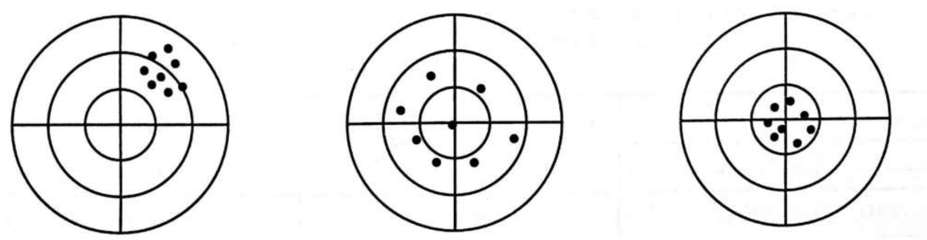
大物实验

I.绪论部分

> From b站链接 和 复习sheet

1. 测量相关概念

1. **测量的四要素**：包括**被测对象、测量程序、测量准确度和计量单位**。这些要素是进行任何测量活动时需要考虑的基本方面。
2. **直接测量量**：指的是可以直接测量得到的量，不需要通过任何函数关系计算。
3. **间接测量量**：需要通过 **已知的函数关系**， 将直接测量的量经过计算来得到想要测量的量。【算出来的】
4. **测量的精密度**：指多次重复测量得到的值**相互接近**的程度，反映了测量结果的一致性。
5. **测量的准确度**：指测量数据的**平均值与真实值接近**的程度，反映了测量结果的准确性。
6. **测量的正确度**：指测量数据集中于真实值附近的程度，这涉及到测量结果的系统误差。



pic1：精密，不准确
pic2：不精密，但更准确
pic3：精密且准确

2. 误差

1. 误差特点：
   1. 普遍存在
   2. 误差是小量
   3. 无法得到误差值
2. 按误差定义分类：
   1. **绝对误差**：指的是测量结果与被测量的真实值之间的差异，它表示误差的大小，并且是一个有符号、有单位的量。计算公式为：

$$绝对误差 = 测量值 - 真值$$

   2. **相对误差**：表示误差的严重程度，是一个无符号、无单位的量，通常用分数或百分数表示。计算公式为：

$$相对误差 = \left(\frac{|测量值 - 真值|}{真值}\right) \times 100\%$$

   3. **标准误差**（也称为标准差或均方根差，在实验教学中指有限次测量）：是一种衡量数据分散程度的统计量，用于评估测量结果的可靠性。计算公式为：

$$标准误差 = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}|绝对误差|^2}$$

   其中 n 是测量次数，$\sum$ 表示求和。
3. 误差的来源与分类：

名称	主要来源	特点	处理	举例
系统误差（装置误差）	装置本身	可预知，<u>不可避免</u>	见下表	见下表
随机误差（偶然误差）	环境偶然性	是无规则涨落，<u>不可避免</u>。存在一定的统计规律（一般服从<u>正态分布</u>）	可通过**多次测量**来减小	测一本书的厚度（涨落）。
粗大误差（过失误差）	粗心大意	<u>可避免</u>	避免	电表没调零就用/读错写错数据

系统误差	定义	处理	举例
已定系统误差	在同等条件下，对同一个待测量进行多次测量，测量值和真值的偏离总是相同的那部分误差分量	可通过实验方法或引入修正值方法进行修正，也**必须修正**。	电表、读数显微镜的零位误差（调不好的，仪器<u>本身</u>的）
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	后面<u>B类不确定度</u>计算会提到。	仪器的**允差**（示值误差）

（2）正态分布（高斯分布）

测量值的均值看做真值（无穷次测量）

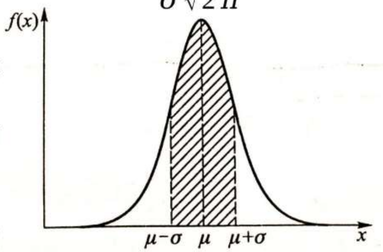
单峰性：你的测量值中和相差越小的值出现的概率越大。

对称性：大小相等的正负误差等机会出现在真值两侧。

有界性：非常大的误差出现概率几乎为0。

抵偿性：测量次数非常多时候，正负误差几乎抵消为0，所以看做真值。

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



$x_1, x_2, \ldots, x_i, \ldots, x_n$

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

意义：真值的最佳估计值。做为我们的测量结果使用。

单次测量标准差 $S(x_i)=\sqrt{\frac{1}{(n-1)}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}$

意义：中随便某一次结果相对于偏离程度。

平均值标准差 $S(\bar{x})=\frac{S(x_i)}{\sqrt{n}}=\sqrt{\frac{1}{n(n-1)}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}$

意义：因重复测量导致的测量结果的分散程度，即分散性，即与真值的偏离程度，评估着着我们算出来的到底好不好。

3. 不确定度

一个数/不为零的正数

直接测量量

- 误差
  - 系统误差
    - 已定系统误差　可修正
    - 未定系统误差　带来 B 类不确定度　除了 A 类都是 B 类，本书只考虑仪器允差带来的不确定度。
  - 随机误差　带来 A 类不确定度　重复观测引起，用科学统计方法算。结果的可靠程度取决于重复观测次数。
  - 粗大误差　可避免

- 不确定度分类
  - 直接测量量的**标准不确定度**
  - 间接测量量的**合成标准不确定度**
  - 扩展不确定度

3.1 不确定度计算:

$$\bar{x}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i \Rightarrow u(A)\approx S(\bar{x})=\sqrt{\frac{1}{n(n-1)}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}$$

$$\Delta_{仪} \Rightarrow u_B(X)=\frac{\Delta_{仪}}{\sqrt{3}}$$

（事实上，$\Delta_{仪}=ku_B$）　只是默认取了$\sqrt{3}$

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

间接测量:

（2）间接测量量$Y=f(X_1,X_2\ldots X_k\ldots X_N)$的合成标准不确定度$u_c(Y)$

f是和差形式

$$u_c(Y)=\sqrt{\sum_{k=1}^{N}\left(\frac{\partial f}{\partial X_k}u(X_k)\right)^2}$$

f是积商形式

$$Y \rightarrow u_c(Y)=Y\sqrt{\sum_{k=1}^{N}\left(\frac{\partial \ln f}{\partial X_k}u(X_k)\right)^2}$$

计算的时候，先分别计算，再用间接测量公式

- 以$E=\frac{8DmgL}{\pi d^2 b\delta s}$为例，先算$u(m),u(L),u(D),u(d),u(b),u(\delta s)$

- f 是积商形式，$\ln f = \ln 8g + \ln m + \ln L + \ln D - \ln \pi - 2\ln d - \ln b - \ln \delta s$

  $\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^{5} E_i}{5} \to u_c(E) = \bar{E}\sqrt{\left(\frac{u(m)}{\bar{m}}\right)^2 + \left(\frac{u(L)}{L}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{2u(\bar{d})}{\bar{d}}\right)^2 + \left(\frac{u(\bar{b})}{\bar{b}}\right)^2 + \left(\frac{u(\bar{\delta})}{\bar{\delta}s}\right)^2}$

  $= 1.92 \times 10^{11}\text{Pa} \quad = 0.3 \times 10^{11}\text{Pa}$

4. 有效数字

- 位数问题（高中学很多了..
- 科学计数法：1.5kg→1500g(×) → $1.5 \times 10^3 g$ √

4.1 单位换算：

➢十进制单位变换：不影响有效数字位数

正：1200 g → 1.200 kg
误：1200 g → 1.2 kg

➢非十进制单位变换：保持误差所在位在单位变换后还是有效数字末位

如：$\bar{\theta} = 93.5°$
误差为0.1°，先进行误差换算，$0.1° \to \frac{\pi}{180} \times 0.1 \text{ rad} \approx 0.002 \text{ rad}$
换算：$\bar{\theta} = 93.5° \to \bar{\theta} = \frac{\pi}{180} \times 93.5 \text{ rad} = 1.632 \text{ rad}$

4.2 运算法则：

- 加减：结果可以数字位置与参与运算诸数可疑数字最大的位置一致。
  如：$12.4 + 0.571 = 12.971 = 13.0$
- 乘除：结果有效数字位数与参与运算诸数有效数字位数最少者相同。
  （π、g，不参与其中）
  如：$3600 \times 8.0 = 2.9 \times 10^4$

【例 15】

$$\begin{array}{r} 12.3\underline{4} \\ +\quad 2.3574 \\ \hline 14.6\underline{9}74 = 14.7\underline{0} \end{array}$$

【例 16】

$$\begin{array}{r} 2.3574 \\ \times\ \underline{12.3} \\ \hline 70722 \\ 47148 \\ +23574 \\ \hline \underline{28.9}9602 = \underline{29.0} \end{array}$$

函数

➢三角函数的计算结果有效数字与角度的有效数字位数相同。
如：sin（30.2） = 0.503019 = 0.503
➢对数运算其尾数与真数的有效数字位数相同。
如：lg 3.27 = 0.514
➢其他函数:自变量可疑位上下变动一个单位，观察函数结果在那一位上变动，结果的可疑位就取在该位。如：p19【例9】
➢通过函数计算确定（误差传递公式）。如：p21【例17】

（1）三角函数值的有效位数表示法

三角函数计算结果的有效数字与角度的有效数字位数相同。

【例 7】 $\sin(30.2) = 0.503\,019 = 0.503$

（2）对数的有效位数表示法

对数运算结果的有效数字位数，其尾数与真数的有效数字位数相同。

【例 8】 $\lg 3.27 = 0.\underline{514}$

（3）其他函数的有效位数表示法

下面给出一种简单直观的方法，即将自变量可疑位上下变动一个单位，观察函数结果在哪一位上变动，结果的可疑位就取在该位上。

【例 9】 求 $\sqrt[20]{3.25}$。

因为 $\sqrt[20]{3.24} = 1.060\,540\,5$

$\sqrt[20]{3.25} = 1.060\,703\,9$

$\sqrt[20]{3.26} = 1.060\,866\,9$

所以 $\sqrt[20]{3.25} = 1.060\,7$

4.3 不确定度传递公式表：

5.8 常用函数的不确定度传递公式(见表 1-5-1)

表 1-5-1

函数式	不确定度传递公式
$y = x_1 + x_2$	$u_y = \sqrt{u_{x_1}^2 + u_{x_2}^2}$
$y = x_1 - x_2$	$u_y = \sqrt{u_{x_1}^2 + u_{x_2}^2}$
$y = ax_1 + bx_2$	$u_y = \sqrt{a^2 u_{x_1}^2 + b^2 u_{x_2}^2}$
$y = x_1 \cdot x_2$	$u_y = y\sqrt{\left(\frac{u_{x_1}}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{u_{x_2}}{x_2}\right)^2}$
$y = x_1 / x_2$	$u_y = y\sqrt{\left(\frac{u_{x_1}}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{u_{x_2}}{x_2}\right)^2}$
$y = x_1^m \cdot x_2^n$	$u_y = y\sqrt{m^2\left(\frac{u_{x_1}}{x_1}\right)^2 + n^2\left(\frac{u_{x_2}}{x_2}\right)^2}$
$y = kx$	$u_y = ku_x$
$y = \ln x$	$u_y = \frac{u_x}{x}$
$y = \sin x$	$u_y = \lvert \cos x \rvert u_x$

4.4 有效数字的修约法则：

- **四舍六入五凑偶**
- 不可连续修约！

正：$15.455 \to 15$
误：$15.455 \to 15.46 \to 15.5 \to 16$

4.5 不确定度的保留位数！

➢ 不确定度保留位数

当不确定度第1位有效数字是1或2时，可取两位，3以上只可有1位有效数字。

➢ 不确定度修约法则

欲保留的最低位后的这1位数不为零则进位，为零则舍去。（因为要知最大误差限）

$$u(s) = 0.0311 \ldots \mathrm{cm}^2 \to 0.04 \ldots \mathrm{cm}^2$$

$$u(s) = 0.0211 \ldots \mathrm{cm}^2 \to 0.022 \ldots \mathrm{cm}^2$$

5. 测量结果的表达

最终结果的有效数字位数是由**合成不确定度确定**！

- 先保留不确定度的位数：1或2位有效数字，如果数字不为0则进位。
- 再保留均值的位数：均值的最后一位应与不确定度的最后一位对齐。
- 当结果较大或较小时，应注意使用科学计数法和进行单位换算。

6. 数据处理方法

6.1 逐差法

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。

条件：线性，等间距

6.2 最小二乘法：

n组实验数据：(x_i,y_i)，若理论上满足直线方程：$y=bx+a$
各测量沿垂直于x轴的方向到直线的距离的平方和为：

$$\varepsilon=\sum_{i=1}^{n}[y_i-(bx_i+a)]^2$$

要使 ε 最小，b 和 a 取值为：

$$\begin{cases}\frac{\partial\varepsilon}{\partial b}=0\\ \frac{\partial\varepsilon}{\partial a}=0\end{cases}\Rightarrow\begin{cases}b=\frac{\sum x_iy_i-n\bar{x}\bar{y}}{\sum x_i^2-n(\bar{x})^2}\\ a=\bar{y}-b\bar{x}\end{cases}$$

6.3 列表法

6.4 作图法

7. 绪论细节/错题

1.【23-24秋冬】

测量仪器	读出数值	有效数字
最小分度 1mm 米尺	0.1mm 整数倍	可靠位 1mm 位 存疑位 0.1mm 位
50 分度游标卡尺	0.02mm 整数倍	可靠位 0.02mm 位 无存疑位，因为不估读
螺旋测微器	0.001mm 整数倍	可靠位 0.01mm 位 存疑位 0.001mm 位

2. **测量的四要素**：包括**被测对象、测量程序、测量准确度和计量单位**
3. 随机误差正态分布的行致：单峰性、对称性、有界性、抵偿性
4. 仪表七等级：0.1，0.2，0.5，1.0，1.5，2.5，5.0，数字越小准确度越高，$k=\frac{\text{示值误差}}{\text{量程}}\times 100$
   - 例题：电压表20mV，准确度等级1级，测得值5.6mV，求相对误差
   - $k=0.1\rightarrow\text{示值误差}20\times10^{-3}\times1\times10^{-3}=2\times10^{-5}=0.02mV$
   - 相对误差 $\frac{0.02}{5.6}=4\%$
5. 系统误差的原因？
   1. 仪器准确度不够（最小刻度、老化等问题）
   2. 实验方案依据的理论公式不完善
   3. 环境温度、湿度和条件变化
   4. 测量者心理、习惯和人为因素
6. 如何减小、消除系统误差？
   1. 仪器调整、标定
   2. 实验设计（例如分光计读数时使用双视窗，消除偏心差）
   3. 同一个人操作，避免读书差异
7. 误差的有效位数与修约法则和不确定度一样

II. 分光计

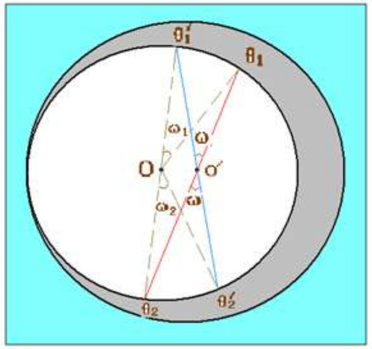
1. 分光计调整的三个目的
2. 【粗调】
3. 【望远镜调焦无穷远】-- 自准直法 -- 示意图
   1. 平面反射镜放载物台，反光面正对望远镜
   2. 调目镜滚轮直到找到叉丝
   3. 调望远镜倾斜螺钉，同时微微左右移动，直到找到叉丝
   4. 调调焦螺钉直至清晰
   5. 调倾斜螺钉，亮十字与叉丝上刻线重合
4. 【望远镜光轴、载物台平面和分光计中心转轴垂直】
   - 放置：反射镜面⊥①②，望远镜正对反射面 / 转180°
   - 太偏上：调望远镜倾斜脚

- 太偏下：调载物平台下倾斜螺钉①②
- 第二步，反射镜改放①②连线平行的平台面的直径上，调节螺丝③重合，不能再动望远镜和①②了

5. 分光光度计的组成：望远镜/平行光管/载物平台/读数装置
6. 三棱镜顶角为什么应接近平台中心偏上一点点的位置？
7. 【分光计左右窗读数的原理】：仪器偏心差

$\omega = (\omega_1 + \omega_2)/2$;

$\omega = [(\theta_1' - \theta_1) + (\theta_2' - \theta_2)]/2$



III. 示波器

1. 李萨如：$f_y : f_x = N_x : N_y$
2. 一些调节方法：

3：校正电压输出及接地。其中 CAL 连接器可连接输出校正电压信号（1 kHz，0.6 U_{PP}），用于仪器的操作检测和探头波形的调整。⊥接地可用于接地测量。

4：垂直调节部分：CH1、CH2 接口用于输入信号的连接；EXT 指触发源连接接口；VOLTS/DIV 指偏转因数选择；POSITION 为垂直位移调节；CH1、CH2 按钮用于通道显示选择；GND 指接地选择；DC/AC 指交直流耦合选择；ADD 指 CH1、CH2 两信号叠加；INV 指倒相选择。

5：水平调节部分：POSITION 为水平位移调节；TIME/DIV 指扫描速率和幅度选择；FINE 指水平位移微调；MAG × 10 指光标在水平方向扫描速度扩大 10 倍；ALT 指交替显示模式；CHOP 指断续显示模式。

6：触发部分：TRIG LEVEL 指调节触发电平幅值；SLOPE 指触发斜率选择；SOURCE 指触发源选择；COUPL 指触发耦合模式选择。

7：HORIZ DISPLAY 水平显示模式：A 指单踪或双踪显示选择，X – Y 指李萨如图等闭合曲线显示选择。

8：SWEEP MODE 扫描模式选择：AUTO，NORM，SGL/RST。

9：FUNCTION：光标测量。

3. 仪器：示波管、放大器(X轴放大,Y轴放大)、扫描和触发
4. 用比较法验证$f_y = nf_x$，f_y是信号频率，f_x是扫描频率；$T_y > T_x$右移，$T_y < T_x$左移
5. 电压测量：
   - 直接测量法：$U_{P-P} = D \cdot h$，**VOLTS/DIV** 选择偏转因数
   - 光标测量法：$\Delta U - \Delta t - OFF$选择$\Delta U$，**TCK/C2** 选择光标
6. 频率测量：
   - 直接测量法，$T_x = Q \cdot x$
   - 光标测量法
7. 二极管正向导通电压测量：
   电路图：

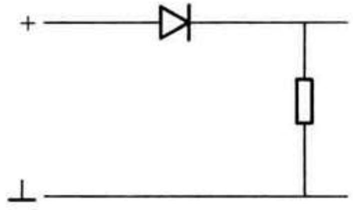


图 4 – 1 – 8

计算公式：$(\frac{U_{1p-p}}{2} - U_{2p})$是导通电压

8. 相位差测量:

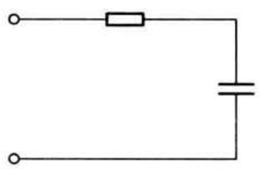


图 4－1－9

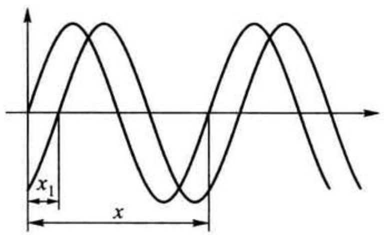


图 4－1－10

$$\text{相位差 } \Delta\Phi = \frac{\text{X 方向上两个波形起点间距离 } x_1(\text{cm})}{\text{X 方向上一个周期所占的距离 } x(\text{cm})} \times 360°$$

9. 左移/右移: 调整TRIG LEVEL