物理实验讲义

（一）

衡阳医学院
湖南医学院 编

一九八六年六月

目 录

目 录

绪　论

物理实验的意义和目的

物理学和其他自然科学一样，是一门以观察和实验为基础的科学。自然界的现象非常错综复杂，为阐明物理现象的规律性，单凭在自然条件下原形原样加以观察往往是不够的，还必须让要研究的现象在人为控制的条件下重演，并变换与现象有关的因素，加以观察和分析，从而确定各个因素的相互联系，这就是实验。许多自然科学的定律都是从实验结果概括出来的。定律的正确与否，还必须通过大量的实践去验证和推进。正如毛主席在实践论中指出的："通过实践而发现真理，又通过实践来验证真理和发展真理"。

物理实验是物理教学中不可缺少的一个环节，也是实验技术的基础之一。物理实验方法和测量技术被广泛地应用于其他科学技术中，如医学实验，临床诊断，治疗，卫生，保健，药物分析鉴定，以及生命机制的研究；而且越来越显得重要。开设物理实验的目的之一就是要对学生进行一些基本技能训练．根据卫生部颁发的基本技能训练项目中规定，要求通过物理实验使学生基本上掌握常用的量度法，其中包括质量、温度、长度、时间、电流、电压、电动势、电阻等的测量；电子示波器的使用；误差，有效数字的运算，估计实验结果的可靠性；用表格、曲线、座标图表示实验结果。我们的实验就是根据这些要求安排的。

同时，象物理实验中，通过对现象的观察和分析，通过对各种物理量的测量，让同学们自己去验证课堂上学的某些物理现象、定律和理论，可以更深刻地理解和巩固所学的知识。通过实验还可以逐渐培养和提高同学们的独立工作能力，培养科学思维方法、严格的科学工作作风和实事求是的科学态度。

测量的误差

一　误差的来源

在实验室中测量任何物理量，都不可能绝对精确。测量结果的准确度如何确定；如何表达；怎样进行实验才能提高测量的准确性，这些问题在一切实验中都是存在的。下面就这几个问题作初步的讨论。

1．测量的分类：

从不同角度，可分为直接测量和间接测量，或等精度测量和不等精度测量。直接测量和间接测量：一般的基本测量都属于直接测量，如以米尺测某物的长度，以天平称某物体的质量，以停表测时间。如果直接测出的只是与待求量有已知关系的一些其他量，利用这些直接测得的量通过已知的关系计算出待求量，叫间接测量。等精度测量和不等精度测量：如果对某一量重复地测量许多次，每次测量条件都是相同的（同一观测者，同样细心，同样的方法，同样的仪器，同样的环境），则我们没有根据说其中某一次测量比其他次测量更准一些。这就是等精度测量。如果每次测量时条件是不同的，这就是不等精度测量。

2．测量误差：

(1) 误差的定义　在进行测量时，由于各种原因而致使测量结果N与待测量的真值N_0之间有一定偏差，这些偏差称为测量误差。实验结果都具有误差，误差自始至终存在于一切科学实验的过程之中。以△N表示误差，则　$\Delta N = N - N_0$

测量误差的大小显然就是测量准确程度的反映。

自然界中的一切物体都是处于永恒的运动之中，上面所说的真值是在某一时刻和某一位置或某状态下，某量的效应体现出的客观值或实际值。除了理论真值（如平面三角形三内角和为180°），计量学约定真值（如铂铱合金的国际千克原器的质量为1千克）以外，一般说来，真值是未知的，但它确是客观存在的。

（2）误差分类　根据误差的性质，可以把误差分为粗差、系统误差、偶然误差三类：

A．粗差　明显歪曲测量结果的误差称为粗差。如测错（测量时对错了标志），读错（如将3读为8），记错，实验状况未达到预想的指标（如真空度未达要求），而匆忙实验等都会带来粗差。含有粗差的测量值称为坏值，应予剔除。

B．系统误差　在同一条件下多次测量同一量时，误差的绝对值和符号保持恒定；或在条件改变时，按某一确定的规律变化的误差，称为系统误差。

系统误差的来源大致有：仪器的误差（因仪器上某种固定缺陷所引起的，如温度计的零点未校准）；实验方法误差（由于实验理论探讨得不够充分，或是由于对影响实验的全部因素不尽知道所致。如用高灵敏度天平称物体质量时，没有考虑空气浮力的影响）；人员误差（由于测量者个人生理和心理上的特点所引起的。如以停表记录时间时，有人总是超前，或总是滞后。）

要减少系统误差，首先要从实际出发，分析产生系统误差的原因，尽量消除产生系统误差的因素。

下面我们将只讨论偶然误差及其处理方法。

C．偶然误差　在实验时，即使系统误差已被减小到可以忽略的程度，仍将有一定的误差存在。这种误差是由一类难以估计和控制的偶然因素引起的。如观测者感官分辨本领的限制（读数时一般规定读到仪器最小刻度的1/10那一位为止，因此最后一位是估计的，这就产生了误差），物理量本身的涨落变化，周围环境的干扰。这种误差是事先无法防止，也无法消除的。它的绝对值时大时小，它的符号时正时负，是一种随机事件，称为随机误差或偶然误差。

如果在同样条件下，对同一量进行多次测量，发现绝大多数偶然误差具有下列特点。

a）绝对值小的要比绝对值大的偶然误差常见（即绝对值小的偶然误差出现的概率最大）。

b）大小相等，符号相反的偶然误差的数目大致相等（即出现的概率相等）。

c）绝对值很大的偶然误差不会有（即出现的概率为0）。

偶然误差的这种分布称为高斯分布。基于以上性质，导致了它有正负相消的机会，多次测量的测量值的算术平均值比单个测量值更加接近于真值。测量次数愈多，抵偿性愈明显，其算术平均值就愈接近真值。所以用增加测量次数来减小偶然误差。

二　最近真值与方均根误差

现在要问，在各测量值所散布的范围内，哪一个数值应该看作是待测量最可靠或最近

真值，也就是说，哪一个数值大概同真值最为接近？根据高斯认为，如有一数能把各测量值同它的偏差的平方的总和变为最小值者，那末此数就是待测量的最近真值。如果我们对同一物理量进行了几次等精度测量，得一组测量值X_1，X_2，X_3……X_n，这个条件将为算术平均值

$$\overline{x}=\frac{X_1+X_2\cdots\cdots+X_n}{n}=\frac{\sum_{i=1}^{n}X_i}{n}\cdots\cdots(1)$$ 所满足。

设以$U_i=\overline{x}-X_i$ 表示各次测量值X_i与最近真值$\overline{x}$之间的偏差，这个偏差有的为正有的为负。于是从（1）式不难得出$\sum U_i=0$。理论证明，测量值X_i的方均根误差（方差）为

$$\varepsilon=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}U_i^2}{n-1}}\cdots\cdots(2)$$

而平均值$\overline{x}$的方均根误差为

$$\Delta X=\frac{\varepsilon}{\sqrt{n}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}U_i^2}{n(n-1)}}\cdots\cdots(3)$$

由此可见，平均值的方差显然要比测量值的方差小，而且小一个因子 $1/\sqrt{n}$。

表1列举了对某一长度进行10次（n=10）测量的一组测量值，根据公式（2）得测量值的方差

$$\varepsilon=\sqrt{\frac{2040}{9}}\times10^{-3}=\pm0.01505\text{cm}$$

平均值的方差

$$\Delta X=\sqrt{\frac{2040}{10(10-1)}}=\pm0.00476\text{cm}$$

然而误差计算的结果，决不能看作是一个严正的结果，因为它只是根据概率论的一些假定而求得的．它只能从数量级方面来对实验结果的可靠程度作出一个恰当的评价。因此把误差结果算得十分准确是毫无意义的，误差最多取两位数字。所以上面算得的误差$\varepsilon=\pm0.015$cm，$\Delta X=\pm0.005$cm。平均值的最后一位与ΔX的最后一位对齐，即$\overline{x}$ = 63.564cm．如果把已经完全不可靠的数写出很多位，显然是没有意义的。除根据误差计算认为是可靠的位数以外，只能保留不可靠的数中的第一位．现在我们取下列数值作为最后结果。

$$X=\overline{x}\pm\Delta X=(63.564\pm0.005)\ \text{cm}$$

对上面这一长度的测量值，除已有的许多测量值外，每增加一个新的测量值，平均值一般会随之变化，但如果原有测量值愈多，则变化愈小。平均值将以愈来愈小的幅度在

最终值的附近无规则地摆动，当$n \to \infty$时，它就渐近地向这个最终值靠拢。不难证明，

表 1

X_i (cm)	63.57	63.58	63.55	93.56	63.56	63.59	63.55	63.54	63.57	63.57
$U_i \times 10^3$(cm)	+6	+16	−14	−4	−4	+26	−14	−24	+6	+6
$U_i^2 \times 10^3$ (cm)	36	256	196	16	16	676	196	576	36	36
$\overline{X} = 63.564$　　$\Sigma U_i = 2040 \times 10^{-6}$										

如果不止测量n次，而测Zn次，而且n为数并不太小，那未平均值的误差大约只比前者小一个因子个$1/\sqrt{Z}$。所以如果不止做10次测量，而做100次，那未平均值的误差只能压低大约$1/\sqrt{10} \approx 1/3$。这说明把测量次数增加过多，价值不太大，因增加测量次数而浪费时间，往往是得不偿失的。

到目前为止，我们所讨论的误差，称为实验结果的绝对误差。如果测量1cm长度时，发生±0.1cm的误差，与测量1000cm长度时也发生0.1cm的误差，两者绝对误差都是±0.1cm，为评价两次测量的好坏，还必须提出相对误差。实验误差与实验结果的比值，即$\triangle X/X$，叫相对误差，通常用%表示，它也至多取两位数字。

对于只测一次的量，它的误差自然只能予以估计。例如在算尺上只能读一次的读数，往往可以估计其误差为±0.1分格。

三　间接测量误差

在实验中，往往必须从一个或几个直接测得的量来求一个待测物理量的数值，所以它是一个间接测量值，由于直接测量结果有误差，这些误差代入间接测量量的计算中，从而感染了它的最后结果。

我们先研究两个测量值（$X = \overline{x} \pm \triangle X$，$y = \overline{y} \pm \triangle y$）之和。

$$N = X + y = (\overline{x} \pm \triangle X) + (\overline{y} \pm \triangle y)$$
$$= \overline{x} + \overline{y} \pm (\triangle X + \triangle y)$$

于是
$$\overline{N} = \overline{x} + \overline{y},$$
$$\triangle N = \pm(\triangle X + \triangle y)$$

这里因为$\triangle X$和$\triangle y$的符号可相反，把两者的绝对值相加，就得到误差的最坏估计、用同样方法可以得出：

定理一：和与差的绝对误差等于各个分量的绝对误差之和。

即　若　$N = X \pm y$　则　$\triangle N = \triangle X + \triangle Y$

定理二：积和商的相对误差等于各分量的相对误差之和。

即　若　$N = X \left(\begin{smallmatrix}\times\\ \div\end{smallmatrix}\right) Y$　则　$\dfrac{\triangle N}{N} = \dfrac{\triangle X}{X} + \dfrac{\triangle y}{y}$

一般情况下，若待测量N是直接测量量$x, y, z, \cdots$的函数，即$N = f(x, y, z, \cdots)$，各

量代入间接测量值计算中的误差自然往往会相互影响，如果作最坏的打算，我们考虑所有误差相互加强的情况，这时最后结果的误差

$$\triangle N=\left|\frac{\partial f}{\partial X}\right|\triangle X+\left|\frac{\partial f}{\partial y}\right|\triangle y+\left|\frac{\partial f}{\partial z}\right|\triangle Z+\cdots\cdots$$

如果N是幂数的乘积，即$N=AX^a y^b Z^c\cdots$，其结果的最大相对误差为

$$\frac{\triangle N}{N}=|a|\frac{\triangle X}{X}+|b|\frac{\triangle y}{y}+|c|\frac{\triangle Z}{Z}+\cdots\cdots$$

【例1】有一装有空气的瓶，其总质量$M=20.1425\pm0.0002$克，今将其中空气抽去称之，则得其质量$m=20.0105\pm0.0002$克，问瓶内空气的质量为多少克？

解　设瓶内空气质量为N克

$$\overline{N}=\overline{M}-\overline{m}=20.1425-20.0105=0.1320\text{克}$$

$$\triangle N=\triangle M+\triangle m=0.0002+0.0002=0.0004$$

$$\therefore N=\overline{N}\pm\triangle N=0.1320\pm0.0004\text{克}$$

$$E=\frac{\triangle N}{N}=\frac{0.0004}{0.1320}=0.3\%$$

【例2】圆的直径$D=13.06\pm0.02$厘米，求面积A

解　$\overline{A}=\frac{1}{4}\pi\overline{D}^2=\frac{1}{4}3.1416\times(13.06)^2=133.96$

$$\frac{\triangle A}{A}=2\frac{\triangle D}{D}=\frac{2\times0.02}{13.06}=0.3\%$$

$$\triangle A=0.3\%\times133.96\cong0.4$$

$$\therefore\quad A=134.0\pm0.4\text{厘米}^2$$

从这两个例题看出，凡遇到进行加减运算时，应先求出绝对误差，再求其相对误差，而遇到乘除运算时，则先求其相对误差，然后再求其绝对误差。

四　测量结果的有效数字

任何一个物理量，其量度的结果既然都是或多或少的存在着误差，那么，它的数值就不应无止境地写下去。实验中测量结果不仅要表示量值的大小，还要能表示出数据的准确程度。因此，在记录测量结果和进行计算的时候，就必须遵守有效数字的法则。

什么是有效数字？将一测量结果的数值记录到开始有误差的那一位数为止，所有这些记录下来的数字，除了用以表示小数点位置的零外，就是这测量结果的有效数字。如3.62厘米，“3.6”是可靠的，称可靠数，“2”是估计出来的，称可疑数。可靠数字，加上一位可疑数就是这一数值的有效数字。3.62厘米是三位有效数，精确到1/10毫米。3.6200厘米，是五位有效数，最后的“0”是估计的，精确到1/1000毫米。

直接测量值的有效数字决定于测量仪器的精密度。如米尺最小刻度为1毫米，即精确密度为1毫米，读数时，应估计到1/10毫米。

至于误差(绝对误差、相对误差)的有效数字，在我们的实验中规定最多只取两位。

多次测量平均值的有效数字，由它的绝对误差确定；间接测量结果的有效数字由间接测量结果的绝对误差确定。在任何数值中，其数值的最后一位，在位数上应与误差的最后一位划齐。如前面例2中，$\triangle A = 0.4$厘米^2，故数值133.96厘米^{2}从“9”开始有误差，“9”后面的数字四舍五入，写成134.0 ± 0.4厘米^2。

一数值的有效数字愈多，其百分误差愈小，即准确程度愈高。1.35 ± 0.01厘米，为三位有效数，百分误差$\cong 0.7\%$，1.3500 ± 0.0001厘米为五位有效数，百分误差$\cong 0.007\%$。这一点是有效数字最基本的意义。

有效数字的位数与十进制单位的变换无关，即与小数点的位置无关，且与用以表示小数点位置的“0”也无关。例如1.35 ± 0.01厘米$= 13.5 \pm 0.1$毫米$= 0.0135 \pm 0.0001$米，这三种表示法完全等效，均为三位有效数字，百分误差均为0.7%。

当“0”不是用作表示小数点位置时，即自左向右第一位不为“0”的数字后面的“0”都是有效数字。如1.0035 ± 0.0001厘米，1.3500 ± 0.0001厘米，均为五位有效数。可见数字后面不能随便加“0”，也不能随便略去“0”。

数值的标准写法。如果数值很大，而其有效数字位数不多，则数值大小与有效数字位数就发生冲突，如1949年我国只有五亿四千万人口，绝对误差为1千万，显然写54000 ± 1000万是错误的，正确写法是$(5.4 \pm 0.1) \times 10^4$万。很小的数，如$0.0135 \pm 0.0001$米，可写为$(1.35 \pm 0.01) \times 10^{-2}$米。

有些常数如三角形面积$A = \frac{1}{2}$底×高，式中“2”是准确值，有效数字位数可以任意选取，如写成2.0，2.00。

实验中的一些规则

一　预习

进实验室前，必须对即将进行的实验进行预习，不打无准备之战。

二　实验记录

学习如何做好一个整洁而为任何一个同行所能看懂的实验记录是实验课的重要任务之一。学生应备有专门的物理实验记录本，记录本页次应编号固定装订。记录应包括：实验名称、日期、必要时注明实验装置及待测样品的编号或其他规格，最重要的是实验数据。记录内容要完整，字迹功整，用园珠笔或钢笔填写，避免用橡皮擦掉、涂改。确有理由要删去或改动者，应用笔轻轻划掉，将新数据写在旁边，并注明理由。实验做完后，记录先交老师过目签字。

三　测量次数与读数

作为一种规定，对于每一个直接可以测量的量进行测量时，凡是可能的，一般必须重复十次，至少也要五次。但如测量结果须从一整套测量中才能算出时，这种重复就没有必要，因为许多不同的测量，对其结果的准确度所起的作用，多数是与同一种测量重复多次大致相同。

但是一再重复同一种测量时，一次已经取得的读数，不可避免地也要使人产生一种

心理上的后果，妨碍我们不偏不倚地重新作出新的判断，因此在重复测量中，凡是可能的，总必须作些变化，如用米尺测量长度时，每次在米尺上选取不同的起点，两边读数。

四　电路接线

连接电路前，必须在记录本上画一幅清楚而一目了然的电路图。然后从电源开关开始接线（开关处于断开状态），电源开关总是应该直接与电源相接。然后照电路图逐步往后接下去，直到电源的另一个极。如果有支路，则应把一个接好后，再接另一个。电路接好后，先请老师检查，检查无误再接通电源。接各种仪表时，要注意电流方向和仪表的量程。

五　实验报告

实验报告一般应包括：实验名称、原理简述、实验数据、数据处理，有时还必须回答问题或对误差进行分析，实验报告，要求字迹功整，在规定时间内完成，连同记录本一同由课代表统一交给老师。

实验数据处理要根据误差理论和有效数字规定进行，有条件的应用微型机来处理。

实验结果有时须用图解表示。在大多数情况下，是在直角坐标纸上作图，常用的坐标纸有毫米纸和一个坐标或两个坐标都分成以十为底的对数的对数纸（单对数纸和双对数纸）。作图要注意以下几点：

1）选择横坐标与纵坐标表示数值范围时，要求把全部数据表示在图纸上。为了充分利用图纸，坐标不一定从“0”开始，横坐标与纵坐标的比例尺，一要方便，二要充分利用坐标纸的横向和纵向总长度，以避免图面有空白区域或图线偏居一侧。

2）根据数据点画一平滑均匀的图线，曲线尽可能画得细。要特别注意，由于实验不可避免地有误差，有些数据点必然会偏离图线，不需要免强地使图线通过一切的数据点，因为图线表示的是实验的总结果，不应该迁就个别的测量结果（数据点）。但是应该使偏离图线的那些数据点均匀地分布在图线的两侧，如果有个别数据点偏离图线特别远，则可以舍弃这一点，很可能这是实验的错误。

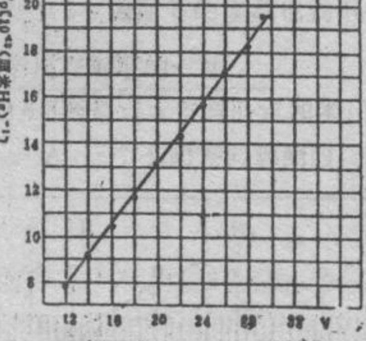


图 0 — 1

图 0 — 1 表示恒温过程中气体的体积 V 和压强倒数 1 /p间的关系的图示。

用图示法整理数据，除了可以得到某些物理量之间的相互关系外，还可以由图线找出需要的量。例如从图线上的点子寻找插值（两个数据点之间的其他数值）。

练　习

1　在同样条件下，同一测量者用同一仪器对同一金属杆之长度进行了十次测量，得出下列一组测量值（单位cm）

30.45	30.52	30.43	30.49	30.48
30.50	30.46	30.51	30.47	30.49

求出算术平均值及其方差，写出测量最后结果。

2　利用阿基米德定律测物体的密度时公式为 $\rho=\rho'\dfrac{y-y_0}{y-y'}$。设以25.6°C的蒸馏水作为比较液体（$\rho'=0.997$克厘米$^{-3}$）测量10次，其结果如下：

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
y_0	0.92	2.29	3.10	4.58	5.80	6.47	8.89	9.70	10.93	11.60
y	11.08	12.46	13.28	14.74	15.99	16.65	19.06	16.89	21.15	21.82
y'	7.39	8.77	9.57	11.03	12.27	12.90	15.32	16.12	17.41	18.08

求 ρ 的最后结果及相对误差。

（李戈山）

实验一 长度测量

目　　的

学习怎样处理系统误差和偶然误差，并加深对有效数字的理解，学习怎样去估计测量数字的可靠性和计算结果的可靠性。

仪　　器

米尺、游标测径器、螺旋测微器、金属圆柱、金属球、卡片。

仪器描述

1．米尺：米尺是测量长度的常用工具，它的全长一般为一米，也有两米的，最小分度是一毫米，用它来测量长度时，可以准确到一毫米，估计到十分之一毫米，因此米尺不能用来测量一毫米以下的长度。用米尺量长度时，务必使米尺刻有刻度的一边和待测长度AB的两个端点A与B吻合（图1—1），A与B在米尺上的读数差就是待测的长度AB的长。

图1—1

量度时必须注意下列几点：

（1）不使用米尺的端点：

如在量度时从米尺的一端（图1—2）作为起点，这样作看来十分方便，但A点的读数为0，故B点的读数即为AB的长度了，米尺的两端点往往在使用时被磨损，因此，A的读数并不等于0，因而B的读数也就不等于AB的长度了。

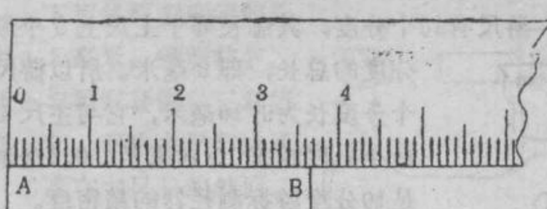


图1—2

（2）被测长度AB要紧靠米尺有刻度的一边：

在用米尺量一长度AB时，如AB两端点A点与B点和米尺刻度间有一定距离（图1—3），则同一端点A从A_1、A_2、A_3三个不同方向观测时，得到A点三个不同的读数

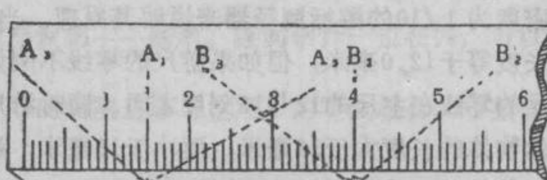


图1—3

1.50，1.82，1.26厘米，显然，这样测得AB的长度，要出现很大的误差，为了减小误差，我们在测量时必须使待测物的端点紧靠米尺（如图1—1）。

（3）测量时要从米尺上不同起点进行多次测定：

米尺的刻度可能不十分均匀，因此必须从米尺上不同起点进行多次测量，求得其平均值，以减少因米尺刻度不准确所产生的误差。

（4）读数要读到0.1毫米，不读出或超过此数都是不正确的。

2．游标测径器

图1－4为一游标测径器，CD为主尺，AB为游尺，游尺可以沿主尺滑动。

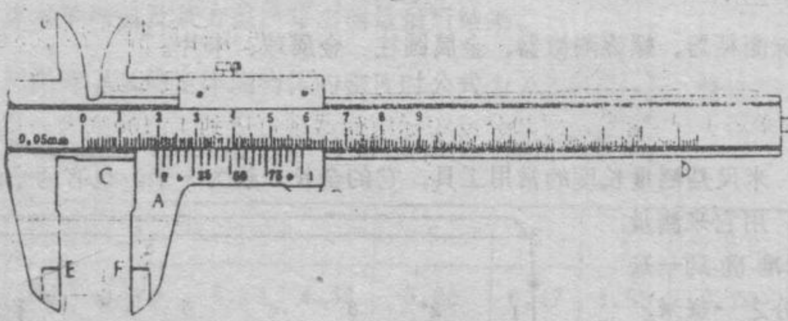


图1—4

当E、F两颚吻合时，游尺0线应与主尺0线互相对准（如图1—5）。测物体长度或外径时，将物体夹于E、F间；若测槽宽或内径时，将被测物套于e、f上，E、F或e、f两颚分开的距离等于被测对象的长度，也就等于游尺0线与主尺0线间的距离。因此，游尺0线在主尺上所指的读数就是被测对象的长度。

图1—5表示10分度的游标测径器，游尺有10个分度，其总长等于主尺上9个最小分度的总长，即9毫米。所以游尺每个分度长为9/10毫米，它与主尺1个最小分度相差1/10毫米。0.1毫米就是10分度游标测径器的精密度。

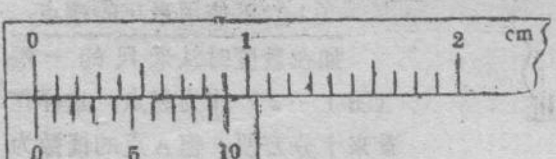


图1—5

常用的游标测径器除了10分度的以外，还有20分度和50分度两种，不论多少分度，其精密度P为

$$P=\frac{\text{主尺的最小分度长（1mm）}}{\text{游尺的总分度数}} \qquad 1)$$

所以20分度游标测径器的精密度为0.05毫米。我们今天实验用的大部份是这种。

现在我们利用精密度为1/10的游标测径器来说明其原理。当游尺0线与主尺的第12刻度对齐，则物体长度等于12.0毫米，但如果游尺的零线不刚好与主尺的刻度对齐，以图1—6为例，游尺的零线在主尺的12与13刻度之间。同时游尺的第一刻度与主尺的某一个刻度对齐，显然物体的长度大于12毫米，而小于13毫米，那么物体的长度究竟是多少呢？按图1—6，物体的长度等于12＋d毫米，d＝a－b，a、b分别为主尺与游尺一分度的长，亦即a＝1毫米，b＝0.9毫米，所以d＝a—b＝1－0.9＝0.1毫米。因此物体的长度为12＋d＝12＋0.1＝12.1毫米。同理（如图1—7）游尺的零线仍在主尺

的12与13毫米之间，而游尺的第二刻度与主尺的某一个刻度对齐，由（图1—7）可知，物体的长度为12+d′毫米，d′=a′-b′=2-0.9×2=2-1.8=0.2毫米(因a′、b′分别为主尺与游尺二分度的长，故物体长为12+d′=12+0.2=12.2毫米）。余类推。如果游尺的零线在主尺的第k与k+1刻度间，同时游尺的第N刻度（不包括游尺的“0”线）与主尺上某一个刻度正好对齐，则被测对象的长度为

$$L = K\text{毫米} + N \times \frac{1}{10}\text{毫米}$$

一般写为L=K毫米+N×P　　　　（2）

式（2）对20分度的游标尺同样是适用的。因为20分度游标尺精度为0.05毫米，N只能为0；1，2……19，所以读数最后一位数要么是“5”，要么是“0”。10分度游标测径器可以读到1/10毫米，而20分度游标测径器则可读到1/100毫米一位，不另外再估计。

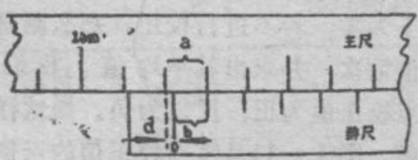


图1—6

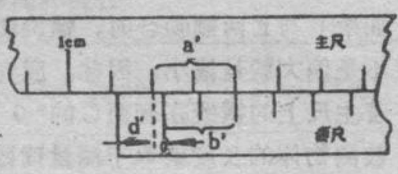


图1—7

3．螺旋测微器

螺旋测微器的构造如图1—8，D为主尺，沿主尺水平轴上下两侧有互相交错的两排刻度，上下相邻两刻度间的距离为0.5毫米，螺旋柱F，转柄A与圆帽套筒C三者相连在一起，F由主尺D内通过，C套在主尺D的外面。

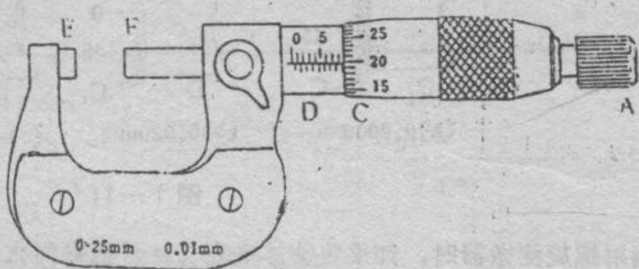


图1—8

当转柄A转动一周时，螺旋柱就前进或后退0.5mm同时C也在主尺外面旋转一周，C的圆周上等分为50刻度，因此，C上每转动一刻度，可使螺旋柱F前进或后退$\frac{0.5}{50}=\frac{1}{100}$毫米，因此利用螺旋测微器，可以准确地测量到$\frac{1}{100}$毫米。连同估计一位在内，可以读到$\frac{1}{1000}$毫米。

当E、F靠拢时，C的周围边缘与主尺D的零线相合，C刻度的零线与主尺横线相合。

测物时，将物体夹持于E、F间，E、F间的距离等于物体的长度，也等于在主尺上主尺零线0与C的圆周边缘间的距离。读数时，首先由主尺D上读出半毫米以上的读数，然后再从C的刻度上读出主尺横线所指的数，加在主尺的读数上，即被测物体的长

度。例如图1—9所示的测量值应为 $8.5+\frac{37.5}{100}=8.875$毫米。该读数最后一位数是估计出来的。图1—10所示的测量值应为 $7.5+\frac{45.0}{100}=7.950$毫米，有的同学因看到主尺的8 mm线，常读为 $8.0+\frac{45.0}{100}=8.450$毫米，其实这是错误的。

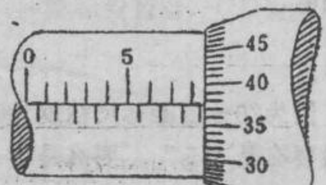


图1—9

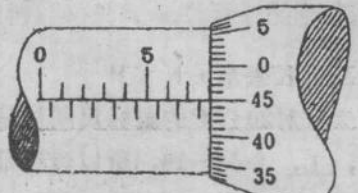
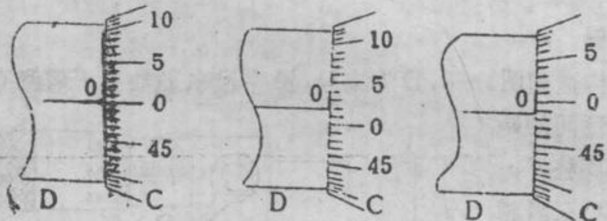


图1—10

如果F与E两颚吻合时，螺旋测微器上的读数不为零，若不进行校正，那么测量的结果不是偏大就是偏小。因此，应先测量零点校正值数次，并求出其平均值。我们规定：若主尺上的横线在套筒C的“0”线上方，则零点校正值为正；反之为负。按这样规定，被测物体的长度就等于测量读数减去零点校正值。图1—11是零点校正值的示例。



(a)0.000mm　(b)0.020mm　(c)-0.013mm

图1—11

使用螺旋测微器时，如果将物体夹在E、F两颚间太紧或太松，都会引起测量的误差，夹得太紧时甚至使待测的物体产生变形并能损坏仪器，为此在旋柄A处装有一齿轮，齿轮又与一弹簧相接，当物体的两端刚与E、F接触时，A处就有响声发出，这时就不要继续旋转了，因此使用螺旋测微器时，应缓慢地旋转A处，而不能直接旋转套筒。

实验步骤

1　用米尺测量卡片上A、B两线间的距离。测十次，求出其平均值、测量值的方差和平均值的方差，写出测量结果的表示式。

2　用游标测径器测量铝圆柱体的直径D和高h，各测五次，求出D和h的平均值和平均值的方差，进而求出其体积及绝对误差写出体积值的表示式。

3　用螺旋测微器测量小球的直径D，测五次，求出其平均值和平均值的方差，进而求出其体积及其绝对误差，写出体积值的表示式。

实验数据

表1　用米尺测卡片的长度

测量次数	左端读数(cm)	右端读数(cm)	卡片长度Li (cm)	绝对误差△Li(cm)
1				
2				
⋮				
10				

$\overline{L}$ =　　　测量值的方差 ε =　　　平均值的方差△L =

Lo =

表2　用游标测径器测铝圆柱体高和直径

测量次数	直径Di (cm)	△Di (cm)	高hi (cm)	△hi (cm)
1				
2				
⋮				
5				

$\overline{D}$ =　　　△D =　　　Do =

$\overline{h}$ =　　　△h =　　　ho =

$\overline{V}$ =　　　△V =　　　Vo =

表3　用螺旋测径器测金属小球的直径

测量次数	零点校正值(cm)	直径读数 (cm)	直径di (cm)	△di
1				
2				
⋮				
5				

$\overline{d}$ =　　　△d =　　　do =

$\overline{V}$ =　　　△V =　　　Vo =

(李戈山修改)

实验二　用共鸣法测振动体的频率

目　　的

用共鸣法测音叉振动的频率。

仪　　器

共鸣演示仪一套（包括音叉、小锤）。

原　　理

如图 2—1 所示是一套共鸣演示仪，可测定振动体的频率。用一个频率为γ的振动音叉，使它靠近一根一端开口的玻璃管，管内充以部分水，水面上是空气，这空气柱的长度，可由调节水面的位置而改变。当水面从管的上端逐步降低某一距离a时，如图 2—2 所示，此时声音的强度最大。然后再在a以下，也能找出距离为d，（如图 2—3 所示 2 d、 3 d等的位置上，声音的强度也到达极大值。

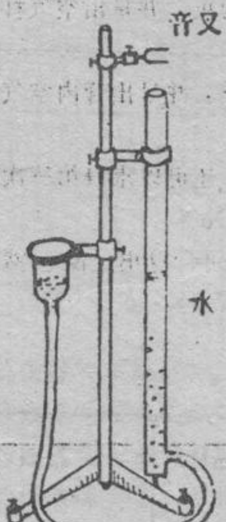


图 2—1

图 2—2

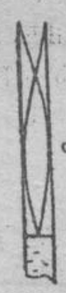


图 2—3

当气柱与振动音叉所发出的声波共鸣时。这时声音达极大值。空气柱类似于一端封闭的管子。当波从一种弹性介质垂直射入到另一种介质时。如果第二介质的密度与波速的乘积比第一种介质大。亦即$\rho_2 L > \rho_1 U_1$ 。在分界面处将出现波节。波从波疏介质垂直射入到波密介质反射回波疏介质时，在分界面处形成波节。此时在管中形成了驻波。驻波的图样是在水面处为波节。在管的上端开口处为波腹。因为声音的频率是固定的。声音在空气的速度有确定的数值。在某一特殊波长。