

大学物理实验：绪论、示波器、分光计

一、绪论

§ 1. 测量

1.1 测量四要素

1.1.1 被测对象：

1.1.2 测量程序：

1.1.3 测量准确度：

1.1.4 计量单位：

1.2 直接测量与间接测量

1.2.1 直接测量：

1.2.2 间接测量：

§ 2. 误差

2.1 误差概念：测量值与真值之差。

2.1.1 绝对误差=测量值-真值

2.1.2 相对误差= $\frac{\text{测量值}-\text{真值}}{\text{真值}}$

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

2.2 误差分类

2.2.1 系统误差：理论公式不完善；同等条件下不变。

2.2.2 随机误差（偶然误差）：相对于真值无规律的涨落；多次测量减小其影响。

2.2.3 粗大误差（过失误差）：明显超出规定条件下预期；抉择后剔除异常数据。

2.3 测量误差分布

2.3.1 正态分布：

(1) 概率密度函数： $f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, -\infty < x < +\infty$

(2) $P\{-\sigma \leq x \leq \sigma\} = 0.683$; $P\{-2\sigma \leq x \leq 2\sigma\} = 0.955$; $P\{-3\sigma \leq x \leq 3\sigma\} = 0.997$ 。

(3) 标准偏差 $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}$

2.3.2 均匀分布：

(1) 概率密度函数： $f(x) = K, -a < x < +a$

(2) 标准偏差： $\sigma = \frac{a}{\sqrt{3}}$

2.4 测量结果表达式 $\underline{X = \bar{X} \pm \mu \text{ (单位)}}$ 包含测得值 (\bar{X})、不确定度 μ 、单位。

2.5 精密度、准确度和正确度

2.5.1 精密度：一般以标准偏差表示。

2.5.2 准确度：最大绝对误差=量程×准确度等级%

2.5.3 正确度：测定值平均值与参考量的一致程度。

★ 2.6 实例

【例 1】用一把米尺来测量长度分别为 50cm 和 5cm 的两物体，分析其绝对误差和相对误差。

解：对一般人来说，视觉误差在最小刻度的 0.2 倍左右。所以，取一起上最小刻度的 0.2 倍作为人的视力带来的绝对误差，即 0.2mm。

$$L_1 = 50\text{cm}, \Delta L_1 = 0.2\text{mm}, E_1 = \frac{0.02}{50} = 0.04\%$$

$$L_2 = 5\text{cm}, \Delta L_1 = 0.2\text{mm}, E_1 = \frac{0.02}{5} = 0.4\%$$

【例 2】已知电压表量程为 100mV，等级 0.5，求电压表仪器示值误差。

解： $\Delta V = 100 \times 0.5\% \text{mV} = 0.5\text{mV}$ 。

【例 3】测 1.5V 电压，要求测量结果相对误差不大于 1.5%，应选下面哪种仪器：0.5 级量程 5V；1.0 级量程 2V；2.5 级量程 1.5V。

解：相对误差最小为 $2\text{V} \times 1.0\% \div 1.5\text{V} = 1.33\%$ ，所以选用规格 1.0 级量程 2V。

【例 4】用 50 分度的游标卡尺测某一圆棒长度 L ，6 次测量结果如下（单位 mm）：250.08, 250.14, 250.06, 250.10, 250.06, 250.10

解：测得值的最佳估计值为 $L = \bar{L} = 250.09\text{mm}$

$$\text{测量列的标准偏差为 } S_L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}{n-1}} = 0.03\text{mm}$$

$$\text{平均值的标准偏差为 } S_{\bar{L}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}{n(n-1)}} = 0.02\text{mm}$$

§ 4. 不确定度

$$4.1 \text{ 标准不确定度的 A 类分量评定 } u_A = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$4.2 \text{ 标准不确定度的 B 类分量评定 } \Delta_{\text{仪}} = k_{100} u_B \rightarrow u_B = \Delta_{\text{仪}} / \sqrt{3}$$

4.3 合成标准不确定度的评定

$$4.3.1 \text{ 和差形式的函数 } u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u_{x_i}^2, \text{ 其中 } u_{x_i} \text{ 既可按 A 类也可按 B 类评定。}$$

$$4.3.2 \text{ 积商形式的函数 } \left(\frac{u_c(y)}{y}\right)^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_i}\right)^2 u_{x_i}^2$$

$$4.3.3 \text{ 直接测量量的合成不确定度 } u_c^2(y) = u_A^2 + u_B^2$$

★ 4.4 实例

【例 1】求函数 $y = \frac{x_1^k x_2^m}{x_3^n}$ 的不确定度传递公式。

$$\text{解: } \left(\frac{u_c(y)}{y}\right)^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_i}\right)^2 u_{x_i}^2 = \left(\frac{k}{x_1}\right)^2 u_{x_1}^2 + \left(\frac{m}{x_2}\right)^2 u_{x_2}^2 + \left(-\frac{n}{x_3}\right)^2 u_{x_3}^2$$

【例 2】用螺旋测微计测量一微小长度，重复测量 6 次。螺旋测微计的零点误差为 -0.005mm ，螺旋测微计的仪器误差为 0.004mm ，求该长度。

n	1	2	3	4	5	6
l/mm	2.567	2.565	2.569	2.570	2.571	2.568

$$\text{解: 算术平均值 } \bar{l} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 l_i = 2.568\text{mm}$$

$$\text{最佳估计值 } l_0 = [2.5683 - (-0.005)]\text{mm} = 2.573\text{mm}$$

$$\text{A 类分量 } u_A = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{6(6-1)} \sum_{i=1}^6 (l_i - \bar{l})^2} = 0.001\text{mm}$$

$$\text{B 类分量 } u_B = \frac{\Delta_{\text{仪}}}{\sqrt{3}} = 0.003\text{mm}$$

$$\text{合成标准不确定度 } u_c(y) = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0.004\text{mm}$$

$$\text{测量结果 } l = (2.573 \pm 0.004)\text{mm}$$

【例 3】已知圆柱体质量 $m = (76.18 \pm 0.04)\text{g}$ ，直径 $D = 19.84 \pm 0.02\text{mm}$ ，高 $h = 31.24 \pm 0.02\text{mm}$ ，计算圆柱体的密度及其不确定度。

$$\text{解: } \rho = \frac{m}{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 h} = 7887.8\text{kg/m}^3$$

$$\frac{u_\rho}{\rho} = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln \rho}{\partial m}\right)^2 u_m^2 + \left(\frac{\partial \ln \rho}{\partial D}\right)^2 u_D^2 + \left(\frac{\partial \ln \rho}{\partial h}\right)^2 u_h^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{m}\right)^2 u_m^2 + \left(-\frac{2}{D}\right)^2 u_D^2 + \left(-\frac{1}{h}\right)^2 u_h^2}$$

$$\approx 0.0022$$

$$\text{可得 } u_\rho = 17\text{kg/m}^3$$

$$\text{测量结果 } \rho = (7888 \pm 17)\text{kg/m}^3$$

【例 4】用螺旋测微计测某一钢丝的直径，6 次测量值 μ_i 分别为：0.249, 0.250, 0.247, 0.251, 0.253, 0.250；同时读得螺旋测微计的零位 x_0 为：0.004 mm，已知螺旋测微计的仪器误差为 $\Delta_{\text{仪}} = 0.004\text{mm}$ ，请给出完整的测量结果。

$$\text{解: 测得值的最佳估计值为 } x = \bar{x} - x_0 = 0.250 - 0.004 = 0.246\text{mm}$$

$$\text{测量列的标准偏差 } s(x) = \sqrt{\frac{1}{6-1} [\sum_{k=1}^6 (x_k - \bar{x})^2]} = 0.002\text{mm}$$

$$\text{测量次数 } n=6, \text{ 近似有 } u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \approx \sqrt{s(\bar{x})^2 + \Delta_{\text{仪}}^2} \approx 0.004\text{mm}$$

$$\text{则: 测量结果为 } X = (0.246 \pm 0.004)\text{mm}$$

【例 5】设有一圆环，其外径为 $\phi_{\text{外}} = 9.800 \pm 0.005\text{mm}$ ，内径为 $\phi_{\text{内}} = 4.500 \pm 0.005\text{mm}$ ，高度 $h = 5.000 \pm 0.005\text{mm}$ ，求环的体积 V 和不确定度。

解：环体积为 $V = \frac{\pi}{4}(\varphi_{\text{外}}^2 - \varphi_{\text{内}}^2)h = \frac{\pi}{4}(9.800^2 - 4.500^2) \times 5.000 = 2.976 \times 10^2 \text{ mm}^3$

$$\frac{\partial \ln f}{\partial \varphi_{\text{外}}} = \frac{2\varphi_{\text{外}}}{\varphi_{\text{外}}^2 - \varphi_{\text{内}}^2} = \frac{2 \times 9.800}{9.800^2 - 4.500^2},$$

$$\frac{\partial \ln f}{\partial \varphi_{\text{内}}} = -\frac{2\varphi_{\text{内}}}{\varphi_{\text{外}}^2 - \varphi_{\text{内}}^2} = -\frac{2 \times 4.500}{9.800^2 - 4.500^2},$$

$$\frac{\partial \ln f}{\partial h} = \frac{1}{h} = \frac{1}{5.000}$$

$$\begin{aligned} \frac{\Delta V}{V} &= \sqrt{\left(\frac{2\varphi_{\text{外}}\Delta\varphi_{\text{外}}}{\varphi_{\text{外}}^2 - \varphi_{\text{内}}^2}\right)^2 + \left(\frac{2\varphi_{\text{内}}\Delta\varphi_{\text{内}}}{\varphi_{\text{外}}^2 - \varphi_{\text{内}}^2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{2 \times 9.800 \times 0.005}{9.800^2 - 4.500^2}\right)^2 + \left(\frac{2 \times 4.500 \times 0.005}{9.800^2 - 4.500^2}\right)^2 + \left(\frac{0.005}{5.000}\right)^2} = 0.0055 \\ &= 0.55\% \end{aligned}$$

$$\Delta V = V \times \Delta V / V = 2.976 \times 10^2 \times 0.55\% \approx 2$$

因此，环的体积为 $V = (2.98 \pm 0.02) \times 10^2 \text{ mm}^3$

§ 5. 有效数字

5.1 有效数字特点

(1) 测量值只能写到也应该写到开始有误差的那一位到两位。

(2) 有效数字的位数多少直接反映测量的准确度。有效位数越多，表明测量的准确度越高。

(3) 有效数值书写时应注意：有效数值的位数与小数点位置无关。也不因使用的单位不同而改变。

【例】重力加速度某人测量值为 980 cm/s^2 ，改写单位为 m/s^2 ，仍为三位有效数字，即 $9.80 \text{ m/s}^2 (\neq 9.8 \text{ m/s}^2)$ (0 不可随意添减)。

5.2 有效数字修约原则

测量值只能写到也应该写到开始有误差的那一位到两位。其后的数字按“四舍六进五凑双”法则（即后面的数字是四及以下就舍掉，是六及以上就进一，遇五若前

面是奇数就进一，最后一位就变成是偶数，若前面已是偶数，则舍掉）取舍。

【例】将下列数字保留两位有效数字：2.2499, 2.1501, 2.1500, 2.2500 → 2.2

【例】取四位有效数字：3.14159 → 3.142 (入)；2.71729 → 2.717 (舍)；5.165501 → 5.166 (入)；4.510500 → 4.510 (凑偶)；4.511500 → 4.512 (凑偶)

5.3 函数值的有效位数表示法

1. 三角函数计算结果与角度的有效数字位数相同。例： $\sin(30.2) = 0.503019 = 0.503$

2. 对数运算结果其尾数与真数的有效数字位数相同。例： $\lg 3.27 = 0.514$

3. 其他函数的有效位数表示法

将自变量的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】求 ${}^{20}\sqrt{3.25}$ 。

解： ${}^{20}\sqrt{3.24} = 1.0605405$ ； ${}^{20}\sqrt{3.25} = 1.0607039$ ； ${}^{20}\sqrt{3.26} = 1.0608669$ 。所以 ${}^{20}\sqrt{3.25} = 1.0607$

4. 测量结果的科学表示方法

【例】1.5kg 应写成 $1.5 \times 10^3 \text{ g}$ ，不能写成 1500g；

$(5234 \pm 1) \text{ km}$ 应写成 $(5.234 \pm 0.001) \times 10^6 \text{ m}$ ；

$(0.000456 \pm 0.000003) \text{ s}$ 应写成 $(4.56 \pm 0.03) \times 10^{-4} \text{ s}$

5.4 测量不确定度的有效位数：取一位或两位

1. 第一位非零有效数字是 1 和 2 时可取两位；3 以上只能取一位。

2. 预保留的最低位后的数字为零时舍去，不为零时进位。

3. 测量结果的有效位数由测量不确定度来决定。

【例】m 测量结果 100.02144550 g ，不确定度 0.0001775 g 。则 m 的测量结果为 100.02145 g 。解：保留两位有效数。

【例】改错 $(9.80 \pm 0.034) \text{ cm} \rightarrow (9.80 \pm 0.03) \text{ cm}$ ； $(2.804 \pm 0.03) \text{ cm} \rightarrow (2.80 \pm 0.03) \text{ cm}$

5.5 有效位数与换算单位

1. 十进制单位变换不影响有效数字位数。

2. 非十进制单位变换后误差所在位仍为有效数字末位。

【例】将 $\phi = 93.5^\circ$ 用弧度表示。

粗略判断其误差不小于 0.1° ， $0.1 \times \pi \div 180 = 0.002 \text{ rad}$ ，故 $93.5 \times \pi \div 180 = 1.632 \text{ rad}$

5.6 有效数字的运算法则

1. 加减运算的结果以参与运算的末位最高的数为准;

【例】 $12.4+0.571=13.0$; $12.34+2.3574=14.70$

2. 乘除则以有效数字最少的数为准, 有时可比其多取一位。

【例】 $3600 \times 8 = 2.9 \times 10^4$; $2.3574 \times 12.3 = 29.0$

3. 函数运算的取位方法通过函数计算来确定

【例】 已知 $x=56.7$, $y=\ln x$, 求 y

解: $u_x=0.1, u_y=|y'|u_x=0.002, y=\ln 56.7=4.038$

§ 6. 数据处理

6.1 数据计算

求解平均值、标准偏差、实验标准差 (A 类不确定度)、B 类不确定度、合成不确定度、测量结果。

6.2 数据整理的重要步骤——列表法

在原始数据记录以及整理数据时, 都要进行正规列表。将各量的关系有序地排列成表格形式。既有利于一目了然地表示各物理量之间的关系, 又便于发现实验中的问题。

6.3 作图法

1、选择合适的坐标分度值, 确定坐标纸的大小: 坐标分度值的选取应能反映测量值的有效位数, 一般以 $1 \sim 2\text{mm}$ 对应于测量仪表的最小分度值或对应于测量值的次末位数)。

2、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。

3、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)。

4、连成图线: 用直尺、曲线板等把点连成直线、光滑曲线。一般不强求直线或曲线通过每个实验点, 应使图线两边的实验点与图线最为接近且分布大体均匀。图线正穿过实验点时可以在点处断开。

5、标出图线特征: 在图上空白位置标明实验条件或从图上得出的某些参数。利用所绘直线可给出被测电阻 R 大小: 从所绘直线上读取两点 A 、 B 的坐标就可求出 R 值。

6、标出图名: 在图线下方或空白位置写出图线的名称及某些必要的说明。

6.4 最小二乘法

设此两物理量 x 、 y 满足线性关系, 且假定实验误差主要出现在 y 上, 设拟合直线公式为 $y=f(x)=a+bx$, 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, 即 $s = \sum [y_i - f(x_i)]^2 = \sum [y_i - (a + bx_i)]^2 \rightarrow \min$ 时, 所得拟合公式即为最佳经验公式。

据此有 $\frac{\partial s}{\partial a} = -2 \sum (y_i - a - bx_i) = 0$, $\frac{\partial s}{\partial b} = -2 \sum (y_i - a - bx_i)x_i = 0$

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

6.5 数据处理的表格法——逐差法

在有些实验中, 我们连续取得一些数据。如果依次相减, 就会发现中间许多数据并未发挥作用, 而影响到实验的可靠性。例如: 金属杨氏弹性模量实验和等厚干涉的牛顿环实验等。

二、示波器

§ 1. 实验目的

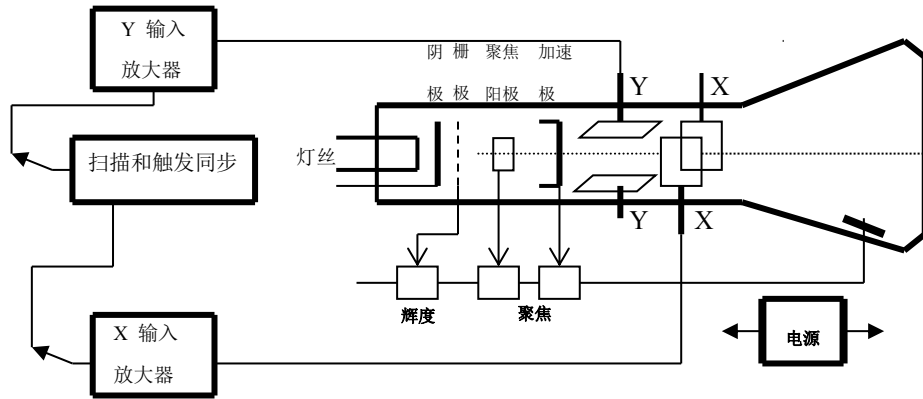
1、通过示波器的实验, 可以了解示波器的结构与原理, 熟悉示波器面板旋钮的功能, 进而掌握示波器的调节和使用方法。

2、学习用示波器观察信号波形, 并测量其幅度及周期与频率。

3、观察李萨如图形, 掌握一种测量频率的方法。

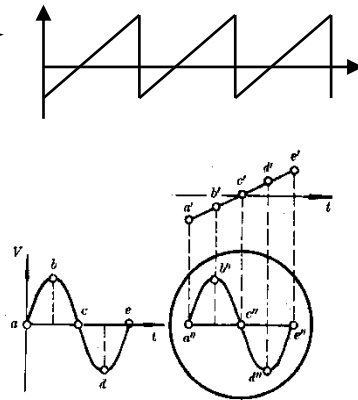
§ 2. 工作原理

1、示波器的基本结构——示波管、放大器（包括X轴放大和Y轴放大）、扫描和触发同步系统、电源四个基本部分组成。

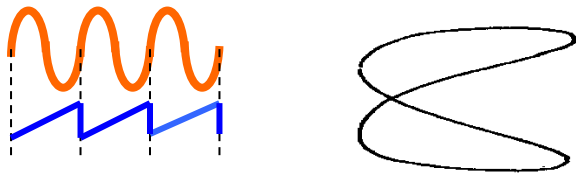


2、扫描——示波器工作时，需在X轴偏转板（水平偏转板）上加锯齿波形的电压，称为扫描电压。

在X轴上加有扫描电压的同时，如果在Y轴上加上待测的正弦变化电压 U ，就可以使 U 沿水平轴展开。此时，屏上显示的图形如图，当正弦电压的周期 T_y 与锯齿波电压的周期 T_x 恰好相等时，则正弦电压上 a, b, c, d, e 各点分别对应扫描信号上的 a', b', c', d', e' ，则正弦电压变化一周，光点正好扫描一次。以后各次扫描所得到的图形位置与第一次完全重叠，显示清晰、稳定的图形。



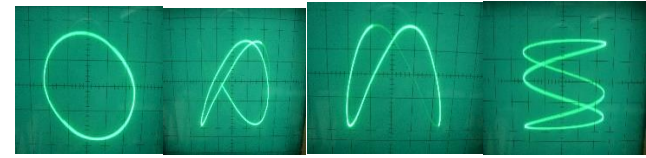
3、同步 $f_y = n f_x$ ， n 为正整数时显示稳定的波形



4、李萨如图形满足 $f_y * N_y = f_x * N_x$

李萨如图形相交的交点数示例 $N_y=4$, $N_x=2$

5、频率比与示图



§3.实验内容

1、电压 V_{P-P} 测量

A、直读法 $V_{P-P} = D * h$

V_{P-P} : 被测电压的峰-峰值

D : 示波器的偏转灵敏度

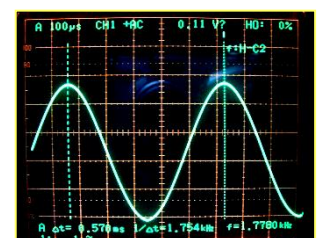
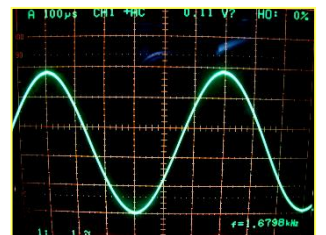
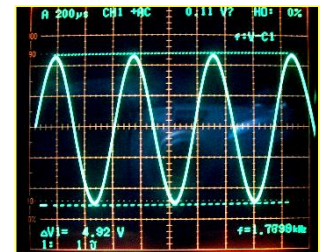
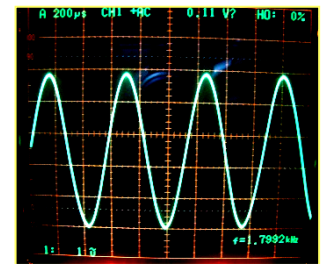
h : 被测电压波形高度，即格数

B、光标法

按下 $\Delta V-\Delta t-OFF$ 选择 ΔV ，这时会在屏上出现上下平行的两条水平光标，如图。

按下 TCK/C ，选择两条水平光标中的任一条（在前面会出现小亮线），调节 $CH1$ 或 $CH2$ 的上下位置移动旋钮，使光标到达所需位置。

再按下 TCK/C 选择两条水平光标中的另一条，到达所需的另一位置。



2、周期 T 与频率 f 的测量

A、直读法 $T_x = Q * x$

T_x : 测量周期

Q : 表示时基因素

X : 一个周期信号占有的格数

B、光标法

按下 $\Delta V-\Delta t-OFF$ 选择 ΔT ，这时会在屏上出现左右平行的两条垂直光标，如图6。

按下 TCK/C ，选择两条水平光标中的任一条（在

前面会出现小亮线), 调节 CH1 或 CH2 的上下位置移动旋钮, 使光标到达所需位置。

再按下 TCK/C 选择两条水平光标中的另一条, 到达所需的另一位置。

3、用比较法测定示波器的扫描频率验证 $f_y = nf_x$

具体方法可以首先调节 TIME/DIV 扫描时基信号, 比如选择 $0.5\text{ms}/\text{div}$ ($500\mu\text{s}$), 按 10 格求出水平扫描频率 200HZ , 然后细心调节信号发生器, 使示波器全屏显示 1 只, 2 只... 波形, 相应地从信号发生器上读出各种情况下的信号频率, 对应验证。将数字填入下表:

4、用李萨如图形测量未知信号的频率:

(1) 可从信号发生器的左边输出 50HZ 的标准信号作为被测信号输入到示波器的 CH2"轴。定为 f_y 信号。

(2) 信号发生器发出的信号输入到示波器的"CH1"轴。作为 f_x 信号。

(3) 示波器工作于"X---Y"状态。

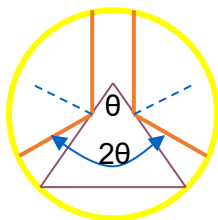
(4) 改变信号输出为 $25, 50, 75, 100, 150\text{HZ}$ 左右, 细心调节直到出现相对缓慢变化的稳定的图形。由公式 2 计算出 f_y 频率, 记录数据于表。

(5) 由测量的结果, 求出最佳实验值。

三、分光计

§1.实验目的

- 1.学会分光计的结构。
- 2.学会正确的分光计调节和使用方法。
- 3.利用分光计测量三棱镜的顶角。



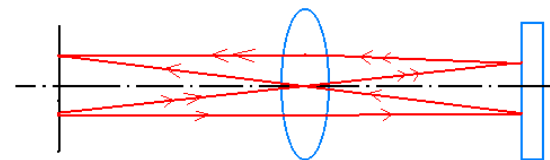
§2.实验原理

1.反射法测量三棱镜棱角

$$\theta = (\theta_{\text{右A}} - \theta_{\text{左A}}) + (\theta_{\text{右B}} - \theta_{\text{左B}}) / 4$$

2.自准直法

当发光点(物)处在凸透镜的焦平面时,它发出的光线通过透镜后将为一束平行光,若与光轴垂直的平面镜将此平行光反射回去,反射光再次通过透镜后仍会聚于透镜的焦平面上,其会聚点将在发光点相对于光轴的对称位置上。

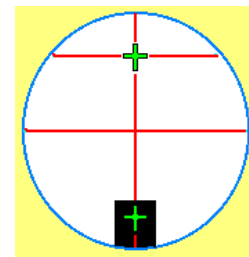


§3.实验内容

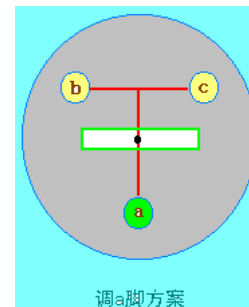
1. 分光计调整

(1) 调节目镜套筒进出, 使叉丝最清晰为止。

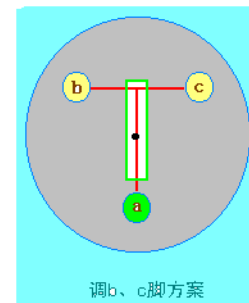
(2) 调节物镜套筒, 使亮绿十字最清晰为止, 从而达到物象最清晰的目的。



(3) 置反射镜平行于 b、c 脚的连线。预调十字于上横叉丝的上方, 当载物台转过 180° 度时, 若十字出现在上横叉丝的下方, 则调节 a 脚使十字向上横叉丝靠拢; 否则调节望远镜倾角使十字向上横叉丝靠拢。用逐次逼近法, 重复上述两步骤, 直到任意旋转载物台都能看到十字在上横叉丝处。

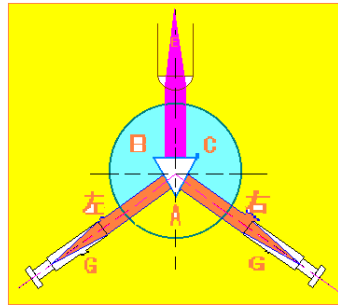


(4) 置反射镜垂直于 b、c 脚的连线。预调十字于上横叉丝的上方, 当载物台转过 180° 度时, 若十字出现在上横叉丝的下方, 则调节 b 或 c 脚使十字向上横叉丝靠拢; 否则调节望远镜倾角使十字向上横叉丝靠拢。用逐次逼近法, 重复上述两步骤, 直到任意旋转载物台都能看到十字在上横叉丝处。

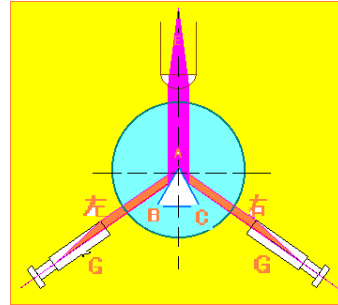


(5) 调节平行光管倾角, 使亮狭缝平行且重叠在下横叉丝处。调节狭缝器进出(调焦), 使亮狭缝最清晰为止。旋转狭缝器使亮狭缝平行且重叠于竖叉丝处。最后调节亮狭缝的大小约目视大小 $1-2\text{mm}$ 。

2. 两种棱镜角测量方法

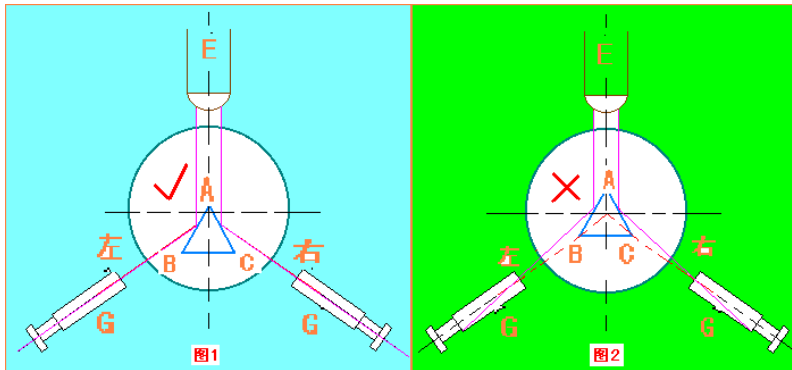


自准直法

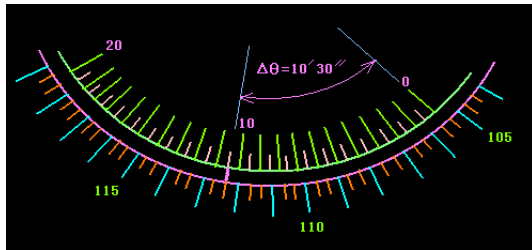


棱脊分束法

3. 两种三棱镜位置分析



4. 读角度方法

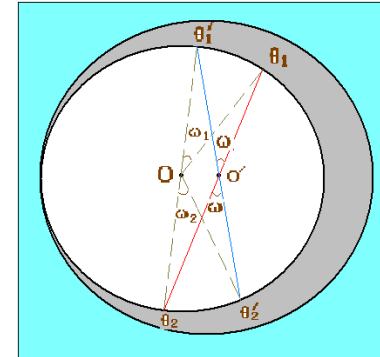


主尺读游标零刻度线对齐处。游标读亮光线对齐处角度值。 $105^{\circ}30'30''$

5. 消偏心差

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

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



§ 4. 思考题

1、怎样解决视差？

答：通过调节物镜筒使十字最清晰的方法，直到在 任何方位看到的十字和叉丝都不发生位移为止。

2、为什么用左右窗读数？

答：为了消除圆刻度盘的偏心差。

3、试画出十字成像光路图？

答：见下图。

