



普通高等教育“十一五”规划教材

大学物理实验

主 编 张国恒 魏秀芳



科学出版社

普通高等教育“十一五”规划教材

大学物理实验

主 编 张国恒 魏秀芳
副主编 邓小燕 更藏多杰
才让卓玛 陈 彦

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书根据教育部高等学校物理基础课程教学指导分委员会颁布的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求(2008版)》,并结合编者多年讲授大学物理实验课程的经验编写而成。本书在实验内容方面,力求做到切合时代特色,实验原理清晰透彻,实验内容科学合理,数据处理要求规范。全书共4章,分别为实验误差理论及数据处理、基础物理实验、综合性及近代物理实验、设计性及研究性实验,书后附有常用物理单位及常数。本书内容涉及实验方法、测量误差、数据处理、力学、热学、光学、电磁学和近代物理部分。

本书可作为高等院校理、工、农、林等各专业大学物理实验课程的教材,也可供物理学专业实验参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/张国恒,魏秀芳主编. —北京:科学出版社,2011
普通高等教育“十一五”规划教材
ISBN 978-7-03-030154-3

I. ①大… II. ①张…②魏… III. ①物理学-实验-高等学校-教材
IV. ①O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 015313 号

责任编辑:胡云志 唐保军/责任校对:何艳萍
责任印制:张克忠/封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印务有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 2 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2011 年 2 月第一次印刷 印张:18

印数:1—4 000

字数:360 000

定价:32.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

大学物理实验课是理工科学生重要的基础实验课程之一,是理工科学生必修的一门系统全面、独立设置的实践性课程,同时也是通过实践学习物理知识的过程.系统地学习大学物理实验课,对学生创造性思维能力的培养能起到良好的促进作用.

本书根据教育部高等学校物理基础课程教学指导分委员会制定的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求(2008 版)》,结合编者学校近几年来大学物理实验课程新体系的教学改革实践情况,并吸取目前部分高校同类教材的精华编写而成.

编写本书的理念是“以人为本,助人成才”,在掌握科学实验基础知识和基本方法的基础上,强化基本技能的训练,突出研究性学习和创新思维、创新能力、创新能力的培养,尤其是与现代科学技术发展相适应的实际应用能力的培养.为了使实验教学适应不同层次的教学需要,教材体系应更加贴近教学实际,使不同专业、不同层次学生的科学实验技能得到最有效的训练,并且更有利于自主学习与创新能力实践.本书在内容安排上不是采用传统实验课程体系按力、热、电、光分类独立编排的模式,而是按实验基础知识、基础性实验、综合性和近代物理实验、设计性实验的顺序分层次逐步升级的新体系来安排章节.

全书共分 4 章,各章内容安排如下:

第 1 章实验误差理论及数据处理,主要介绍测量误差与数据处理的基础知识.第 2 章基础物理实验,共编入 15 个实验,大部分为传统和经典实验,这一层次的实验重在基础训练.通过这些实验的训练,使学生掌握基本量的测量方法、基本实验仪器的工作原理与使用方法、基本实验技能和数据处理的理论与方法等,为后续科学实验的学习打好基础.第 3 章综合性及近代物理实验,共编入 19 个实验,这一层次的实验重在培养学生综合运用多个基础知识、基本方法和基本技能来完成实验的能力.在每一个实验项目中,以扩展实验知识面和自主创新设计解决问题的方法,为水平较高且学有余力的学生提供创新拓展空间,达到加强实验技能和分析解决问题的能力,引导和激发学生兴趣的目的.第 4 章设计性及研究性实验,共编入 10 个实验,这一层次的实验注重培养学生的创新精神和独立工作的能力.学生通过探究性的学习模式,使所学知识和技能得到灵活的应用,并在应用中得到巩固和提高.设计性实验多数由学生自行设计实验方案并加以实现,可以结合课程教学,也可以独立于课程教学而进行,是一种探索研究和创新训练活动.在此创新训练的平台,可使拔尖学生脱颖而出.这一层次的实验,将基础性、综合性、先进性和应用性有机地结合起来,符合现代社会发展对本科人才知识结构的要求.有些实验通过对现代科学技术应用

背景的介绍,可激发学生学习新技术的兴趣,使学生的整体实验素质和应用能力得到锻炼和提升.在本书部分实验项目中配有仪器实物照片及比较详细的操作说明,富有真实感和可操作性,便于学生预习和自学.

本书由张国恒、魏秀芳担任主编.第2~4章,由张国恒、魏秀芳、邓小燕、更藏多杰、才让卓玛、陈彦编写,绪论、第1章由魏秀芳编写,附录由才让卓玛编写.全书由张国恒组织和统稿.实验教材是集体智慧和集体劳动的结晶,是实验教师多年集体智慧的结晶.在编写过程中,我们参考了兄弟院校的大学物理实验教材和部分仪器生产厂家的参考资料.在此表示衷心的感谢!也感谢西北民族大学很多未能直接参与本书编写的老师多年的劳动和奉献.

由于编者经验和水平有限,书中难免有不妥之处,欢迎同行专家和读者多提建议并加以指正,以利再版.

编 者

2010年11月

目 录

前言

绪论	1
第 1 章 实验误差理论及数据处理	4
1.1 实验数据的误差分析	4
1.1.1 误差的基本概念	4
1.1.2 有效数字及其运算规则	9
1.1.3 误差的基本性质	10
1.1.4 函数误差	14
1.1.5 测量结果的不确定度估计	17
1.2 实验数据的处理方法	22
1.2.1 列表法	22
1.2.2 图解法	23
1.2.3 逐差法	26
1.2.4 用最小二乘法求直线的回归方程	26
1.2.5 用计算机进行数据处理	29
第 2 章 基础物理实验	31
2.1 长度的测量	31
2.2 密度的测定	36
2.3 牛顿第二定律的验证	41
2.4 动量守恒定律的研究	44
2.5 伏安法测电阻	47
2.6 模拟法测绘静电场	54
2.7 惠斯通电桥测电阻	60
2.8 电势差计原理及应用	65
2.9 霍尔效应	71
2.10 弦振动的研究	74
2.11 薄透镜焦距的测量	77
2.12 阿贝折射仪测液体折射率	82
2.13 用拉脱法测液体表面张力系数	87
2.14 空气比热容比的测定	90

2.15 用电热法测定热功当量	94
第3章 综合性及近代物理实验	98
3.1 用单摆法测定重力加速度	98
3.2 恒力矩法测定刚体的转动惯量	101
3.3 三线摆法测转动惯量	107
3.4 用落球法测定液体的黏滞系数	110
3.5 物质导热系数的测定	114
3.6 用干涉法测金属线膨胀系数	119
3.7 拉伸法测定金属丝的杨氏模量	123
3.8 弯曲法测金属的杨氏模量	129
3.9 用霍尔效应法测螺线管磁场	133
3.10 冲击法测直螺线管的磁场	136
3.11 新型圆线圈和亥姆霍兹线圈测定	141
3.12 迈克耳孙干涉仪及其应用	144
3.13 偏振光的观察与分析	151
3.14 等厚干涉及其应用	155
3.15 单色仪的定标	159
3.16 光电效应实验	162
3.17 密立根油滴实验	168
3.18 示波器的原理及使用	173
3.19 核磁共振研究	188
第4章 设计性及研究性实验	195
4.1 惯性秤	195
4.2 电表的改装和校准	197
4.3 分光计的调整和使用	201
4.4 铁磁材料的磁滞回线及磁化曲线的测量	208
4.5 全息照相	213
4.6 太阳能电池特性研究	222
4.7 地磁场分量的测量	228
4.8 声速的测定研究	229
4.9 传感器特性测试	234
4.9.1 DH-CG2000 传感器实验仪简介	235
4.9.2 主要技术参数、性能及说明	236
4.9.3 可选实验内容	238
4.10 光学综合实验研究	250

4. 10. 1 单缝衍射的实验观测和研究	252
4. 10. 2 夫琅禾费双缝衍射	255
4. 10. 3 光栅衍射(夫琅禾费多缝衍射)	258
4. 10. 4 夫琅禾费圆孔衍射	260
4. 10. 5 偏振光	262
参考文献	267
附录	268
附录 1 法定计量单位	268
附录 2 常用物理数据	270
附录 3 常用电气测量指示仪表和附件的符号	276

绪 论

物理学是研究物质的基本结构、基本运动形式、相互作用及其转化规律的学科。它的基本理论渗透在自然科学的各个领域,应用于生产技术的许多部门,是自然科学和工程技术的基础。

在人类追求真理、探索未知世界的过程中,物理学展现了一系列唯物主义的哲学观和方法论,深刻影响着人类对物质世界的基本认识、人类的思维方式和社会生活,在人才的科学素质培养中具有重要的地位。

物理学本质上是一门实验科学。物理实验是科学实验的先驱,体现了大多数科学实验的共性,在实验思想、实验方法以及实验手段等方面是各学科科学实验的基础。

大学物理实验课是高等理工科专业对学生进行科学实验基本训练的必修基础课程,是本科生接受系统实验方法和实验技能训练的开端,是提高学生分析问题和解决问题能力的重要课程。物理实验课和物理理论课具有同等重要的地位。

物理实验课覆盖面广,具有丰富的实验思想、方法、手段,同时能提供综合性很强的基本实验技能训练,是培养学生科学实验能力、提高科学素质的重要基础。这在培养学生严谨的治学态度、活跃的创新意识、理论联系实际和适应科技发展的综合能力等方面具有其他实践类课程不可替代的作用。著名理论物理学家杨振宁曾经说过,“物理学是以实验为本的科学”,这充分说明了物理实验的作用和重要性。

1. 大学物理实验课的目的和任务

大学物理实验课的任务是:

- (1) 通过观察、测量和分析,加强对物理理论、物理概念的理解和认识。
- (2) 学习物理实验的基本知识、基本方法,培养基本的实验技能。学习实验数据处理的基本方法,撰写合格的实验报告。
- (3) 培养严肃认真、实事求是的科学态度和一丝不苟的工作作风以及遵守操作规程、爱护实验器材的良好习惯。

本课程的具体任务是:

- (1) 培养学生的基本科学实验技能,提高学生的科学实验基本素质,使学生初步掌握实验科学的思想和方法。

(2) 培养学生的科学思维和创新意识,使学生掌握实验研究的基本方法,提高学生的分析能力和创新能力。

(3) 提高学生的科学素养,培养学生理论联系实际和实事求是的科学作风,认真严谨的科学态度,积极主动的探索精神,遵守纪律、团结协作、爱护公共财产的优良品德。

2. 大学物理实验课的教学要求

每个实验的学习要经历三个阶段。

1) 实验课前预习

(1) 预习实验书中与本实验有关的全部内容. 明确实验目的、原理和方法,了解主要的实验步骤. 对实验中使用的仪器,要弄清操作方法和注意事项。

(2) 简明扼要写出预习报告(主要包括实验名称、实验目的和实验原理三部分). 实验前要把预习报告交指导教师检查,准备原始实验数据记录表格,不预习或不合要求者不能进行实验。

2) 实验的进行

遵守实验室规则和仪器操作规程,爱护仪器. 实验操作时精神集中,观察仔细实验现象。

(1) 上课需带实验书、笔、尺、计算器等。

(2) 必须在了解仪器的工作原理、使用方法、注意事项的基础上,进行实验。

(3) 仪器安装调试完经教师检查无误后方可进行实验操作。

(4) 注意观察实验现象,准确、如实地记录实验数据,不得拼凑、涂改或事后追记数据. 实验原始数据应整洁地记在专用的实验数据记录上. 数据须经指导老师检查及签字认可。

(5) 实验后请将使用的仪器整理好,归回原处. 经教师允许后方可离开实验室。

(6) 课后按要求完成实验报告,并在规定的时间交任课老师。

3) 实验报告

主要内容除包括实验名称外,还要记录如下内容:

(1) 实验目的。

(2) 实验原理. 简要叙述实验的物理内容,包括必要的电路图、光路图及实验装置的示意图,列出实验所依据的主要公式,并说明其适用条件及各物理量的含义和单位,切忌整篇照抄。

(以上部分可在预习报告中完成)

(3) 实验仪器. 记录实验所用主要仪器的名称、型号和规格。

(4) 实验步骤. 根据实际的实验过程,写出关键的实验步骤。

(5) 实验数据. 根据实验数据的特点设计表格,采用列表法,整理实验数据记录

本上的原始数据,并将其写在实验报告上. 注意不要遗漏数据表格的标题、各物理量的单位及测量条件.

(6) 数据处理. 采用合适的数据处理方法对实验数据进行处理,绘制必要的图线,得到实验结果,并对实验结果进行不确定度分析.

(7) 思考题. 完成教师指定的思考题.

(8) 实验小结. 内容不限,可以是对实验现象的分析和讨论,对实验关键问题的研究体会,对实验的改进设想,也可以是实验心得和收获等.

第 1 章 实验误差理论及数据处理

1.1 实验数据的误差分析

由于实验方法和实验设备的不完善、周围环境的影响,以及人的观察力、测量程序等限制,实验观测值和真值之间,总是存在一定的差异.人们常用绝对误差、相对误差或有效数字来表明一个近似值的准确程度.为了评定实验数据的精确性或误差,认清误差的来源及其影响,需要对实验的误差进行分析和讨论.由此可以判定哪些因素是影响实验精确度的主要方面,从而在以后实验中,进一步改进实验方案,缩小实验观测值和真值之间的差值,提高实验的精确性.

1.1.1 误差的基本概念

测量是人类认识事物本质所不可缺少的手段.通过测量和实验能使人们对事物获得定量的概念和发现事物的规律性.科学上很多新的发现和突破都是以实验测量为基础的.测量就是用实验的方法,将被测物理量与所选用作为标准的同类量进行比较,从而确定它的大小.

1. 真值与平均值

真值是待测物理量客观存在的确定值,也称理论值或定义值.通常真值是无法测得的.若在实验中,测量的次数无限多时,根据误差的分布定律,正负误差的出现概率相等.再细致地消除系统误差,将测量值加以平均,可以获得非常接近于真值的数值.但是实际上实验测量的次数总是有限的.用有限测量值求得的平均值只能是近似真值,常用的平均值有下列几种:

(1) 算术平均值.算术平均值是最常见的一种平均值.

设 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为各次测量值, n 代表测量次数,则算术平均值为

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

(2) 几何平均值.几何平均值是将一组 n 个测量值连乘并开 n 次方求得的平均值,即

$$\bar{x}_L = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdots x_n} \quad (1-1-2)$$

(3) 均方根平均值.

$$\bar{x}_{\text{均}} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \cdots + x_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}} \quad (1-1-3)$$

(4) 对数平均值. 在化学反应、热量和质量传递中, 其分布曲线多具有对数的特性, 在这种情况下表征平均值常用对数平均值.

设两个量 x_1, x_2 , 其对数平均值

$$\bar{x}_{\text{对}} = \frac{x_1 - x_2}{\ln x_1 - \ln x_2} = \frac{x_1 - x_2}{\ln \frac{x_1}{x_2}} \quad (1-1-4)$$

应指出, 变量的对数平均值总小于算术平均值. 当 $x_1/x_2 \leq 2$ 时, 可以用算术平均值代替对数平均值.

当 $x_1/x_2 = 2$, $\bar{x}_{\text{对}} = 1.443$, $\bar{x} = 1.50$, $(\bar{x}_{\text{对}} - \bar{x})/\bar{x}_{\text{对}} = 4.2\%$, 即 $x_1/x_2 \leq 2$, 引起的误差不超过 4.2%.

以上介绍各平均值的目的是要从一组测定值中找出最接近真值的那个值. 在化工实验和科学研究中, 数据的分布较多属于正态分布, 所以通常采用算术平均值.

2. 误差的分类

根据误差的性质和产生的原因, 一般分为三类:

(1) 系统误差. 系统误差是指在测量和实验中未发觉或未确认的因素所引起的误差, 而这些因素影响结果永远朝一个方向偏移, 其大小及符号在同一组实验测定中完全相同, 当实验条件一经确定, 系统误差就获得一个客观上的恒定值.

当改变实验条件时, 就能发现系统误差的变化规律.

系统误差产生的原因: 测量仪器不良, 如刻度不准, 仪表零点未校正或标准表本身存在偏差等; 周围环境的改变, 如温度、压力、湿度等偏离校准值; 实验人员的习惯和偏向, 如读数偏高或偏低等引起的误差. 针对仪器的缺点、外界条件变化影响的大小、个人的偏向, 待分别加以校正后, 系统误差是可以清除的.

(2) 偶然误差. 在已消除系统误差的一切量值的观测中, 所测数据仍在末一位或末两位数字上有差别, 而且它们的绝对值和符号的变化, 时而大时而小, 时正时负, 没有确定的规律, 这类误差称为偶然误差或随机误差. 偶然误差产生的原因不明, 因而无法控制和补偿. 但是, 倘若对某一量值作足够多次的等精度测量后, 就会发现偶然误差完全服从统计规律, 误差的大小或正负的出现完全由概率决定. 因此, 随着测量次数的增加, 偶然误差的算术平均值趋近于零, 所以多次测量结果的算数平均值将更接近于真值.

(3) 过失误差. 过失误差是一种显然与事实不符的误差, 它往往是由于实验人员粗心大意、过度疲劳和操作不正确等原因引起的. 此类误差无规则可寻, 只要加强责任感、多方警惕、细心操作, 过失误差是可以避免的.

3. 精密度、准确度和精确度

反映测量结果与真实值接近程度的量,称为精度(亦称精确度)。它与误差大小相对应,测量的精度越高,其测量误差就越小。“精度”应包括精密度和准确度两层含义。

(1) 精密度. 测量中所测得数值重现性的程度,称为精密度. 它反映偶然误差的影响程度,精密度高就表示偶然误差小。

(2) 准确度. 测量值与真值的偏移程度,称为准确度. 它反映系统误差的影响程度,准确度高就表示系统误差小。

(3) 精确度(精度). 它反映测量中所有系统误差和偶然误差综合的影响程度。

在一组测量中,精密度高的准确度不一定高,准确度高,但精密度高,则精密度和准确度都高。

为了说明精密度与准确度的区别,可用下述打靶子例子来说明,如图 1-1-1 所示。

图 1-1-1 (a)中表示精密度和准确度都很好,则精确度高;图 1-1-1 (b)表示精密度很好,但准确度却不高;图 1-1-1 (c)表示精密度与准确度都不好。在实际测量中没有像靶心那样明确的真值,而是设法去测定这个未知的真值。

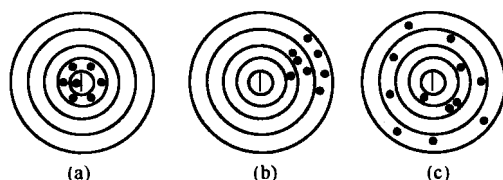


图 1-1-1 精密度和准确度的关系

学生在实验过程中,往往满足于实验数据的重现性,而忽略了数据测量值的准确程度。绝对真值是无可知的,人们只能订出一些国际标准作为测量仪表准确性的参考标准。随着人类认识运动的推移和发展,可以逐步逼近绝对真值。

4. 误差的表示方法

利用任何量具或仪器进行测量时,总存在误差,测量结果总不可能准确地等于被测量的真值,而只是它的近似值。测量的质量高低以测量精确度作指标,根据测量误差的大小来估计测量的精确度。测量结果的误差越小,则认为测量就越精确。

(1) 绝对误差. 测量值 X 和真值 A_0 之差为绝对误差,通常称为误差。记为

$$D = X - A_0 \quad (1-1-5)$$

由于真值 A_0 一般无法求得,因而上式只有理论意义。常用高一级标准仪器的示值作为实际值 A 以代替真值 A_0 。由于高一级标准仪器存在较小的误差,因而 A 不等于 A_0 ,但总比 X 更接近于 A_0 。 X 与 A 之差称为仪器的示值绝对误差。记为

$$d = X - A \quad (1-1-6)$$

与 d 相反的数称为修正值, 记为

$$C = -d = A - X \quad (1-1-7)$$

通过检定, 可以由高一级标准仪器给出被检仪器的修正值 C . 利用修正值便可以求出该仪器的实际值 A , 即

$$A = X + C \quad (1-1-8)$$

(2) 相对误差. 衡量某一测量值的准确程度, 一般用相对误差来表示. 示值绝对误差 d 与被测量的实际值 A 的百分比值称为实际相对误差, 记为

$$\delta_A = \frac{d}{A} \times 100\% \quad (1-1-9)$$

以仪器的示值 X 代替实际值 A 的相对误差称为示值相对误差, 记为

$$\delta_X = \frac{d}{X} \times 100\% \quad (1-1-10)$$

一般来说, 除了某些理论分析外, 用示值相对误差较为适宜.

(3) 引用误差. 为了计算和划分仪表精确度等级, 提出引用误差概念. 其定义为仪表示值的绝对误差与量程范围之比.

$$\delta_n = \frac{\text{示值绝对误差}}{\text{量程范围}} \times 100\% = \frac{d}{X_n} \times 100\% \quad (1-1-11)$$

式中, d 为示值绝对误差, X_n 为标尺上限值—标尺下限值.

(4) 算术平均误差. 算术平均误差是各个测量点的误差的平均值.

$$\delta_{\text{算}} = \frac{\sum |d_i|}{n}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1-1-12)$$

式中, n 为测量次数, d_i 为第 i 次测量的误差.

(5) 标准误差. 标准误差亦称为均方根误差, 其定义为

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n}} \quad (1-1-13)$$

上式使用于无限测量的场合. 实际测量工作中, 测量次数是有限的, 则改用下式

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n-1}} \quad (1-1-14)$$

标准误差不是一个具体的误差, σ 的大小只说明在一定条件下等精度测量集合所属的每一个观测值对其算术平均值的分散程度, 如果 σ 的值越小则说明每一次测量值对其算术平均值分散度就越小, 测量的精度就越高, 反之精度就越低.

在大学物理实验中最常用的秒表、量筒、电压等仪表原则上均取其最小刻度值为最大误差, 而取其最小刻度值的一半作为绝对误差计算值.

5. 测量仪表精确度

测量仪表的精确等级是用最大引用误差(又称允许误差)来标明的. 它等于仪表示值中的最大绝对误差与仪表的量程范围之比的百分数.

$$\delta_{\max} = \frac{\text{最大示值绝对误差}}{\text{量程范围}} \times 100\% = \frac{d_{\max}}{X_n} \times 100\% \quad (1-1-15)$$

式中, $\delta_{\max}$ 为仪表的最大测量引用误差, $d_{\max}$ 为仪表示值的最大绝对误差, X_n 为标尺上限值—标尺下限值.

通常情况下是用标准仪表校验较低级的仪表. 所以, 最大示值绝对误差就是被校表与标准表之间的最大绝对误差.

测量仪表的精度等级是国家统一规定的, 把允许误差中的百分号去掉, 剩下的数字就称为仪表的精度等级. 仪表的精度等级常以圆圈内的数字标明在仪表的面板上. 例如, 某台压力计的允许误差为 1.5%, 这台压力计电工仪表的精度等级就是 1.5, 通常简称 1.5 级仪表.

仪表的精度等级为 a , 它表明仪表在正常工作条件下, 其最大引用误差的绝对值 $\delta_{\max}$ 不能超过的界限, 即

$$\delta_{\max} = \frac{d_{\max}}{X_n} \times 100\% \leq a\% \quad (1-1-16)$$

由式(1-1-16)可知, 在应用仪表进行测量时所能产生的最大示值绝对误差(简称误差限)为

$$d_{\max} \leq a\% \cdot X_n \quad (1-1-17)$$

而用仪表测量的最大示值相对误差为

$$\delta_{r\max} = \frac{d_{\max}}{X} \leq a\% \cdot \frac{X_n}{X} \quad (1-1-18)$$

由上式可以看出, 用只是仪表测量某一被测量所能产生的最大示值相对误差, 不会超过仪表允许误差 $a\%$ 乘以仪表测量上限 X_n 与测量值 X 的比. 在实际测量中为可靠起见, 可用下式对仪表的测量误差进行估计:

$$\delta_m = a\% \cdot \frac{X_n}{X} \quad (1-1-19)$$

例 1-1 用量限为 5A, 精度为 0.5 级的电流表, 分别测量两个电流, $I_1 = 5A$, $I_2 = 2.5A$, 试求测量 I_1 和 I_2 的相对误差为多少?

$$\text{解} \quad \delta_{m1} = a\% \times \frac{I_n}{I_1} = 0.5\% \times \frac{5}{5} = 0.5\%$$

$$\delta_{m2} = a\% \times \frac{I_n}{I_2} = 0.5\% \times \frac{5}{2.5} = 1.0\%$$

由此可见, 当仪表的精度等级选定时, 所选仪表的测量上限越接近被测量的值, 则测量的误差的绝对值越小.

例 1-2 欲测量约 90V 的电压,实验室现有 0.5 级 0~300V 和 1.0 级 0~100V 的电压表. 问选用哪一种电压表进行测量为好?

解 用 0.5 级 0~300V 的电压表测量 90V 的相对误差为

$$\delta_{m0.5} = a_1 \% \times \frac{U_n}{U} = 0.5 \% \times \frac{300}{90} = 1.7 \%$$

用 1.0 级 0~100V 的电压表测量 90V 的相对误差为

$$\delta_{m1.0} = a_2 \% \times \frac{U_n}{U} = 1.0 \% \times \frac{100}{90} = 1.1 \%$$

上例说明,如果选择得当,用量程范围适当的 1.0 级仪表进行测量,能得到比用量程范围大的 0.5 级仪表更准确的结果. 因此,在选用仪表时,应根据被测量值的大小,在满足被测量数值范围的前提下,尽可能选择量程小的仪表,并使测量值大于所选仪表满刻度的三分之二,即 $X > 2X_n/3$. 这样就可以达到满足测量误差要求,又可以选择精度等级较低的测量仪表,从而降低仪表的成本.

1.1.2 有效数字及其运算规则

在科学与工程中,测量或计算结果总是以一定位数的数字来表示. 不是说一个数值中小数点后面位数越多越准确. 实验中从测量仪表上所读数值的位数是有限的,其取决于测量仪表的精度,其最后一位数字往往是仪表精度所决定的估计数字,即一般应读到测量仪表最小刻度的十分之一位. 数值准确度大小由有效数字位数来决定.

1. 有效数字

一个数据,其中除了起定位作用的“0”外,其他数都是有效数字. 如 0.0037 只有两位有效数字,而 370.0 则有四位有效数字. 一般要求测试数据有效数字为 4 位. 要注意有效数字不一定是可靠数字. 例如,测流体阻力所用的 U 形管压差计,最小刻度是 1mm,但我们可以读到 0.1mm,如 342.4mmHg. 又如二等标准温度计最小刻度为 0.1℃,我们可以读到 0.01℃,如 15.16℃. 此时有效数字为 4 位,而可靠数字只有三位,最后一位是不可靠的,称为可疑数字. 记录测量数值时只保留一位可疑数字.

为了清楚地表示数值的精度,明确读出有效数字位数,常用指数的形式表示,即写成一个小数与相应 10 的整数幂的乘积. 这种以 10 的整数幂来记数的方法称为科学记数法.

如 75200	有效数字为 4 位时,记为 7.520×10^5
	有效数字为 3 位时,记为 7.52×10^5
	有效数字为 2 位时,记为 7.5×10^5
0.00478	有效数字为 4 位时,记为 4.780×10^{-3}
	有效数字为 3 位时,记为 4.78×10^{-3}
	有效数字为 2 位时,记为 4.7×10^{-3}