

高等学校物理系列教材

物理实验基础

主编 赵振宇 冯 丽

东北林业大学出版社

高等学校物理系列教材

物理实验基础

主编 赵振宇 冯丽



东北林业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

物理实验基础/赵振宇, 冯丽主编. —哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2008. 7

(高等学校物理系列教材)

ISBN 978-7-81131-318-5

I. 物… II. ①赵…②冯… III. 物理—实验—高等学校—教材 IV. 04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 115331 号

责任编辑: 任 俐

封面设计: 彭 宇



NEFUP

高等学校物理系列教材

物理实验基础

Wuli Shiyán Jichū

主编 赵振宇 冯丽

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

哈尔滨市工大节能印刷厂印装

开本 889 × 1194 1/16 印张 9.75 字数 270 千字

2008 年 7 月第 1 版 2008 年 7 月第 1 次印刷

印数 1—1 000 册

ISBN 978-7-81131-318-5

0·93 定价: 40.00 元 (二册)

编 委

- 主 编** 赵振宇(哈尔滨师范大学物理电子工程学院)
冯 丽(哈尔滨师范大学物理电子工程学院)
- 副主编** 王继学(黑龙江广播电视大学)
李广智(黑龙江畜牧兽医职业学院)
王英侠(黑龙江畜牧兽医职业学院)
- 主 审** 王凤兰(哈尔滨师范大学物理电子工程学院)
张明芹(黑龙江畜牧兽医职业学院)

前 言

本书是依据师范院校基础实验和高职高专基础文化课的培养目标而编写的。供师范院校、高职高专院校使用。

在本书编写过程中，以“必须”、“够用”为度，突出能力培养。将重点放在培养学生的实际动手能力和正确、规范地使用各类仪器设备等基本技能，同时注重培养学生运用基础理论知识分析、观察、记录和处理实验数据的能力。编写时力求做到实验目的明确、思路清晰、方法合理、操作可行、步骤得当，每一实验前后均提出了思考讨论题以提高实验效果。

本书内容包括绪论、实验和附录三大部分。共有 36 个实验题目，其中包括流体力学、热学、电磁学、光学等实验内容。具体内容为：

1. 基本测量仪器的使用

游标卡尺、螺旋测微器（千分尺）、打点计时器、钳形电流表、电流计、伏特表、毫伏表、功率表、示波器、万用表、电源等。

2. 基本测量性实验

测定液体黏滞系数、测电阻及金属的电阻率、测电源的电动势和内阻、测电表的内阻、测晶体管元件、测玻璃砖的折射率、测凸透镜的焦距等。

3. 基本观测性实验

用描点法画电场中的等势线，晶体二极管的整流、滤波、稳压电路，照明电路的安装，示波器使用等。

4. 基本探究性实验

变压器的使用、电动机的使用、电容器的特性、电路元件伏安特性、电度表安装与使用、热敏电阻等。

本书由赵振宇、冯丽担任主编，王继学、李广智、王英侠担任副主编，由李广智与赵振宇统稿。参加编写人员分工如下：赵振宇：实验一、二、三、四、五、六、十三、十四、十五；冯丽：绪论，实验十、十二、二十、三十二、三十三、三十四、三十五；王继学：实验二十二、二十三、二十四、二十五、二十六、二十七、二十八、二十九，附录；李广智：实验九、十八、三十、三十一、三十六，练习题，安全用电技术；王英侠：实验七、八、十一、十六、十七、十九、二十一，实验技能考核。

本书由哈尔滨师范大学物理电子工程学院王凤兰教授与黑龙江畜牧兽医职业学院张明芹担任主审，并提出许多建议。

限于编者水平，书中错误和不当之处在所难免，敬请读者予以批评指正。

编 者

2008 年 6 月

目 录

绪 论	1
实验一 游标卡尺和螺旋测微器的使用	8
实验二 探究力的平行四边形法则	13
实验三 打点计时器的使用	16
实验四 探究匀变速直线运动	19
实验五 探究机械能守恒定律	22
实验六 用单摆测定重力加速度	25
实验七 测定液体黏滞系数	27
实验八 探究气体状态方程	30
实验九 测定空气的相对湿度	32
实验十 测定液体的表面张力系数	34
实验十一 常用电学仪器的使用	37
实验十二 电场中等势线的描绘	42
实验十三 伏安法测电阻	44
实验十四 测定金属丝的电阻率	47
实验十五 电流表改成伏特表和安培表	49
实验十六 测定电源电动势和内阻	53
实验十七 万用表的使用	56
实验十八 电阻串、并联及电位的测量	63
实验十九 用惠斯通电桥测电阻	65
实验二十 热敏电阻实验探究教学案例	68
实验二十一 探究电磁感应现象	71
实验二十二 照明电路的安装	74
实验二十三 示波器的使用	79
实验二十四 万用表判断晶体二、三极管的管脚并对放大系数进行估算	84
实验二十五 探究电路元件的伏安特性曲线	88
实验二十六 探究电容器特性与电容	90
实验二十七 变压器的使用	93
实验二十八 整流、滤波和稳压电路	96
实验二十九 安装晶体三极管放大器	99
实验三十 电度表的安装及使用	101
实验三十一 电动机的安装和运转	105
实验三十二 安装简单的收音机	108
实验三十三 测定玻璃砖的折射率	112
实验三十四 测定凸透镜的焦距 探究物像间的关系	115
实验三十五 光电比色计	119
实验三十六 摄 影	122
实验技能考核	126

练习题	128
安全用电技术	140
附录	145
(一) 物理学常用常量	145
(二) 某些液体与固体的比热容	146
(三) 常用金属固体和液体的密度(20℃时)	147
(四) 金属和合金的电阻率及温度系数	147
(五) 在 20℃时与空气接触的液体表面张力系数	147
参考文献	148

绪 论

物理学从本质上说是一门实验科学，物理规律的发现和物理理论的建立，都必须以严格的物理实验为基础，并受到实验的检验。例如，牛顿万有引力定律、欧姆定律等都建立在实验的基础上，赫兹的电磁波实验使麦克斯韦的电磁场理论获得普遍承认。总之，物理学的建立和发展是在实验和理论两方面互相推动和密切结合下进行的。因此，在学习物理学时，我们要正确处理理论课和实验课的关系，要求学生既动脑，又动手，做到理论和实践相结合。

作为师范院校、农业院校一门课程的物理实验课，是学生进入大专、大学后受到系统的实验技能训练的开端，它在培养学生使用实验手段去发现、观察、分析和研究问题，最终解决问题的能力方面起着重要的作用。也为学生独立地进行科学实验研究、设计实验方案，选择、使用仪器设备及提出新的实验课题，打下良好的基础。更为学生学习专业实验课程做了充分准备。

本课程的目的与要求：

(1) 学习和掌握实验原理、方法去分析、研究某些物理现象并进行具体测定，得出一定的结论。

(2) 进行实验技能的基本训练，熟悉常用仪器的基本原理和性能，掌握其使用方法。

(3) 学习处理实验数据的方法。分析判断实验结果，以及实验方法，测量仪器，周围环境、测量次数的操作技能等对测量结果的影响。写出比较完整的实验报告。

(4) 培养并提高学生观察和分析实验现象的能力以及理论联系实际的独立工作能力。通过实验的观察、测量和分析，加深对物理学的某些概念、规律和理论的理解。

(5) 通过实验培养严肃认真、细致踏实、一丝不苟、实事求是的科学态度和克服困难、坚韧不拔的工作作风。

怎样上好物理实验课：

(1) 要注意掌握实验中所采用的实验方法，特别是基本的测量方法。基本的测量方法既会经常用到，也是复杂测量方法的基础，学习时不但要弄明白它的道理，也要熟练掌握。

(2) 要有意识地培养良好的实验习惯，在实验中，必须主动、自觉、创造性地获得知识和技能，要认真观察现象，正确地记录原始数据，不能随意改动数据。

(3) 要逐步学会分析实验，排除实验中出现的各种故障。从结果入手分析实验方法、实验环境、能带来多大误差。

(4) 写好预习报告，回答预习思考题中提出的问题。根据有关原理的计算公式，结合本实验要求，分清已知量、指定量、待测量和求算量，并列记录数据表格。

一、测量误差的基本知识

(一) 误差

在对一些物理量进行测量时，由于仪器的缺陷和人的感觉器官的不完善，因此测量的结果永远只是被测量的近似值。测量结果与被测量的真实值之间总有一定差异，这种差异叫做误差。误差存在于一切测量之中，而且贯穿测量过程的始终。

(二) 误差的分类

从误差的性质和来源上可分为“系统误差”、“偶然误差”和“过失误差”三种。

1. 系统误差。系统误差总是使测量结果向一个方向偏离，其数值一定或按一定规律变化，因此也叫规律误差。它的来源有以下几方面。

(1) 仪器误差：这是由于仪器本身的缺陷或没有按规定条件使用仪器而造成的。如仪器零

点不准，照相机底片收缩，放大器的非线性。又如在 20°C 下标定的标准电阻，当在 30°C 下使用时，其标准值将产生一定偏离。所以使用时，就应该进行修正。另外，使用某些仪器或量具时，事先没有校对好，如使用千分尺，尺口已经合严，而标准线却指在 0.023 mm 的位置上。使用这样的仪器或量具，就应该重新校对或在测数据中去掉 0.023 mm 。

(2) 理论和方法的近似性：如理论公式中没有把散热考虑在内，没有把接线电阻和接触电阻考虑在内；用伏安法测电阻时安培表、伏特表本身内阻的影响等。

(3) 个人误差：这是由于观测者本人生理或心理特点造成的、通常与观测人员的反应速度或固有习惯等有关。如用停表计时，有人总是超前或滞后。

2. 偶然误差。在同一条件下，对某一物理量进行测量时，不同实验者的测量结果往往是不同的，即使是同一实验者进行多次测量，每次测量结果也会有差异。从表面上看差异的大小即测量误差是没有规律的，所测得数据有时偏大有时偏小，纯属偶然发生的，这种误差称为“偶然误差”，也称“随机误差”。它的来源主要有以下三个方面：

(1) 由于人们的感觉器官灵敏程度的限制，表现为每个人的估读能力不一致。

(2) 测量器具精度不够高，指针或向左或向右偏转，不固定。

(3) 周围环境的干扰，如气流扰动、温度的微小起伏等。

总之，系统误差与偶然误差性质不同，来源不同，处理方法也不同。系统误差是有规律的，是能被发现和得到修正的。消除系统误差的方法是将仪器进行校对，改变实验方法或者在计算公式中列入一些修正项，以消除某些因素对实验结果的影响，更主要的是要细心调整并正确使用仪器。而偶然误差的存在，使每次测量值偏大或偏小，它是无规则的。因此，增加测量次数，采取多次测量求平均值方法可减小误差，但不能避免偶然误差。

3. 过失误差。这主要由于观测者粗心大意，或违反操作规程而引起。这种误差是人为的，只要实验者采取严谨的科学的态度，过失误差是可以避免的。

二、偶然误差的计算和表示方法

(一) 以算术平均值代表多次测量结果

在测量条件不变的情况下，以多次 (k 次) 测量的算术平均值作为测量结果，是真值的最好近似，即测量结果：

$$N = \bar{N} = \sum_{i=1}^k \frac{N_i}{k} = \frac{1}{k} (N_1 + N_2 + N_3 + \cdots + N_k)$$

式中， N_i 是第 i 次测量值。

例：对某一长度测量 10 次，结果如下： $N_1=3.57\text{ cm}$ ， 3.58 cm ， 3.55 cm ， 3.56 cm ， 3.59 cm ， 3.55 cm ， 3.54 cm ， 3.57 cm ， 3.56 cm ， 3.57 cm 。

$$\begin{aligned} \text{解：} \bar{N} &= \frac{1}{10} \sum N_i \\ &= \frac{1}{10} (3.57 + 3.58 + 3.55 + 3.56 + 3.59 + 3.55 + 3.54 + 3.57 + 3.56 + 3.57) \\ &= 3.56\text{ cm} \end{aligned}$$

(二) 多次测量结果偶然误差的估计

由于误差的存在，真值不能确定，因此，误差也只能估计。估计偶然误差的方法有许多种，通常采用的是以算术平均偏差和标准偏差来表示偶然误差。

算术平均偏差：设各测量值 N_i 与平均值 \bar{N} 的偏差为 ΔN_i ($i=1, 2, 3 \cdots n$)，即

$$\Delta N_1 = N_1 - \bar{N}, \Delta N_2 = N_2 - \bar{N}, \Delta N_3 = N_3 - \bar{N}, \cdots$$

则算术平均偏差的定义： $\Delta N = \frac{1}{n} (|N_1 - \bar{N}| + |N_2 - \bar{N}| + |N_3 - \bar{N}| + \cdots + |N_i - \bar{N}|)$

标准偏差（均方根偏差）：把各次测量值 N_i 与平均值 \bar{N} 的偏差取其平方的平均值然后开方，即为标准偏差。

其定义式为：
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N})^2}$$

（三）误差表示法

常采用绝对误差和相对误差来表示误差的大小。

1. 测量值与真值之间总有一个差值，这个差值的绝对值，叫做绝对误差。待测物理量的真正大小叫真实值，简称真值。真值是无法测到的，而被人们公认的精确测量值比较接近于真值，所以我们就用公认值代表真值来求绝对误差。用 A 表示公认值， N 表示测量值，则绝对误差为 ΔN ， $\Delta N = |A - N|$ 。

如铁密度的公认值是 $7.87 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，如果测量值是 $7.93 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，则绝对误差是：

$$\Delta N = |A - N| = |7.87 - 7.93| \times 10^3 \text{ kg/m}^3 = 0.06 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

通常把测量结果及其偶然误差写成 $N \pm \Delta N$ 的形式，其中 N 是测量值，可以是一次测量值，也可以是多次测量的平均值 \bar{N} ， ΔN 是绝对误差。如 $L = 8.05 \pm 0.08 \text{ cm}$ ，表示 L 在 8.05 附近正、负 0.08 cm 这个范围内包含真值的一定的可能性（几率）。

2. 相对误差。为了评价一个测量结果的优劣，还需要看被测物理量本身的大小，因此引入相对误差，即：绝对误差与公认值之比 $\frac{\Delta N}{A}$ ($\frac{\Delta N}{N}$) 的百分数。

其定义式为：
$$K = \frac{\Delta N}{A} \times 100\%$$

如测得两个物体的质量分别为： $m_1 = (6.8 \pm 0.03) \text{ g}$ ； $m_2 = (8.2 \pm 0.03) \text{ g}$ 。

相对误差： $K_1 = (0.03 / 6.8) \times 100\% = 0.44\%$ ； $K_2 = (0.03 / 8.2) \times 100\% = 0.37\%$ 。

从绝对误差来看，两者相等，但从相对误差来看，前者比后者大。我们自然认为第二个测量更精确些。任何实验测量结果都要求必须写成下面形式：

$$X = N \pm \Delta N; K = \frac{\Delta N}{A} \times 100\%$$

三、有效数字及其运算

（一）有效数字的概念

可靠数字和可疑数字合起来，称为有效数字。

如果我们用最小单位为毫米的米尺来测量一个物体的长度，读出物体的长度为 3.51 cm ，这个读数前二位是直接从尺上读出来的，称为可靠数字（准确数字），而最末一位 0.01 cm 则是从尺上估计出来的，故称为可疑数字（不可靠数字），即从仪器直接读出的确切数字加上后面一位估计的可疑数字合称为测量结果的有效数字，估计位只有一位。所以 3.51 cm 一共有三位有效数字，这里的第三位“1”是估计出来。对于 $1, 2, 3 \dots 9$ ，这九个数字，每一个数字都是一位有效数字。而“0”是特殊的，需要注意以下几个情况：

1. 末位为“0”和数字中间出现“0”都属于有效数字。例如， 2.10 cm ，从上面的讨论知道，它表示测量进行到了 $1/100 \text{ cm}$ 的地方。它与 2.1 cm 是不同的，因为后者表示测量只进行到 $1/10 \text{ cm}$ 的地方，这个区别表现为前者是三位有效数字。后者是两位有效数字，也就是说，在进行测量时，如果最末一位恰巧是“0”，这个“0”就不能省去，而必须表示出来。又如 50.602 mm ，是五位有效数字。总之，上述两种情况出现的“0”都属于有效数字。

2. 对于小于1的数字，在小数点右边，在非零数字左边的零不是有效数字。例如， 0.000548

9m 是四位有效数字。这种情况下的“0”不属于有效数字。

为了避免有效数字的位数出现错误，在书写时可采用如下的标准形式，即用 10 的方幂来表示其数量级，幂前面的数字是测得的有效数字（常使小数点前有一位数字），这种形式称为标准形式。例如，0.035 4 m，写成标准形式是 3.54×10^{-2} m。在进行单位换算时，必须采用标准形式，才不会使有效数字有所增减。例如， $4.5 \text{ km} = 4.5 \times 10^3 \text{ m}$ ，不能写成 4 500 m； $14.56 \text{ ms} = 1.456 \times 10^{-2} \text{ s}$ 。

（二）有效数字的运算规则

在有效数字运算过程中，为了不致因运算而引进“误差”或损失有效数字的位数，影响测量结果的精度，并尽量简化运算过程，解决中间数和最后结果表示的取位问题。因此，统一规定有效数字的运算，遵从下列两个基本规则：①可疑数字与别的数字相加减、相乘除，所得的结果也为可疑的；②计算结果只能保留一位可疑数字。

1. 加减法运算。各量相加（或相减）时，其和（或差）数在小数点后所应保留的位数，应与各数中小数点后位数最少的一个相同。

例 1：（可疑数字上面加一横线）

$$\begin{array}{r} \overline{25.1} \\ + \overline{6.28} \\ \hline 31.\overline{38} \end{array}$$

例 2：

$$\begin{array}{r} \overline{109.53} \\ - \overline{85.7} \\ \hline 23.\overline{83} \end{array}$$

在这个结果中，31 以后的 0.38 均属可疑数字，所以 0.38 这两位没有必要都保留，按四舍五入规则，即 31.38 写成 31.4，同理 23.83 应写成 23.8。因此，在各量相加（或相减）时，其和（或差）数在小数点后所应保留的位数，应与各数中小数点后位数最少的一个相同。

显然，为了简化运算，可以用小数点后位数最少的数为标准，将位数多的按有效数字尾数的舍入规则删去多出的位数，然后再进行运算。如例 1 中，可以将 6.28 先简化成 6.3，然后相加，即 $25.1 + 6.3 = 31.4$ 。应注意当正整数相加减，则以可疑位数最大的为基准。

2. 乘除法运算。各量相乘（或相除）后保留的有效数字，只需与各因子中有效数字位数最少的一个相同。

例 3：

$$\begin{array}{r} \overline{21.57} \\ \times \overline{5.6} \\ \hline \overline{12942} \\ \overline{10785} \\ \hline \overline{12.0792} \end{array}$$

例 4：

$$\begin{array}{r} \overline{21.2} \\ 2.\overline{3} \sqrt{\overline{487.6}} \\ \underline{46} \\ \overline{27} \\ \underline{23} \\ \overline{46} \\ \underline{46} \\ \overline{0} \end{array}$$

12.079 2 中左起第二位出现了可疑数字，按有效数字尾数的舍入规则删去多出的位数，结果为 12，即相乘后与有效数字位数最少的相同。为了简化运算，我们以有效数字最少的数为标准，将有效数字多的删至与它相同，然后再进行运算，如例 3 中，可将 21.57 简化成 21.6，然后再进行运算。在例 4 中，结果为两位有效数字，即结果为 21。

应注意当准确数与近似数相乘或相除时，有效数字应等于原来近似数的有效数字的位数。

如 8 个相同的小球共重 92.8 g, 每个小球的重量是 11.6 g, 商数要取三位有效数字。

(三) 有效数字尾数的舍入规则

为了保持各数据尾数有相同的有效位数, 保存疑位一致, 在记录数据或表示测量结果时的多余位数需要舍弃或进入。过去一般采用四舍五入规则, 但有不完善之处, 这是因为按四舍五入的规则, 入的数字比舍的数字多一个, 经过舍入处理后所得数据之和将大于原来的数据之和, 这就不可避免地带来舍入误差, 为了弥补这个缺陷, 应采用如下的舍入规则:

尾数若“小于五则舍弃, 大于五则进入; 当等于五时, 则要看前一位, 若是奇数, 则进一位, 凑成偶数; 若是偶数, 则舍掉”。这种舍入法则的依据是这样做以后使尾数入与舍的几率相等。

如: 2.535	取三位有效数字为	2.54
52.405	取四位有效数字为	52.40
0.076	取一位有效数字为	0.08
4.25750	取四位有效数字为	4.258

四、数据处理与作图要求

处理实验数据的目的, 在于通过必要的整理分析和归纳计算, 得到实验结论。

(一) 列表法处理数据

在记录和处理数据时要将数据列成表格, 数据表格可以简单而明确地表示出有关物理量之间的对应关系, 便于检查, 有利于减少和避免错误发生。

列表要求简单明了, 要标明各符号所代表物理量的意义, 并写明单位。单位及量值的数量级写在标题栏中, 不要重复记在各个数值后。

表中所列数据, 要正确反映测量结果有效数字的位数。

(二) 作图法处理数据

作图法是一种被广泛用于处理实验数据的方法。特别是在还没有完全掌握有些科学实验的规律和结果或还没有找出适当函数表达式时, 用做实验曲线的方法来表示实验结果之间的函数关系, 常常是一种很重要的方法。

1. 作图目的。作图法的目的是形象直观地表示出所探究物理量之间的变化规律, 找出对应的函数求得经验公式或求出实验的某些结果。例如, $U = E - Ir$ 其 $U-I$ 图像如图 1 所示, 图像在纵轴上的截距表示

$I = 0$ 时的路端电压。因为 $I = 0$ 对应于发生了断路, 此时的路端电压达最大值, 并等于电池的电动势, 即 $U = E$ 。图像在横轴上的截距表示 $U = 0$ 时的电流强度, 因为 $U = 0$ 对应于电池发生了短路, 此时的电流强度达最大值, 并等于电动势与内阻的比值,

故 $I_{\text{断}} = I_{\text{短}} = \frac{E}{r}$, 或 $r = \frac{E}{I_{\text{短}}}$ 。

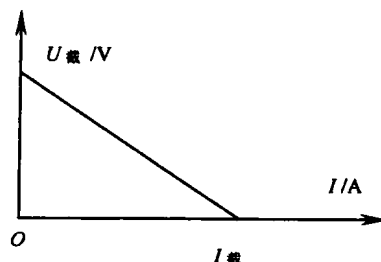


图 1

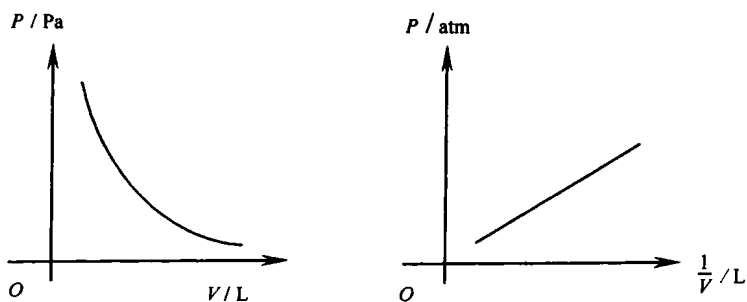


图 2

如 $PV = C$, 可将 $P-V$ 图像改为 $P - \frac{1}{V}$ 图像, 如图 2 所示。这样, 图像就由曲线变为直线了。

2. 作图规则。

(1) 坐标点和实验图像必须画的清楚正确, 要求能够正确反映物理量之间的数量关系, 容易读数。

(2) 按所测数据, 在坐标轴上选取适当的比例, 在轴的末端注明所代表的物理量及其单位, 以横轴代表自变量, 纵轴代表因变量。

(3) 画曲线。用削尖的铅笔以小“x”或“·”字标出各测量数据点的坐标(最少5点), 然后把数据点连成直线或光滑曲线, 要求曲线两旁偏差点有较均匀的分布。画曲线时, 发现个别偏离过大的数据点, 应当舍弃并进行分析或重新测量核对, 校准曲线要通过校准点连成折线。

练 习 题

1. 用精密天平称一物体的质量 m , 共称五次, 结果分别是 5.643 7 g, 5.643 2 g, 5.643 1 g, 5.643 0 g, 5.643 5 g。试求这些数据的平均值, 绝对误差及相对误差。

2. 按照误差理论和有效数字运算规则, 改正以下错误。

(1) $N = (10.800 + 0.2) \text{ cm}$;

(2) 有人说 0.287 0 有五位有效数字, 有人说只有三位, 请纠正并说明原因;

(3) $0.452 2 \times 0.23 = 10.400 6$;

(4) $3.8 \text{ km} = 3 800 \text{ m}$;

(5) $L = (2 500 + 8.000) \text{ mm}$ 。

3. 比较下列三个量的误差哪个大?

(1) $L_1 = (54.98 \pm 0.02) \text{ cm}$;

(2) $L_2 = (0.498 \pm 0.002) \text{ cm}$;

(3) $L_3 = (0.008 9 \pm 0.000 2) \text{ cm}$ 。

4. 用单摆测得重力加速度 $g_1 = 978 + 2 \text{ cm/s}^2$, 用自由落体测得 $g_2 = (981.1 + 0.66) \text{ cm/s}^2$, 已知当地 g 的标准值 $g_0 = 979.729 \text{ cm/s}^2$ 。问: (1) g_1, g_2 中, 哪一个存在系统误差? (2) 如果不知道 g_0 , 从 g_1 和 g_2 能得出什么结论?

5. 指出下列情况属于偶然误差还是系统误差?

(1) 视差;

(2) 天平零点漂移;

(3) 游标尺零点不准;

(4) 照相底板收缩;

(5) 水银温度计毛细管不均匀;

(6) 电表的接入误差。

6. 说明以下因素的系统误差将使测量结果偏大还是偏小?

(1) 米尺因低温而收缩;

(2) 单摆公式测 g , 没有考虑 $\theta \neq 0$;

(3) 安培计分流电阻因温度升高而变大;

(4) 使用千分尺时, 尺口已经合严, 而标准线却指在 0.023 mm 位置上。

7. 利用有效数字运算规则计算下列各式:

(1) $1 025 + 1.5$;

(2) $257.69 - 5.8$;

(3) 45.12×2.3 ;

(4) $638.4 \div 1.62$ 。

8. 用一最小分度值为 0.02 mm 的测微尺，测一长度约为 2 mm 的物体，能读出几位有效数字？如用米尺去测，有几位有效数字？

9. 指出各量是几位有效数字？

(1) $L = 0.0001 \text{ cm}$;

(2) $T = 2.0001 \text{ s}$;

(3) $E = 2.7 \times 10^{25} \text{ J}$;

(4) $G = 980.123 \text{ cm/s}^2$ 。

10. 改正：

(1) $m = 0.1050 \text{ kg}$ 的有效数字是 4 位；

(2) $L = 0.00036 \text{ km}$ 的有效数字是小数点后面第 4 位；

(3) $D = (10.435 \pm 0.01) \text{ cm}$;

(4) $L = 12 \text{ km} \pm 100 \text{ m}$ 。

11. 单位变换

(1) $m = (1.750 \pm 0.001) \text{ kg}$ ，写成以 g, mg, t (吨) 为单位；

(2) $h = (6.54 \pm 0.02) \text{ cm}$ ，写成以 μm , mm, m, km 为单位；

(3) $t = (1.8 \pm 0.1) \text{ min}$ ，写成以 s 为单位。

12. 一个铅圆柱体，测得其直径 $d = (3.04 \pm 0.01) \text{ cm}$ ，高度 $h = (4.12 \pm 0.01) \text{ cm}$ ，质量 $m = (1.49 \pm 0.05) \text{ g}$ 。计算：

(1) 铅的密度；

(2) 铅密度的相对误差和绝对误差。

13. 测量一长方体的长、宽、高各为 12.2 cm, 2.1 cm, 0.3 cm，求它的体积？计算结果应保留几位有效数字？

实验一 游标卡尺和螺旋测微器的使用

预习知识

1. 用最小刻度是毫米的刻度尺量出某物体的长度是 172.5 mm，它代表（ ）位有效数字，其中最末一位数字 5 是（ ）出来的。

2. 游标卡尺的主要部分：一条主尺和可以沿主尺滑动的（ ），也称（ ）。利用主尺上方的一对测量爪可以测量槽的（ ）和管的（ ），利用主尺下方的一对测量爪可以测量零件的（ ）和管的（ ），利用固定在游标卡尺上的深度尺可以测量槽和筒的（ ）。

3. 游标卡尺的主尺的最小分度是（ ），若游标卡尺上有 10 个小的等分刻度，用该游标卡尺测量长度时，可以准确到（ ）mm，此游标卡尺上刻度总长等于（ ）mm。常用的游标卡尺的上有 20 个小的等分刻度，它们的总长度为（ ）mm，它的每一分度与主尺上的最小分度 1 mm 相差（ ）mm。

4. 如果有一种游标卡尺，游标上有 50 个小等分刻度，对应主尺 49 mm（49 个小格），它的每一分度比主尺的最小分度 1mm 相差 0.02 mm，你能说明这种游标卡尺使用方法吗？用它测长度可以准确到哪一位数字？

5. 螺旋测微器的螺距一般为（ ）mm，螺旋圆周长为（ ）mm，把周长分为 50 等分，每一等分为一格（ ）mm，在周长每转动一格，螺旋沿轴线移动 0.01 mm；沿周长转动一周（ ）格，螺旋沿轴线移动（ ）mm。因此，大于 0.5mm 读数由固定刻度尺上直接读出，小于 0.5 mm 部分由可转动的螺旋刻度读出。

【实验目的】

1. 正确使用刻度尺、游标卡尺和螺旋测微器测物体的长度。
2. 测量金属筒的深度、内径和外径；测量一张纸的厚度、金属丝的直径、头发丝的直径。

【实验仪器】

游标卡尺、螺旋测微器、金属丝、金属筒、正方体等。

【实验原理】

1. 游标卡尺（见图 1-1）。游标卡尺有两个主要部分：主尺和可以沿主尺滑动的游标尺。根据游标上的分度格数，常把游标卡尺分为 10 分度的、20 分度的、50 分度的三种，准确度为 0.1 mm，0.02 mm，0.05 mm。

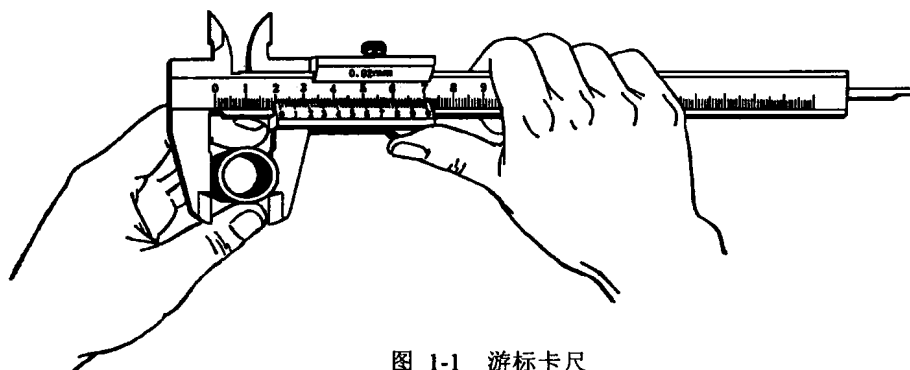


图 1-1 游标卡尺

这里着重介绍 0.1 mm 的游标卡尺的读数原理。主尺上的最小分度值为 1 mm。游标上有 10 个小的等分刻度，它们的总长等于 9 mm。因此，游标尺上的每一分度与主尺上每一最小分度相差 0.1 mm，如图 1-2 所示。

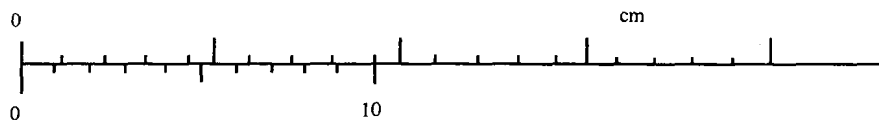


图 1-2 游标尺的刻度

游标卡尺两个测脚合在一起时，游标上的零刻线应和主尺上的零刻线相重合，这时，除了游标上的第十刻线与主尺上的第九刻线重合外，游标上其他各刻线的位置都不与主尺上的刻线相重合。若在两测脚间放一厚度为 0.1 mm 的纸片，那么，游标就向右移动 0.1 mm，这时，游标上第一刻线就会与主尺上的第一根刻线重合。若在两测脚间放一块厚为 0.2 mm 的薄片时，游标上第二根刻线就会和主尺上第二根线重合，以此类推。所以，只要被测薄片的厚度不到 1 mm，在游标上第 N 根刻线与主尺相应的一根刻线重合时，就表示被测薄片的厚度是 0.1 mm 的 n 倍。在测量大于 1 mm 的长度时，因为两测脚间张开的距离总是等于游标上的零刻线与主尺的零刻线间的距离，所以毫米整数可由游标零刻线所指的主尺上的位置读出。如图 1-3 表示被测物体之间长为 30 mm 多一些，而小于毫米的部分，应该从游标尺上读出，第九刻线与主尺上的某一条线重合，表示游标零刻线与主尺的 30 mm 刻线相距 0.9 mm，因此，读数是 30.9 mm。这样，我们对十分之几毫米是直接测出的，而不用进行估计。因此，用这种游标卡尺测长度可以准确到 0.1 mm，比起用最小分度为 1 mm 的尺子，读数的准确程度提高了 10 倍。

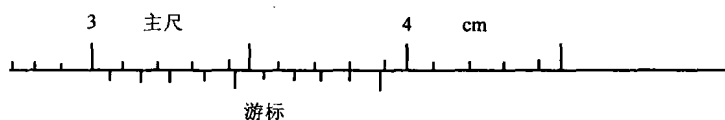


图 1-3 游标卡尺的读数

0.02 mm 的游标卡尺的刻度方法，跟上面所讲的相同，游标尺上有 50 个小等分刻度，它的总长度等于 49 mm，每一分度长是 0.98 mm，它的每一分度与主尺上的 1 mm 相差 0.02 mm，用这种游标卡尺测长度可准确到 0.02 mm。

游标卡尺按下列规则读数：①以游标零刻线位置为准，在主尺上读取整毫米数；②看游标上哪条刻线与主尺上的某一刻线（不用管是第几条刻线）对齐，由游标上读出毫米以下的小数；③总的读数为毫米整数加上毫米小数（注意：不管是 10 分度游标卡尺，还是 20 分度、50 分度游标卡尺，在读数时均不需要估读一位）。

游标卡尺的读数方法可以归纳成一个一般的读数公式。设游标卡尺可以准确读到 y mm。测量时，游标零刻线在主尺上 K 毫米刻线的右侧，但不到 $(K+1)$ mm；游标上第 n 条刻线与主尺上某一条刻线重合，则此时被测物体的长度为：

$$L = K + n \times y$$

游标卡尺的零误差：实际的游标卡尺在左右测脚并拢时，游标卡尺的零刻线可能并不与主尺的零刻线重合。这种系统误差又叫做零误差。零误差是很容易消除的。如果游标卡尺零刻线位于主尺零刻线的左侧，零误差为正，我们可以在测出的数据中加上零误差。如果游标尺的零刻线位于主尺零刻线的右侧，零误差则为负，我们可以在测出的数据中减去零误差。

在实验中用游标卡尺来测量金属管的长度、内径和外径。在测量前应找出所用游标卡尺的零误差，以便用来修正测得的数据。

2. 螺旋测微器。

(1) 螺旋测微器的原理及读数。螺旋测微器（又叫千分尺）是比游标卡尺更精密的测长度

工具，它的量程一般为 0~25 mm，最小分度是 0.01 mm。图 1-4 所示的是常用的螺旋测微器。

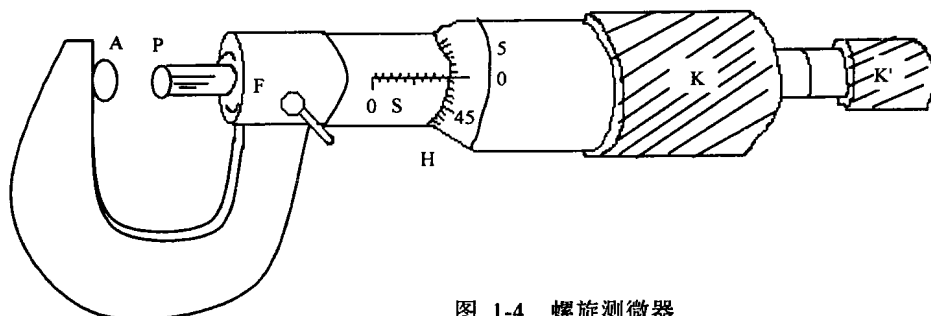


图 1-4 螺旋测微器

它的小砧 A 和可动刻度 H (微分筒)，测微螺杆 P 连在一起，通过精确螺纹套在 S 上。

精密螺纹的螺距是 0.5 mm，即旋钮每转一周，测微螺杆 P 前进或后退 0.5 mm。可动刻度分成 50 等分，每一等分表示 0.01 mm，这样每转两周，转过 100 等分时，前进或后退的距离正好是 1 mm。用它测量长度可以准确到 0.01 mm。

当 P 和 A 并拢时，如果可动刻度 H 的零点恰好跟固定刻度 S 的零点重合，旋出可动小砧 P，并使 P 和 A 的面正好接触待测长度的两端，那么 P 向右移动的距离就是所测的长度。

读数规则：①以鼓轮边缘为准在固定刻度上读出整毫米数；②从可动刻度上读出毫米以下的小数；③测量长度为上述二者之和。

在读数的时候，要注意固定刻度尺上表示半毫米的刻线是否已经露出。例如，图 1-5 所示的读数是 11.862 mm。(别忘了还应估计一位读数)，而不是 11.362 mm。由于螺旋测微器的测量值以毫米为单位时可读到小数点后三位，即估读到 0.001 mm 这一位，又叫千分尺。

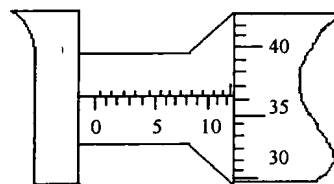


图 1-5 螺旋测微器的读数

(2) 螺旋测微器的零误差。螺旋测微器不在测量物体长度而使小砧 A 和 P 并拢时，微分筒上的零刻度线可能不与主尺上的零刻度横线重合，此时测微器上的读数叫零误差。若并拢时，微分筒上零刻度线在主尺横线上方三小格，零误差为负值，测量结果应加上 0.03 mm；若微分筒上零刻度线在主尺横线下方三小格，则表示零误差为正值，测量结果应减去 0.03 mm。同样，如果游标卡尺测量长度时，每次也要加或减零误差。

应该注意的是，螺旋测微器是一种精密的量具，在测量过程中，快靠近被测物体时，应停止使用旋钮 K，改用 K'。这样，不致在小砧 P 和被测物体间产生过大的压力，既可以使测量结果准确，又可以保护螺旋测微器。

【实验步骤】

1. 仔细观察游标卡尺及螺旋测微器的构造，熟悉它的使用。
2. 分别将游标卡尺的两个测脚和螺旋测微器的 F 和 A 并拢，记下零误差 (注意正负)。
3. 用卡尺的下测脚测金属杯的外径，上测脚测金属杯的内径，尾杆测杯深各三次。方位互成 120°，将测量数据填入表 1-1 中。
4. 用卡尺测量金属杯的直径和长度各三次，方位差约为 120°，记于表 1-2 中，计算体积。
5. 用卡尺的两个测脚测长方体金属块的长、宽、厚，分别测两次，填入表 1-3 中。用长、宽、厚的平均值算出长方体的体积 (注意有效数字)。
6. 用螺旋测微器测量毛发的直径。
7. 用螺旋测微器测量各种纸片厚度。

【计算记录】

计算记录见表 1-1