

大学物理实验

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、仪器的准确度不够、环境温度和湿度等条件发生变化、测量者的心理和习惯等人为因素; 同等条件下不变, 具有规律性。

2.2.2 随机误差 (偶然误差): 相对于真值无规律的涨落, 单峰性、对称性、有界性; 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 \times 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。

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

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

$$\text{测量次数 } n=6, \text{ 近似有 } u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \approx \sqrt{s(\bar{x})^2 + \Delta_{\text{仪}}^2/3} \approx 0.004\text{mm}$$

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

【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

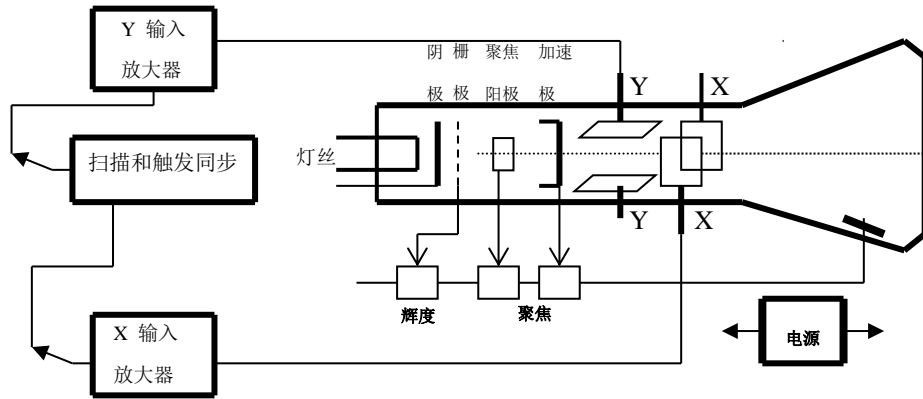
1、通过示波器的实验, 可以了解示波器的结构与原理, 熟悉示波器面板旋钮的功能, 进而掌握示波器的调节和使用方法。

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。

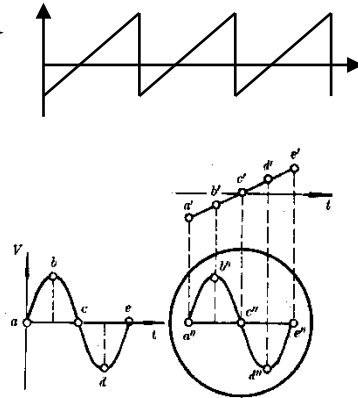
§ 2. 工作原理

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。

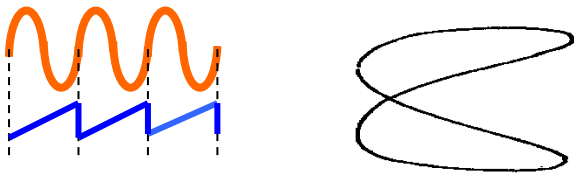


2、扫描——示波器工作时，需在X轴偏转板（水平偏转板）上加锯齿波形的电压，称为扫描电压。

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。



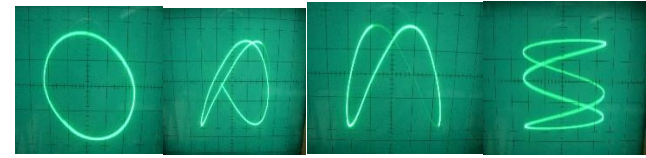
3、同步 $f_y = n f_x$ ， n 为正整数时显示稳定的波形



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

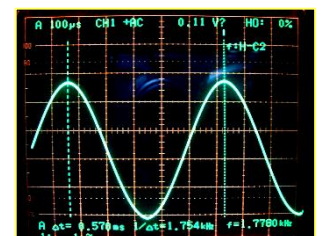
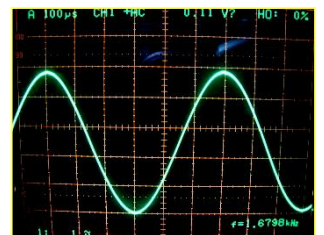
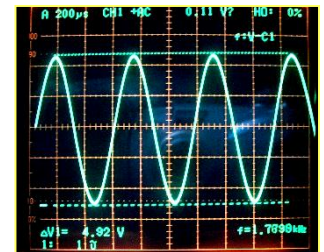
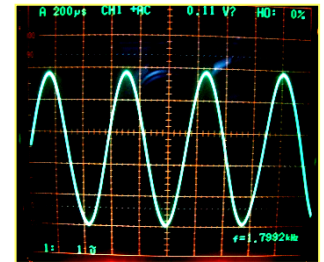
h : 被测电压波形高度，即格数

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

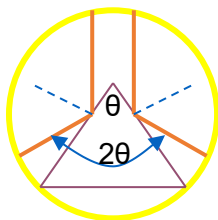
- 1.学会分光计的结构。
- 2.学会正确的分光计调节和使用方法。
- 3.利用分光计测量三棱镜的顶角。

§2.实验原理

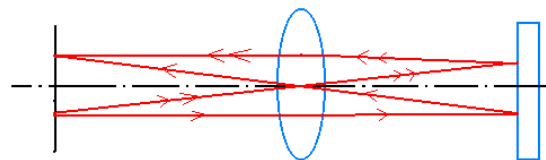
1.反射法测量三棱镜棱角

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

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。

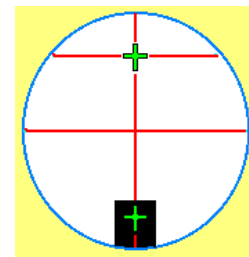


§3.实验内容

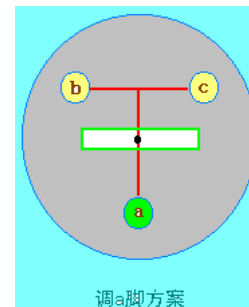
1. 分光计调整

(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。

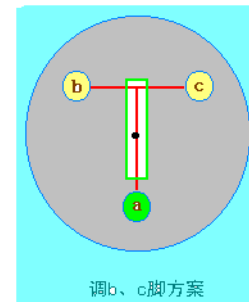


(3) 置反射镜平行于 b、c 脚的连线。预调十字于上横叉丝的上方, 当载物台转过 180° 度时, 若十字出现在上横叉丝的下方, 则调节 a 脚使十字向上横叉丝靠拢; 否则调节望远镜倾角使十字向上横叉丝靠拢。用逐次逼近法, 重复上述两步骤, 直到任意旋转载物台都能看到十字在上横叉丝处。



调a脚方案

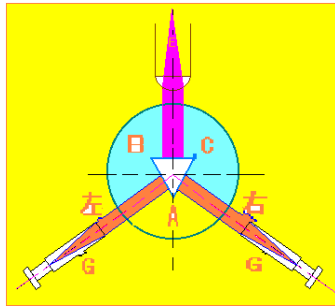
(4) 置反射镜垂直于 b、c 脚的连线。预调十字于上横叉丝的上方, 当载物台转过 180° 度时, 若十字出现在上横叉丝的下方, 则调节 b 或 c 脚使十字向上横叉丝靠拢; 否则调节望远镜倾角使十字向上横叉丝靠拢。用逐次逼近法, 重复上述两步骤, 直到任意旋转载物台都能看到十字在上横叉丝处。



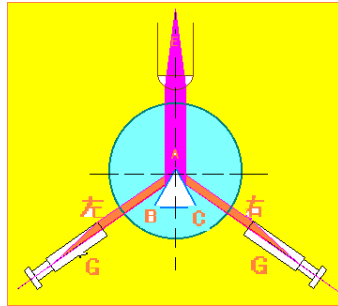
调b、c脚方案

(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

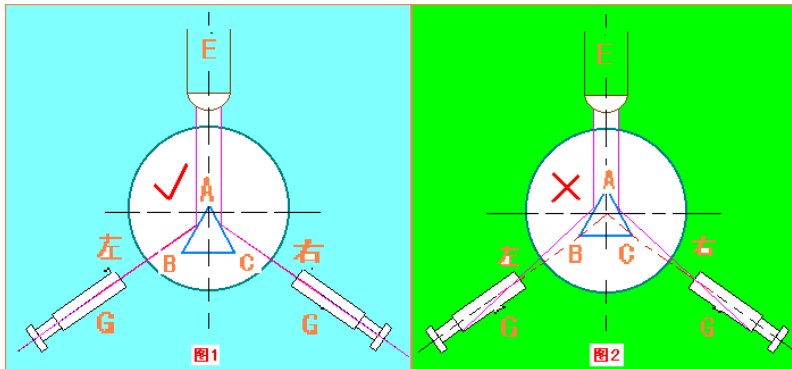


自准直法

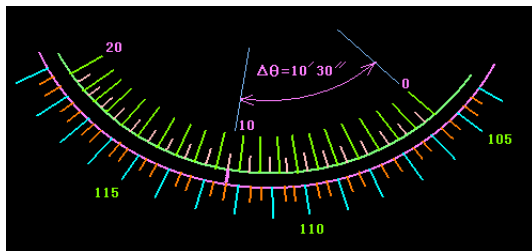


棱脊分束法

3. 两种三棱镜位置分析



4. 读角度方法

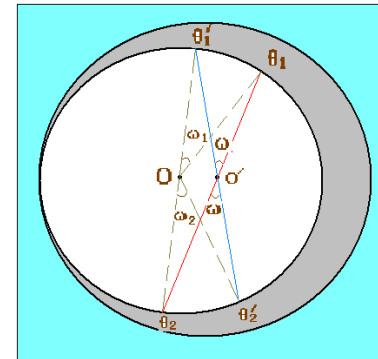


主尺读游标零刻度线对齐处。游标读亮光线对齐处角度值。 $105^{\circ}30'30''$

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？

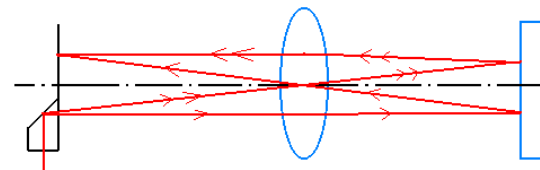
答：通过调节物镜筒使十字最清晰的方法，直到在 任何方位看到的十字和叉丝都不发生位移为止。

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。



四、力学实验基础知识

1. 基础概念

1.1 摩擦力：滑动摩擦力、滚动摩擦力、静摩擦力。

★减小摩擦力的方法：①用滚动代替滑动；②使接触面分离（加润滑油，形成气垫，

利用磁悬浮);③减小压力;④减小物体接触面粗糙程度。

1.2 长度: 刻度尺的零刻度线、分度值、量程。

1.3 时间: s , min , h ; 钟表、停表、电子表。

1.4 压电式传感器: 将被测量的变化转化为电压变化的传感器。

2. 实验设备

2.1 常用测量长度仪器:

(1) 毫米刻度尺:

(2) 游标卡尺:

(3) 螺旋测微器: 固定刻度+可动刻度-**零点修正值**

(4) 千分表:

2.2 质量称量仪器: (1) 电子天平; (2) 物理天平; (3) 分析天平。

2.3 计时仪器: (1) 机械秒表; (2) 电子秒表:

五、热学实验基础知识

1. 基本概念

1.1 温标:

1.2 比热容:

2. 热学实验设备:

2.1 常用温度测量设备: (1) 水银温度计; (2) 热电偶温度计:

2.2 干湿球湿度计

六、电磁学实验基础知识

1. 基本概念

1.1 电磁学测量的内容:

1.2 电磁学测量的方法: (1) 直接测量法; (2) 比较测量法

1.3 电表误差

(1) 电表测量误差: 仪器误差; 偶然误差。

(2) 电表测量误差与电表等级的关系:

① 相对额定误差=绝对误差÷表的量程; ② 仪器误差=量程×仪表登记%

(3) 数字电表误差:

2. 电磁学实验设备

2.1 电源: (1) 直流电源; (2) 交流电源

2.2 表头

2.3 电流计

2.4 万用表

2.5 可变电阻

2.6 开关

七、光学实验基础知识

1. 基本概念

1.1 空程差: 一般最基础的消除方法就是在实验过程中一旦开始读数就不能反转手轮。具体有如下几种方法:

(1) 消除起始位置法:

(2) 同向转动测量法:

(3) 正反双向求平均值法:

(4) 异值处理法:

1.2 视差: 由于度量标尺与被测物体不共面, 当眼睛晃动时, 标尺与被测物体之间会有相对移动。

1.3 等高共轴: 使用两步调节: (1) 目测初调法; (2) 用位移法进行细调法。

2. 光学实验设备

2.1 常用光源: (1) 半导体激光器; (2) 氦氖激光机; (3) 钠光灯; (4) 汞灯

2.2 光探测器: (1) 光电池; (2) 光电倍增管; (3) CCD

2.3 光学实验器件: (1) 光学镜片; (2) 光学实验平台; (3) 光具座; (4) 多维调整支架。