

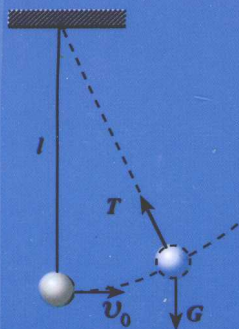


全国高等农林院校“十一五”规划教材

大学物理实验教程

Daxue Wuli Shiyan Jiaocheng

◎ 曹 阳 孙炳全 俸永格 主编



中国农业出版社

全国高等农林院校“十一五”规划教材

大学物理实验教程

曹 阳 孙炳全 俸永格 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理实验教程/曹阳, 孙炳全, 俸永格主编.

—北京: 中国农业出版社, 2010. 7

全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-109-14601-3

I. ①大… II. ①曹… ②孙… ③俸… III. ①物理学

—实验—高等学校—教材 IV. ①04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 138099 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

策划编辑 薛 波

文字编辑 薛 波 张雪粉

北京智力达印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

2010 年 7 月第 1 版 2010 年 7 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 17

字数: 412 千字

定价: 28.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本教材是以教育部高等学校非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会制定的《非物理类理工学科大学物理实验课程教学基本要求》为指导,结合普通高校近年来的教学改革实践,为适应新的教学发展需要而编写。

全书共分5章,系统介绍了实验数据处理知识、基本物理实验方法和操作技术,安排了基础性实验20项,综合与应用性实验14项,设计与研究性实验13项。每部分相对独立,自成体系,循序渐进,可供不同专业学生选做。全书内容的编写力求系统性、应用性和先进性相结合,注重能力的培养,体现了“三段式”课程教学体系的特点。

本书可作为普通高等院校非物理专业物理实验课程的教材,也可供从事实验教学的人员参考。

主 编 曹 阳 孙炳全 俸永格
副主编 李 劲 虞学红 魏要丽
李 娜 周 铁 潘 虹
参 编 巫志玉 白 洋 张 苹
叶志生 肖 丽 袁 珍
郭 惠

前 言

大学物理实验是高等学校对大学生进行较系统的科学实验基础训练的一门独立的必修课程，它在传授基本实验技能和科学实验基本知识、培养学生实践能力和创新能力、培养学生严谨的科学作风、提高素质等方面具有不可替代的作用，将为学生终身学习和持续发展奠定必要的基础。

本书作者在教学改革的实践中，提出了“三段式”的课程教学体系，就是把整个实验教学过程分成基础性实验、综合与应用性实验、设计与研究性实验三个阶段。这个课程体系最显著的特点是低起点、高台阶，既能适应低年级学生的接受能力，又能达到较高的教学培养目标。

全书共分五章，第一章绪论，介绍了实验课前应当做的准备工作及操作课上应注意的事项，这是科技人员应具备的最基本的科学素养，学生在做某一实验课题时，应该经常地反复阅读有关内容，它不仅能使学生事半功倍地完成实验课题，更重要的是能在潜移默化中培养学生严谨的治学态度和科学的思维方法。第二章大学物理实验基础知识较系统地介绍了物理实验数据的处理方法。这部分内容是根据我国《数据处理技术规范》的基本精神，结合本门课程的实际，作了大量的简化编写而成。目前许多高等学校的物理实验教学中都引入了不确定度理论，但对某些概念的理解和运用上还存在一些差异。本书在处理这一类问题时，力求做到科学性、简洁性和通用性的完美结合，使物理实验数据的处理方法与后续实验课程的数据处理方法相一致，也与当代社会生产与科技部门的相关法规相一致。

本书由曹阳、孙炳全、俸永格担任主编，李劲、虞学红、魏要丽、李娜、周铁、潘虹担任副主编，具体分工是：曹阳主要负责第一章和第三章的编写和统稿；俸永格主要负责第二章与第五章的编写和统稿；孙炳全主要负责第四章与附录的编写和统稿；李劲编写第二章第三节、实验二、实验三、实验四、实验八、实验二十五、实验二十六、实验三十一、实验三十二、实验三十五；虞学红编写第二章第四节和第五节、实验一、实验五、实验七、实验二十三、实验二十四、

实验三十九；魏要丽编写实验十、实验十一、实验十二、实验二十一、实验二十二、实验二十九、实验三十七、实验三十八、实验四十三；李娜编写第二章第一节、实验十三、实验十五、实验十六、实验二十七、实验二十八、实验三十、实验三十四、实验四十六；周铁编写第一章、第二章第二节、实验六、实验九、实验三十三、实验三十六、实验四十、实验四十一、实验四十二；潘虹编写实验十四、实验十七、实验十九、实验四十四、附录一、附录二、附录三、附录四；巫志玉编写实验十八、实验二十、实验四十五、实验四十七。参加本书编写、绘图和校对工作的还有白洋、张苹、袁珍、郭惠、叶志生、肖丽等同志，俸永格、李劲负责校对全书。

由于编者水平有限，时间仓促，难免有不足之处，望读者不吝批评指正。

编 者

2010年3月于海口

目 录

前言

第一章 绪论	1
第二章 大学物理实验基础知识	7
第一节 测量和有效数字	7
第二节 测量误差	9
第三节 测量不确定度	12
第四节 实验数据处理方法	20
第五节 基本物理实验方法和操作技术简述	24
第三章 基础性实验	30
实验一 长度的测量	30
实验二 密度的测量	36
实验三 用三线摆测物体的转动惯量	40
实验四 落球法测量液体的黏滞系数	45
实验五 液体表面张力系数的测定	49
一、用毛细管法测定液体的表面张力系数	50
二、用拉脱法测定液体的表面张力系数	54
实验六 固体线膨胀系数的测定	57
实验七 拉伸法测金属杨氏模量	61
实验八 用模拟法测绘静电场	68
实验九 电势差计	73
实验十 用惠斯通电桥测电阻	76
实验十一 利用霍尔效应测磁场	81
实验十二 亥姆霍兹线圈磁场的测量	85
实验十三 透镜焦距的测量	90
实验十四 平行光管的调整和应用	93
实验十五 牛顿环实验	97
实验十六 双棱镜干涉	101
实验十七 单摆	104
实验十八 复摆	107
实验十九 非线性电阻的伏安特性	111
实验二十 电子束实验	114

第四章 综合与应用性实验	120
实验二十一 电表的改装与校正	120
实验二十二 灵敏电流计的研究	124
实验二十三 示波器的使用	128
实验二十四 声速的测量	138
实验二十五 热功当量的研究	142
实验二十六 冲击电流计测磁场	146
实验二十七 分光计的调整与使用	150
实验二十八 迈克尔逊干涉仪	158
实验二十九 用电视显微油滴仪测电子电荷	163
实验三十 光栅特性与光波波长的测定	170
实验三十一 偏振光的研究	174
实验三十二 光电效应及普朗克常量的测定	178
实验三十三 夫兰克-赫兹实验	183
实验三十四 全息照相	186
第五章 设计与研究性实验	192
实验三十五 热电偶的定标与测温	192
实验三十六 PN 结正向压降与温度特性研究	195
实验三十七 伏安法测电阻及电表的选择	198
实验三十八 RLC 串联电路暂态过程的研究	202
实验三十九 单摆及随机误差分布规律研究	207
实验四十 氢原子光谱研究	211
实验四十一 热敏电阻温度计的设计安装和测试	216
实验四十二 万用表电路的设计与组装	220
实验四十三 超声波探伤	226
实验四十四 声光效应	231
实验四十五 高温超导材料的基本特性	235
实验四十六 数字信号光纤传输技术	238
实验四十七 黑箱实验	245
附录	248
附录一 实验室常用仪器的最大允许误差	248
附录二 袖珍计算器的使用	250
附录三 中华人民共和国法定计量单位	253
附录四 常用物理数据表	255
主要参考文献	262

二、物理实验课程的教学培养目标

通过本课程的学习,使学生在物理实验的基本知识、基本方法和基本技能等方面受到较系统的训练,培养学生初步的实验能力,培养良好的实验习惯以及理论联系实际、严谨求实的科学作风,提高学生的科学素养、创新精神,使学生较早地参加科研活动,为今后用物理方法解决本学科的问题打好基础。同时培养学生认真负责的工作态度,遵守纪律、爱护公共财物的优良品德。

本课程的具体任务:

(1) 通过完成一定数量的力学、热学、电磁学、光学和综合性、设计性实验,使学生达到:

① 能够自行阅读实验教材或资料,做好实验的准备,能够借助教材或仪器说明书正确使用常用仪器。掌握常用基本物理实验仪器的原理和性能,学会正确使用、调节和读数。

② 了解一些物理量的测量方法,知道如何根据实验要求确定实验方案、选择实验仪器设备、如何减少实验误差,掌握作图法、逐差法、外推法、补偿法等常用实验数据处理方法。

③ 学习一些常用实验技术,如传感技术、电子技术等,懂得物理实验的安全防护知识。

④ 初步学会用实验去观察、分析、研究物理现象和物理规律。通过实验加深对某些重要物理现象和规律的认识和理解。

⑤ 能够独立完成简单的设计性实验。

⑥ 学会对实验数据进行不确定度分析的基本方法,培养学生正确处理实验数据、正确表达和评价实验结果的初步能力。

⑦ 学会撰写合格的实验报告。

⑧ 养成良好的实验习惯,树立严谨的科学作风,培养严肃认真对待实验数据、实事求是的科学态度,培养主动探索的创新精神、团结协作的精神和遵守纪律、爱护公共财产的优良品德。

(2) 提高学生进行科学实验工作的综合能力,包括实际动手能力、分析判断能力、独立思考能力、革新创造能力、归纳总结能力、口头表达能力等。

三、物理实验课程的教学安排

所谓教学安排,就长期过程来说,就是教学计划,就短期过程来说,就是课堂设计。做好教学安排的主要原则,就是要符合学生的实际。教师要主动地了解学生,不仅知道学生学了什么,还要知道怎么学的,学的效果如何,通过不断的考察学而改进教。对不同的学生提出不同的教学要求,同时,在不同的教学阶段应采用不同的教学方法,也就是,在不同的教学阶段应该有不同的课堂设计。

本书作者根据自己的教学改革实践,并借鉴了近十年来国内高等学校教学改革的优秀成果,提出了“三段式”的物理实验教学体系,这个“三段式”教学体系构筑了本书的写作框架。所谓“三段式”,就是把整个教学过程分成“基础性实验”、“提高性实验”、“研究性实验”三个阶段。这个课程体系最显著的特点是,低起点、高台阶,既能适应低年级学生的接

受能力，又能达到较高的教学培养目标。

1. 基础性实验阶段

通过物理实验数据处理方法的讲解和练习，以及几个经典物理实验题目的教学，着重对学生进行基本实验技能的训练和数据处理能力的训练，使学生对基本物理实验方法有所了解和认识。教师在这一阶段做课堂设计时，应注意采用启发式、引导式的教学方法。

2. 提高性实验阶段

通过对若干物理量的测量，着重培养学生自主学习的能力和分析解决问题的能力。要求学生通过课前预习，能回答教材中规定的课堂讨论题，独立地提出完整的操作方案。教师在这一阶段做课堂设计时，应注意采用讨论式、提案（提出方案）式的教学方法。

3. 研究性实验阶段

实验室为学生准备了若干带有研究性质的实验题目，学生任选其一，从实验设计到最后答辩，全部由学生独立完成。这一阶段也是考试阶段，着重考察和培养综合素质和能力，包括自学能力、文献检索能力、创新能力、科技写作能力和语言表达能力。教师在这一阶段做课堂设计时要注意采用研究式、答辩式的教学方法。

四、物理实验课的基本程序和要求

物理实验进行的程序大致分为：提出任务，确定方案，选择仪器设备，安装调试，按预先设定的实验步骤进行实验，观察、测量、记录数据，总结分析，写出实验报告。物理实验的基本知识、基本方法和基本技能的学习和训练融于各个不同类型的实验中，每个程序中都有各自的要求和任务，因此，每一个实验都要认真地完成。

一个实验包括三个教学环节：课前预习，课堂操作，课后撰写实验报告。课堂操作是最基本的环节，课前预习是课堂操作的必要准备，撰写实验报告是实验成果的书面表达。

1. 课前预习

预习的好坏将决定实验能否顺利完成，务必引起重视。实验课前必须预习，弄清本次实验内容、有关原理，控制物理过程的关键因素和必要的实验条件，并对测量仪器、测量方法有一个基本了解。在此基础上写出实验预习报告，绘出实验数据记录表格。

没有预习报告者不允许进行实验。

预习报告要求简明扼要，内容由学生自行决定，但一般必须包括以下要点：实验名称、实验目的、实验仪器、实验原理、实验步骤和数据记录表格。实验原理部分列出主要公式及其简要的推导过程，画出原理图（光路图、电路图、仪器测量原理图等）。把操作步骤写在纸面上，它就成了—张操作路线图，可以指导学生有条不紊地完成实验任务。数据表与操作步骤是密切相关的，数据表中项目栏的排列顺序，应与操作步骤的顺序合理配合，这样，可以随时将实验数据按顺序填入表中，也可以随时观察和分析数据的规律性。有的学生喜欢将数据随便记在纸片上，这种做法反映了实验者心态的浮躁，很容易铸成大错，这种做法在实验课堂上是不允许的。

2. 实验操作

进入实验室时应遵守实验室规章制度和学生实验守则；签到并提交预习报告后，仔细阅读有关仪器使用的注意事项或仪器说明书；在教师指导下正确使用仪器，注意爱护，稳拿轻

放,防止损坏。对于电磁学实验,必须由指导教师检查电路的连接正确无误后,方可接通电源进行实验。

实验结束,要把原始记录纸交给指导教师检查签字,对不合理的或者错误的实验结果,经分析后还要补做或重做。离开实验室前要整理好使用过的仪器,做好清洁工作。填好实验记录,经教师同意后,方可离开实验室。

(1) 关于仪器

① 实验仪器放置的位置必须合理。实验仪器放在实验台上的位置以安全和方便为原则。例如,高压电源的输出端钮应远离操作者,经常需要操纵或调节的仪器,应放在便于操纵的位置上,如砝码盒应放在天平的砝码盘附近。一些电学实验,仪器部件较多,实验者首先要把这些仪器部件一一安排在合适的位置上,然后再连线。这样才能保证实验台上的仪器既安全又方便。实验完成后,应将所有仪器恢复原位。

② 实验仪器必须处于良好的工作状态。所有仪器必须调整到正确的位置和稳定的状态。在安装和调整仪器时,不得用书本、纸片和木块做垫块,因为这些物品本身就不稳定,容易造成测量数据的分散性,影响实验的质量。

③ 及时发现和排除故障。仪器在使用过程中,难免发生故障,使得仪器不能正常工作,或数据失常,这时应立即停止实验,并设法排除故障。如果学生对所用仪器比较熟悉,可以独立地去排除,否则应报告指导教师,待故障排除后,才能恢复做实验。

(2) 关于读数 测量仪器从被测对象获得的信息以各种形式输出,最常见的输出形式是,在标尺上按指示器的位置得到读数。读数时要注意以下各点:

① 有效数字取位要合理,要读到有估读值那一位。

② 读数时要注意消除视差。例如,在读取标尺示值时,眼睛要正对示值刻线的上方;在读取指针式仪表的示值时,眼睛要正对指针的上方;在用助视仪器读取线纹(谱线或条纹)的位置时,要将线纹的像调节到助视仪器的分划板平面上。

③ 读数时要有足够的耐心,尤其在重复性测量时,不要以为后面的数据一定和前面的数据相同。当指示器再次临近前面的数据时,不要迫不及待地记录读数,因为指示器可能还在缓慢地移动。要实事求是,不要编造所谓“重复性好”的假数据。

④ 读数出现异常时,立即停止测量。这时应检查测量仪器是否失调,环境条件是否发生了异常突变。如一时找不到原因,应及时报告指导教师。

(3) 关于数据记录 所有做过的实验都应该有完整的原始记录,它是记载物理实验全部操作过程的基础性资料。

① 用专用的原始记录纸记录实验数据。注明实验日期、实验题目、仪器编号以及操作过程中出现的异常现象等,有时还要记下天气、室温、大气压、湿度等环境条件,实验所用仪器装置的名称型号、规格、编号和性能情况以及被测量样品的号码或其他标记等,以便以后需要时可以用来重复测量和利用仪器的准确度校核实验结果的误差。

② 实验数据应记录在表格里。有些同学喜欢将一组数据堆砌在一个地方,将另一组数据堆砌到另外一个地方,到写实验报告时再去整理,这样做很容易造成遗忘和错乱。事先将数据表画好,每次读到一个数据,就把它填写到数据表内相应的空格中,可以使实验者始终保持清醒的头脑,随时知道已经测量了什么,还应测量什么。学会根据测量内容来绘制数据表,也是科技工作者必备的基本技能。如果在一个实验中,有两组以上的数据,则应绘制两

个以上的数据表。

③ 数据表应有表序和表题。表序是按数据表在实验报告中出现的次序用阿拉伯数字所做的编号,从“表1”开始,一直编到最后。若实验报告中只有一个数据表,仍然用“表1”表示。表题是数据表的名称。表题应能确切表达数据表的特定内容,要避免使用泛指性词语,如“测量数据”、“数据表”等。例如,测量一个长方体的体积,其数据表的表题可拟为“长方体的几何尺寸”。

④ 要直接记录原始数据。有些仪表的标尺,没有直接给出测量结果,只给出了分度数,要想得到测量结果,需要换算。在这种情况下,应直接将分度数填入表中,不要先乘以分度值,再将乘积填入表中,以防出错。换算的工作,可在操作完成以后再进行。

⑤ 用钢笔或圆珠笔记录数据,不要用铅笔。发现了错误的数字,应及时按规则改正,但不允许涂改,更不准用橡皮擦去。正确的方法是,在错误的数字上,轻轻划一斜杠,并在旁边写上正确的数据。留下错误数据的笔迹,可能对日后分析测量结果时有参考价值。

3. 撰写实验报告

实验报告是实验工作的简明总结,是实验结果的文字报告,也是培养学生进行科技写作的有效形式之一。实验报告应该做到书写整洁、文字工整、文理通顺、图表规范、数据完备,并有科学的结论。

根据物理实验教学的特点,并参照国家关于科技论文写作的有关标准和规范,一份完整的物理实验报告应包括如下主要内容:

(1) 实验名称

(2) 实验目的

(3) 实验仪器 简要介绍测量对象和所用仪器。对大多数实验来说,只要指出仪器的名称、型号和用途就可以了,无需过多论述。但也有例外,例如,用三线摆测转动惯量、用直流电桥测电阻、用迈克尔逊干涉仪测光波波长等实验,上述实验仪器的结构原理和使用方法就是该实验的教学重点,因此在实验报告中还要对这些仪器工作原理做简要介绍。

(4) 实验原理 在理解的基础上简要论述测量的科学依据,给出主要公式及测量原理图(指电路图或光路图)。

(5) 实验步骤 扼要写出实验的主要步骤。对于操作过程中遇到的问题和故障,以及为解决这些问题和故障而采取的措施,也要做适当的阐述。这个“问题和故障”不易写好,因为这些知识往往在书本上很难找到。正因为如此,才更具有挑战性,才更有利于培养自己的探索精神和创新精神。

(6) 实验数据表格 实验数据是实验报告的基础性材料,要求将教师签了字的原始记录整理后再次工整地填写到实验报告的数据表格中,并将原始数据记录贴在实验报告背面,以备教师检查。

(7) 数据处理 按实验要求计算待测量的量值和不确定度。计算要有过程,如列出公式→代入数据→计算结果;计算误差时应列出公式→代入数据→单项误差→总误差。绘出实验要求的图表。

数据处理是本门课程的教学难点之一,数据处理方法正确与否直接决定了测量结果的质量。因此,这部分内容也是决定该实验报告质量的关键因素之一。本教材的第二章对物理实

验数据的处理方法进行了较系统的阐述，在基础性实验题目中，都附有数据处理示例。如果学生在处理实验数据时遇到困难，只要认真阅读相关内容，相信这些困难自会迎刃而解。

(8) 实验结果 实验结果是实验报告追求的最终目标，要求给出完整的量化表达式，注意有效数字和单位的正确表达。

(9) 问题讨论和建议 大多数情况下，教师不会为撰写实验报告规定讨论题，因此，这个小标题就成为作者自由发挥的天地。作者可以讨论影响结果的主要因素，减小不确定度应采取的措施，对试验中观察到的现象（特别是异常现象）的解释，对实验的教学内容和教学方法提出建议，甚至还可以对教学管理中的问题提出质疑。

实验报告必须在规定的时间内连同原始数据记录一起提交，报告中如有严重错误，则必须重做。

第二章 大学物理实验基础知识

第一节 测量和有效数字

一、测量及其分类

物理实验是以测量为基础的。研究物理现象、了解物质特性、验证物理原理都要进行测量。所谓测量就是将以确定被测对象量值为目的的全部操作。或者说，测量是将待测量与选作标准的同类量进行比较，得出倍数值。该标准量为单位，倍数值为数值。

1. 直接测量和间接测量

根据测量方式，可将测量分为直接测量和间接测量两大类。

“直接测量”是指可直接从测量仪器或量具上读出待测量大小的测量。例如用米尺测长度，用天平和砝码测物体的质量，用电流计测电路中的电流等都是直接测量。“间接测量”是指利用直接测量量与被测量之间的已知函数关系，通过运算而得到该被测量的量值。例如通过测量物体的体积和质量，再用公式计算出物体的密度。

一个物理量能否直接测量并不是绝对的。随着科学技术的发展，测量仪器的改进，很多原来只能间接测量的量，现在可以直接测量了。例如，电能的测量本来是间接测量，但现在也可以用电表来进行直接测量了。大多数物理量的测量都是间接测量，但直接测量是一切测量的基础。

2. 等精度测量和非等精度测量

根据测量条件是否相同，测量又可以分为等精度测量和非等精度测量。

在相同的测量条件下进行的一系列测量是等精度测量。如同一个人，使用同一仪器，采用同样的方法，在同样的操作环境下，对同一待测量连续进行反复多次的测量，获得一组数据 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ，尽管各次测量结果并不完全相同，但没有任何理由判断某一次测量更为精确，故将这种具有同样精确程度的测量称为等精度测量，这样的一组数据称为测量列。

在对某一物理量进行多次测量时，测量条件完全不同或部分不同，则各次测量结果的可靠程度也不完全一样，这样的一系列测量称为非等精度测量。处理非等精度测量结果时，需根据每个测量值的“权重”进行“加权平均”，因此在一般的物理实验中很少采用。

由于在实验中一般无法保持测量条件完全不变，所以严格的等精度测量是不存在的。当某些条件的变化对测量结果影响不大或可以忽略时，则可将这种测量视为等精度测量。在物理实验中，凡是要求对待测量进行多次测量的均指等精度测量。本课程中有关测量误差与数据处理的讨论，都是以等精度测量为前提的。

二、有效数字及其运算规则

1. 有效数字的概念

正确而有效地表示测量和实验结果的数字，称为有效数字。它由可靠的若干位数字加上

可疑的一位数字构成,包括数值中从左端第一个非零数字到右端最后一位的所有数字。如 2.78 的有效数字是三位,2.7 是可靠数字,尾数“8”是可疑数字。这一位数字虽然是可疑的,但它在一定程度上反映了客观实际,因此它也是有效的。

有效数字的位数与十进制的单位变换无关。末位“0”和数字中间的“0”均属于有效数字。如 23.20 cm; 10.2 V 等,其中出现的“0”都是有效数字。小数点前面出现的“0”和它之后紧接着的“0”都不是有效数字。如 0.25 cm 或 0.045 kg 中的“0”都不是有效数字,这两个数值都只有两位有效数字。

数值表示的标准形式是用 10 的方幂来表示其数量级,前面的数字是测得的有效数字,并只保留一位数在小数点的前面。如 3.3×10^5 m 和 8.25×10^{-3} kg 等。在进行单位换算时,不能改变有效数字的个数。如, $31 \text{ kg} \neq 31\,000 \text{ g}$, 而应用科学记数法改写成 $31 \text{ kg} = 3.1 \times 10^4 \text{ g}$ 。

2. 有效数字的读取

进行直接测量时,由于仪器多种多样,正确读取有效数字的方法大致归纳如下:

(1) 仪器正确测读的原则是:有效数字中可靠数部分是由被测量的大小与所用仪器的最小分度来决定的,可以直接由仪器的刻度读取。当仪器的最小分度为一个单位时,读数应读到最小分度以下再估一位。当仪器的最小分度不是一个单位,则读数的估计位,就取在最小分度位(图 2-1-1)。若测值恰为整数,必须补零,直至补到可疑位。

(2) 数显仪表及有十进式标度盘的仪表(电阻箱、电桥、电位差计、数字电压表等)一般应直接读取仪表的示值(图 2-1-2)。

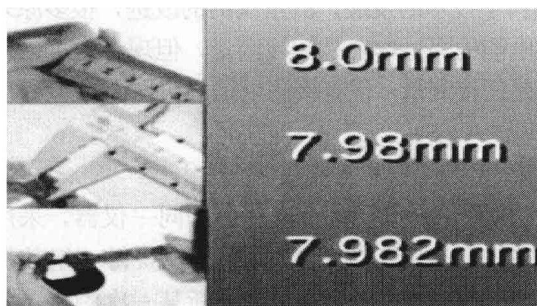


图 2-1-1 仪器最小分度与有效数字的读取

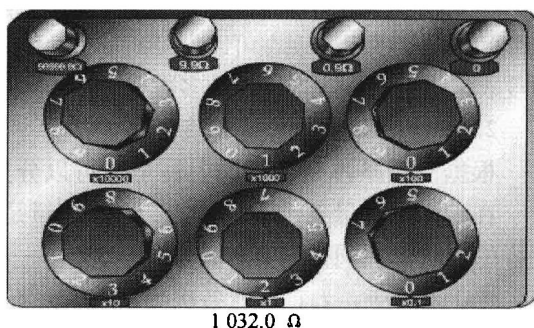


图 2-1-2 数显式仪表与有效数字的读取

(3) 特殊情况下直读数据的有效数字由仪器的灵敏阈决定。例如,在“灵敏电流计研究”中,测临界电阻时,调节电阻箱“ $\times 10 \Omega$ ”,仪器才刚有反应,尽管最小步进为 0.1Ω ,但电阻值只记录到“ $\times 10 \Omega$ ”。

3. 有效数字的运算规则

在有效数字的运算过程中,为了不致因运算而损失有效数字,影响测量结果的精确度,并尽可能地简化运算过程,规定有效数字运算规则如下:①只要与可疑数字相运算,结果都为可疑数字,只有可靠数字与可靠数字运算,结果才为可靠数字。②参与运算的各个数值只保留一位(最多两位)欠准确数字。在去掉第二位可疑数字时要用“四舍六入五凑偶”法,即尾数小于 5 则舍;大于 5 则入;等于 5 时,若 5 的前一位为奇数则入,5 的前一位为偶数则舍,这样可使舍入的机会相等。如: $0.5025 \rightarrow 0.502$; $0.5015 \rightarrow 0.502$ 。

具体运算规则:

- (1) 加减法：取精度差的（即小数点位数最少的）。
- (2) 乘除法：取有效位数最少的〔特殊情况比最少者多（少）一位〕。
- (3) 乘方、开方等：有效数字位数不变。
- (4) 对于公式中的某些常数是绝对准确数字，计算时不能拿它来考虑结果的位数，如 $C=2\pi R$ 中的 2。
- (5) 对于公式中的常数 π 、 e 等的有效数字位数可以认为是无限制的，在计算中其有效数字位数一般取比参与运算的各数中有效数字位数最少的多一位。

第二节 测量误差

一、误差的表示

在一定条件下，任何一个物理量的大小都是客观存在的，都有一个实实在在的、不以人的意志为转移的客观量值，称为真值。测量的目的就是要力图获得待测量的真值，但由于受测量仪器、方法、环境及观测者水平等多种因素的制约，只能获得该物理量的近似值。也就是说，一个被测量测量值 x 与真值 x_0 之间总是存在差值，这个差值称为测量误差。

$$\Delta x = x - x_0 \quad (2-2-1)$$

从上式可以看出，测量误差 Δx 显然有正有负，因为它是指与真值的差值，常称为绝对误差。

测量误差也可以用相对误差 E 表示，即用绝对误差与真值的百分比来表示。

$$E = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\% \quad (2-2-2)$$

二、误差的分类

测量误差根据其性质和来源可分为系统误差、随机误差和过失误差三大类。

1. 系统误差

系统误差是指在相同条件下，多次测量同一物理量的过程中，误差的大小恒定，符号总偏向一方或误差按照某一确定的规律变化。系统误差主要来源于以下几方面：

(1) 仪器误差 如仪器刻度不准、零点位置不正确、仪器的水平或铅直未调整、天平不等臂等造成的误差。

(2) 理论误差 由于实验方法本身的不完善或者测量本身依据的理论近似性所造成的误差，如用伏安法测电阻没有考虑电表内阻的影响，用单摆测重力加速度时取 $\sin \theta \approx \theta$ 带来的误差等。

(3) 环境误差 由于环境影响或没有按规定的条件使用仪器造成的误差，例如标准电池是以 20°C 时的电动势数值作为标称值的，若在 30°C 条件下使用时，如不加以修正就引入了系统误差；

(4) 个人误差 由于观测者心理或生理特点造成的误差，如计时的滞后，习惯于斜视读数等。