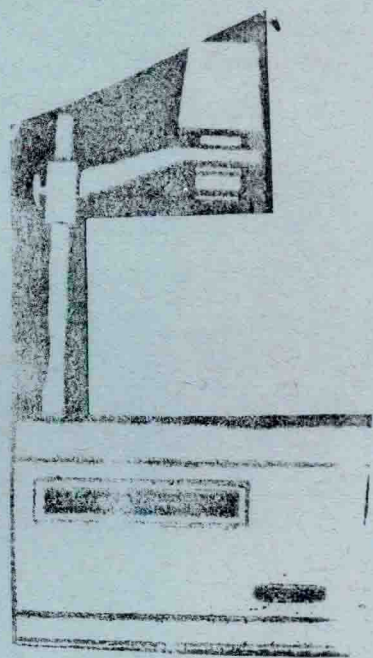


实
验
汇
编

中学物理教学



《中专物理教学》编辑部成员

主编：侯建文

编辑：（按姓氏笔划序）

马 骏	许火峰	刘 宇	吴永康	苏群荣
杨正纲	杨志仪	杨博访	林其炳	张秀霞
赵国梁	赵鲁卿	郭泰运	寇世杰	黄蒙恩

编 者 按

在1982年8月连云港中专物理教学研究会上，许多学校交流了各自的普通物理实验讲义。不少同志建议出一个实验汇编。我们考虑到目前高中专尚无统编普通物理实验指导书的实际情况，为了帮助各校物理教师和学生解决急需，决定1982年《中专物理教学》第3期（总第5期）出一期实验专刊，也就是这个实验汇编，它是由几所学校分工编出，可暂作高中专普通物理实验讲义使用。

我们是按照高中专普通物理教学大纲（见本刊1981年第1期）来编辑的，其中除绪论外包括了15个学生必作实验和3个选作实验（加“*”号者）。为了便于各校结合自己的设备情况，多开出一些实验，我们把某些实验的几种可取方案同时列出以资选择。

因为是汇编，加之时间仓促，所以原稿中除明显错误和不当之处已作修改外，对有些实验的目的要求、仪器选用、实验方法和师生实际工作量等虽觉不尽恰当，然而我们本着“先经试验，再作结论，勇于创新，不断完善”的精神，基本上保留了各校原稿的内容和形式，在使用时可有较大的灵活性。我们打算在各校试用一段时间之后，进行讨论，听取意见，並在此基础上编写出要求恰当、内容适宜、格式统一、叙述精练的高中专《普通物理实验指导书》与高中专《普通物理》教材配套出版。

中专物理教学

(内部刊物)

1982年第3期
1983年第1期

合刊(1983年3月1日出版)

总第5期
总第6期

主办单位:

机械工业部系统中专物理教材编审组

陕西省中专物理教师教研组

陕西省物理学会中教组

实验汇编

目 录

编者按

绪论	(1)
实验一 固体密度的测定	(9)
实验二 杨氏模量的测定	(14)
实验三 直线运动的研究	(19)
实验四 碰撞	(27)
实验五 简谐振动的研究	(33)
实验六 波动的研究	(39)
•实验七 刚体转动实验	(46)
实验八 气态方程和气体比热比的测定	(54)
实验九 电场描绘	(57)
实验十 电阻及其温度系数的测定	(61)
实验十一 电位计测电动势	(65)
实验十二 电子示波器的使用	(67)
实验十三 验证折射定律及玻璃折射率的测定 透镜成像及其焦距测定	(72)
实验十四 光的干涉	(75)
•实验十五 光栅衍射实验	(79)
•实验十六 偏振光的研究	(86)
实验十七 光电效应	(90)
实验十八 光谱定性分析	(95)

《中专物理教学》编辑部地址:

陕西省咸阳市文汇路咸阳机器制造学校

电话: 2831 电报: 2894

绪 论

一、物理实验课的目的

和要求

物理学是一门实验科学。任何物理规律的建立必须以严格的物理实验为基础,概括大量实验的结果。为了适应四化的需要,培养合格的技术人材,必须贯彻理论联系实际的原则。在完成物理理论教学的同时,切实加强物理实验教学,以培养学生的实验能力;培养严肃认真、实事求是的科学态度和作风,以及培养遵守纪律、注意安全、爱护公物的优良品德。

物理实验的具体要求是:

1、掌握一些基本物理量的测量方法。

如长度、时间、质量、比热、电流、电压等。通过实验加深和巩固有关物理理论的认识。

2、掌握一些常用物理仪器的维护和使用方法。如游标尺、天平、电表、电位器、分光镜和照相机等。

3、学会数据处理和整理实验报告。如有效数字运算、误差、计算、作图等。

二、物理量的测量和仪器的精度

物理实验离不开对某些物理量进行测量,每当测量出物理量时,必须同时给出数值和单位。

所谓仪器的精度就是指仪器的最小分度。例如一般米尺的最小分度是1毫米。所以米尺的精度就是1毫米,而物理实验室用

的螺旋测微计的精度为0.01毫米,图0-2的毫安表的精度为0.1毫安。在使用仪器时,除读出最小分度的数值外,还应估计出最小分度的 $\frac{1}{10}$ 才行。

三、有效数字及其运算法则

1、有效数字的意义

两个不同精度的电流表同时测得的电流值表示于图0-1和图0-2。图0-1的最小分格是1mA、读数是4.5mA;而图0-2的最小分格是0.1mA,读数是4.55mA。两个数的末位数字都是用肉眼估计的,因此,末位数字可能因人的视力有 ± 0.1 的差异,叫做估计数字或欠准数字。但是,它具有一定的参考价值,不能任意舍去。

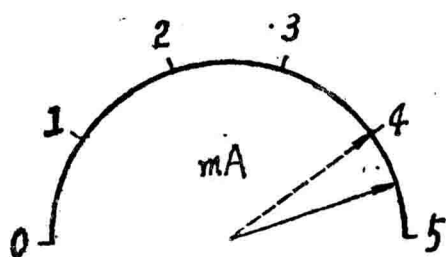


图0-1 读数是4.5mA

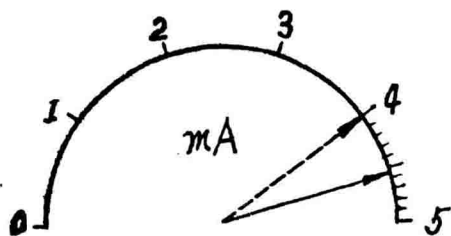


图0-2 读数是4.55mA

在测量上,把测量得到的准确数字和1位估计数字都叫做有效数字,它与仪器的精密度和被测量的大小有关。一个测量结果的

有效数字位数，是从估计的那位数字算起的所有位数。

因此，4.5mA和4.55mA分别为两位和三位有效数字。

2、有效数字的表示法

a)、有效数字是不能随便增加或减少的，有效数字的增减，意味着测量仪器的精度发生变化。例如，若把图0—2的读数记作4.5mA，这就意味着该电流表的表面最小分度为1mA，实际上最小分度为0.1mA，这样就降低了电流表的精度。

b)应注意，数字中间或数之后的“0”也是有效数字，因此，这个“0”既不能任意弃去，也不能任意增加。例如，电表的指针若刚好指示在数字“4”上，则图0—1的正确读数应为4.0mA。同样，图0—2的读数应记作4.00mA。

c)有效数字的位数与小数点的位置无关。数字前面的“0”不是有效数字，它的多少只表示被测量的数量级，且与所取的单位有关。例如，4.5mA又可写作0.0045A。它们同为两位有效数字。因此，当这个量以安培作单位时往往写成 $4.5 \times 10^{-3} \text{A}$ 。在进行单位换算时，有效数字不能随便增加或减少。例如，地球的平均半径为6380公里，不能随便写成6380000米或638000000厘米，而只能写成指数形式的 $6.380 \times 10^6 \text{米}$ 或 $6.380 \times 10^8 \text{厘米}$ ，这里指数前的数字表示出了有效数字的位数，而指数项只表示数量级的大小。

3、有效数字的运算

有些不能直接测量的物理量，是通过有关量的测量经过计算得出的，这时就要考虑到有效数字的运算，运算结果的有效数字位数的取舍原则是：在计算所得的结果中，只保留一位欠准数字，其余的四舍五入。

a) 加减运算

几个数的小数点后的位数不同，运算结果中以小数点后位数最少的为标准，其余的四舍五入。

例如： $10.1 + 1.531$

$$\begin{array}{r} 10.1 \\ + 1.531 \\ \hline 11.631 \end{array}$$

$69.68 - 55.8448$

$= 13.84$

$$\begin{array}{r} 69.68 \\ - 55.845 \\ \hline 13.835 \end{array}$$

在上面的运算中，为了使运算简化，可把参与运算的各数，以其中小数后位数最少的为准，先进行四舍五入后再进行运算。必须指出，为了防止误差的迭加，在运算中可多保留一位有效数字，但最后结果仍按四舍五入原则只保留一位欠准数字。例如，上面的减法中把55.8448先按四舍五入写成55.845再进行运算，则相减结果记成13.84。

b) 乘除运算

二个或二个以上的数相乘(或相除)，其积(或商)的有效数字位数，应与几个数中有效数字位数最少的一个相同。

例如： 121.24×12.4

$$= 1.50 \times 10^3$$

$$\begin{array}{r}
 121.24 \\
 \times 12.4 \\
 \hline
 48496 \\
 24248 \\
 12124 \\
 \hline
 1503.376 \\
 \hline
 2.4412 + 1.34 = 1.82
 \end{array}$$

为了简化运算过程，仍可在进行运算前以四舍五入原则弃去多余的位数再进行运算。

例如： $52.13 \times 12.1 \times 4.23143$
 $= 52.1 \times 12.1 \times 4.23$
 $= 2.67 \times 10^3$

若有效数字在二位以下，或有进位的，可以多保留一位有效数字参加运算。

例如： $2.5 \times 1.4188 \times 51.221$
 $= 2.5 \times 1.42 \times 51.2$
 $= 1.8 \times 10^2$

c) 对数的有效数字位数与真数的有效数字位数相同。例如：

$\lg 654 = 2.815578$
 (三位)
 应记作 2.82
 (三位)

d) 有效数字与准确数字进行运算时，不受准确数字写出的位数的影响。例如一个球的直径为 6.28 厘米，则其半径为 $\frac{6.28}{2} = 3.14$ 厘米，因为 2 是一个完全准确的数。

若在运算时，遇到 π 、 $\sqrt{2}$ 等无理数时，我们可以根据各数中最少的有效位数来

决定 π 、 $\sqrt{2}$ 所取的位数。

四、作图法

作图法是实验数据处理最重要的方法之一，其优点是可以直观地表示出在一定的条件下，一个物理量与另一个物理量之间的关系。

对作图的方法和步骤应注意如下几点：

1) 作图必须用坐标纸（如每厘米一大格，再分为十小格）。

2) 选定坐标，必须标明横纵坐标的名称、单位以及整数值的标度。

3) 坐标的比例必须合理，即横纵坐标每单位值用毫米方格纸上几格来表示。原则是把测量结果的可靠数字反映到图上也应是可靠的，而数据中的欠准数字反映到图上也应是估读的。这样，通过作图不损失有效数字的位数。

必须使所绘的曲线占纸面的大部分，不要偏在一侧或一角。

切勿采用三格，11格等代表一个单位量，否则使比例复杂化。

4) 根据实验数据把每个点画在坐标纸上，在小点处用“×”符号标出。如果一张纸上同时画几条曲线，不同实验曲线上的点则用不同符号，⊙、▽或□等符号标出，但在同一根实验曲线上的点必须用同一符号。

5) 根据数据的点，绘出曲线（有时是直线）。大多数的点应均匀分布在曲线上或曲线的两旁，偏离太大的点可能有错误，可以大胆舍去。

6) 图上还要标明图的名称，以及得到本图的实验条件。

五、实验的预习、测量和 写实验报告的要求

每个实验包括预习、测量和写实验报告三个步骤。

1、实验预习

在正式测量前必须做好实验预习，包括学习实验讲义，明确实验目的、原理和测量步骤及注意事项。

2、测量与记录

①首先检查仪器是否齐全（不准随便到别组拿用仪器），然后仔细做好仪器的连接或调整工作，一俟准备工作完毕，必须经指导教师检查同意后，才能开始测量。

②按实验步骤测量，如实地记录所测得的原始数据，不得随意更改。

③随时观察记录下实验中发生的一些现象，加以分析讨论。

④若实验误差大，则应分析造成实验误差大的原因。

3、写实验报告

在确认实验是正确以后，根据测量结果进行计算，并写出实验报告。

实验报告的内容有：

①实验名称。

②实验目的。

③实验原理（包括主要计算公式的推导）

④实验器材（写明仪器精度和量程）。

⑤实验数据及计算（记录数据时所用的表格应包括物理量的名称、单位和实验次数等内容）。

⑥注意事项。

⑦问题讨论（对实验中出现的一些现象或造成实验误差大等问题进行讨论）。

⑧需要作图时，则按作图要求作出实验

曲线附在实验报告上。

习 题

一、以下数据各有几位有效数字（口答）：

1. 3.2700 2. 0.0038506

3. 1.390×10^3 4. 4.0030

二、运用有效数字运算规则计算下列结果：

1. $4.237 + 3.14 =$

2. $176.5 + 0.294 =$

3. $18.856 - 9.24 =$

4. $29.85 - 0.0078 =$

5. $2.581 \times 3.7 =$

6. $421.2 \div 0.10 =$

7. $9.54 \div 2.831 =$

8. $182.2 \times 6.9 - 27.4 \times 3.14 =$

9. $7.520 \div 2.15 + 1.3 =$

10. $2.56 \times 9.34 \div 1.27 =$

11. $1.5435 - 1.5421 =$

12. $1.54 - 1.5421 =$

13. $1.54 - 0.00312 =$

14. $1.5436 - 1.54 =$

15. $\frac{76.00}{40.00 - 2.0} =$

16. $\frac{50.00 \times (18.30 - 16.3)}{(103 - 3.0) \times (1.00 + 0.001)} =$

三、汽车的时速为40公里/小时（测量值），试用SI制和C、G、S制表示时速。并以公里/小时的单位，画出速度表的标度。

四、改正以下的错误：

1. $5.1 \text{ K}\Omega = 5100\Omega$

2. $\sqrt{149} = 12.2066$

3. $t = 0.0221 \text{ 秒} \quad t^2 = 0.00048841 \text{ 秒}^2$

4. $\frac{4400 \times 1500}{12.60 - 1.6} = 600000$

5. $\frac{979.4 \times 50.0}{132.3} = 370.14361$

五、今测得圆柱体的直径 $D = 2.345 \text{ 厘米}$

米，高 $h = 8.21$ 厘米，质量 $m = 236.124$ 克。
求该圆柱体的密度为多少千克/米³。

六、一定量的空气的压强 P ，当温度不变时，与其体积 V 的对应关系为：

$V(\text{cm}^3)$	9.8	11.6	13.7	17.6
$P(\text{cmHg})$	27.0	22.8	19.1	15.0
$V(\text{cm}^3)$	20.2	23.6	28.4	37.2
$P(\text{cmHg})$	13.0	11.0	9.0	6.8

试画出 $P-V$ 的关系曲线。

误差计算基础

一、测量和测量误差

1、测量

1) 直接测量：直接测量是用直接的方法测定所求的量。例如用米尺测量长度，用天平测量物体的质量和用停表测量时间等。

2) 间接测量：例如我们要测定圆柱体的密度时，先要直接测得它的直径、高和质量，然后根据关系式

$$P = \frac{m}{V} = \frac{4m}{\pi D^2 h}$$

就可间接测量出该物体的密度。这种测量叫做间接测量。

2、测量的误差

实验者对某个物理量的测量结果和该量的真值之间存在着差异，这个差异叫做误差。为什么会有误差呢？这是因为实验者常常受着客观条件的限制，例如温度及气候条件的变化，仪器制造的精度等都会使实验产生误差。主观上实验者的经验不足，也会使实验产生误差。要想完全消除误差是不可能的。但是，随着科学技术的发展和实验方法的改

进，可以逐步地减小误差。实践和理论都可以证明增加测量次数，也可以减小某些误差。

3、误差的分类

根据产生误差的原因不同，通常把误差分为系统误差、偶然误差和过失误差三种。

1) 系统误差：系统误差是由于仪器、仪器的某些缺点所产生的。例如温度计的零刻度不在冰点，天平的两臂不等长，停表走时不准等。此外，其它一些恒定因素的影响也会产生系统误差。例如，称量轻物体的质量时，没有考虑到空气浮力的影响；测定比热时，没有考虑物体与周围空气的热交换等。

系统误差的特点是：它的出现是有规律的，或者是全部结果都大于真实值，或者是全部结果都小于真实值，增加测量的次数并不能减小这种误差的影响。

消除或纠正系统误差的方法，是对仪器进行校正，或者在计算公式中引入一些修正值，以改正某些恒定因素对实验结果的影响。

2) 偶然误差：在实验中，即使采用了完善的仪器，选择了恰当的方法，经过了精心的观测，仍将有一定的误差存在，这种误差由于读数不准确而产生的，这种不准确是由于我们感觉器官灵敏程度和仪器准确程度的不稳定和差异所引起的。这种误差任何人都不可避免，偶然误差存在于一切测量之中。

偶然误差的特点是：有时使测量结果偏大，有时使测量结果偏小，即正方向偏差和负方向偏差的机会均等，它服从一定的统计规律。

为了减小偶然误差，就得进行多次重复测量。

3) 过失误差（即错误）实验者对仪器的连接和调整不当，操作错误以及仪器的标度读错等原因，导致降低实验结果的准确程

度。这些都是实验者粗枝大叶而产生的错误，在实验中，错误是可以避免的，系统误差是可以设法消除，但偶然误差却是不能完全消除的。因此，偶然误差主要地决定了测量结果的精确程度。

二、直接测量的误差

1、算术平均值

由于偶然误差存在于每一次的测量中，为了使测量结果具有较大的可靠性，通常我们总是把同一量进行多次测量，再取多次测量的平均值作为测量的结果。例如，我们测量某物体的长度，共测量了四次，各次所得的结果分别为 L_1 、 L_2 、 L_3 和 L_4 。于是最后的结果应该取四次测量的算术平均值，即

$$L = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}{4}$$

L 为测量结果的最可靠值。

2、平均绝对误差

算术平均值 L 与每次测量结果之差称为该次测量的绝对误差，即

$$\Delta L_1 = L - L_1$$

$$\Delta L_2 = L - L_2$$

$$\Delta L_3 = L - L_3$$

$$\Delta L_4 = L - L_4$$

取各次测量的绝对误差的绝对值的算术平均值，称为平均绝对误差，即

$$\Delta L = \frac{1}{4} \left(|\Delta L_1| + |\Delta L_2| + |\Delta L_3| + |\Delta L_4| \right)$$

于是，该物体的真实长度在 $L + \Delta L$ 与 $L - \Delta L$ 之间，通常把测量结果写为：

$$L \pm \Delta L$$

3、平均相对误差 E

平均绝对误差与平均值的比称为平均相

对该差，通常平均相对误差用百分数表示，故又称为百分误差，即

$$E = \frac{\Delta L}{L} \times 100\%$$

显然，平均绝对误差不能判断测量的好坏，而相对误差则能判断测量的优劣。

〔例〕测量某物体的长度，共测量四次的结果分别为 $L_1 = 14.6 \text{ cm}$

$$L_2 = 14.8 \text{ cm}$$

$$L_3 = 14.9 \text{ cm}$$

$$L_4 = 14.9 \text{ cm}$$

试求：（1）算术平均值 L ，

（2）平均绝对误差 ΔL ，

（3）平均相对误差 E ，

（4）测量结果应如何表示？

〔解〕（1）算术平均值为

$$L = \frac{1}{4} (14.6 + 14.8 + 14.9 + 14.9)$$

$$= 14.8 \text{ cm}$$

（2） $\Delta L_1 = L - L_1 = 14.8 - 14.6$

$$= 0.2 \text{ cm}$$

$$\Delta L_2 = L - L_2 = 14.8 - 14.8$$

$$= 0$$

$$\Delta L_3 = L - L_3 = 14.8 - 14.9$$

$$= -0.1 \text{ cm}$$

$$\Delta L_4 = L - L_4 = 14.8 - 14.9$$

$$= -0.1 \text{ cm}$$

所以，测量的平均绝对误差为

$$\Delta L = \frac{1}{4} \left[|0.2| + 0 + |-0.1| \right.$$

$$\left. + |-0.1| \right] = 0.1 \text{ cm}$$

（3）测量的平均相对误差为

$$E = \frac{\Delta L}{L} \times 100\% = \frac{0.1}{14.8} \times 100\% = 0.68\%$$

(4) 此物体长度的测量结果为

$$L \pm \Delta L = (14.8 \pm 0.1) \text{ cm}$$

必须指出,在直接测量的误差计算中,平均绝对误差 ΔL 只取一位有效数字, L 的最后一位数字应与 ΔL 同数量级。而相对误差一般取两位有效数字,计算时采用进位法。

三、间接测量的误差

直接测量中的误差,必然导致间接测量中出现相应的误差,这就是误差的传递。为了计算间接测量的误差,必须掌握误差的传递规律。现将一些常用函数关系式的绝对误差,相对误差及其部分推导介绍如下:

1、加法 $N = A + B$

其中 A 与 B 为直接测量值,其平均绝对误差为 ΔA 与 ΔB , A 的真值在 $A + \Delta A$ 与 $A - \Delta A$ 之间, B 的真值在 $B + \Delta B$ 与 $B - \Delta B$ 之间。显然,考虑到最坏的情况,计算结果 N 的真值最大不超过 $(A + \Delta A) + (B + \Delta B)$,最小不小于 $(A - \Delta A) + (B - \Delta B)$ 。而计算结果 N 的真值是在 $N + \Delta N$ 与 $N - \Delta N$ 之间。于是 $N \pm \Delta N = (A \pm \Delta A) + (B \pm \Delta B)$

$$= (A + B) \pm (\Delta A + \Delta B)$$
$$= N \pm (\Delta A + \Delta B)$$

$$\therefore \Delta N = \Delta A + \Delta B$$

即相加结果的平均绝对误差等于各项的平均绝对误差之和。

其平均相对误差为:

$$E = \frac{\Delta N}{N} = \frac{\Delta A + \Delta B}{A + B}$$

2、减法 $N = A - B$

如果也考虑到最坏的情况,则

$$N \pm \Delta N = (A \pm \Delta A) - (B \pm \Delta B)$$
$$= (A - B) \pm (\Delta A + \Delta B)$$
$$= N \pm (\Delta A + \Delta B)$$

$$\therefore \Delta N = \Delta A + \Delta B$$

即相减结果的平均绝对误差也等于各项的平均绝对误差之和。

而平均相对误差则为

$$E = \frac{\Delta N}{N} = \frac{\Delta A + \Delta B}{A - B}$$

3、乘法 $N = A \cdot B$

$$N \pm \Delta N = (A \pm \Delta A)(B \pm \Delta B)$$
$$= AB \pm A\Delta B \pm B\Delta A \pm \Delta A \cdot \Delta B$$

(此项过小,可略去)

$$= AB \pm (A\Delta B + B\Delta A)$$

$$\therefore \Delta N = A\Delta B + B\Delta A$$

其平均相对误差为

$$E = \frac{\Delta N}{N} = \frac{A\Delta B + B\Delta A}{A \cdot B} = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B}$$
$$= E_A + E_B$$

即乘积的平均相对误差等于各因子的平均相对误差之和。

4、除法 $N = \frac{A}{B}$

$$N \pm \Delta N = \frac{A \pm \Delta A}{B \pm \Delta B} = \frac{(A \pm \Delta A)(B \pm \Delta B)}{B^2 - (\Delta B)^2}$$
$$= \frac{AB \pm B\Delta A \pm A\Delta B - \Delta A \cdot \Delta B}{B^2 - (\Delta B)^2}$$

(此项过小,可略去)

(此项也过小,可略去)

$$= \frac{AB \pm B\Delta A \pm A\Delta B}{B^2}$$
$$= \frac{A}{B} \pm \frac{B\Delta A + A\Delta B}{B^2}$$

$$\therefore \Delta N = \frac{B\Delta A + A\Delta B}{B^2}$$

所以,平均相对误差为

$$E = \frac{\Delta N}{N} = \frac{B\Delta A + A\Delta B}{B^2} \cdot \frac{A}{B}$$
$$= \frac{B\Delta A + A\Delta B}{AB} = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B} = E_A + E_B$$

由此可见,商的平均相对误差与乘积一样,也等于各因子的平均相对误差之和。

由此可见,和、差、积、商的绝对误差计

算在形式上与各函数的微分相似，但由于考虑到可能出现的最大误差，许多情况必须把函数微分中的负号改为正号。现附基本误差公式表如下。

基本误差公式表

函 数 关 系	绝对误差 ΔN	相对误差E
1、 $N = A + B$	$\Delta A + \Delta B$	$\frac{\Delta A + \Delta B}{A + B}$
2、 $N = A - B$	$\Delta A + \Delta B$	$\frac{\Delta A + \Delta B}{A - B}$
3、 $N = A \cdot B$	$A\Delta B + B\Delta A$	$\frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B}$
4、 $N = \frac{A}{B}$	$B\Delta A + A\Delta B$ B^2	$\frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B}$
5、 $N = A^n$	$nA^{n-1}\Delta A$	$n \frac{\Delta A}{A}$
6、 $N = n\sqrt[n]{A}$	$\frac{1}{n}A^{\frac{1}{n}-1}\Delta A$	$\frac{1}{n} \frac{\Delta A}{A}$
7、 $N = \sin A$	$\cos A \Delta A$	$\operatorname{ctg} A \Delta A$
8、 $N = \cos A$	$\sin A \Delta A$	$\operatorname{tg} A \Delta A$
9、 $N = \operatorname{tg} A$	$\frac{\Delta A}{\cos^2 A}$	$\frac{2 \Delta A}{\sin 2 A}$
10、 $N = \operatorname{ctg} A$	$\frac{\Delta A}{\sin^2 A}$	$\frac{2 \Delta A}{\sin 2 A}$

习 题

1、用螺旋测微计测得钢丝的直径分别为：

$$D_1 = 0.499 \text{ 毫米}$$

$$D_2 = 0.501 \text{ 毫米}$$

$$D_3 = 0.500 \text{ 毫米}$$

$$D_4 = 0.502 \text{ 毫米}$$

试求：1) 算术平均值 $\bar{D}$ ；

2) 平均值 $\bar{D}$ 的平均绝对误差；

3) 相对误差E；

4) 测量结果应如何表示？

2、 $L = (10.8000 \pm 0.2)$ 厘米，这样

的书写有无错误，应如何表示才对？

3、 $L = (28000 \pm 8000)$ 毫米，这样的书写有无错误，应如何表示才对？

4、有甲、乙、丙和丁四人、用螺旋测微计量度一铜球的直径，各人所得的结果是：甲为 (1.2832 ± 0.0002) 厘米；乙为 (1.283 ± 0.0002) 厘米；丙为 (1.28 ± 0.0002) 厘米；丁为 (1.3 ± 0.0002) 厘米。问哪个人表示得正确？其他人的结果表达式错在那里？

(南京机器制造学校)

实验一 固体密度的测定

[目的]：

- 1、学会正确调节和使用物理天平。
- 2、学会游标卡尺的使用。
- 3、掌握测量规则形状及不规则形状的物体的密度测量方法。

4、掌握根据量具确定有效数字位数以及初步掌握测量结果的误差计算（包括直接测量误差及间接测量误差的计算）。

[原理与方法]：

若固体的质量为 m 克，体积为 V 厘米³，则其密度为

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ (克/厘米}^3\text{)} \dots\dots\dots (1)$$

本实验要求测定规则形状（圆柱体或球体）与不规则形状的物体的密度。对于规则形状的物体，其质量 m 均用物理天平直接测量，体积 V 可用游标卡尺直接测量其直径 d 和长度 h ，算出体积 V ，再根据 $\rho = \frac{m}{V}$ 计算密度 ρ 。

对不规则形状物体，则要用“静力称衡法”来测量其密度。根据阿基米德原理，浸入液体中的物体受到的浮力等于该物体所排开同体积液体的重量。（装置如图1—1）

若将质量为 M 克的物体浸没在水中再进行称量时，因为浮力影响，在天平右盘只需加 m 克砝码便可平衡（说明物体在水中重量为 mg ）。因此物体所受浮力为 $(M - m)g$ ，它等于物体所排开水的重量，即

$$(M - m)g = (V\rho_0)g$$

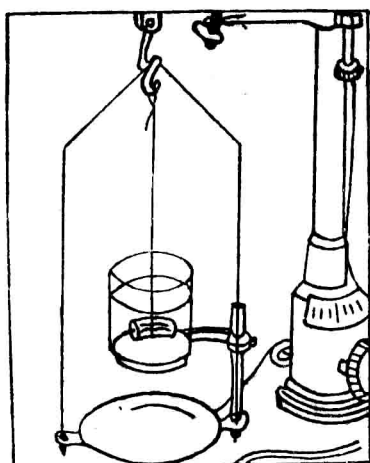


图 1-1

式中 V 为物体体积， ρ_0 为水的密度。则

$$V = \frac{M - m}{\rho_0}$$

根据（1）式可知：

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{\frac{M - m}{\rho_0}} = \frac{M}{M - m} \rho_0 \dots\dots\dots (2)$$

根据（2）式，只要用物理天平直接测量在空气中的质量 M 和没入水中表现的质量 m ， $\rho_0 = 1$ 克/厘米³，即可算出不规则形状的物体的密度。

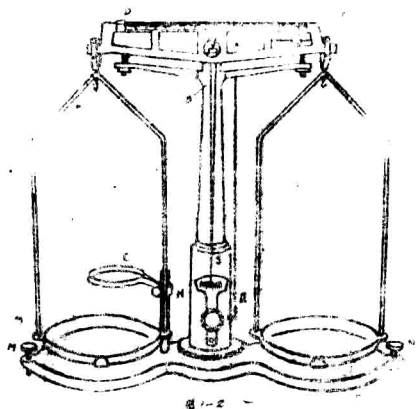
[仪器的构造及

理与使用方法]：

本次实验，要使用物理天平，游标卡尺。

〈一〉物理天平：

1、构造：（如图1—2所示）物理天平是一个等臂杠杆。它的主要部件：横梁 L 、支柱 A 、套筒 B 、指针 S 、支柱 A 升降螺旋 G 、标尺 H 、平衡锤 E 、游码 D 、铅直锤



Q、水平调节螺旋M、N。

天平的附件有镊子和砝码箱，砝码箱中有200、100、50、20、10、5、2、1克砝码组。如增减范围小于1克，则需使用游码D。使用游码D时，需看清天平的“感量”。如天平感量为1/10克，则横梁上每一小格表示0.1克，则可估计到 $\frac{1}{100}$ 克；如天平的感量为1/100克，则横梁上每一小格表示0.01克，则可估计到1/1000克。因此天平的感量表征一架天平的灵敏程度。所谓天平的“感量”，就是指指针每偏转一小格，需增（减）的砝码量。另外，天平还有“称量”，就是这架天平允许称量的最大质量。

2、使用方法

(1) 调节G落下支柱A，使天平所有刀口与支承面分离，统观天平各部分是否正常；

(2) 调节M、N，使铅直锤Q与支座上锥尖对准，使天平底座处于水平状态；

(3) 将游码D置于横梁最左端“零处”，然后调节G升起支柱A，观察横梁是否平衡（而指针S是否指标尺H的零处）。如不平衡，可先旋G使A落下，再调平衡锤E，如此反复，以至平衡为止。

(4) 称量时，先旋G落下支柱A，一般将被测物置于左盘，置砝码于右盘（增减砝码时用镊子）。如增减砝码小于1克，可使用游码D，在使用游码D时，一定要先旋G落下A，待拨动D后，再慢慢旋G升A，观察指针S是否指零。

(5) 要用复称法（即物置左盘称量后，再将物置右盘称量）将物置右盘时，要注意游码D所示的克数与左盘砝码怎样求和（自己考虑）。

(6) 天平使用完毕后，应旋G落下A，并整理好砝码箱。

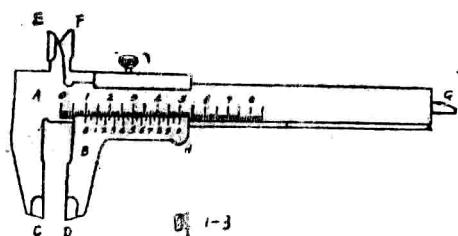
注意：记录数据时，一定要用有效数字。

（根据天平感量）

〈二〉游标卡尺：

游标卡尺是一种测量长度的较精密仪器。

1、构造：如〔图1-3〕所示。其构



造主要分为主尺A与游标付尺B。CD为外卡口，可测物体厚度；EF为内卡口，可测孔径；G为尺条随游标移动，可测槽或孔的深度；推动付尺沿主尺滑动的推钮H、固定主、付尺的螺钉I。

2、游标原理：

游标卡尺常用的有20分度（分度值0.05）50分度（分度值0.02）两种，今以20分度为例，如〔图1-4〕所示：游标付尺上有20个等分格，其总长为39毫米（若主、付尺O点重合，则付尺上第20根刻度线与主尺第39毫米刻度线对齐）。由此可知，游标上

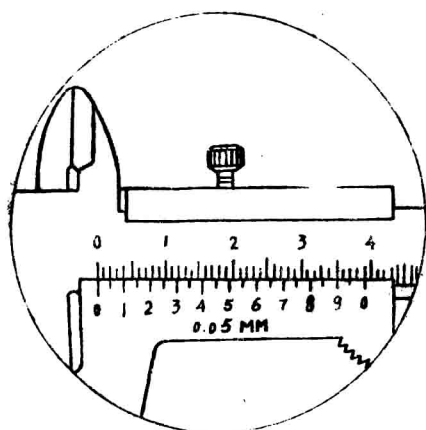


图 1-4

相邻二线之间距离为

$$\frac{39}{20} = \frac{195}{100} = 1.95 \text{ (mm)}$$

比主尺两刻线之间距离短 $2 - 1.95 = 0.05$ (mm)，正是这一差值提高了游标卡尺测量的精确度。

若卡口靠拢时，主尺零线与游标尺零线对齐，主尺39线与游标尺20线对齐，但游标第1根线在主尺2线左边0.05mm处；游标尺第2根线在主尺第4线左边0.1mm处，依次类推……。

若使卡口分开（即卡口卡有物体时），使游标1线与主尺2线重合，则卡口间距离为0.05mm；使游标第2线与主尺第4线重合，则卡口距离为0.10mm，……依次类推。

3、测量方法：

在测量某一长度时，测量结果的毫米整数位可由游标零线刻度左边的主尺上的刻度值直接读出；小于毫米的小数部分可由游标尺与主尺上任一重合的刻线处的游标尺上的

刻度数读出。如 [图1—5] 被测物长度 $L = 18.50\text{mm}$ 。

4、注意事项：

(1) 检查零点，看游标零线与主尺零

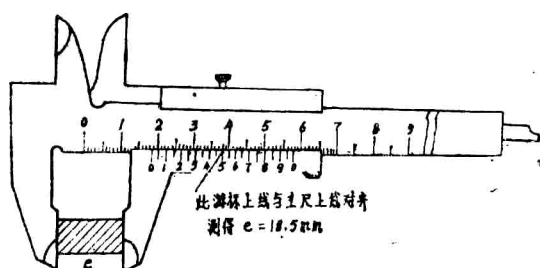


图 1-5

线是否重合，若不重合应记下起始读数为零点误差；

(2) 卡物时应松紧适度；

(3) 卡尺卡物时要卡正不得倾斜；

(4) 读数时，视线应与尺面垂直。

[实验步骤与数据处理]：

(一) 测圆柱体之密度：

1、用游标卡尺测圆柱体之长度 L 和直径 D 各五次，五次要在不同位置，记录在下面的数据表中，求出 L 与 D 之平均值 $\bar{L}$ 与 $\bar{D}$ ，并指出各是几位有效数字。代入圆柱体之体积公式 $V = \frac{1}{4} \pi D^2 \bar{L}$ 算出体积，指出有效数字位数。

数据表:

测量次数	直径D (厘米)	绝对误差 $\Delta D = \bar{D} - D$	长度L(厘米)	绝对误差 $\Delta L = \bar{L} - L $ (厘米)
1	$D_1 =$	$\Delta D_1 = \bar{D} - D_1 =$	$L_1 =$	$\Delta L_1 = \bar{L} - L_1 =$
2	$D_2 =$	$\Delta D_2 = D - D_2 =$	$L_2 =$	$\Delta L_2 = \bar{L} - L_2 $
3	$D_3 =$	$\Delta D_3 = D - D_3 =$	$L_3 =$	$\Delta L_3 = \bar{L} - L_3 $
4	$D_4 =$	$\Delta D_4 = \bar{D} - D_4 =$	$L_4 =$	$\Delta L_4 = \bar{L} - L_4 =$
5	$D_5 =$	$\Delta D_5 = D - D_5 =$	$L_5 =$	$\Delta L_5 = \bar{L} - L_5 =$
平均值	$\bar{D} =$	$\Delta \bar{D} =$	$\bar{L}$	$\Delta \bar{L} = \frac{\Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3 + \Delta L_4 + \Delta L_5}{5} =$
有效数字位数				

平均体积: $V = \frac{\pi}{4} \bar{D}^2 \bar{L} =$

相对误差: $E = \frac{\Delta V}{V} = \left(2 \frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta L}{L} \right) 100\% =$

绝对误差: $\Delta \bar{V} = E \bar{V} =$

圆柱体体积: $V = V \pm \Delta \bar{V} =$

2、用天平测圆柱体之质量：用复称法反复称其质量，记录于下表中。

数据表：

测量次数	质 量 m (克)	绝对误差 $\Delta m = \bar{m} - m =$
1	$m_1 =$	$\Delta m_1 = \bar{m} - m_1 =$
2	$m_2 =$	$\Delta m_2 = \bar{m} - m_2 =$
3	$m_3 =$	$\Delta m_3 = \bar{m} - m_3 =$
平 均 值	$\bar{m} = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{3} =$	$\Delta \bar{m} = \frac{\Delta m_1 + \Delta m_2 + \Delta m_3}{3} =$

质量： $m = \bar{m} \pm \Delta \bar{m} =$

3、计算圆柱体之密度：

平均密度： $\bar{\rho} = \frac{\bar{m}}{V} =$

相对误差： $E = \frac{\Delta \rho}{\rho} = \left(\frac{\Delta \bar{m}}{\bar{m}} + \frac{\Delta V}{V} \right) \times 100\% =$

绝对误差： $\Delta \rho = E \bar{\rho} =$

密 度： $\rho = \bar{\rho} \pm \Delta \bar{\rho} =$

用类似的方法，可测出球体的密度。

〈二〉不规则形状金属体的密度：

用静称衡法。同学们自己根据原理在预习时考虑实验步骤，并写在实验报告上，根据公式计算结果，并进行误差计算。