

# 物理实验数据处理 的基本方法

物理实验教学中心

大连海洋大学

一、测量

二、有效数字

三、误差的分类

四、不确定度与结果表示

五、常用数据处理方法

# 一、测量

测量：以确定被测对象为目的的全部操作。

分类：

- 直接测量：指被测量与仪器直接比较，得到被测量值的测量
- 间接测量：由直接测量值经函数关系计算出被测量值的测量



## 二、有效数字

◆有效数字定义：测量结果中，准确数字和最后一位存疑数字统称有效数字。

如：

用最小单位是mm 的尺子测量物体的长度，可得到12.6mm 的结果，其中12 是准确数字，6 是估计数字，这个结果的有效位数为3，显然有效数字的位数和被测量量的大小及仪器有关。

## 注意事项:

- 在十进制中，有效数字的位数与小数点的位置无关、与单位变换无关。

如： $210\text{ m} = 210 \times 10^3\text{ mm} = 2.10 \times 10^5\text{ mm}$ ;

- “0”在第一个非0 数字前不是有效数字，在第一个非0 数字后面均为有效数字；
- 科学计数法：把数据写成小数点前只留一位非零位，后再乘以10 的方幂形式。为了方便表示较大数或特小数的数值，常用科学记数法表示，转换过程中有效位数不变；如： $0.0003050 = 3.050 \times 10^{-4}$ ;
- 自然数和常数的有效位数应为无穷多位（因为它们不是测量值）如：“4”，“ $\pi$ ”等。在参与有效数字运算时一般多取一位。

## ◆有效数字的运算法则:

- 有效数字的舍入规则: 四舍六入五凑偶。即:  $>5$  入;  $<5$  舍;  $=5$  尾数凑偶。

例: 将下列各数修约为 3 位有效数字。

4. 61729, 5. 1250, 6. 175002, 3. 14159

答案: 4. 62, 5. 12, 6. 38, 3. 14

- 加减法——参与运算的数据尾数对齐。

$$2.34 + 1.1012 = 2.34 + 1.10 = 3.44,$$

$$\text{或者 } 2.34 + 1.1012 = 3.4412 = 3.44$$

- 乘除法——参与运算的数据位数对齐。

$$\frac{3.37 \times 2.0001}{1.1} = \frac{3.4 \times 2.0}{1.1} = 6.2$$

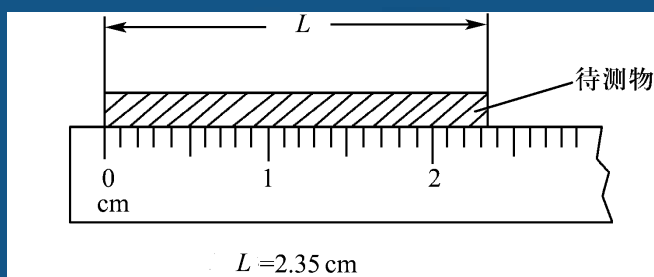
- 乘方与开方——与底数的有效数字相同。

$$20^2 = 4.0 \times 10^2, \sqrt{400} = 20.0$$

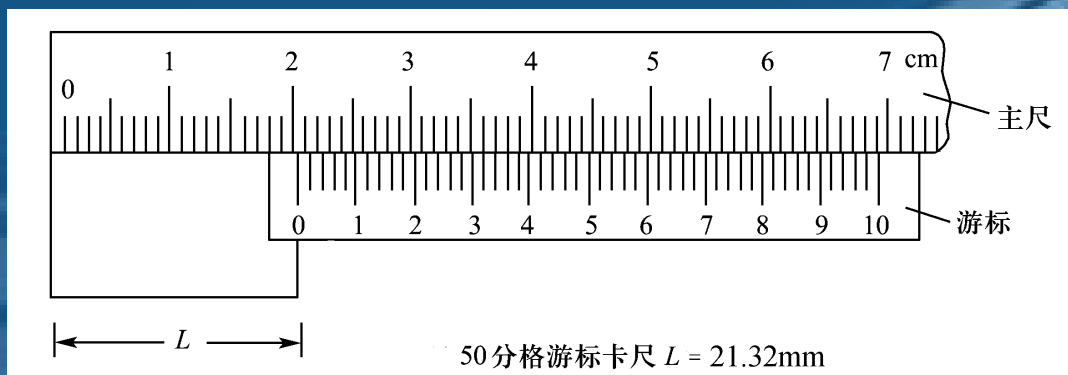
- 平均值比参与运算的数据多取一位。

## ◆有效数字的读取:

- 一般分度式仪表: 应读到最小分度以下再估读一位; 一般估读到分度的十分之一, 分度较窄时, 可读至五分之一或二分之一;



- 游标类量具: 只读到游标分度值, 不需估读;



- 数字式仪表和步进读数仪器 (如电阻箱、电桥、电位差计、数字电压表等): 不需进行估读, 一般应直接读取仪表的示值;



## 三、误差的分类

◆误差定义：测量结果与待测量的真值之差。

绝对误差 = 测量结果 - 被测量的真值

相对误差 = (测量的绝对误差 / 被测量的真值) × 100%

◆误差的分类：系统误差、随即误差、过失误差



## • 系统误差：

- 1) 定义：指在同一被测量的多次测量过程中保持恒定或以可预见方式变化的测量误差。
- 2) 特征：确定性、规律性。
- 3) 来源：
  - a. 仪器缺陷或没有正确使用仪器。如：秒表偏快，测得时间总是偏大，而且总是偏大一个固定的量。再如：表盘刻度不均匀、天平的两臂不等。这都是仪器缺陷造成的。
  - b. 实验装置或实验方法没有完全满足理论上的要求。如：用落球法测量重力加速度时，由于空气阻力的影响，得到的结果总是偏小，这就是测量方法不完善造成的。
  - c. 测量者生理或心理特点。如：反应速度、读数习惯等。

#### 4) 系统误差的处理:

- a. 修正: 计算出系统误差的值, 对测量结果修正; 或在计算公式中加上修正项去除该系统误差。
- b. 减小: 在设计实验方案时, 适当选择条件, 减小系统误差的影响。
- c. 抵消: 在两次测量中, 使系统误差的大小相等而符号相反, 通过平均去抵消。

#### 5) 实验中, 通常取仪器误差为系统误差。仪器误差获取的一般原则:

- a. 仪器使用说明书中, 直接给出仪器误差或给出计算公式。
- b. 其它方法:

分度式仪器 (连续度数仪器) 取最小分度的  $1/2$  做仪器误差:

$$\Delta_{ins} = \text{最小分度值} / 2$$

游标类、数显仪器 (非连续度数仪器) 取最小分度做仪器误差:

$$\Delta_{ins} = \text{最小分度值}$$

指针式电压、电流表等依据表等级和实际使用量程, 由下式计算:

$$\Delta_{ins} = \text{量程} \times \text{级别} \times 100\%$$

## • 随机误差：

- 1) 定义：在相同的测量条件下，多次测量同一物理量时，误差的绝对值和符号以不可预知的方式变化的误差。
- 2) 特征：单个具有随机性，而总体服从统计规律。
- 3) 来源：

实验中影响测量因素的微小变化。如：实验装置和测量机构在各次调整操作上的变动性，测量仪器指示数值的变动性，以及观测者在判断和估计读数上的变动性；……这些因素的共同影响就使测量结果围绕着测量的平均值发生涨落变化。

4) 随机误差的处理：由于随机误差单个具有随机性，但总体服从一定的统计规律。当测量次数较大时（大于10），服从正态分布（也称高斯分布）由概率统计知识可证明，随机误差可以用标准偏差（即贝塞尔公式）来进行估算：

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

## • 过失误差：

- 1) 定义：又称粗大误差,是指由于外界干扰、操作读数失误等原因而明显超出规定条件下的预期值。
- 2) 特征：出现高度显著的异常值。
- 3) 处理方法：剔除已被谨慎定为异常值的个别数据。



## 四、不确定度与结果表示

不确定度的定义：由于测量误差的存在而对被测量值不能肯定的程度，是对被测量的真值所处的量值范围的评定。

不确定度结果表示的意义：表示完整的测量结果，应给出被测量的量值 $x_0$ ，同时标出测量的总不确定度 $\Delta$ ，写成 $x_0 \pm \Delta$ 的形式，这表示被测量的真值在 $(x_0 - \Delta, x_0 + \Delta)$ 的范围之外的可能性(或概率)很小。

## ◆不确定度的分类及合成

不确定度A类分量：用统计方法获得的不确定度分量。对于一个多次测量，A类分量可采用贝塞尔公式获得：

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

不确定度B类分量：B类分量常用估计方法得出。

$$\Delta_B \approx \Delta_{ins}$$

不确定度合成：总不确定度：

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

## ◆ 间接测量量的不确定度

直接测量结果的不确定度必然影响到间接测量结果，这种影响的大小也可以由相应的数学式计算出来。设间接测量所用的数学式可以表示为如下的函数形式： $\varphi = F(x, y, z, \dots)$

$\varphi$  是间接测量结果； $x, y, z, \dots$  是直接测量结果，它们都是互相独立的量。设  $x, y, z, \dots$  的不确定度分别为  $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \dots$ ，则  $\varphi$  值相应的不确定度  $\Delta \varphi$ ：

适用于和差形式的函数：

$$\Delta \varphi = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 \Delta x^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2 \Delta y^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)^2 \Delta z^2 + \dots}$$

适用于积商形式的函数：

$$\Delta \varphi = \varphi \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial \ln F}{\partial x}\right)^2 \Delta x^2 + \left(\frac{\partial \ln F}{\partial y}\right)^2 \Delta y^2 + \left(\frac{\partial \ln F}{\partial z}\right)^2 \Delta z^2 + \dots}$$

## ◆ 测量结果的表示

• 测量结果表示： $x = \bar{x} \pm \Delta_{\bar{x}}$  (单位)

注：1) 不确定度一般取1~2位有效数字；

2) 表示测量值最后结果的有效数字位数与不确定度尾数要对齐。

• 含义：设 $x_0$ 为被测量真值； $\rho$ 为置信概率； $\Delta$ 为总不确定度，区间 $(x_0 - \Delta, x_0 + \Delta)$ 内包含被测量 $x$ 的真值的可能性有 $\rho$ ，标示着测量结果的可靠程度。如果不确定度越大，则测量结果的可靠性差，应用价值低，反之，则测量结果的可靠性好，应用价值大。





# 五、常用数据处理方法

- ◆列表法
- ◆作图法
- ◆线性内插法和线性外推法
- ◆逐差法
- ◆最小二乘法与线性回归

