

# 大学物理实验绪论

理学院物理实验中心  
2021年3月  
廖飞  
E-mail: [liaofei321@126.com](mailto:liaofei321@126.com)  
廖老师课程群: 625105265(二维码如下)





## 目录


- 一、课程意义、目标及环节
- 二、测量、误差和结果表示
- 三、有效数字
- 四、实验数据处理方法

## 1.课程意义

大学物理实验是——

科学实验的先驱  
多数科学实验的**共性**,  
是各学科**科学实验的基础**,  
具有**广泛的应用性**。

**第一门**被教育部批准在高校独立开课的**实验课程**,是大学生进行科学实验基础训练的**必修课程**,是理工科学生进行基础实验训练的重要实践环节,是从事**科学实验的起步**。



## 2.课程的意义—与其他学科的关系

扫描电子显微镜

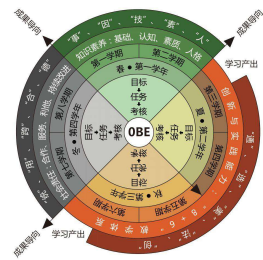
材料制备设备

量子计算机问世引发世界关注  
入选二〇二〇年国内十大科技新闻

- 1.材料: 物理测试、材料的发展、制备
- 2.化学: 光谱分析、核磁共振、激光分离同位素
- 3.生物: 各类显微镜(光学显微镜、电子显微镜、X光显微镜、原子力显微镜)、DNA测序、细胞、蛋白质以及微结构结构的分析
- 4.医学: 诊断、手术、CT、磁共振、超声等  
治疗: 放射线、激光、微波、VDT
- 5.电子: 微电子技术、半导体芯片、量子器件、人工智能
- 6.工程/机械/汽车/航空航天/力学/环境/能源/汽车

物理实验是物理学在其他学科中应用的桥梁

## 2.课程目标—OBE教学理念(Outcome based education)



最终学习成果(顶峰成果)既是OBE的终点,也是其起点。

学习成果 → 可清楚表述 + 直接或间接测评 → 绩效指标

- 1.成果/能力/目标导向型
- 2.学生为主型
- 3.反向设计课程

注重创新和**高阶综合应用能力的卓越实验教学改革**

## 3.课程目标—培养能力 培养目标

- 主动性
- 变通能力
- 创新能力
- 终身学习能力
- 时间管理能力
- 推理、思辨、解决问题的能力
- 收集、调查、实验和分析信息
- 思维能力的掌握及应用
- 综合运用知识能力及素质

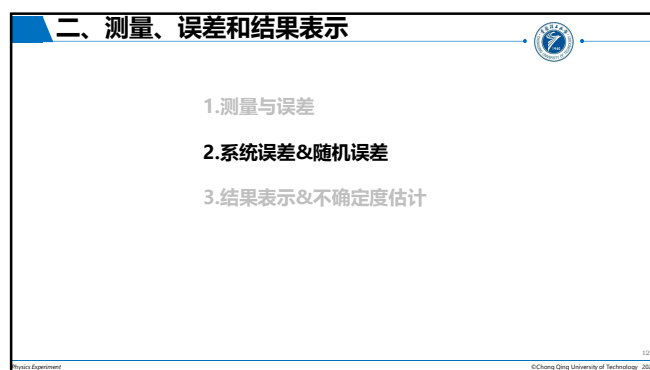
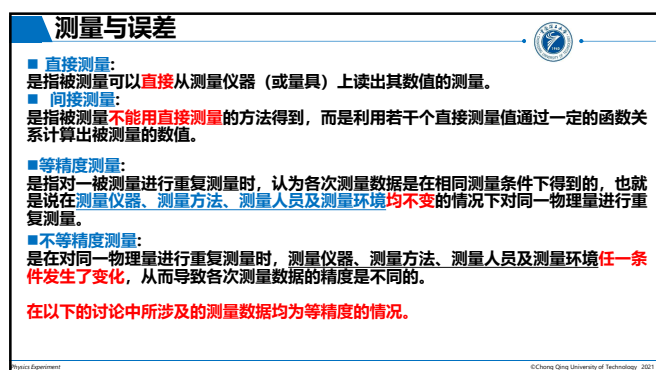
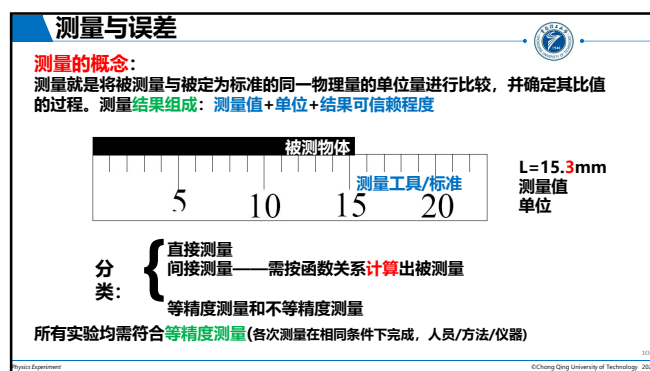
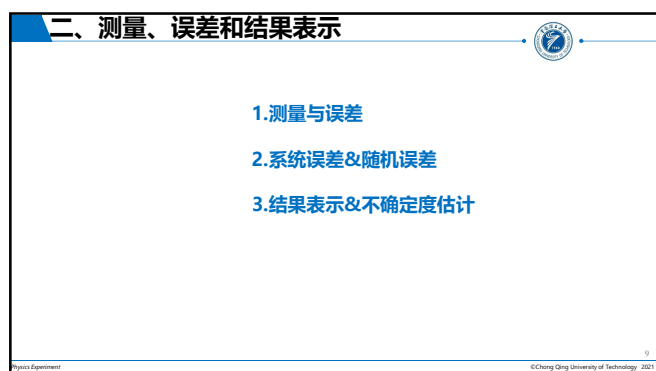
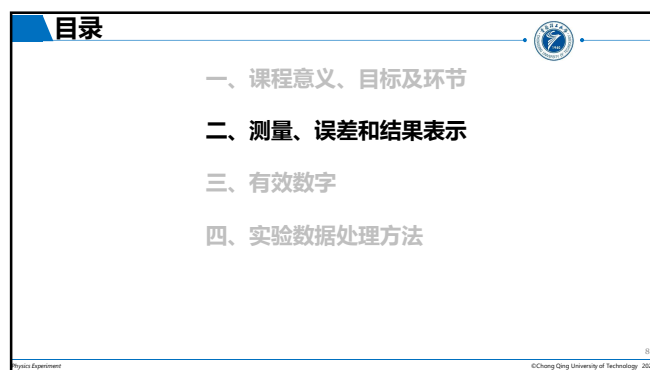
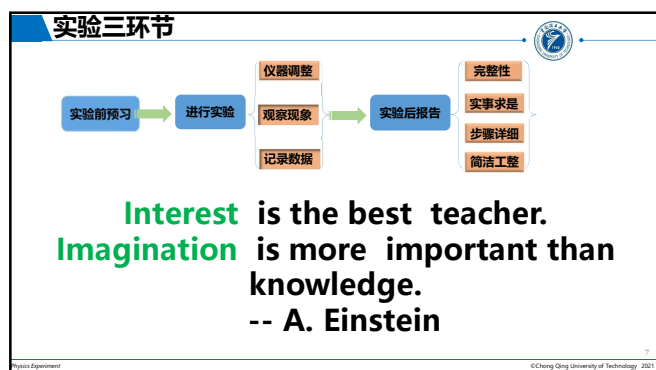
三层目标:

层次1: 学习物理学知识, 加深对物理原理的理解;


层次2: 基本实验技能, 基本实验方法;

层次3: 基本科学思维, 科学实验能力。

突出自然科学基本原理的应用



**举例**



**测量值:**  $1005\text{K } \Omega = 1.005\text{M } \Omega$   
**标称值:**  $1\text{M}\Omega/1\%$

**绝对误差:**  $\Delta x = x_i - x_0$   
**相对误差:**  $E = |\Delta x / x_0|$

**分类:**


- 系统误差
- 随机误差

**$\Delta R = 0.005\text{M } \Omega$   
 $R_E = 0.5\%$**

**测量误差:** 测量值与被测量真值之差。  
**相对误差:** 是绝对误差与真值的比值。  
**真值:** 物理量所具有的真实数值。真值尽管存在, 但是一个理想概念, 通常不可能确切知道。  
**约定真值:** 能够用来代替真值的称为约定真值。无系统误差的条件下, 算术平均值、标准值、公认值、理论值可以认为是约定的真值, 实际中多用算术平均值。

Physics Experiment ©Chong Qing University of Technology 2021

**系统误差**



**定义:** 相同条件下多次测量同一物理量时, 误差的大小恒定, 符号总偏向一方或误差按一定规律变化。  
**产生原因:** 由于测量仪器、理论、测量方法、测量人员

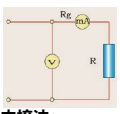
**分类:**

- 定值系统误差——须修正, 如零点误差/伏安法中电压表/电流表内阻
- 变值系统误差——估计出分布范围, 如螺纹公差 (与B类不确定度相当)

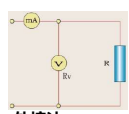
Physics Experiment ©Chong Qing University of Technology 2021

**消除已定系统误差**

**具体问题具体分析**, 使用修正法、抵消法、交换法、对称测量法等消除



**内接法:**  
 $R = U/I - R_g$

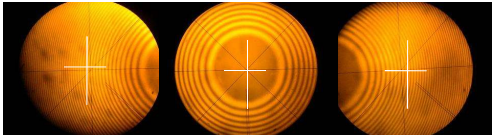


**外接法:**  
 $R = UR_V / (R_V I - U)$

Physics Experiment ©Chong Qing University of Technology 2021

**随机误差**

**定义:** 对同一量的多次测量中, 绝对值或符号变化方式不可预知的测量误差分量。  
**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。  
 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  
 操作读数时的视觉影响

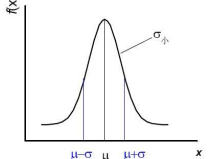


Physics Experiment ©Chong Qing University of Technology 2021

**随机误差的特点**

- (1) 有界性-绝对值非常大的误差出现的概率趋近于0
- (2) 单峰性-无穷多次测量时服从正态分布/次数少时服从t分布
- (3) 对称性-绝对值相等的误差出现概率相等
- (4) 抵偿性-误差的代数和趋向于0

**多次测量求平均值**有利消减随机误差。



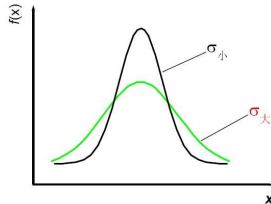
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

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

$\sigma$  为标准偏差  
 $\mu$  为真值  
 $m$  总体平均值  
 $f(x)$  为x的分布函数

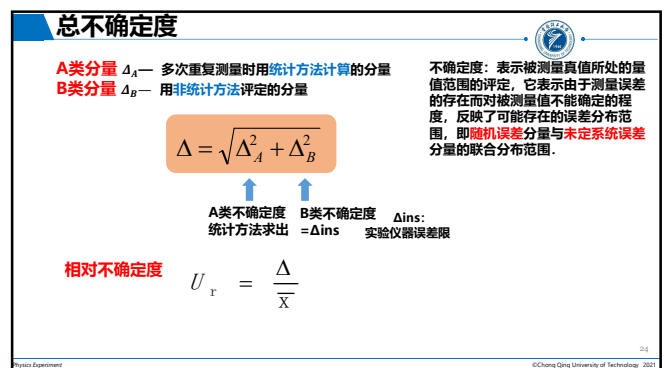
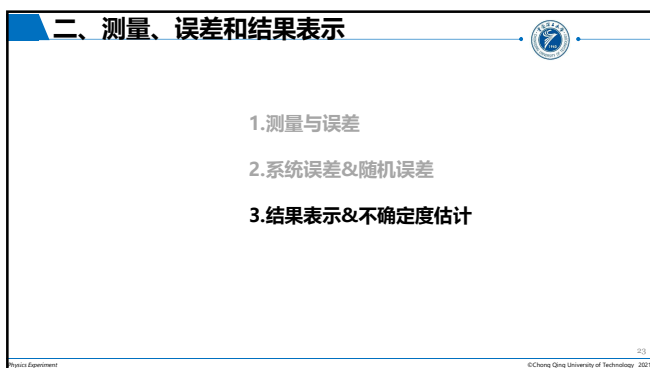
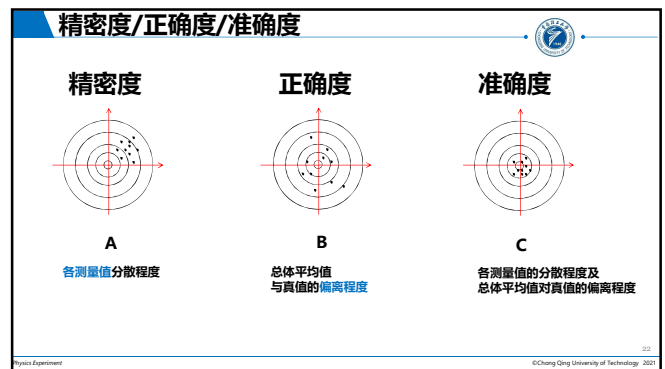
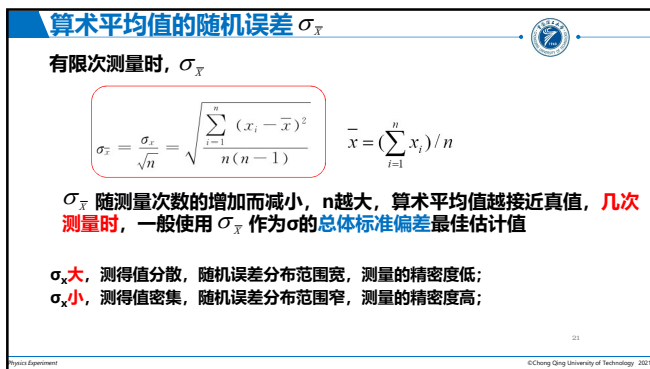
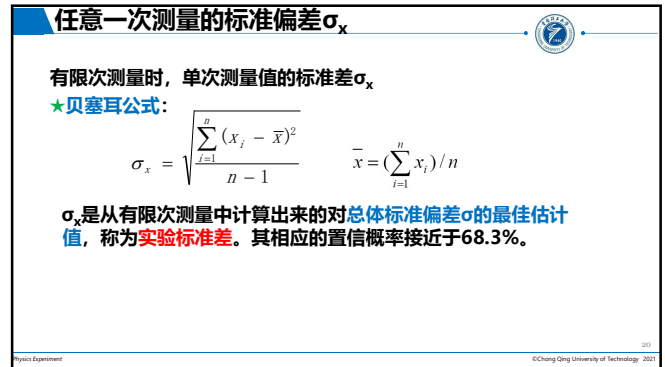
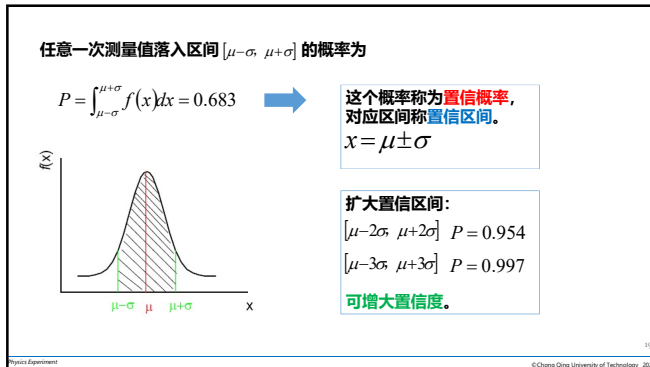
Physics Experiment ©Chong Qing University of Technology 2021

**标准差表示测量值的离散程度**



**标准差小:** 表示测得值很密集, 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。

Physics Experiment ©Chong Qing University of Technology 2021



A类分量  $\Delta_A$ 

$$\Delta_A = t_p \sigma_{\bar{x}} = t_p \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

表 1.1.1 修正因子与测量次数的关系

n	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_p$	4.3	3.18	2.78	2.57	2.45	2.36	2.31	2.26

5-10次测量时, 需乘上修正因子 $t_p$

Physics Experiment

©Chong Qing University of Technology 2021

## 测量结果表示

1. 测量结果表示为:

$$X = \bar{x} \pm \Delta (\text{单位})$$

表示被测量的真值有较大概率位于  $(\bar{x} - \Delta, \bar{x} + \Delta)$  之间

分类  $\begin{cases} \text{直接测量结果} \\ \text{间接测量结果} \end{cases}$

不确定度权威文件: Guide to the expression of Uncertainty in measurement (ISO-BIPM-1993) 国内法规: JJF1059-1999 测量不确定度评定与表示

Physics Experiment

©Chong Qing University of Technology 2021

## 直接测量结果表示

$$X = \bar{x} \pm \Delta (\text{单位})$$

1. 不考虑已定系统误差一般取等精度多次测量的平均值

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

2. 考虑已定系统误差则需要修正:

$$\bar{x} = \text{平均值} - \text{已定系统误差}$$

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

Physics Experiment

©Chong Qing University of Technology 2021

## 直接测量结果表示

例: 用螺旋测微计测量小钢球的直径, 共测6次, 得 6.995mm, 6.998mm, 6.997mm, 6.994mm, 6.993mm, 6.994mm, 测量前螺旋测微计零点读数(即已定系统误差)为-0.004mm, 螺旋测微计的示值误差限  $\Delta_{\text{ins}} = 0.004\text{mm}$ .

解: 步骤1: 求多次测量平均值

$$d_{\mp} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 d_i = 6.995\text{mm}$$

步骤2: 对已定系统误差进行修正:

$$\bar{d} = d_{\mp} - (-0.004) = 6.999\text{mm}$$

步骤3: 平均值的标准偏差

$$\sigma_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{6(6-1)}} = 0.00078\text{mm}$$

Physics Experiment

©Chong Qing University of Technology 2021

## 直接测量结果表示

步骤4: 求A类和B类分量:

由于测量次数为6, 查表得  $t_p = 2.57$

$$\Delta_A = t_p \sigma_{\bar{d}} = 0.0021\text{mm}$$

$$\text{取 } \Delta_B = \Delta_{\text{ins}} = 0.004\text{mm}$$

步骤5: 总不确定度  $\Delta = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} = 0.0045\text{mm}$  ?

步骤6: 表示测量结果  $D = (6.999 \pm 0.005)\text{mm}$

$$E = \frac{0.0045}{6.999} \times 100\% = 0.006\%$$

Physics Experiment

©Chong Qing University of Technology 2021

## 间接测量结果表示

间接被测量的函数关系:

$$\varphi = f(x, y, z, q \dots)$$

间接被测量的最佳估计

$$\bar{\varphi} = f(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}, \bar{q} \dots)$$

间接测量的不确定度:

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

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

Physics Experiment

©Chong Qing University of Technology 2021

**例：**用流体静力法测固体密度的公式为  $\rho = \frac{m}{m-m_1} \rho_0$  测得

$$m = (27.06 \pm 0.02) \text{g} \quad m_1 = (17.03 \pm 0.02) \text{g} \quad \rho_0 = (0.9997 \pm 0.0003) \text{g/cm}^3$$

求相对不确定度  $U_\rho = \frac{\Delta_\rho}{\rho}$ ，及最后结果表达式  $\rho \pm \Delta_\rho$

**解：**(1) 求该间接测量的不确定度 由  $\rho = \frac{m}{m-m_1} \rho_0$

可得：

$$\Delta_\rho = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho}{\partial m}\right)^2 \Delta_m^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial m_1}\right)^2 \Delta_{m_1}^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial \rho_0}\right)^2 \Delta_{\rho_0}^2 + \dots}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial m} \Delta_m = \frac{-m}{(m-m_1)^2} \rho_0 \Delta_m = -3.4 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial m_1} \Delta_{m_1} = \frac{m}{(m-m_1)^2} \rho_0 \Delta_{m_1} = 5.4 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial \rho_0} \Delta_{\rho_0} = \frac{m}{m-m_1} \Delta_{\rho_0} = 8.1 \times 10^{-4} \text{g/cm}^3$$

所以：

$$\Delta_\rho = 6.4 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3 \approx 7 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$$

(2) 求最佳估计值

$$\bar{\rho} = \frac{27.06}{27.06 - 17.03} \times 0.9997 = 2.697 \text{g/cm}^3$$

**解续：**

(3) 测量结果表示为：

$$\rho = \bar{\rho} \pm \Delta_\rho = (2.697 \pm 0.007) \text{g/cm}^3$$

(4) 相对不确定度：

$$U_\rho = \frac{\Delta_\rho}{\bar{\rho}} = \frac{6.4 \times 10^{-3}}{2.697} = 0.24\%$$

**解法2**见书P13页，使用方和根合成公式

$$U_\rho = \frac{\Delta_\rho}{\bar{\rho}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln \rho}{\partial m}\right)^2 \Delta_m^2 + \left(\frac{\partial \ln \rho}{\partial m_1}\right)^2 \Delta_{m_1}^2 + \left(\frac{\partial \ln \rho}{\partial \rho_0}\right)^2 \Delta_{\rho_0}^2}$$

$$= \sqrt{\frac{m_1^2 \Delta_m^2}{m^2 (m-m_1)^2} + \frac{\Delta_{m_1}^2}{(m-m_1)^2} + \frac{\Delta_{\rho_0}^2}{\rho_0^2}}$$

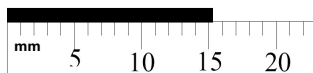
## 目录

- 一、课程意义、目标及环节
- 二、测量、误差和结果表示
- 三、有效数字
- 四、实验数据处理方法

## 三、有效数字

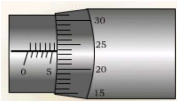
- 1.有效数字的确定
- 2.有效数字的运算
- 3.有效数字的取舍法则

### 有效数字的确定



$$L = 15.3 \text{mm}$$

组成：可靠数字 + 可疑数字 → 估读得到 —— 存在误差



$$D = 5.737$$

科学计数法：

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

### 有效数字的确定

数显表/标度盘的仪表 **直接读取示数**



1032.0Ω



199.9

### 有效数字的运算

**加减：**  

$$\begin{array}{r} 4.178 \\ + 21.3 \\ \hline 25.478 = 25.5 \end{array}$$
 与诸数中小数点后位数最少的一个相同

**乘除：**  

$$\begin{array}{r} 4.178 \\ \times 10.1 \\ \hline 4178 \\ 421978 = 42.2 \end{array}$$
 与诸因子中有效数字最少的一个相同

■ 准确数不适用有效数字的运算规则

Physics Experiment ©Chong Qing University of Technology 2021

### 有效数字的取舍法则(难点易错点)

■ 4舍6入5凑偶——最佳估计值  
 ■ 只进不舍——不确定度

**凑偶：**  
 $2.435 \rightarrow 2.44$   
 $2.465 \rightarrow 2.46$

$\Delta = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} = 0.0045mm$  ?  
 $D = (6.999 \pm 0.005)mm$  ?

$\Delta_p = 6.4 \times 10^{-3} g/cm^3 \approx 10^{-2} g/cm^3$  ?

■ 在测量结果表示里的有效数字，不确定度→最佳估计值  
 ■ 不确定度一般取1-2位

Physics Experiment ©Chong Qing University of Technology 2021

### 目录

- 一、课程意义、目标及环节
- 二、测量、误差和结果表示
- 三、有效数字
- 四、实验数据处理方法

Physics Experiment ©Chong Qing University of Technology 2021

### 常用数据处理方法

- 1.列表法
- 2.作图法
- 3.逐差法

每种方法的要点和注意事项见书p14-16

Physics Experiment ©Chong Qing University of Technology 2021

### 作图法处理实验数据

- 1.选择合适的坐标值 **取坐标**
- 2.标明坐标轴
- 3.标明实验数据点 **标示数据点**
- 4.用圆滑线连接数据点 **图片分析**
- 5.标出图线特征
- 6.标注图名
- 7.分析数据

作者: XX

Physics Experiment ©Chong Qing University of Technology 2021

### 作图法处理实验数据

U(V)	0.80	1.20	1.60	2.00	2.40	2.80
I(uA)	68.00	85.00	110.00	140.00	175.00	198.00

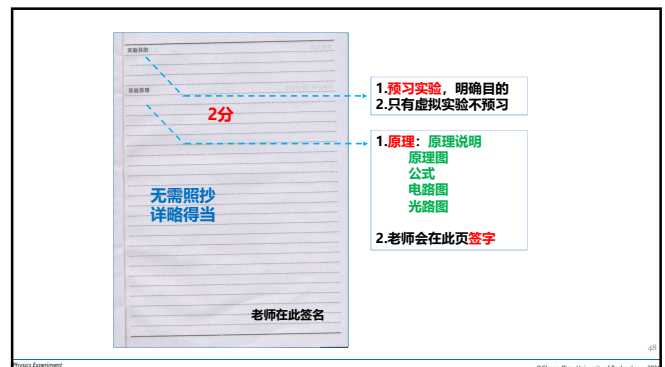
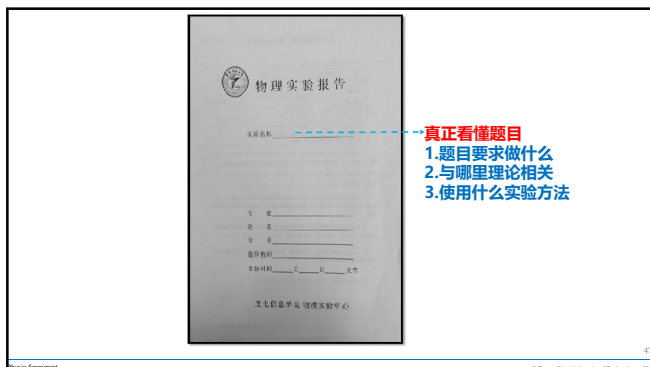
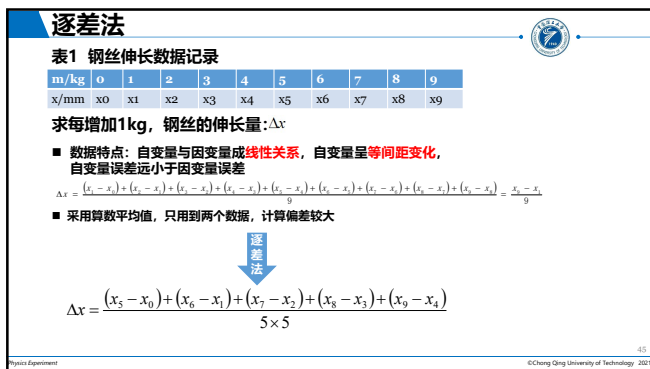
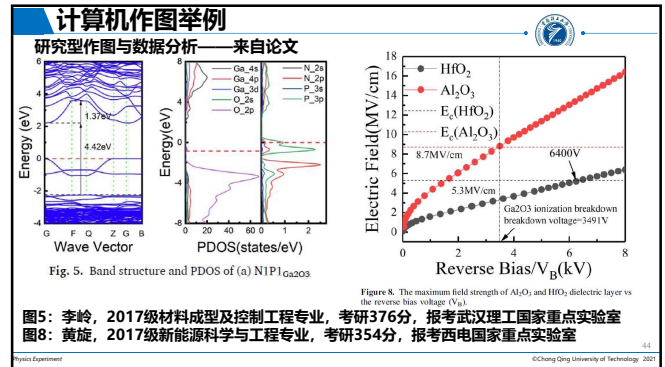
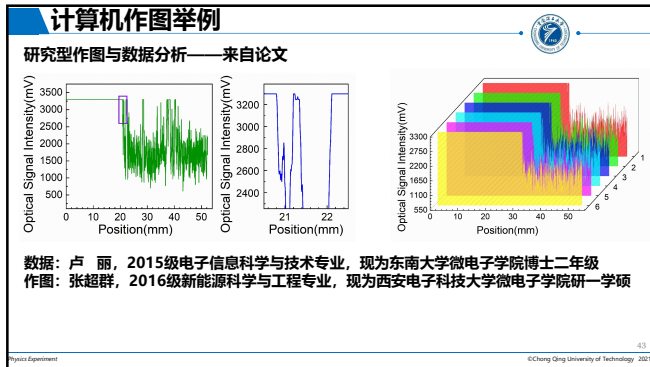
1.数据列表

2.作图  
 确定坐标轴  
 确定坐标值  
 设置图表元素

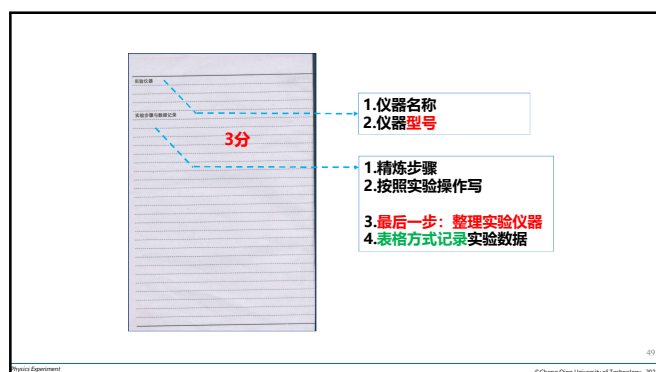
3.结果计算

电阻计算:  $R = (1/67.857) * 1e6 = 14736$   
 相对误差计算 =  $736/14000 * 100\% = 5.23\%$

Physics Experiment ©Chong Qing University of Technology 2021





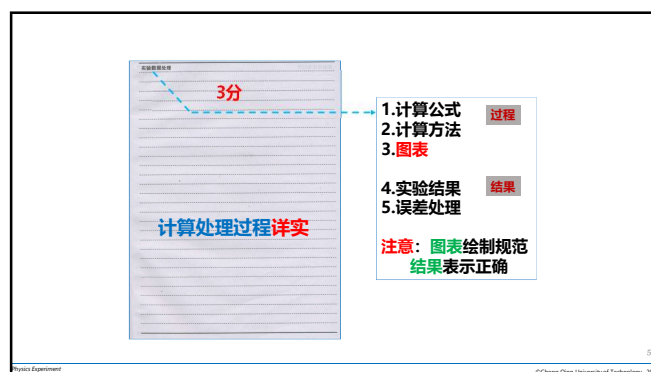


3分

- 1. 仪器名称
- 2. 仪器型号

- 1. 精炼步骤
- 2. 按照实验操作写
- 3. 最后一步：整理实验仪器
- 4. 表格方式记录实验数据

Physics Experiment ©Chongqing University of Technology 2021 53



3分

- 1. 计算公式
- 2. 计算方法
- 3. 图表
- 4. 实验结果
- 5. 误差处理

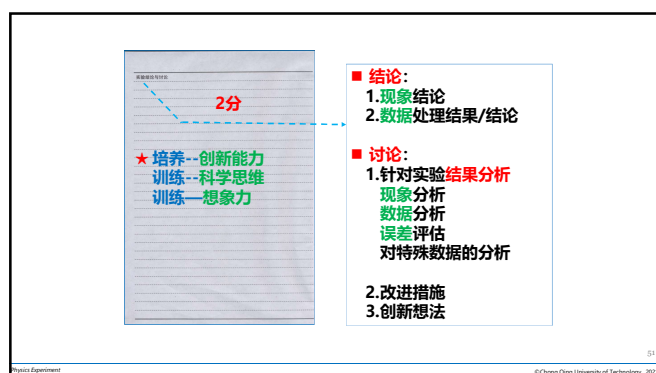
过程

结果

计算处理过程详实

注意：图表绘制规范  
结果表示正确

Physics Experiment ©Chongqing University of Technology 2021 54

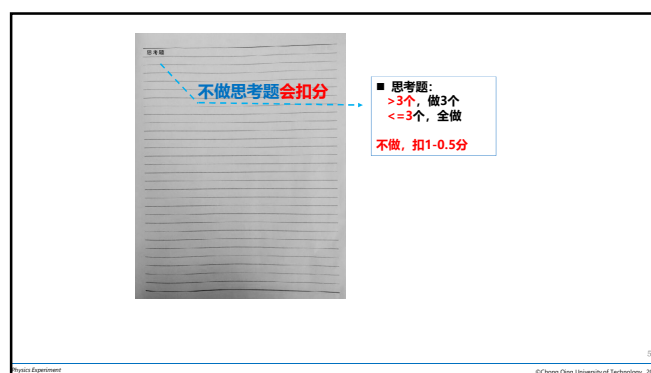


2分

★ 培养--创新能力  
训练--科学思维  
训练--想象力

- 结论：
  1. 现象结论
  2. 数据处理结果/结论
- 讨论：
  1. 针对实验结果分析
    - 现象分析
    - 数据分析
    - 误差评估
    - 对特殊数据的分析
  2. 改进措施
  3. 创新想法

Physics Experiment ©Chongqing University of Technology 2021 55

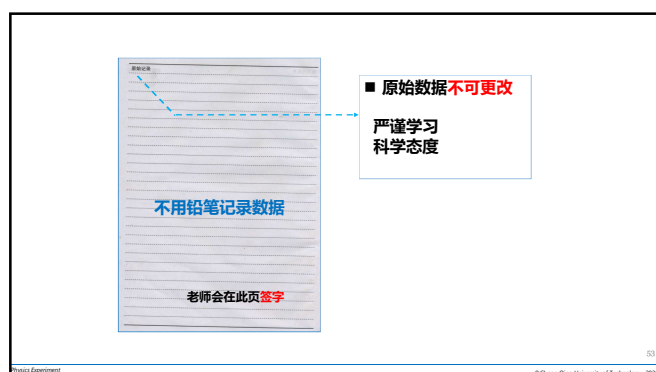


不做思考题会扣分

- 思考题：
  - >3个，做3个
  - <=3个，全做

不做，扣1-0.5分

Physics Experiment ©Chongqing University of Technology 2021 56



不用铅笔记录数据

老师会在此页签字

- 原始数据不可更改
- 严谨学习  
科学态度

Physics Experiment ©Chongqing University of Technology 2021 57



重理工物理实验  
微信公众号

Physics Experiment ©Chongqing University of Technology 2021 58

## 教学规范

1. **微信公众号**——通知发布，教学资源，**误差习题**
2. **选课**——**微信公众号**->**教务系统**->**开放选课**
3. **账号密码**每学期开始会更新重置，一定要**及时修改**密码
4. **报告册**——**崇文楼513以班级为单位**领取
5. **交报告册地方**——**崇文楼513旁报告柜子**
6. **课程规范说明**——查看**微信公众号**




两江报告柜-崇文楼513旁楼梯间

花溪报告柜-第一实验楼C401旁楼梯间

Physics Experiment ©Chong Qing University of Technology 2021

## 教学规范

物理实验第一课.mp4  
微信公众号-教学规范

Physics Experiment ©Chong Qing University of Technology 2021

## 教学规范

### 一、实验内容

课程	实验项目数	
	春季学期	秋季学期
《大学物理实验 (I) 》	6	6
《大学物理实验 (II) 》	6	6
大学物理实验 (国际学院)	8	8
大学物理实验 (应用技术学院)	11	0

注意2课时实验上课时间  
星期2、3、4晚上和周五

具体内容以每学期选课系统中公布为准。每个同学必须选完所有实验内容，少选者该实验记为零分。

### 二、实验报告评分细则：

1. **测量误差作业评分细则**（直接测量和间接测量各一道题，各5分，总分10分，可打0.5分）
  - (1) **计算步骤及卷面：1分。**
  - (2) **计算公式：2分。**
  - (3) **计算结果、有效数字及单位：2分。**
2. **其它实验报告评分细则**（总分10分，可打0.5分）

Physics Experiment ©Chong Qing University of Technology 2021

## 教学规范

物理实验报告评分细则（总分10分）		
栏目	分值	备注
实验目的	0.5	实验目的
实验原理	1.5	主要公式、原理图及必要的文字说明
实验仪器	1	仪器的型号、名称、数量
实验步骤与数据记录	2	数据表格须全部填写完整
数据处理	3	实验结果、误差的计算过程；涉及作图者可粘贴于此
实验结论	1	对实验结果的总结
实验讨论	1	对实验结果的误差分析及对实验本身认识看法
思考题		视完成情况在已得分基础上扣，最多扣1分

Physics Experiment ©Chong Qing University of Technology 2021

### 三、总成绩构成：


物理实验总分100分，为所完成实验内容平均分乘以10得到。

### 四、考勤及纪律（在实验报告成绩基础上进行扣分）

1. 学生最迟在上课前一天在选课系统上选择要上的实验项目和实验时间，并在上课前做好预习（要求在做实验前完成实验报告上的名称、目的和原理部分），未完成预习作业者当次实验成绩扣2分。学生也可最迟提前一天在选课系统内更改所选实验内容的时间、教师。
2. 每次实验课均需携带校园一卡通，迟到扣1分；15分钟以内，超过为旷课，旷课者该次实验成绩在期末计算时自动记为0分。（旷课次数超过应完成实验项目数三分之一者课程总成绩记为不及格）
3. 不遵守课堂纪律（含消洁卫生）或影响他人实验情节严重者，本次实验成绩可记0分；野蛮操作造成仪器设备损坏、损坏者，本次实验成绩可记0分，并按规定赔偿。
4. 实验数据经指导教师检查合格后，学生应回到座位完成实验报告相关内容，待实验课结束时整理好仪器后方可离开实验室。
5. 早退（含实验数据未签字者），提交实验报告者报告成绩记为0分。
6. 报告本应在实验完成后三个工作日之内上交，迟时记为0分；第六个工作日后可在网上查成绩，对实验成绩有疑问的同学可在选课系统中师生交流栏目中向指导教师提出或到实验中心办公室（两江校区：崇文楼513，电话：62865128；花溪校区：第一实验楼C-401，电话：62865279）咨询。
7. 实验完成后应及时（2天内）在选课系统中对指导教师进行实时评教，如不评教将无法查询当次实验成绩，但不影响实验成绩本身。
8. 上课期间应随时注意选课系统中物理实验中心所发通知。

**1.选课-退课**  
**2.预习**  
**3.旷课**  
**4.带一卡通**  
**5.3个工作日内交报告**  
**6.评教**  
**7.报告册一以班为单位**

关注微信信号动态  
演示选课系统使用



付出=收获?

**收获在于努力的程度!**

Physics Experiment ©Chong Qing University of Technology 2021

## 教学规范



**收获在于努力的程度!**

Physics Experiment ©Chong Qing University of Technology 2021