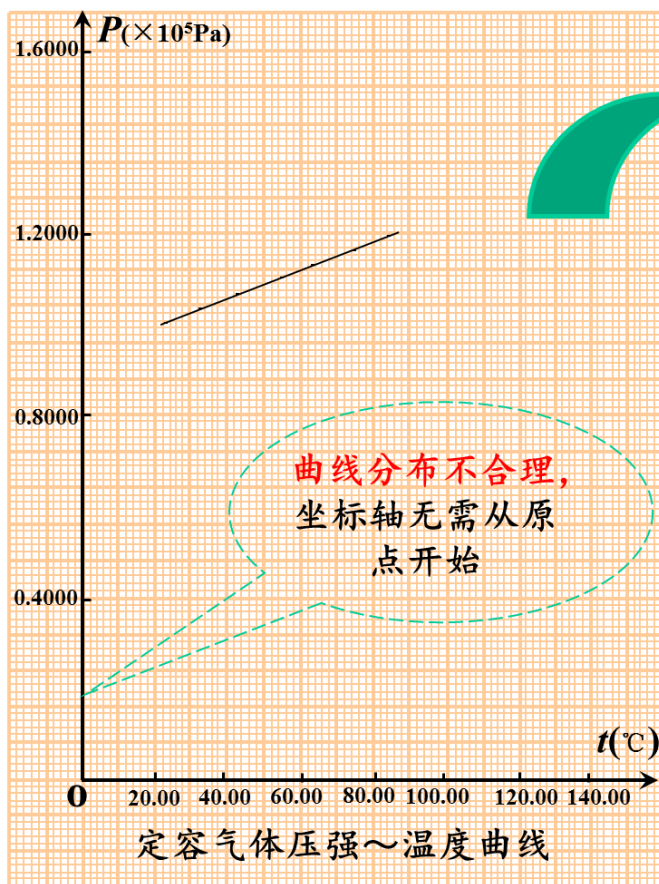
⑤ 电阻伏安特性曲线

注：有效位数、不确定度、误差棒、取点读数！

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
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

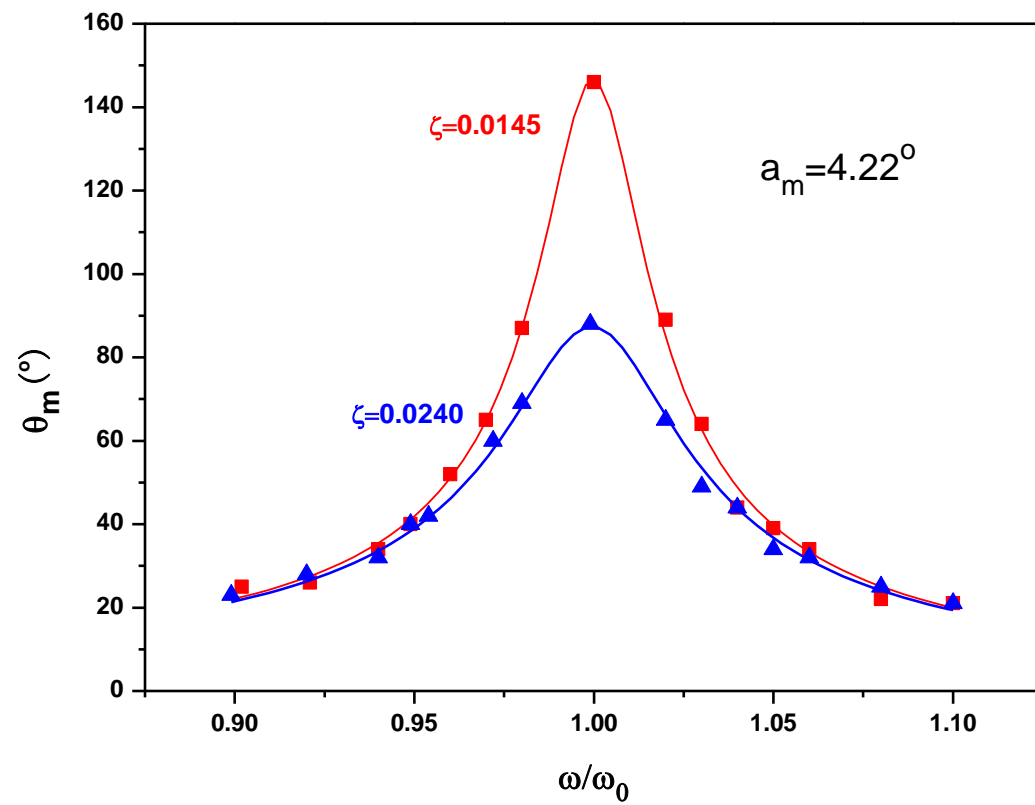


不规范图例



不规范图例
(曲线分布在所确定坐标轴3/4 ~ 4/5区间范围)

数据计算处理软件作图



受迫振动幅频特性曲线

§3-5 最小二乘法处理实验数据

- 用最小二乘法进行直线拟合优于作图法。
- 最小二乘法最佳经验公式 $y = a + bx$ 中 a 、 b 的求解：

实验数据: $(x_i, y_i, i = 1, 2 \dots n)$, 设 x 、 y 满足直线关系式: $y = f(x) = a + bx$
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**

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

即可得最佳拟合公式

解得

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

相关系数 r ：

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

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。

- 截距 a 、斜率 b 的不确定度与很多因素有关，如实验数据的多少、实验数据之间的关系与直线关系的符合程度（即相关系数）等等，计算时用到的主要公式有：

$$\frac{s_b}{b} = \sqrt{\frac{r^{-2} - 1}{n - 2}}$$

$$s_a = s_b \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n}}$$

$$\Delta_a = t \cdot s_a$$

$$\Delta_b = t \cdot s_b$$

其中 t 因子自由度为 $n-2$

1. 未估计不确定度时, a 、 b 、 r 有效位数简化按以下规则处理:

截距 a 末位至少与因变量 y_i 末位取齐

斜率 b 有效位数至少与自变量 x_i 的有效位数一致

相关系数 r 至少保留一个非9的数字

2. 其它:

许多非直线函数的拟合可以转化为直线做最小二乘法求解。

可以用计算器、计算机应用如Excel、Origin、Mathmatic、Matlab等来进行最小二乘线性拟合。

常见的可转化为线性回归的非线性关系：

$$y = c_1 e^{c_2 x} \text{ -- 两边取对数 -- } \ln y = \ln c_1 + c_2 x$$

$$y = a + bx^n \text{ -- 令 } z = x^n \text{ --- } y = a + bz$$

● a 、 b 、 r 的具体求解方法：

1. 用有二维统计功能的计算器可直接求得 a 、 b 、 r ；
2. 用计算机Excel 程序中的 intercept、slope、correl 函数也可直接求得 a 、 b 、 r ；
3. 可以根据实际情况自己编程求 a 、 b 、 r 。

❖ 举例——

用最小二乘法直线拟合 $y=a+bx$ ，对以下实验数据进行处理。

x_i	24.1	31.0	39.1	46.0	53.0	59.8	66.1	72.7
y_i	20.34	20.91	21.58	22.15	22.73	23.27	23.80	24.32

方法一：用计算器计算

方法二：数据处理软件（Excel, Origin, Matlab）

课后自学

- III-2电磁学实验基本仪器

- III-3光学实验预备知识