

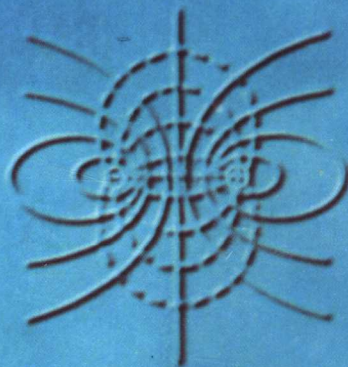
普通高等专科学校教育药学类规划教材

物理学实验

(供药学专业用)

主编 贺德麟

主审 潘百年



中国医药科技出版社

普通高等专科学校教育药学类规划教材

物 理 学 实 验

(供药学专业用)

主 编 贺德麟 (湖北药检高等专科学校)
主 审 潘百年 (南京海军医学高等专科学校)
参编人员 唐文春 (开封医学高等专科学校)
 李 琦 (桂林医学院)

江苏工业学院图书馆
藏书章

中 国 医 药 科 技 出 版 社

登记证号：(京) 075 号

内 容 提 要

本书根据全国普通高等专科药学专业主要课程基本要求，兼顾医药高等专科学校有关专业物理实验教学的需要编写而成。全书除绪论外，共编写了 18 个物理实验。选材力求符合课程基本要求和目前各校实验设备配置情况，注意与医药学相结合。

本书实验原理叙述清楚、实验步骤简明扼要，每个实验后安排了思考题，便于学生预习和巩固知识。其中绪论部分介绍了实验误差理论和数据处理的初步知识。

本书可作为医药高等专科学校各专业的实验教材，也可供专科函授教育选用。

图书在版编目 (CIP) 数据

物理学实验/贺德麟主编. —北京：中国医药科技出版社，1999.1

普通高等专科学校教育药学类规划教材

供药学专业用

ISBN 7-5067-1947-9

I. 物… II. 贺… 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 (98) 第 29114 号

*

中国医药科技出版社 出版
(北京海淀区文慧园北路甲 22 号)
(邮政编码 100088)

北京集惠印刷有限公司 印刷
全国各地新华书店 经销

*

开本 787×1092mm $\frac{1}{16}$ 印张 8 $\frac{1}{2}$
字数 207 千字 印数 5001—10000
2001 年 8 月第 1 版第 2 次印刷

定价：13.00 元

本社图书如存在印装质量问题，请与本社联系调换（电话：62244206）

普通高等专科学校教育药学类

规划教材建设委员会名单

主任委员：杨爱菊（开封医学高等专科学校）

副主任委员：何子瑛（湖北药检高等专科学校）

赵增荣（海军医学高等专科学校）

委 员：苏怀德（国家医药管理局科技教育司）

张智德（中国医药科技出版社）

王桂生（石河子大学医学院）

毛季琨（湖南医学高等专科学校）

陈建裕（广东药学院）

钟 淼（中国药科大学）

秘 书：张修淑（国家医药管理局科技教育司）

杨仲平（国家医药管理局培训中心）

序 言

我国药学高等专科学校教育历史悠久，建国后有了较大发展。但几十年来一直未能进行全国性的教材建设，在一定程度上影响了专科教育的质量和发展的。改革开放以来，专科教育面临更大的发展，对教材的需要也更为迫切。

国家医药管理局科技教育司根据国家教委（1991）25号文的要求负责组织、规划高等药学专科教材的编审出版工作。在国家教委的指导下，在对全国高等药学专科教育情况调查的基础上，普通高等专科学校教育药学类教材建设委员会于1993年底正式成立，并立即制订了“八五”教材编审出版规划。在全国20多所医药院校的支持下，成立了各门教材的编审专家组（共51人）和编写组（共86人），随即投入了紧张的编审、出版工作。经100多位专家组、编写组教师和中国医药科技出版社的团结协作、共同努力，建国以来第一套普通高等专科学校教育药学类规划教材终于面世了。

该套规划教材是国家教委“八五”教材建设的一个组成部分，编写原则是既要保证教材质量，又要反映专科的特色。同时，由于我们组织了全国设有药学专科教育的大多数院校和大批教师参加编审工作，既强调专家审稿把关的作用，也注意发挥中、青年教师的积极性，使该套规划教材能在较短时间内以较高质量出版，适应了当前高等药学专科教育发展的需求。在编写过程中，也充分注意目前高等专科学校中有全日制教育、函授教育、自学高考等多种办学形式，力求使该套规划教材具有通用性，以适应不同办学形式的教学要求。

高等药学专科教育的主要任务是为医药行业生产、流通、服务、管理第一线培养应用型技术人才。为此，在第一套普通高等专科学校教育药学类规划教材面世之后，我们又立即组织编审、出版了这套配套教材（实验指导、习题集），以加强对学生的实验教学，培养实际操作能力。从现实国情考虑，我们统筹规划、全面组织教材建设活动，是为了优化教材编审队伍，确保教材质量，规范教材规格。同时，为了照顾各地办学条件和实际需求的不同，在保证基本规格的前提下，提供了若干可供灵活选择的材料。今后，规划教材的使用情况将作为教学质量评估的基本依据之一。

配套教材出齐之后，我们将大力推动以上两套教材的使用，并组织修订及评优工作，竭诚欢迎广大读者对这两套教材的不足之处提出宝贵意见。

普通高等专科学校教育药学类
规划教材建设委员会
1998年3月

前 言

本书是全国高等药学类专科规划教材《物理学》的配套教材。本教材以全国普通高等专科药学专业主要课程基本要求为依据,并兼顾到物理学实验是医药专科教育各不同专业的一门基础实验课,内容适当扩充,适用于医药高等专科学校各专业物理实验教学的需要。

本教材包含力学、热学、电学、光学等共十八个实验题目。在选题上体现了实用性和预见性。在部分实验课题中,并列了两种实验方法和实验装置,以便各校选用。为使学生便于预习,在编写时力求做到实验目的明确、实验原理清楚、实验步骤简明,并对部分较复杂仪器的基本结构、性能和使用方法作了介绍。

本教材由贺德麟担任主编。编写分工如下:湖北药检高等专科学校贺德麟:绪论、实验一、实验九、实验十三、实验十六、实验十七、实验十八;开封医学高等专科学校唐文春:实验二、实验三、实验四、实验五、实验六、实验十一;桂林医学院李琦:实验七、实验八、实验十、实验十二、实验十四、实验十五。本书由南京海军医学高等专科学校潘百年教授主审。

本书在编写过程中,得到了国家医药管理局科教司、教材建设委员会、责任编辑及有关院校的关注和大力支持,桂林医学院秦仁甲教授和开封医学高等专科学校丁平坤副教授给予了热情的帮助,在此一并致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有缺点或错误之处,恳请使用本书的教师和学生提出宝贵意见,以便今后修正完善。

编 者

1998年6月

普通高等专科学校教育药学类规划教材配套教材目录

《高等数学解题指导》	杨继泰主编	张德舜主审
《无机化学实验》	彭夷安主编	侯新初主审
《有机化学实验》	伍焜贤主编	马祥志主审
《人体解剖生理学实验》	付建华主编	张尚俭主审
《微生物学实验》	毛季琨主编	唐珊熙主审
《分析化学实验》	马长清主编	张其河主审
《生物化学实验》	薛丽珠主编	赖炳森主审
《物理化学实验》	周传佩主编	侯新朴主审
《药理学实验》	王玉祥主编	张大禄主审
《药剂学实验》	林 宁主编	高鸿慈主审
《药物化学实验》	刘芳妹主编	孙常晟主审
《药物分析实验》	苏薇薇主编	蔡美芳主审
《天然药物化学实验》	李嘉蓉主编	杨其蓝主审
《药用植物学实验》	汪乐原主编	许文渊主审
《生药学实验》	赵奎君主编	罗集鹏主审
《物理学实验》	贺德麟主编	潘百年主审

目 录

绪论	(1)
实验一 长度和密度的测量	(9)
实验二 液体粘度系数的测定	(16)
I 用奥氏粘度计测量液体的粘度系数	(16)
II 用落球法测量液体的粘度系数	(21)
实验三 超声诊断仪的使用	(24)
实验四 液体表面张力系数的测量	(29)
I 拉脱法	(29)
II 毛细管法	(33)
实验五 电偶极子电场的描绘	(37)
实验六 多用电表的使用	(42)
实验七 用惠斯通电桥测电阻	(49)
I 用滑线式惠斯通电桥测电阻	(49)
II 用箱式惠斯通电桥测热敏电阻的 R-T 特性曲线	(51)
实验八 用电势差计测量电动势	(55)
I 用滑线式电势差计测量电池的电动势	(55)
II 用箱式电势差计测量温差电动势	(59)
实验九 交流电路中参量的测量	(63)
实验十 示波器的使用	(69)
实验十一 晶体管放大器	(81)
实验十二 用衍射光栅测定光波波长	(86)
I 用透射光栅及分光计测光波波长	(86)
II 用透射光栅及光具座测光波波长	(91)
实验十三 三棱镜折射率的测定	(94)
实验十四 旋光仪的使用	(99)
实验十五 光电效应及普朗克常量的测定	(104)
实验十六 薄透镜焦距的测定	(110)
实验十七 显微镜放大率和微小物体长度的测量	(116)
实验十八 显微摄影	(121)

绪 论

物理学是一门以实验为基础的科学。物理学概念的确立，物理规律的发现，以及物理理论的建立与验证，都必须以严格的物理实验为依据。物理实验是物理学的基础，也是物理学研究的基本方法。

物理实验是科学实验的重要组成部分。随着科学技术的发展，物理实验的理论、方法和技术，已广泛应用到自然科学各领域，包括医学和药学，在科学技术的发展中起着愈来愈重要的作用。

高等专科教育旨在培养应用型人才，因此，要努力培养学生的科学实验能力，提高学生的科学实验素质。物理实验课是实现高等专科培养目标的重要教学课程之一。

一、物理实验课的目的和要求

(1) 通过实验，掌握基本物理量的测量原理和方法，会正确使用测量仪器，能正确处理实验数据、分析实验结果，并能写出完整的实验报告。

(2) 通过对物理现象的观测和分析，加深对物理概念、规律和理论的理解。

(3) 培养学生严肃认真的科学态度、实事求是的科学作风，使学生具有一定的科学实验技能。

为达到上述教学目的，必须认真实施如下教学环节：

①做好实验预习 认真阅读实验教材和有关实验指导书籍，理解实验原理，了解仪器性能及使用方法，明确实验步骤和注意事项，写出实验预习报告。

②认真进行实验 要实现实验目的，必须严格按步骤进行实验。首先，在教师指导下，正确装配或连接好实验仪器，并调整到正常工作状态。然后，手脑并用，严格按实验规程操作。同时，仔细观察实验现象，认真进行实验测量，正确记录数据和图象。实验过程中，如发现异常现象或测量数据有误，即应进行科学分析，找出问题所在，再继续进行或重新进行实验和测量，并在原始数据上方重新记录数据，不得在原数据上随意涂改。

③完成实验报告 实验观测结束后，对数据进行整理计算。然后，按照各实验的要求，用简单明了的文字书写实验报告。实验报告要内容完整、字迹清晰、表达明确、图表规范、分析有理，报告应符合教师的具体要求。实验报告的内容一般如下：

A. 实验名称；

B. 实验目的；

C. 实验器材。要求写出实验器材的名称、型号、编号、规格；

D. 实验原理。要求用简明的语言、公式、原理图，说明实验的理论依据；

E. 实验步骤。简明扼要地写出主要实验操作步骤；

F. 数据记录与处理。包含测量数据的记录、计算结果和误差及测量结果的表示。

G. 讨论与分析。对实验结果进行分析讨论，回答思考题，对改进实验提出建议。

二、测量误差 有效数字 数据处理

(一) 测量与误差

1. 测量

测量就是将待测的物理量与一个公认为标准单位的同类物理量进行比较。将所得的倍数附上单位，就是所测物理量的量值，简称测量值。

测量可按得到待测量之值的过程分为直接测量和间接测量。凡是用测量仪器直接测得待测量之值的叫作直接测量；需要将几个直接测得量代入一定的函数关系式，才能计算出待测量之值的叫作间接测量。例如，长度、时间、电流是直接测得量；体积、密度是间接测得量。

2. 测量的误差

测量的目的，是要找到待测量在一定条件下客观上所具有的真实数值，即真值。但是，由于受到测量仪器、方法、条件和测量人员的技术水平等多种因素的局限，真值只能是一个理想的概念，是不可准确测得的。这样，一个物理量的测量值 x 与真值 x_0 之间有一个差值 Δx ，叫作测量的绝对误差，简称误差。即

$$\Delta x = x - x_0$$

其值可正可负。

上式表明，减小误差就可提高测量值与真值的符合程度，这就要求我们对产生误差的原因和特点进行分析。

3. 误差的分类

误差的产生有多种原因，归纳其性质和来源，可将误差分为系统误差和偶然误差两类。

(1) 系统误差 保持实验条件一定，对同一物理量进行多次测量时，误差的绝对值和符号保持不变，或者在条件改变时按一定规律变化。具有这一特点的误差叫作系统误差。它来源于如下原因：仪器本身的固有缺陷，如零点未调好、刻度不准等；规定的实验条件发生变化，如温度、湿度、压强等；个人的习惯和偏向，如有些人读数总是偏高或偏低；理论公式本身的近似性或实验条件达不到理论公式的要求；测量方法本身所带来的误差，如用伏安法测电阻。

系统误差的确定性规律提示我们，只能根据各种不同的情况，找出产生系统误差的原因，从改善仪器、改进方法，或作理论上的修正来尽量减小或消除系统误差，而不能通过增加测量次数来减小这种误差。

(2) 偶然误差 保持实验条件一定，对同一物理量进行多次测量时，误差的绝对值和符号是随机变化的，不具有确定的规律性。所以，这种误差又叫作随机误差。它来源于人的感官灵敏程度和仪器精确程度的局限，周围环境的变化以及随测量而来的其他不可预测的偶然因素所引起的误差。

偶然误差的随机性，表现在相同条件下，每次测量的结果，时而偏大，时而偏小。但对足够多次测量的总体，偶然误差的分布服从统计规律：绝对值小的误差出现的概率比绝

对值大的误差出现的概率大；绝对值很大的误差出现的概率为零；绝对值相等的正、负误差出现的概率相等。因此，随着测量次数的增加，偶然误差的算术平均值渐渐趋于零。可见，从其偶然性，通过改进实验方法不能消除偶然误差。但因其服从统计规律，可用增加测量次数的方法来减小偶然误差，并可估算出偶然误差的大小。

测量总是存在着误差，真值不可能真正测出，但可由误差的大小，表示测量结果与真值间的符合程度。

估算偶然误差的方法有平均绝对误差、标准偏差及相对误差等。下面仅介绍平均绝对误差和相对误差。

4. 直接测量误差和结果的表示

(1) 用算术平均值代表测量结果的最佳值 由于偶然误差服从统计规律，故在保证测量条件相同的情况下，随着测量次数的增多，所得测量值的算术平均值趋于真值。因此，将有限次测量的算术平均值叫作测量的最佳值。在相同条件下对某物理量进行 n 次重复测量，其测量值分别为 $x_1, x_2, x_3, \cdots, x_n$ ，则其算术平均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (0-1)$$

(2) 平均绝对误差 一个物理量的某次测量值 x_i 与其真值 x_0 之差叫作某次测量的绝对误差。由于待测量的真值不可知，因此常以算术平均值 $\bar{x}$ 代替真值 x_0 计算误差。若某次测量的绝对误差为 $\Delta x_i = x_i - \bar{x}$ ，则算术平均值 $\bar{x}$ 的平均绝对误差定义为

$$\begin{aligned} \overline{\Delta x} &= \frac{|x_1 - \bar{x}| + |x_2 - \bar{x}| + |x_3 - \bar{x}| + \cdots + |x_n - \bar{x}|}{n} \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta x_i| \end{aligned} \quad (0-2)$$

测量结果可表示为

$$x = \bar{x} \pm \overline{\Delta x} \quad (0-3)$$

式 (0-3) 表示：待测物理量 x 的最佳值是 $\bar{x}$ ， $\bar{x}$ 的绝对误差范围为 $\pm \overline{\Delta x}$ ，而 x 的真值存在于 $(\bar{x} - \overline{\Delta x}) \sim (\bar{x} + \overline{\Delta x})$ 范围内。这样，它既能表示测量结果的大小，又能反映其可信度。

在实验中，由于某些原因，只可能或只需对某一物理量进行一次测量，这时常把仪器上标明的仪器误差作为单次测量的绝对误差。如果仪器上没有标明，通常可取仪器最小分度值的一半作为单次测量的绝对误差。

(3) 相对误差 绝对误差只能表明待测量的测量值与其真值的符合程度，但评价测量的准确性，还需要看测量值本身的大小，为此引入相对误差。相对误差定义为

$$E = \frac{\overline{\Delta x}}{\bar{x}} \times 100\% \quad (0-4)$$

式中 $\bar{x}$ 为待测量的算术平均值， $\overline{\Delta x}$ 为 $\bar{x}$ 的平均绝对误差。

相对误差无单位，它能比较对不同测量对象测量结果的可信赖程度。如对两根不同长度的棒，测得的结果分别为 $l_1 = (7.86 \pm 0.01) \text{ cm}$ ， $l_2 = (78.60 \pm 0.01) \text{ cm}$ ，虽然他们的绝对误差相同，但测量的相对误差 $E_1 = 10E_2$ 。显然 l_2 的测量结果比 l_1 的测量结果更加准确。

对任一待测量，给出测量结果的同时，都应给出绝对误差和相对误差。

例 1 测某一物体的长度，测量 5 次，测量值分别为

$x_i = 5.61\text{cm}, 5.63\text{cm}, 5.65\text{cm}, 5.64\text{cm}, 5.62\text{cm}$ ，求测量结果。

解 算术平均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{5} (5.61 + 5.63 + 5.65 + 5.64 + 5.62) = 5.63\text{cm}$$

平均绝对误差为

$$\begin{aligned}\overline{\Delta x} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta x_i| \\ &= \frac{1}{5} (|5.61 - 5.63| + |5.63 - 5.63| + |5.65 - 5.63| + |5.64 - 5.63| + |5.62 - 5.63|) \\ &= 0.01\text{cm}\end{aligned}$$

平均相对误差为

$$E = \frac{\overline{\Delta x}}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{0.01}{5.63} \times 100\% = 0.2\%$$

测量结果为

$$x = (5.63 \pm 0.01) \text{ cm}$$

由于偶然误差本身是一个估计值，所以误差值一般只取一位有效数字。

5. 间接测量误差和结果的表示

对于间接测量，因为各直接测量值有误差，所以代入其函数式计算所得间接测量值也必然有误差，这叫作误差的传递。其误差与各直接测量误差及函数关系有关，并可由误差传递公式计算出来。

设待测量 $N = f(x_1, x_2, x_3, \dots)$ ，其中 $x_1, x_2, x_3, \dots$ 为直接测得量，各测量结果为 $x_1 = \overline{x_1} \pm \overline{\Delta x_1}$ ， $x_2 = \overline{x_2} \pm \overline{\Delta x_2}$ ， $x_3 = \overline{x_3} \pm \overline{\Delta x_3}$ ， $\dots$ ，则

$$N = \overline{N} \pm \overline{\Delta N}$$

$$E = \frac{\overline{\Delta N}}{\overline{N}} \times 100\%$$

式中 $\overline{N} = f(\overline{x_1}, \overline{x_2}, \overline{x_3}, \dots)$ 为待测量的算术平均值， $\overline{\Delta N}$ 为 $\overline{N}$ 的平均绝对误差。

设待测量是二直接测得量之和或差，试计算待测量。二直接测得量分别为 $x_1 = \overline{x_1} \pm \overline{\Delta x_1}$ ， $x_2 = \overline{x_2} \pm \overline{\Delta x_2}$ ，则待测量为

$$N = x_1 \pm x_2 = (\overline{x_1} \pm \overline{\Delta x_1}) \pm (\overline{x_2} \pm \overline{\Delta x_2}) = (\overline{x_1} \pm \overline{x_2}) \pm (\overline{\Delta x_1} + \overline{\Delta x_2})$$

即待测量的算术平均值

$$\overline{N} = \overline{x_1} \pm \overline{x_2}$$

平均绝对误差

$$\overline{\Delta N} = \overline{\Delta x_1} + \overline{\Delta x_2}$$

待测量的测量结果表示为

$$N = \overline{N} \pm \overline{\Delta N}$$

可以得出结论：两量之和或差的平均绝对误差等于两量的平均绝对误差之和。而其相对误

差为

$$E = \frac{\overline{\Delta N}}{\overline{N}} \times 100\% = \frac{\overline{\Delta x_1} + \overline{\Delta x_2}}{\overline{x_1} \pm \overline{x_2}} \times 100\%$$

设待测量是二直接测得量之积，试计算待测量。二直接测得量分别为 $x_1 = \overline{x_1} \pm \overline{\Delta x_1}$, $x_2 = \overline{x_2} \pm \overline{\Delta x_2}$ ，则待测量

$$N = x_1 \cdot x_2 = (\overline{x_1} \pm \overline{\Delta x_1}) \cdot (\overline{x_2} \pm \overline{\Delta x_2})$$

$$= \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \pm \overline{x_1} \cdot \overline{\Delta x_2} \pm \overline{x_2} \cdot \overline{\Delta x_1} \pm \overline{\Delta x_1} \cdot \overline{\Delta x_2}$$

由于 $\overline{\Delta x_1} \cdot \overline{\Delta x_2}$ 与 $\overline{x_1}$ 和 $\overline{x_2}$ 相比很小，故 $\overline{\Delta x_1} \cdot \overline{\Delta x_2}$ 可以忽略，所以有

$$N = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \pm (\overline{x_1} \cdot \overline{\Delta x_2} + \overline{x_2} \cdot \overline{\Delta x_1})$$

即

$$\overline{N} = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2}, \quad \overline{\Delta N} = \overline{x_1} \cdot \overline{\Delta x_2} + \overline{x_2} \cdot \overline{\Delta x_1}$$

相对误差

$$E = \frac{\overline{\Delta N}}{\overline{N}} \times 100\% = \left(\frac{\overline{\Delta x_1}}{\overline{x_1}} + \frac{\overline{\Delta x_2}}{\overline{x_2}} \right) \times 100\%$$

待测量的结果表达式为

$$N = \overline{N} \pm \overline{\Delta N}$$

由上述二例可以看出，误差是可以传递的。常用函数的误差传递公式见表 0-1。

表 0-1 常用函数的误差传递公式

函数关系式	平均绝对误差 ($\overline{\Delta N}$)	相对误差 ($\frac{\overline{\Delta N}}{\overline{N}}$)
$N = x + y + \dots$	$\overline{\Delta x} + \overline{\Delta y} + \dots$	$\frac{\overline{\Delta x} + \overline{\Delta y} + \dots}{\overline{x} + \overline{y} + \dots}$
$N = x - y$	$\overline{\Delta x} + \overline{\Delta y}$	$\frac{\overline{\Delta x} + \overline{\Delta y}}{\overline{x} - \overline{y}}$
$N = x \cdot y$	$\overline{x} \cdot \overline{\Delta y} + \overline{y} \cdot \overline{\Delta x}$	$\frac{\overline{\Delta x}}{\overline{x}} + \frac{\overline{\Delta y}}{\overline{y}}$
$N = x \cdot y \cdot z$	$\overline{y} \cdot \overline{x} \cdot \overline{\Delta x} + \overline{x} \cdot \overline{z} \cdot \overline{\Delta y} + \overline{x} \cdot \overline{y} \cdot \overline{\Delta z}$	$\frac{\overline{\Delta x}}{\overline{x}} + \frac{\overline{\Delta y}}{\overline{y}} + \frac{\overline{\Delta z}}{\overline{z}}$
$N = x^n$	$n \overline{x}^{n-1} \cdot \overline{\Delta x}$	$n \frac{\overline{\Delta x}}{\overline{x}}$
$N = x^{\frac{1}{n}}$	$\frac{1}{n} \overline{x}^{(\frac{1}{n}-1)} \cdot \overline{\Delta x}$	$\frac{1}{n} \frac{\overline{\Delta x}}{\overline{x}}$
$N = \frac{x}{y}$	$\frac{\overline{y} \cdot \overline{\Delta x} + \overline{x} \cdot \overline{\Delta y}}{\overline{y}^2}$	$\frac{\overline{\Delta x}}{\overline{x}} + \frac{\overline{\Delta y}}{\overline{y}}$
$N = kx$	$k \cdot \overline{\Delta x}$	$\frac{\overline{\Delta x}}{\overline{x}}$

从表 0-1 中公式可以看出, 如函数关系式中含加减运算, 则先计算绝对误差, 后计算相对误差较为方便; 如函数关系中含乘、除、乘方、开方等运算, 则先计算相对误差, 后计算绝对误差较为方便。

(二) 有效数字

1. 有效数字的一般概念

如前所述, 直接测量结果存在误差, 导致间接测量结果必然存在误差。那么如何记录测量结果的数值, 才能正确反映测量值的大小及其误差呢? 为此, 规定将测量结果的数值记录到开始有误差的那一位为止。测量数值中所有准确的可靠数字和一位有误差的可疑数字, 统称为有效数字。

有效数字的位数与待测量的大小及测量仪器的最小分度值 (即仪器的最小量或读数精度) 有关。例如, 对同一物长, 用厘米分度尺测得读数为 5.4cm, 用毫米分度尺测得读数为 5.42cm。前者读数中的“5”和第二个读数中的“5.4”是直接从尺子读出的, 是准确的, 叫作可靠数字; 第一个读数中的“4”和第二个读数中的“2”是分别从两尺子的相邻刻度线间的距离估读出来的, 是有误差的, 叫作可疑数字, 但它们都反映了客观实际, 仍是有效的。第一个读数有二位有效数字, 第二个读数有三位有效数字。显然, 第二个读数的准确度高于第一个读数。同时, 当某一测量值为 6.35cm 时, 就知道这一测量值是使用毫米分度尺测得的, 所以测量结果中的有效数字不同于数学中数字的意义。

有效数字位数的多少反映出相对误差的大小, 有效数字的位数愈多, 测量值的相对误差愈小。

确定有效数字的位数要注意以下几点:

①有效数字的位数与小数点的位置无关, 因此用来表示小数点位置的“0”不是有效数字, 如 $2.36\text{cm} = 23.6\text{mm} = 0.0236\text{m}$, 三种表示法均是三位有效数字;

②测量数据中不表示小数点位置的零是有效数字, 如 60.51g、32.00cm 都是四位有效数字;

③遇到很大或很小的数据时, 可用科学记数表示法, 即用 $a \times 10^n$ 的形式表示, 取 $1 \leq a < 10$, 则有效数字的位数由 a 确定, 单位的大小决定于 n 的取值, 如光速可写为 $2.997 \times 10^8 \text{m} \cdot \text{s}^{-1} = 2.997 \times 10^{10} \text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$, 有四位有效数字。

2. 确定测量结果的有效数字

无论是直接测得量还是间接测得量的结果都必须用有效数字表示, 其有效数字的末位数, 根据测量结果的绝对误差的大小来确定。绝对误差的有效数字通常只取一位。这样, 我们写出的有效数字的最后一位, 必须与误差所在位对齐。如 $l = (2.36 \pm 0.01) \text{cm}$ 是正确的, 而 $l = (2.362 \pm 0.01) \text{cm}$ 是错误的。

3. 有效数字的运算法则

有效数字的运算可归纳为以下几点: 准确数字与准确数字相互运算的结果仍是准确数字; 可疑数字与准确数字或可疑数字相互运算的结果是可疑数字, 但运算过程中的进位数字可以是准确数字; 运算的最后结果只保留一位可疑数字, 后面的数字按四舍五入法则处理。

以下有效数字的运算实例中，数字下面加横线的是可疑数字。

(1) 有效数字的加、减运算

例 1

$$\begin{array}{r} 2.38\bar{7} \\ 16.\bar{2} \\ +) 9.5\bar{4} \\ \hline 28.1\bar{27} \end{array}$$

结果为 28.1

例 2

$$\begin{array}{r} 16.\bar{2} \\ 2.489 \\ -) 7.5\bar{4} \\ \hline 6.1\bar{71} \end{array}$$

结果为 6.2

在加、减运算中，最后结果只保留到参与运算的各量中可疑数字最高的那一位。

(2) 有效数字的乘、除运算

例 3

$$\begin{array}{r} 4.34\bar{3} \\ \times) 21.\bar{1} \\ \hline 434\bar{3} \\ 434\bar{3} \\ +) 868\bar{6} \\ \hline 91.63\bar{73} \end{array}$$

结果为 91.6

例 4

$$\begin{array}{r} 13.0\bar{7} \\ 271 \overline{) 3544} \\ \underline{271} \\ 834 \\ \underline{813} \\ 2100 \\ \underline{1897} \\ 203 \end{array}$$

结果为 13.1

在乘、除运算中，最后结果的有效数字位数与参与运算各数中位数最少的一个相同。

对于乘方、开方、三角函数运算，结果的有效数字位数均与测量数值的有效数字位数相同。

对于乘除公式中的常数，如 π 、 e 、 $\sqrt{2}$ 等，在运算中，其有效数字一般应取比参与运算的有效数字中位数最少的有效数字再多一位。

(三) 数据处理的基本方法

为了直观地表示各物理量之间的关系，常将实验数据列表记录或绘图示意。

1. 列表记录法

列表记录法就是把一组有关实验数据和计算数值按一定的形式与顺序列成表格。表格应力求简明清楚，应有标题栏，在标题栏中要标明物理量（或符号）和该量的单位。实验数据应用有效数字填入。

2. 作图表示法

将测量数据标记在坐标图纸上，并用光滑曲线连接各点（特殊情况用折线），使其成为反映物理量间关系的直观图像。作图应注意以下几点：

(1) 坐标纸的选用 根据具体情况选用直角坐标纸或对数坐标纸，确定坐标纸幅面的大小。

(2) 坐标轴的比例 原则上图纸中一小格对应数据中可靠数字的最后一位，可疑数字可在小格内估计。适当选取 x 轴或 y 轴的比例和坐标的起点。坐标轴比例应取 1:2, 1:5 或它们的倍数比例。坐标原点一般不一定取零值，以使曲线比较对称的充满整个图纸。

(3) 标明坐标轴和图名 一般以横坐标代表自变量,纵坐标代表因变量,在坐标轴外侧标明所代表的物理量和单位,并在轴上等间距标明物理量的数值。在图纸的明显位置写清图名。

(4) 标点 根据测量数据用“+”标出各坐标点。要求用直尺、尖铅笔画出。如在一张图纸上需画出几条曲线时,每条曲线要用不同的标记,如“×”,“⊙”,“△”等以示区别。

(5) 连线 用直尺、曲线板连接曲线时,应按所有坐标点的趋势,连成直线或光滑的曲线,曲线并不一定通过所有的点,而是要求图线的两旁的偏差点有较均匀的分布。

思 考 题

1. 用螺旋测微器测钢丝直径,5次测量值分别为 $d_1 = 0.499\text{mm}$, $d_2 = 0.500\text{mm}$, $d_3 = 0.501\text{mm}$, $d_4 = 0.500\text{mm}$, $d_5 = 0.502\text{mm}$ 。试求测量量的算术平均值,平均绝对误差及相对误差,并正确地表达出测量结果。

2. 改正下列测量结果表示法中的错误:

(1) $l = (8.40 \pm 0.002)\text{cm}$;

(2) $m = (43000 \pm 1000)\text{g}$;

(3) $t = (14.80 \pm 0.5)\text{s}$ 。

3. 按有效数字的记录规则,完成下列单位变换:

$500\text{mg} = \underline{\hspace{2cm}}\text{g}$; $760\text{mm} = \underline{\hspace{2cm}}\text{cm} = \underline{\hspace{2cm}}\text{m} = \underline{\hspace{2cm}}\text{km}$ 。

4. 按有效数字运算规则计算下列各式:

(1) $34.740 + 10.28 - 1.0036$

(2) 12.34×0.0234

(3) $\frac{400 \times 1500}{12.6 - 11.6}$

实验一 长度和密度的测量

一、目的

- (1) 了解游标卡尺、螺旋测微器和物理天平的构造、原理，掌握正确使用方法。
- (2) 掌握测定规则物体密度的一种方法。
- (3) 熟悉有效数字的运用以及测量误差和结果的表示方法。

二、器材

游标卡尺、螺旋测微器、物理天平、砝码、金属小球、金属圆筒等。

三、原理

若一物体的质量为 M ，体积为 V ，则它的密度为

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1-1)$$

当待测物体是一外径为 D ，内径为 d ，深度为 h 的圆筒时，式 (1-1) 变为

$$\rho = \frac{4M}{\pi h (D^2 - d^2)} \quad (1-2)$$

只要测出圆筒的质量 M 、外径 D 、内径 d 和深度 h ，代入式 (1-2) 即可计算出该圆筒的密度。

1. 游标卡尺的结构及原理

用毫米分度的米尺测量长度，只能准确到 1mm。为了提高测量的精确度，在一个毫米分度的直尺（主尺）上，套上一个可沿尺身滑动的副尺，又叫作游标，从而构成一个游标卡尺，其构造如图 1-1 所示。

主尺 D 与量爪 A、B 联结构成游标卡尺的固定部分；游标 E 与量爪 A'、B' 及尾尺 C 联结构成游标卡尺的可动部分。当量爪 A、A' 两刀口密合时，游标 0 线与主尺 0 线重合。

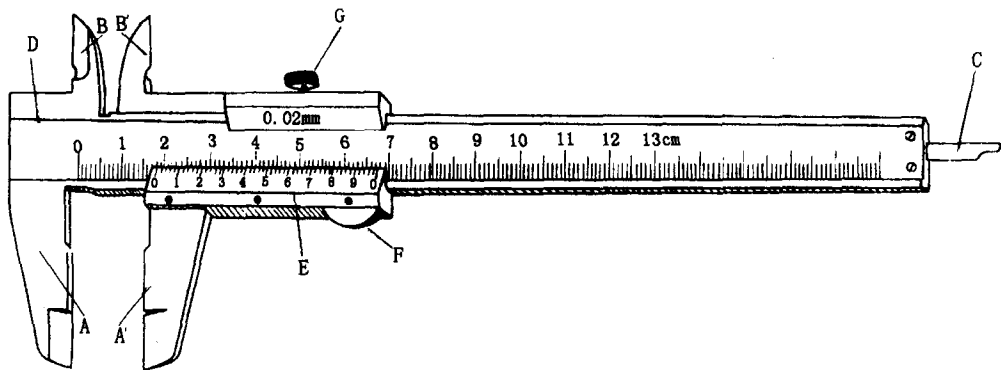


图 1-1 游标卡尺