基础物理实验A(1)

绪论课

§1 课程基础知识

§2 学生须知

§3 课程目标

§1 课程基础知识

实验数据分析与不确定度评定基础

一、测量误差分析

二、不确定度概念及评定初步

三、实验数据有效位数的确定

四、数据的直线拟合与最小二乘法

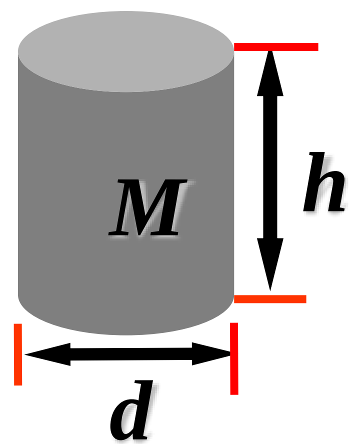
五、图示法处理数据

一、测量误差分析

直接测量：无需对被测量与其它实测量进行函数关系的辅助计算，就可**直接得到被测量的值**。

直尺～长度
钟表～时间
天平～质量
安培表～电流

间接测量——**利用**直接测量的量与被测量之间的**函数关系**，通过计算得到被测量的值。



$$\rho=\frac{M}{V}=\frac{4M}{\pi d^{2}h}$$

直接测量

间接测量

任何测量都可能存在误差

普遍性

1. 误差的定义、分类

误差＝测得值－被测量的(约定)真值

$$\boxed{\mathrm{d}y = y - Y_t}$$

误差
- 系统误差
  - 已定系统误差
  - 未定系统误差
- 随机误差

粗大误差——读数错误、操作失当等原因造成，明显超出规定条件下预期值，应避免。

统计离群值

已被谨慎确定为含有粗大误差的数据要剔除。

2. 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。

✓ **举例**：指针式电表的零位误差，电表分度或磁场分布不匀…

✓ **分类及处理**：

①已定系统误差：必须修正

符号和绝对值都知道

电表、螺旋测微计的零位误差；

伏安法测电阻电流表内接、外接由于忽略表内阻引起的误差。

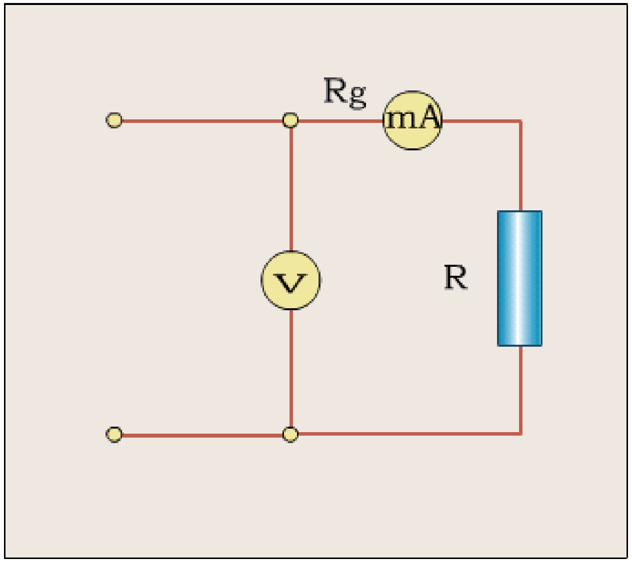
②未定系统误差：要估计出分布范围

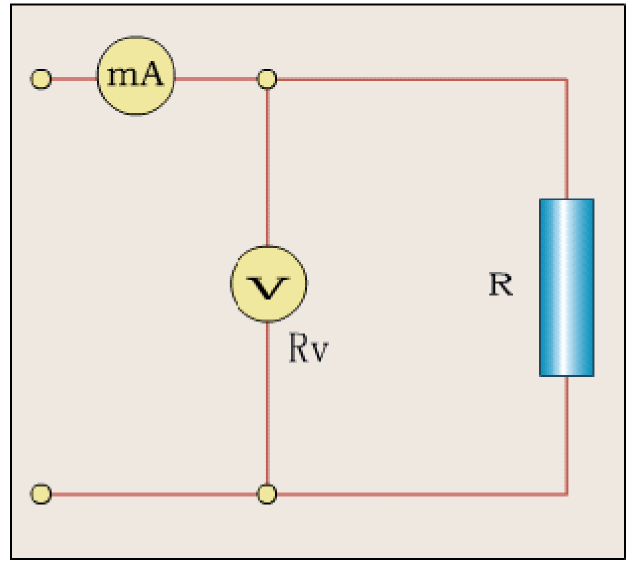
（大致与 下文B 类不确定度U_B相当）

对于不同测量条件、不同被测量值或不同时段等，在一定意义上具有随机性。

符号和绝对值都未确定，但能估计其极限值或者分布特征值。

已定系统误差的修正





内接法

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

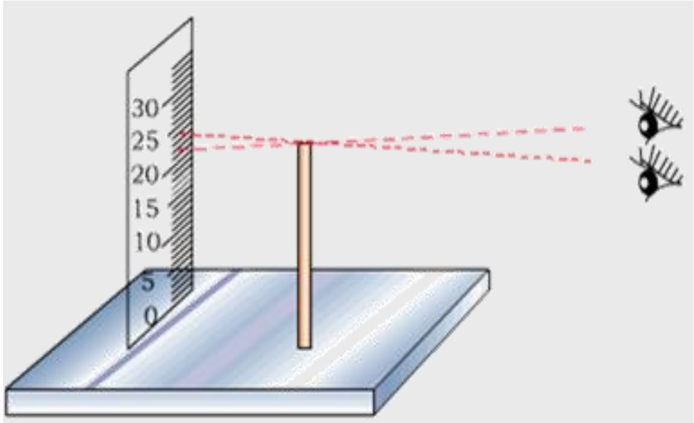
外接法

$$R^{-1} = \frac{I}{V} - R_V^{-1}$$

3. 随机误差

定义：在对同同一稳定被测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。



举例：电表轴承的摩擦力矩和其它阻尼力矩的变动、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。

随机误差的大小和符号虽然不知，但在相同条件下对同一稳定被测量的多次重复测量中，分布常常具有一定的统计规律。

多数情况下，正方向误差和负方向误差出现的次数大体相等，即具有抵偿性。

随机误差的处理

多次测得值的算术平均值作被测量的估值，能减小随机误差的影响。

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

用实验标准偏差 s 表征由随机误差引起的测得值y_i的分散性

贝塞耳公式

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

推导：教程P41

s大，表示测得值分散，随机误差的分布范围宽，精密度低；

s小，表示测得值密集，随机误差的分布范围窄，精密度高。

概念辨析

随机误差和未定系统误差

- ✓ 未定系差：对于不同测量条件、不同被测量值或不同时段等，在一定意义上具有随机性。
- ✓ 随机误差：在对同一稳定被测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。

误差的随机性，包括随机误差的随机变量特性和未定系差的某种“随机性”，

是不确定度方和根合成法的基础。

随机误差的影响一般是芝麻，

(未定)系差的影响一般是西瓜。

二、不确定度概念及评定初步

测量误差普遍存在，一般因真值未知而不能计算。但我们依据物理测量的特点以及统计学知识可分析评定被测量所处的量值范围。即可进行不确定度的评定。

不确定度：表示由于测量误差的存在而对

被测量值 不能确定的程度。

有“标准不确定度”和“扩展不确定度”两类合成方法。

本课程：采用扩展不确定度，简称不确定度(报告不确定度) 。

通俗理解就是高置信概率的误差限(的绝对值)。

不确定度的深入讨论涉及计量学、统计学以及对物理测量的深入研究，本课程基本要求：理解概念并会用相关的计算公式。

完整的测量结果表示

$$\boxed{Y = y \pm U}$$

表示被测对象的真值落在（y-U，y+U)范围内的概率很大。

U：不确定度，其取值与一定的置信概率相联系。

$U_r = \dfrac{U}{y}$ ：相对不确定度

举例：电阻测量测量结果

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

测量对象　测量对象的最佳估值　测量的不确定度　测量值的单位

1. 直接测量结果的不确定度评定

$$Y = y \pm U$$

两类不确定度

A类分量U_A：多次测量用**统计学方法**计算出来的分量；

B类分量U_B：用其它方法（**非统计方法**）评定的分量。

不确定度U与U_A、U_B?

方和根方法合成

$$U = \sqrt{U_A{}^2 + \sum_j (U_{jB})^2}$$

本课程B类分量通常只考虑一项U_B，其大小由实验室近似给出。在许多测量中，近似取仪器的**误差限值**Δ_{INS}。

$$U_B \approx \Delta_{INS}$$

A类分量评定

$$U=\sqrt{U_A{}^2+U_B{}^2}$$

$$Y=y\pm U$$

$$U_B\approx\Delta_{INS}$$

在相同条件下对同一被测量作n次测量，用n次测量值的平均值作为实验结果(最佳估值)。

其A类分量U_A的计算公式为

$$\boxed{U_A=t_{p,\nu}\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

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

$t_{P,v}$是与自由度v、置信概率P有关的量，称t因子。

对被测量进行等精度多次直接测量时$v=n-1$

$t_{P,v}$是与自由度v、置信概率P有关的量，t因子的由来及对应的置信概率P 问题：见教程P38。

单次测量的不确定度

忽略A类分量

$$\boxed{U\approx U_B\approx\Delta_{INS}}$$

*t*因子　与置信水平和测量次数二者相关

Excel有现成的函数得出[=tinv(1-p,ν)]

置信概率为*p*=0.95的*t*因子近似计算公式

$$\boxed{t_{0.95,\nu} \approx 1.959 + \frac{2.406}{\nu - 1.064} \quad (\nu \geq 3)}$$

本课程，不加说明：置信概率*p*=0.95

直接测量量不确定度评定举例

用螺旋测微计测某一钢丝的直径d(为求截面积)，6次测量值y_i分别为：0.249, 0.243, 0.247, 0.250, 0.253, 0.250；已知测微计的零位(零点)读数值(已定系差)：0.003，误差限：Δ_{INS}=0.004。请给出完整的测量结果。(单位：mm)

A) 求平均值 $\bar{y} = \frac{1}{6}\sum_{i=1}^{6} y_i \approx 0.248667\ \text{mm}$

B) 对已定系差进行修正(最佳估值) $y = \bar{y} - 0.003 = 0.245667\ \text{mm}$

C)用贝塞耳法求出标准偏差 $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{6}(y_i - \bar{y})^2}{6-1}} \approx 0.00338625\ \text{mm}$

D) 计算得 $t_{0.95,5} = 2.57$

E) 两类分量 $U_A = \frac{2.57}{\sqrt{6}} \times 0.00338625 \approx 0.0035528\ \text{mm}$ $U_B \approx \Delta_{INS} = 0.004\ \text{mm}$

F) 求(总)不确定度 $U = \sqrt{U_A{}^2 + U_B{}^2} \approx \sqrt{U_A{}^2 + \Delta_{INS}{}^2} \approx 0.00535\ \text{mm}$

G) 直径的测量结果 $d = (0.246 \pm 0.005)\ \text{mm}$ 方和根方法合成

“不确定度”之含义

用螺旋测微计测某一钢丝的直径d，6次测量值y_i分别为：0.249, 0.243, 0.247, 0.250, 0.253, 0.250; 已知测微计的零位：0.003, 误差限：Δ_{INS}=0.004。请给出完整的测量结果。(单位：mm)

直径的测量结果 $d = (\mathbf{0.246} \pm 0.005)\,\mathrm{mm}$

被测钢丝直径的量值落在

区间[(0.246-0.005) mm，(0.246+0.005) mm]的

置信概率一般不小于95%。

2. 多数一般测量从效率考虑是单次测量，不评定A类不确定度。

$$\boxed{U \approx U_B \approx \Delta_{INS}}$$

✓ 随机误差：在对同一稳定被测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。

随机误差的影响一般是芝麻，
(未定)系差的影响一般是西瓜。

忽略A类分量

随机误差的影响一般是芝麻，

(未定)系差的影响一般是西瓜。

忽略A类分量

钢丝(钢球)直径?

A类分量较显著

广义“随机误差”

它既反映了测量随机误差，又反映了直径体现值波动的影响。

当被测量的体现值波动显著时，须多次测量并评定A类不确定度。例如测某一钢丝的等效平均直径，该量值虽稳定，但在不同位置或不同方向上直径体现值因锥度或椭圆度而波动，测得值具有广义的“随机误差”，不像严格的“对同一被测量重复测量”时的情形。

3. 间接测量结果的不确定度评定

$$Y = f\left(X_k\right)$$

相互独立的直接测量X_1，X_2，…的误差

必然影响间接测量Y的准确度。

误差的传递： $\mathrm{d}Y = \dfrac{\partial f}{\partial X_1}\mathrm{d}X_1 + \dfrac{\partial f}{\partial X_2}\mathrm{d}X_2 + \ldots.$ 全微分

$$c_k = \frac{\partial f(X_k)}{\partial X_k}$$

灵敏系数

不确定度的传递：

$$U = \sqrt{\sum_k (c_k U_{x_k})^2}$$

方和根合成

误差

$$\mathrm{d}y = y - Y_t$$

不确定度的传递： $U=\sqrt{\sum_k (c_k U_{x_k})^2}$ **方和根合成**

相对不确定度： $U_r=\dfrac{U}{y}$ **更直观地反映测量准确度**

越小，测量准确度越高。

$$\boxed{\frac{U}{y}=\sqrt{\left(\frac{\partial \ln f}{\partial X_1}\right)^2 (U_{x_1})^2+\left(\frac{\partial \ln f}{\partial X_2}\right)^2 (U_{x_2})^2+\cdots}}$$

$$\mathrm{d}(\ln Y)=\frac{\partial(\ln f)}{\partial X_1}\mathrm{d}X_1+\frac{\partial(\ln f)}{\partial X_2}\mathrm{d}X_2+\ldots.$$

$$\mathrm{d}(\ln Y)=\frac{\mathrm{d}Y}{Y}$$

$$Y=f(X_k)$$

$$Y = f(X_k)$$

$$\boxed{U = \sqrt{\sum_k (c_k U_{x_k})^2}}$$

$$\boxed{\frac{U}{y} = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln f}{\partial X_1}\right)^2 (U_{x_1})^2 + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial X_2}\right)^2 (U_{x_2})^2 + \cdots}}$$

实用的不确定度计算式:

$$Y = x \pm z \qquad U = \sqrt{U_x^2 + U_z^2}$$

$$Y = x \cdot z \text{ 或 } x/z \qquad \frac{U}{y} = \sqrt{\left(\frac{U_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{U_z}{z}\right)^2}$$

$$Y = x^k z^m \qquad \frac{U}{y} = \sqrt{\left(k\frac{U_x}{x}\right)^2 + \left(m\frac{U_z}{z}\right)^2}$$

4.不确定度的微小分量判据

$$\boxed{U=\sqrt{U_A{}^2+\sum_j (U_{jB})^2}}$$

$$Y=f\left(X_k\right) \qquad \boxed{U=\sqrt{\sum_k (c_k U_{x_k})^2}}$$

某一分量小于最大分量(或合成结果)的1/5到1/6

这一分量可看作是可忽略的微小分量

教学要求较低时可放宽到1/3

三、实验数据有效位数的确定

下列结果表示合理吗?

某电阻阻值：$R=(8918\pm1.5)\ \Omega$

温度实验中测量的气温值：$T=(24.61\pm3.2)\ ^0\mathrm{C}$

在实验中我们测的数据一般是含有误差的数值，对这些数值不能任意取舍。

对数值数位的取舍(去掉数据中多余的位),称之为修约，也叫化整。

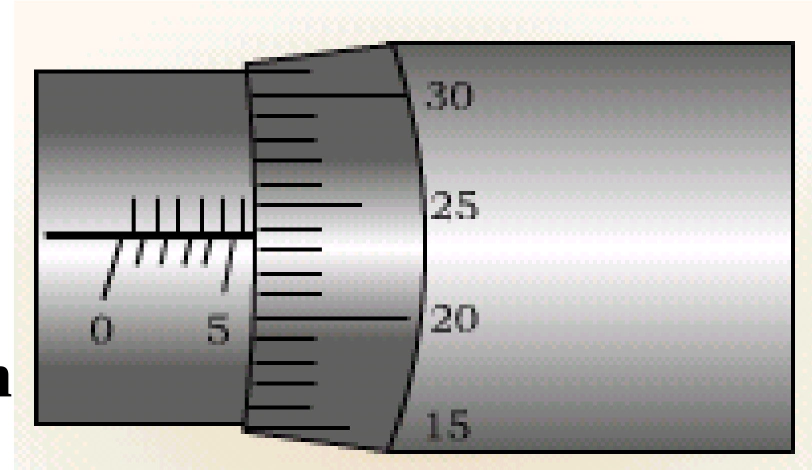
修约的三个环节

- 原始数据的有效位数
- 运算过程中的数和中间运算结果
- 测量结果最终表达式中的有效位数

原始数据的有效位数——全读、读全

充分反映计量器具的准确度

1. 对于可估读到最小分度值以下的计量器具，当最小分度不小于1 mm时，通常要估读到0.1分度。



最小分度：0.01 mm Δ_{INS}=0.004mm

读数：5.736 mm OR 5.737mm OR 5.738 mm

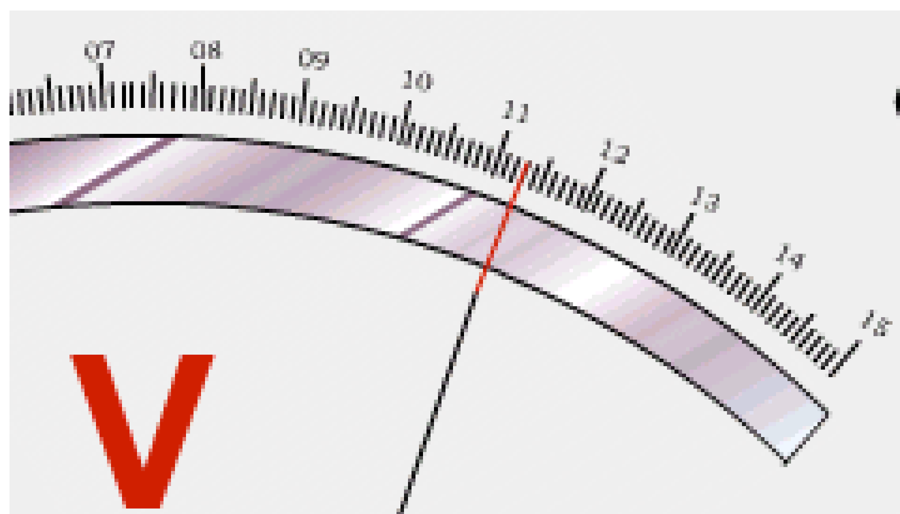
图示0.5级电压表，量程3 V

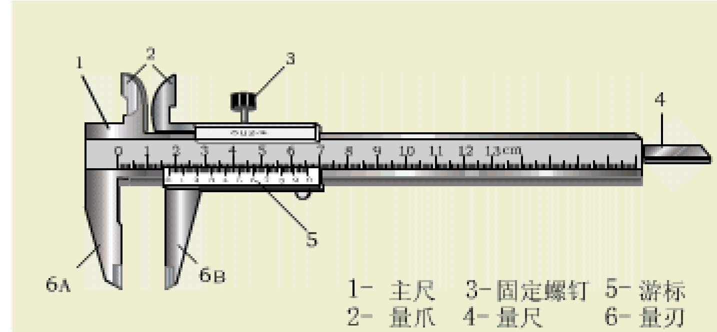
$\Delta_{仪}=3\times0.5\%=0.015V$

指针指在整刻度线上

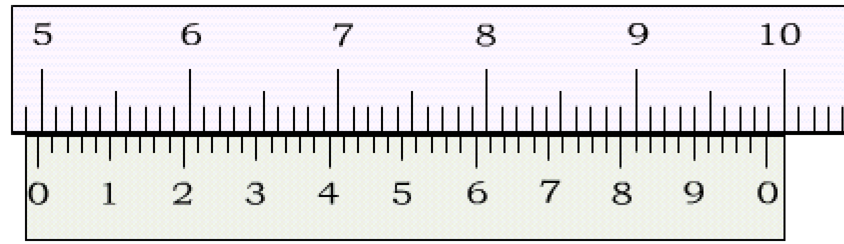
读数：2.26 V　正确?

正确读数：2.260 V





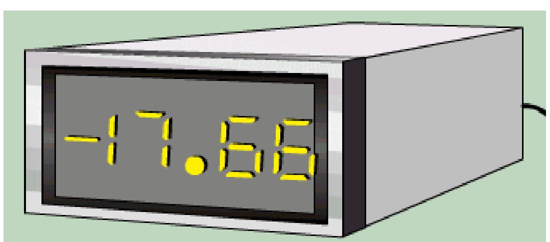
2.游标类器具



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。

3. 数显仪表及步式标度盘的仪表

直接读取仪表的示值



运算过程中的数和中间运算结果

对参与运算的数和中间结果都不修约。

测量结果最终表达式中的有效位数

$$Y = y \pm U$$

1.独立被测量的不确定度U一般取一至两位，首位数字较小时(如1、2等)一般取两位，首位不小于5时通常取1位。

- 用百分数表示的相对不确定度也取一至两位。

2. 量值y的有效数字末位与不确定度的末位一般要对齐。

多余的数位：使用四舍五入规则进行修约。

不确定度U决定量值y的有效位数

测量结果最终表达式中的有效位数

1. 不确定度U一般取一至两位，首位数字较小时(如1、2等)一般取两位，首位数字不小于5时通常取1位。

举例： 评定结果 U=1.3715Ω 时，取U=1.4 Ω

U=0.54832mm时，取U=0.5mm

2. 量值y的有效数字末位与不确定度的末位要对齐。

下列结果表示合理吗?

某电阻阻值： R=(8918±1.5) Ω

温度实验中测量的气温值： T=(24.61±3 .2) ^{0}C

不确定度U决定量值y的有效位数

正确表示：

某电阻阻值： R=(8918.0±1.5) Ω

温度实验中测量的气温值： T=(25±3) ^{0}C

或 T=(24.6±3.2) ^{0}C

测量结果的计算和有效数位确定举例

已知：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:环的体积V和不确定度U

解：1) 环体积

$$V = \frac{\pi}{4}(D_2^2 - D_1^2)h = \frac{\pi}{4} \times (3.600^2 - 2.880^2) \times 2.575 \approx 9.4357107\text{cm}^3$$

2) 环体积的对数及其偏导数

$$\ln V = \ln \frac{\pi}{4} + \ln\left(D_2^2 - D_1^2\right) + \ln h$$

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

已知：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:环的体积V 和不确定度Δ_V

$$V\approx \mathbf{9.4357107}\ \text{cm}^3$$

3) 相对不确定度

$$\frac{U_V}{V}=\sqrt{\left(\frac{2D_2}{D_2^2-D_1^2}\right)^2(U_{D_2})^2+\left(\frac{2D_1}{D_2^2-D_1^2}\right)^2(U_{D_1})^2+\left(\frac{1}{h}\right)^2(U_h)^2}$$

$$=\sqrt{\left(\frac{2\times 3.600}{3.600^2-2.880^2}\right)^2\times(0.004)^2+\left(\frac{2\times 2.880}{3.600^2-2.880^2}\right)^2\times(0.004)^2+\left(\frac{0.004}{2.575}\right)^2\times(0.004)^2}$$

$$\approx \mathbf{0.008056272}$$

4) 不确定度 $U_V=V(\frac{U_V}{V})=\mathbf{9.4357107\times 0.008056272\approx 0.076016652}\ \text{cm}^3$

5) 结果 $V=(9.44\pm 0.08)\ \text{cm}^3$

$$\frac{U}{y}=\sqrt{\left(\frac{\partial\ln f}{\partial X_1}\right)^2(U_{x_1})^2+\left(\frac{\partial\ln f}{\partial X_2}\right)^2(U_{x_2})^2+\cdots}$$

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

有效数位举例

下列结果表示正确吗?

$$m = (31690 \pm 200)\ \mathrm{kg}$$

$$d = 6371\mathrm{km} = 6371000\mathrm{m} = 637100000\mathrm{cm}$$

正确表示:

$$m = (3.169 \pm 0.020) \times 10^4\ \mathrm{kg}$$

或 $m = (31.69 \pm 0.20) \times 10^3\ \mathrm{kg}$

$$d = 6371\mathrm{km} = 6.371 \times 10^6\mathrm{m} = 6.371 \times 10^8\mathrm{cm}$$

四、实验数据的直线拟合与最小二乘法

已知两个物理量 x 和 y 成较严格直线关系 $y = B_0 + B_1 x$

先测量n 组值（x_i , y_i ），再用作图或最小二乘等方法求出直线斜率、截距的最佳估值b_1、b_0以及与实验目的有关的其它参量。

这一求解过程称为直线回归，也称拟合。

实验中，测得n 组值（x_i , y_i ）

设直线斜率、截距的最佳估值b_1、b_0

则第i组的测量值y_i与最佳估值 之差

$$v_i = y_i - \hat{y}_i = y_i - (b_0 + b_1 x_i)$$ 残差

$$RSS = \sum_{i=1}^{n} v_i^{\ 2} = \sum_{i=1}^{n} [y_i - (b_0 + b_1 x_i)]^2$$ 残差平方和

Residual **S**um of **S**quare

$y = b_0 + b_1 x$

如何确定最佳估值b_0、b_1?

最小二乘法(LSM)

Least Square Method

使(等精密度的因变量) y_i的残差平方和、或标准差的平方（方差）为极小值，以此来确定“最佳”估值。

$$RSS = \sum_{i=1}^{n} v_i^2 = \sum_{i=1}^{n} [y_i - (b_0 + b_1 x_i)]^2$$ 残差平方和

$$\boxed{RSS = \sum_{i=1}^{n} [y_i - (b_0 + b_1 x_i)]^2 = \min}$$

$$\frac{\partial RSS}{\partial b_0} = 0 \quad \frac{\partial RSS}{\partial b_1} = 0$$

$$\boxed{b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}} \quad \boxed{b_1 = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) y_i}{\sum (x_i - \bar{x})^2}}$$

只要求会用计算器或电脑(如EXCEL软件)

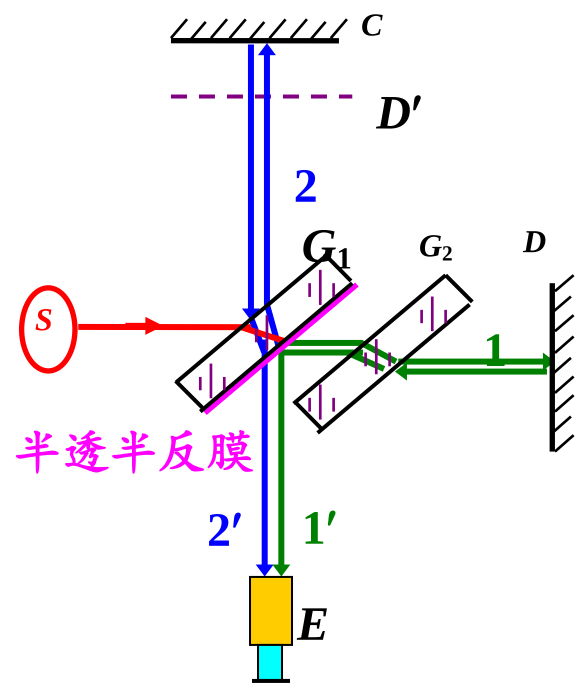
举例

用迈克耳孙干涉仪测量单色光波长，C镜移动的距离与条纹冒出(或缩进)的数成正比，即C镜的位置与条纹冒出(或缩进)的数成线性关系，$\boxed{y = b_0 + b_1 x}$

其斜率和波长λ的关系： $\lambda = 2b_1$

可以测量两组数据，得到直线的斜率，进而求出波长。

也可以测量一系列(y_C, k)，通过直线拟合得到斜率，求得λ。



举例

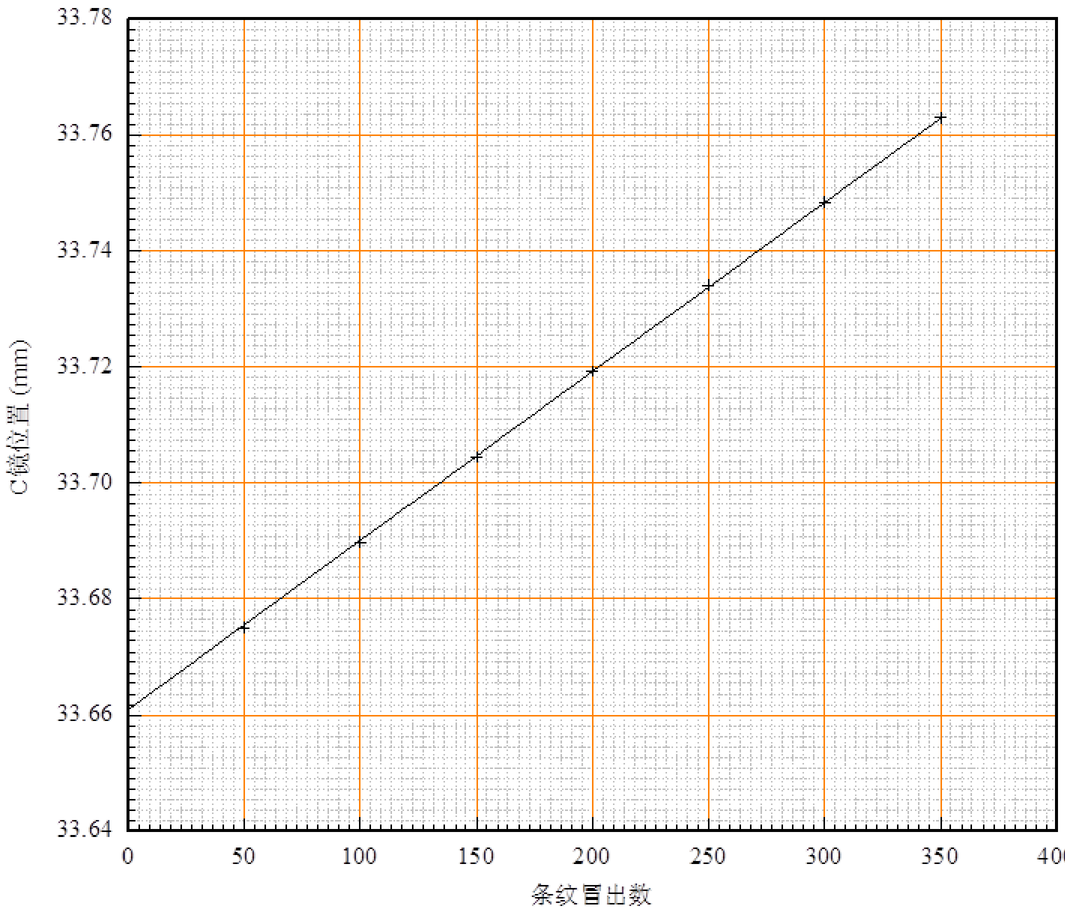
用迈克耳孙干涉仪测量单色光波长 $\boxed{y_C = b_0 + b_1 x}$

测量一系列(y_C，k)，通过直线拟合得到斜率，求得λ。

其斜率

和波长λ的关系有

$$\lambda = 2b_1$$



C镜位置与条纹冒出数关系曲线

直线拟合结果的不确定度

$$y = b_0 + b_1 x$$

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}$$

$$b_1 = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) y_i}{\sum (x_i - \bar{x})^2}$$

$$s_y = \sqrt{\frac{RSS}{\nu}} = \sqrt{\frac{RSS}{n-2}}$$

$$s_{b_1} = \frac{s_y}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2}}$$

$$s_{b_0} = s_y \sqrt{\frac{\bar{x}^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} + \frac{1}{n}}$$

$$\boxed{\nu = n-2}$$

A类扩展不确定度

$$\boxed{U_{b_1 A} = t_\nu s_{b_1}}$$

$$\boxed{U_{b_0 A} = t_\nu s_{b_0}}$$

本课程：只要求计算A类不确定度

只要求会用计算器或电脑(如EXCEL软件)

直线拟合相关说明

$$y = B_0 + B_1 x$$

一般直线拟合

1. 自变量的选择

一般选择误差限相对较小或可忽略的量x_i，另一变量即因变量y_i。

2. 截距为0的LSM拟合 $y = Bx$

对仪表检定(定度)时，回归直线常常必须过原点，方程为y=**B**x，设斜率最佳估值为b:

$$RSS = \sum_{i=1}^{n}(y_i - bx_i)^2 = \min \qquad \frac{dRSS}{db} = 0 \qquad \boxed{b = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2}}$$

$$s_y = \sqrt{\frac{RSS}{\nu}} = \sqrt{\frac{RSS}{n-1}} \qquad s_b = \frac{s_y}{\sqrt{\sum x_i^2}} \qquad \boxed{\nu = n-1}$$

只要求会用计算器或电脑(如EXCEL软件)

直线拟合相关说明

3. 拟合的目的?

主要是减小因变量中具有随机性的未定系差的影响，体现实验设计的随机化原则。直线拟合时，首先要确定合理的直线方程模型，例如判断截距是否为零；接着要合理选择自变量；然后再拟合，一般用最小二乘法。

$$y = B_0 + B_1 x \qquad y = Bx$$

Excel 程序中的
各参数函数(语句) 使用

网络学堂： Excel线性拟合函数格式说明~.pdf

实验数据Excel线性拟合模板&t因子计算~.xlsx

五、图示法处理数据

两类主要意图：

1. 形象直观地反映物理量之间的定性关系 。

✓ 2. 通过图线拟合出物理量之间的定量关系，进而可求出与之相关的其它物理量。

对于第二类意图，坐标分度值和图幅的选举一般原则：图基本能反映测量值或所求物理量的不确定度。

手工作图：用坐标纸

电脑软件作图

清楚、规范

以手工作图为例

清楚、规范

作图步骤：

1. 列出实验数据表，选定纵坐标、横坐标所表示的物理量

表1：高度尺位置与砝码质量的关系

砝码质量(g)	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55	67.86	79.17
高度尺位置 (mm)	289.62	264.12	238.70	213.24	187.98	162.64	137.12

2. 选择合适的坐标分度值，定图幅。

y轴一般使 1mm对应其不确定度U_y相近的量值

x轴分度确定的一般原则：

本课程实验其误差一般相对较小或可忽略，参考y轴、整个图幅大小及比例，美观且很方便读出1~2 mm对应数值。

3. 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(其书写的位数可比量值的有效位数少1-2位)。

4.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）。

5. 根据实验点，用直尺、曲线板等画平滑关系曲(直)线(拟合)(细线)。

6. 根据作图意图及要求，图上需标出特殊点的坐标(求斜率)? 标明实验条件? 从图上得出的某些参数? ……

7.写出图名

清楚、规范

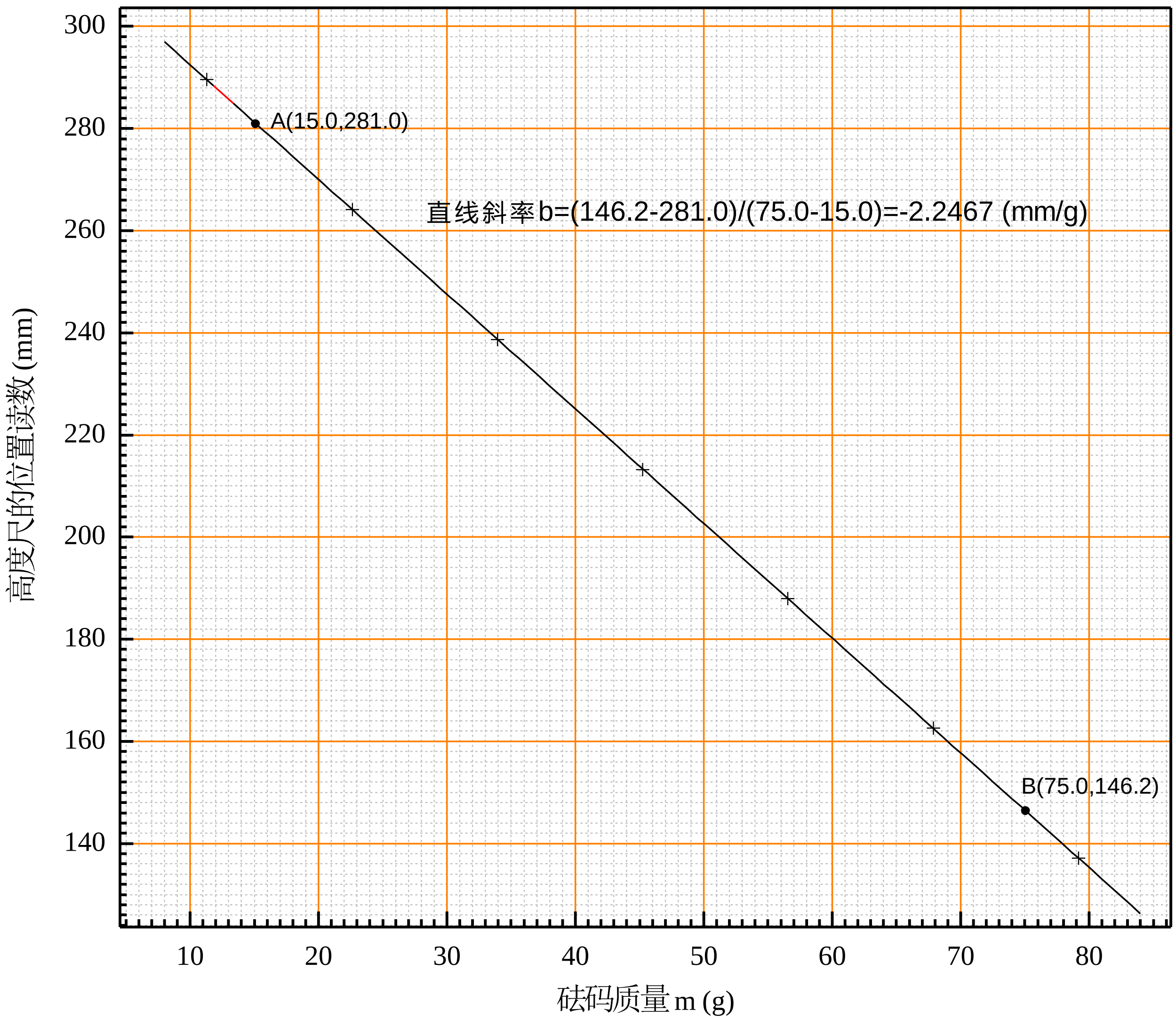


图2 高度尺位置与砝码质量关系曲线

手工？电脑？标准：递交合格图即可。

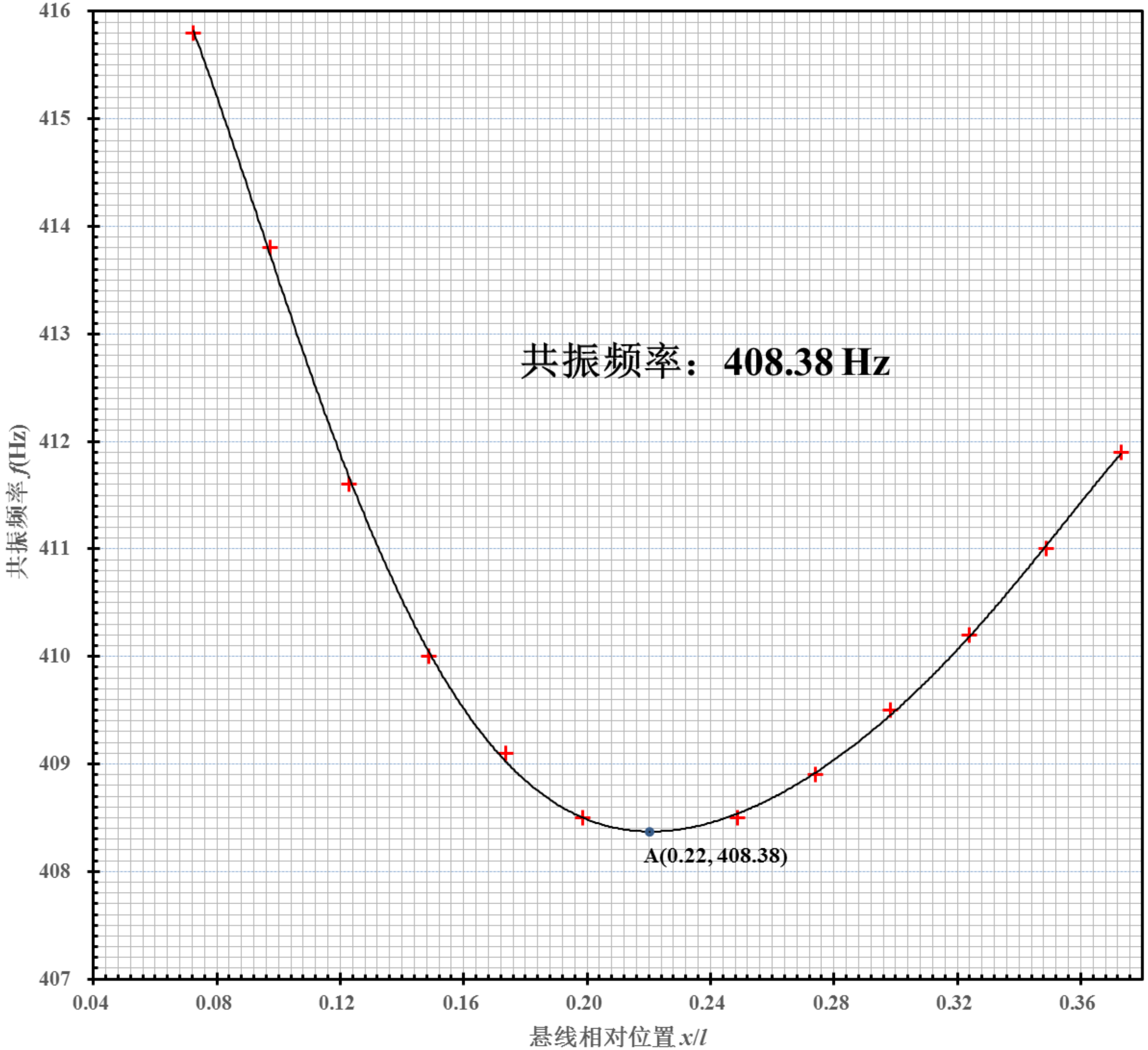


图2紫铜杆共振频率与悬线相对位置的关系曲线

清楚、规范

手工？电脑？标准：递交合格图即可。

实验数据分析与不确定度评定基础

一、测量误差分析

二、不确定度概念及评定初步

三、实验数据有效位数的确定

四、数据的直线拟合与最小二乘法

五、图示法处理数据

总 结

本部分的核心：从数据的角度如何做好一个实验

首先准确地读取、记录原始数据；

根据实验特点，进行主要的误差分析，谨慎地剔除高度异常值；

接着再修正已定系差；

然后进行不确定度评定、直线拟合等；

最后得到实验结果。