示波器的应用

写在前面：示波器有几个很重要的按钮，分别是**偏转因数选择(VOLTS/DIV旋钮)、扫描速率和幅度选择（TIME/DIV旋钮）、触发电平幅值（TRIG LEVEL旋钮）、垂直位移调节、水平位移调节、FUNCTION（光标测量）**

双踪示波器可以测量两个信号之间的时间差

示波器就显示方式来说，主要分为：**阴极射线示波器和液晶显示示波器**

示波器的构成

示波管、放大器、扫描与触发同步系统、电源

示波管是由**电子枪、偏转系统、荧光屏**三部分构成

波形扫描原理

X轴偏转板有一个周期性锯齿波形的电压，称为扫描电压

只加扫描电压，Y方向上没有电压时，光点将沿X轴方向从左到右作匀速移动，因为**荧光粉有一定的余辉，而且人眼有视觉暂留作用**，所以在屏上留下水平时间基线。

当锯齿波电压信号与被测电压信号的周期成整数倍关系，即

$$T_x = nT_y$$

波形显示稳定

当正弦波周期T_y大于锯齿波形的周期T_x时，波形会向右移动
当正弦波周期T_y小于锯齿波形的周期T_x时，波形会向左移动
上面这两句话也很好理解，如果$T_y > T_x$，则锯齿波经过一个周期后正弦波还没有走完，那到锯齿波重新开始一个周期，在屏幕上就是从左到右，那正弦波剩下的部分会移到最左边，看起来就像是向右移动了一样

李萨如图形

李萨如图形满足以下关系

$$f_y : f_x = N_x : N_y$$

f_y是y方向信号频率，f_x是x方向信号频率
N_y是y方向最多交点个数，N_x是x方向的最多交点个数

$f_y : f_x$越接近整数比，李萨如图翻转速度越慢，越稳定

示波器基本调节方法

1. 对示波器的亮度、聚焦进行调节
2. 选择合适触发源，触发耦合
3. 调节波形的水平和垂直位置，依次调节偏转因数选择，扫描频率和幅度选择，使得屏幕上显示合适的波形
4. 如果波形左移或者右移，通过调节**触发电平幅值**(TRIG LEVEL旋钮)来使其稳定下来

实验内容

电压的测量

（1）直接测量

$$U_{pp} = D\cdot h$$

D是示波器的偏转灵敏度，灵敏度越大刻度数值越小

（2）光标测量
两光标的距离就显示在屏幕的下方

频率或周期的测量

与电压的测量同理

用比较法验证$f_y = nf_x$

用李萨如图形测量未知信号的频率

示波器工作于“X—Y”状态
改变信号发生器的输出频率为25、50、75、100、150Hz左右，细心调节直到出现稳定的图形

测量二极管正向导通电压

$$U_{\text{正向}} = \frac{U_{1p-p}}{2} - U_{2p}$$

相位差测量

分光计

分光计的组成

四部分组成：望远镜、平行光管、载物平台、**读数装置**
目镜和物镜都是望远镜的一部分

测顶角α

$\angle\alpha = \frac{|\angle\text{右}_1 - \angle\text{左}_1| + |\angle\text{右}_2 - \angle\text{左}_2|}{4}$

自准直法调焦

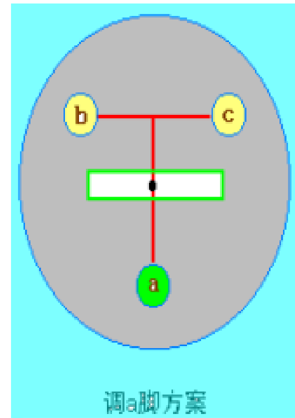
调节**物镜**，使得反射镜处于物镜的焦点上，这样的话亮十字成的像是清晰的，而且和亮十字在同一平面

有下面结论：
调节**目镜套筒**的进出，可以调节叉丝清晰度
调节**物镜套筒**的进出，可以调节亮十字清晰度

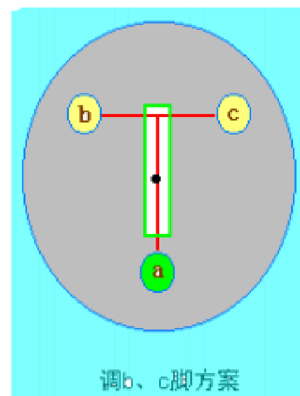
调节载物台

载物台上有三个脚，只需要调节其中两个
下面是调节的方法：

（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。用逐次逼进法，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。用逐次逼进法，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。



关键是先让反射镜和其中两角的连线平行，调好之后再和这条线垂直

调节狭缝

如果亮狭缝不清晰，可以**调节狭缝器的进出**，使亮狭缝最清晰为止，亮狭缝的大小约目视大小1~2mm

读数装置

读数游标窗有Ⅰ窗和Ⅱ窗两个，它们相隔180°，从Ⅰ窗、Ⅱ窗可以分别读出望远镜转过的角度，然后取平均值，作用：**消除中心轴可能存在的偏差**（也可以叫作消除偏心差）

这个读数跟游标卡尺的读数很像

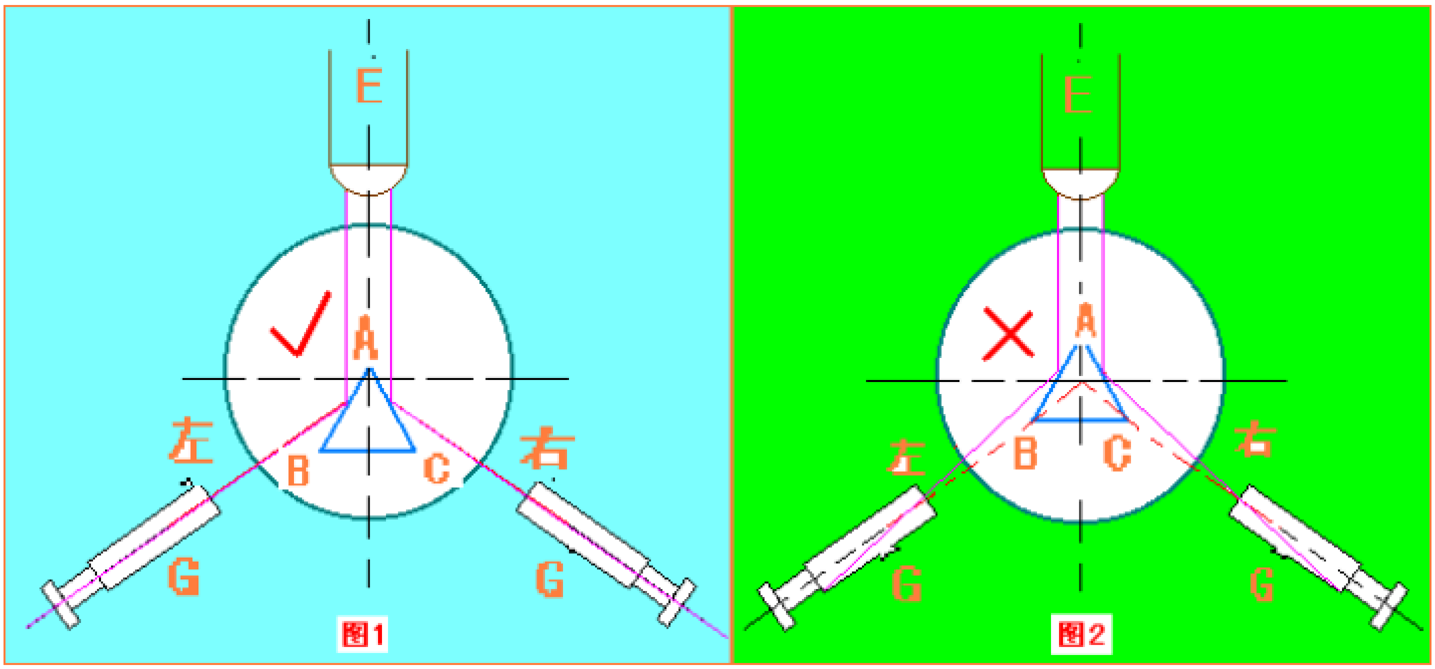
实验内容

先粗调再细调，粗调和细调的关键是能够理解：什么情况下要调节载物平台的倾斜度，什么情况下要调节望远镜的倾斜度

望远镜光轴、载物平台面应该分别与分光计中心转轴垂直

两种棱镜角测量方法：自准直法、棱脊分束法

三棱镜的要被测量的顶角应该放在平台的中心而不是三棱镜的中心与载物台中心重合，原因如下：



解决视差

为了消除视差，物镜和目镜都需要调节，先调目镜、再调物镜，直到任何方位看到的十字和叉丝都不发生位移为止

为什么用左右窗读数

为了消除圆刻度盘的偏心差

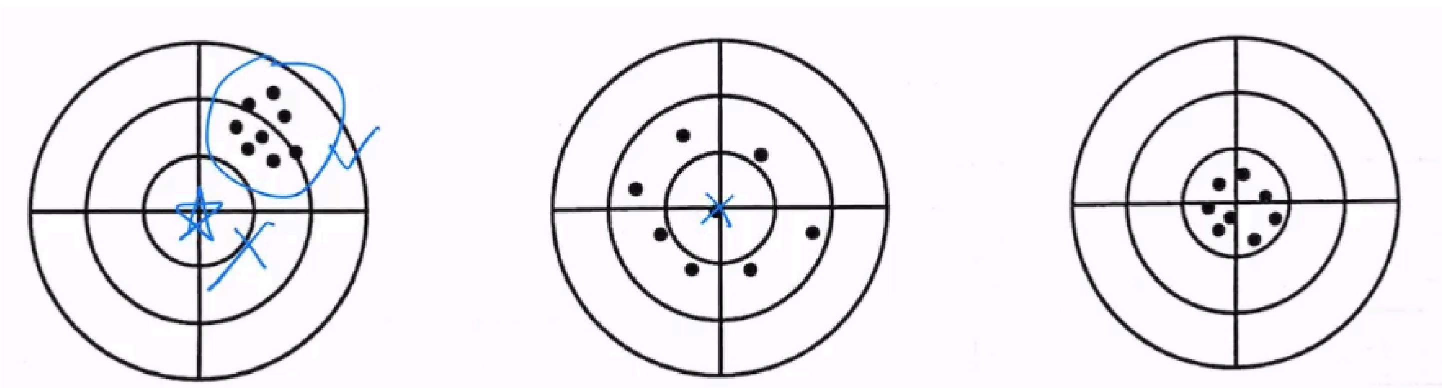
绪论

测量与误差

测量的四要素：被测对象、测量程序、测量准确度、计量单位

直接测量量、间接测量量

精密度(用标准偏差表示)、
正确度(测量数据的平均值偏离真值的程度)
准确度(测量数据集中于真值附近的程度准确度高，说明测量的平均值接近真值，且各次测量数据又比较集中)



第一个精密但不准确、第二个正确但不精密、第三个既精密又正确（准确度高）

任何测量都有误差，由于真值常常未知，所以无法得到误差值

绝对误差、相对误差、标准误差（标准差）

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，**不可避免**	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，**不可避免。**存在一定的统计规律（一般服从**正态分布**）	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	**可避免**	避免之	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，仪器本身的）
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B类不确定度计算会提到。	仪器的**允差**(示值误差)

三种误差类型

随机误差一般服从**正态分布**

仪器的允差（B类不确定度）属于**未定系统误差**

A类不确定度属于**偶然误差**

已定系统误差可以通过实验方法或引入修正值方法进行修正，也必选修正，如果已定系统误差不修正，就会导致粗大误差

常见的已定系统误差：**电子元件老化、机械零件移位、仪表零点漂移**

在大多数实验中，系统误差是测量误差的主要分量

正态分布

正态分布又叫作高斯分布

正态分布：单峰性、对称性、有界性、抵偿性

正态分布的标准差（这个标准差是测量了无穷次）：

正态分布的标准差： $\sigma = \lim_{n\to\infty}\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}$

0.683 0.955 0.997

实际应用（有限次）：
要区别单次测量标准差和平均值标准差

平均值	$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$	意义：真值μ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：测量这么多次中随便某一次结果x_i相对于$\bar{x}$的偏离程度。
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$\bar{x}$分散性，即$\bar{x}$与真值μ的偏离程度，评估着着我们算出来的$\bar{x}$到底好不好。

测量的不确定度

不确定度是一定概率下的误差限值

随机误差带来的是A类不确定度

不确定度的计算：

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

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

有效数字

有效数字由两部分构成:可靠数字、存疑数字
测量的可靠数字加上一位存疑数的全部数字

有效位数：从左边数第一个不为0的数

修约区间：

① 如果只有一个修约区间的整数倍最接近已知数，则此整数倍就认为是修约数。

【例 1】 已知数 12.223，要求修约区间为 0.1．到 12.223 最近的 0.1 的整数倍为 12.2，所以修约数取 12.2。

【例 2】 已知数 1 225.1，要求修约区间为 10．到 1 225.1 最近的 10 的整数倍为 1 230，所以修约数取 1 230。

② 如果有两个连续的修约区间的整数倍同等地接近已知数，则有两种不同的规则可以选用。

规则 1：选取偶数整数倍作为修约数。

【例 3】 已知数 12.25，要求修约区间为 0.1．到 12.25 最近的 0.1 的整数倍有两个，即 12.2 和 12.3，修约数取 12.2。

游标卡尺：10分度、20分度、50分度
就是把1mm分成10、20、50份
游标卡尺不估读，没有存疑数字，也就没有估读位

有效位数的取位

仪器确定后所有原始数据的有效数字位置都是确定的
比如，最小分度1mm的米尺，可靠位是1mm位，存疑位是0.1mm位
读出数值为0.1mm的整数倍

科学计数法不改变有效数字位数
（1）十进制单位换算：不影响有效数字位数
例：1200g=1.200kg
（2）非十进制的单位换算：保持误差所在位在单位换算后还是有效数字末位
例：

如：$\bar{\theta} = 93.5°$

误差为0.1°，先进行误差换算，$0.1° \rightarrow \frac{\pi}{180} \times 0.1 \ \ \text{rad} \approx 0.002 \ \ \text{rad}$

换算：$\bar{\theta} = 93.5° \rightarrow \bar{\theta} = \frac{\pi}{180} \times 93.5 \ \ \text{rad} = 1.632 \ \ \text{rad}$

有效数字运算法则

要注意：**位置最大 位数最少**

- 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：$3600 \times 8.0 = 2.9 \times 10^4$

三角函数和对数运算都是**位数相同**

➢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：$\lg 3.27 = 0.514$

这个第一次听说，记一下

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】$3600\times8=2.9\times10^4$；$2.3574\times12.3=29.0$

根号(比较特殊)：

【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
$$\sqrt[20]{3.25} = 1.060\ 7$$

ln和lg不一样？：

（4）函数运算的取位法则

函数运算的取位方法通过函数计算来确定。

【例 17】 已知 $x=56.7$，$y=\ln x$，求 y。

解： 因 x 的有误差值是在十分位上，所以取 $u_x=0.1$，再利用误差传递公式 $u_y=|f'(x)|u_x$ 去估计 y 的误差位。

$u_y=\dfrac{u_x}{x}\approx 0.002$，说明 y 的误差值在千分位上，所以 $y=\ln 56.7=4.038$。

下面这两个应该不常考，都是用公式推出来的：

$y=\ln x$	$u_y=\dfrac{u_x}{x}$
$y=\sin x$	$u_y=\lvert\cos x\rvert u_x$

！！ 要注意的是，最后的测量结果（带上不确定度的那个结果）要用科学计数法表示

如果不确定度有两位，测量结果应保留到不确定度的最小的那一位

有效数字的保留位数和修约法则

四舍六入五凑偶，**不可连续修约**

$12.4999 \to 12$

$12.5001 \to 13$

$12.5000 \to 12$

$13.5000 \to 14$

$2.2499 \to 2.2$

$2.1502 \to 2.2$

$2.1500 \to 2.2$

$2.2500 \to 2.2$

测量不确定度的特殊规定

修约法则：只看欲保留位的后一位，别的不看，欲保留的最低位后的这1位数不为零则进位，为零则舍去

平均值体现的是测量的正确度，不确定度体现的是测量的精密度

？？？ 这也行吗

$$g = (979.7 \pm 1.1)\ \mathrm{cm/s^2}$$

四种数据处理方法

作图法、列表法、最小二乘法、逐差法

历年题知识点

我草了选择题是不定项QAQ！！！！！！！

1. 可以用仪器最小分度值或最小分度值的一半作为该仪器的单次测量误差
2. 测量最基本的方式是比较，即将被测的位置物理量和预定的标准量进行比较的一种手段
3. 正态分布的特征：单峰性、对称性、有界性、抵偿性
4. 图纸的最小刻度可和变量的有效位数的（次末位）相对应
5. 数据处理的四种方法：作图法、列表法、最小二乘法、逐差法
6. 示波器屏幕上显示为一条水平的亮线，可能原因是：没有接收到输入信号、扫描周期设置过大、耦合方式设置不当
7. 分光计三垂直：望远镜光轴与分光计主轴垂直、平行光管光轴与分光计主轴垂直、载物台台面与分光计主轴垂直
8. 三种已定系统误差：电子元件老化、机械零件位移、仪表零点漂移

3.简答题
考查示波器部分的测量二极管的正向导通电压
1.画出电路接线图（连线题）
2.写出测量公式

4.计算题
金属圆环，内半径D1=平均值±不确定度，外半径D2=平均值±不确定度，高度h=平均值±不确定度，求圆环体积。

5.实验设计题
用拍频法测量待测音叉的本征频率。
给出实验原理，实验器材，写出实验步骤、测量公式、误差分析
实验原理；拍频法（大家可以百度）
实验器材：一个标准音叉，一个待测音叉；秒表；音叉锤一个；音叉夹一个（可以改变音叉质量）

三、2道简答题（20分）

1.示波器实验中，扫描周期1ms波形向左移动，扫描周期5s时波形为一条竖直直线并向右移动，解释原因

2.用自准直法测量三棱镜顶角，画出示意图和给出计算公式（这个好像实验报告里有）

四、2道问答题（30分）

1.某个星球上测单摆，给出测量的l和T（均含不确定度）以及直尺和毫秒表的允差

（1）写出g的测量结果

（2）判断不确定度的主要来源，以及如何在不改变测量条件的情况下提高准确度

2.给出公式L=L0（1+αt），以及8组L和t的测量值，要求画出直线图并求出α和L0

9. 不确定度不会因为零点修正而发生改变，零点误差为负值，在计算真值的时候应该加上，零点误差为正值，应该减去
10. 示波器（李萨如图形）：CH1接的是X，CH2接的是Y
11. 作图法：图纸的最小刻度可和变量的有效位数的次末位相对应(测量仪表的最小分度值)
12. 作图法应该写上**图名和图注**
13. 等级为1.0的意思是1.0%，等级为0.5的意思是0.5%
14. 视差是**偶然误差**
15. 示波器实验中不考虑二极管的导通电阻会导致测量结果偏小，这属于系统误差，实际实验中选用负载小一点的电阻，因为那样的话更接近线性区

下面这个例题，既有加减，又有乘除，在这种情况下，计算不确定度：

解： 环体积为$V = \frac{\pi}{4}\left(\varphi_{外}^2 - \varphi_{内}^2\right)h = \frac{\pi}{4}(9.800^2 - 4.500^2) \times 5.000 = 2.976\times10^2 mm^3$

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

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

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

$$\frac{\Delta V}{V} = \sqrt{(\frac{2\varphi_{外}\Delta\varphi_{外}}{\varphi_{外}^2 - \varphi_{内}^2})^2 + (\frac{2\varphi_{内}\Delta\varphi_{内}}{\varphi_{外}^2 - \varphi_{内}^2})^2 + (\frac{\Delta h}{h})^2}$$

$$= \sqrt{(\frac{2 \times 9.800 \times 0.005}{9.800^2 - 4.500^2})^2 + (\frac{2 \times 4.500 \times 0.005}{9.800^2 - 4.500^2})^2 + (\frac{0.005}{5.000})^2} = 0.0055$$

$$= 0.55\%$$

$\Delta V = V\times\Delta V/V = 2.976\times10^2\times0.55\% \approx 2$

因此，环的体积为 $V=(2.98\pm0.02)\times10^2\ mm^3$

我最喜欢的实验是扭摆法测量物体转动惯量和密立根油滴实验
体会：扭摆法测量物体转动惯量需要处理的数据很多，这大大提升了我计算不确定度的能力，在这个过程中我巩固了大学物理学到的刚体力学相关的知识，对于转动惯量这一物理概念有了更深刻的认识。
通过进行密立根油滴实验，我学会了如果用逐差法处理数据，这个实验让我对于电荷量子化有了更直观的认识。这个实验需要选择大小合适的油滴，否则实验误差会很大。这个实验让我学会了减小实验误差的操作和数据处理方法。
建议：扭摆法测转动惯量需要处理的数据有点太多了，导致完成这个实验需要的总时长明显高于其他实验，希望能适当减少这个实验的数据量。

2023-2024 期末题

计算题：

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8
d/mm	0.792	0.798	0.803	0.806	0.795	0.788	1.000	0.803

woc这里面有一个是异常值，1.000明显比其他的值大很多，所以要把这个值舍去！

这个题还有一个知识点是零点误差
零点误差在最后的时候要加上或者减去，但是在计算不确定度的时候不要加进去，其实加进去数值应该也不会变，但是书上的例题是没有考虑这个零点误差的：

【**例 2**】 用螺旋测微计测量一微小长度,重复测量 6 次得到数据如表 1 - 4 - 2。螺旋测微计的零点误差为 -0.005 mm,螺旋测微计的仪器误差为 0.004 mm,求该长度 l。

表 1 - 4 - 2

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

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

最佳估计值: $l_0 = [2.568\ 3 - (-0.005)]\ \text{mm} = 2.573\ \text{mm}$

A 类分量:$u_A = \sqrt{\dfrac{\sum_{i=1}^{6}(l_i - \bar{l})}{6 \times (6-1)}} = 0.001\ \text{mm}$

B 类分量:$u_B = \Delta_{仪器}/\sqrt{3} = 0.003\ \text{mm}$

合成标准不确定度:$u_l = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{0.001^2 + 0.003^2}\ \text{mm} = 0.004\ \text{mm}$

测量结果:$l = 2.573 \pm 0.004\ \text{mm}$