



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

高等学校物理实验教学示范中心系列教材

大学物理实验教程

第二版 (上册)

江美福 方建兴 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

高等学校物理实验教学示范中心系列教材

大学物理实验教程

DAXUE WULI SHIYAN JIAOCHENG

第二版 (上册)

江美福 方建兴 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS · BEIJING

内容简介

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,是苏州大学物理科学与技术学院物理实验中心和江苏师范大学物理实验室全体教师集体智慧的结晶,综合了多年来使用原有教材的教师和学生的建议和要求,结合建设国家级物理实验教学示范中心过程中的教学实践编写而成。本书系统介绍了物理实验的基本知识,共编写了 83 个实验项目,内容基本涵盖了大学物理实验和近代物理实验的相关内容,并给出了近 20 个提高和拓展创新实验。

本书内容编写上注重介绍相关实验的原理、特色,典型测量方法、数据处理方法等,尽量不涉及具体实验仪器,不少实验项目同时介绍了多种实验(测量)方法。使用者可根据自身要求选择实验项目和方法。

本书可作为高等学校大学物理实验及近代物理实验课程教材,也可作为相关专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验教程. 上册/江美福,方建兴主编

—2 版. —北京:高等教育出版社,2013. 2

ISBN 978 - 7 - 04 - 036767 - 6

I. ①大… II. ①江…②方… 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(2013)第 008896 号

策划编辑 高 建 责任编辑 马天魁 封面设计 王 隼 版式设计 王 莹
插图绘制 尹 莉 责任校对 刘春萍 责任印制 刘思涵

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 肥城新华印刷有限公司
开 本 787mm × 960mm 1/16
印 张 18.25
字 数 340 千字
购书热线 010 - 58581118
咨询电话 400 - 810 - 0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>
版 次 2009 年 8 月第 1 版
2013 年 2 月第 2 版
印 次 2013 年 8 月第 2 次印刷
定 价 25.10 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 36767 - 00

高等学校物理实验教学示范中心
系列教材编委会
(按姓氏笔画为序)

顾 问:

王植恒 吕斯骅 李相银 吴念乐 吴思诚
张兆奎 段家悵 耿完楨 高立模 霍剑青

主 编:

葛惟昆

副 主 编:

王玉凤 孙腊珍 张朝晖 张新夷

编 委:

王文全 王红理 王合英 方建兴 叶庆好
权王民 朱 俊 刘 伟 刘 肃 闫海青
孙 骞 孙晶华 李 华 李学慧 李美亚
李海洋 杨卫平 吴先球 何振辉 余 虹
张增明 何焰蓝 周 进 周鲁卫 姚合宝
钱 锋 徐建强 徐富新 陶纯匡 黄志高
盛新志 隋成华 董有尔 熊 俊 熊永红
霍 雷

第二版前言

本书第一版自2009年出版发行以来受到了各方的关注与好评,被评为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。结合实验中心建设过程中的体会,在苏州大学物理科学与技术学院、江苏师范大学(徐州)物理与电子工程学院、高等教育出版社等有关单位和同仁们的大力支持下,在本书第一版和江苏师范大学自编物理实验讲义的基础上,作者于2011年年底启动了第二版的编写工作。

相比于第一版,本书在结构和内容上均做了较大的调整。第二版分为上、下两册,上册主要内容包括物理实验基础知识的系统介绍、力学和热学实验、光学实验三部分,下册主要涉及电磁学实验、近代物理及提高性实验、拓展创新性实验三部分。本书共编排了83个实验项目,基本涵盖了大学物理实验和近代物理实验的相关内容,并给出了近20个提高和拓展创新实验。

在内容选取和编排上,吸收了苏州大学国家级物理实验教学示范中心近年来取得的教学成果和江苏师范大学省级物理实验教学示范中心多年来的教学积淀。考虑到学生创新能力培养的需要和近年来实验教学条件的明显改善,本书的起点有所提高,将设计实验中涉及的测量仪器的选择、测量最有利条件及次数的确定等内容视为理工科学生必备的基本知识,编入第一章物理实验的基本知识部分;对光学部分相关内容进行了更新和充实;将近代物理实验的相关内容纳入本书,以便非物理类专业的学生在选做实验时有更多的选择;依托全息光学、光电子技术、材料物理和等离子体物理组成的三个拓展实验平台,更新、增添了22个相关实验,加强了提高性和综合设计性实验的内容,进一步强调对学生综合实验研究能力的培养。

本书定位于高等学校大学物理实验和近代物理实验,是一本综合性的实验课程教材,内容上注重介绍实验的相关理论、原理和特色,以及典型测量方法、数据处理方法和相关不确定度的评定等,尽量不涉及具体实验仪器。有些实验项目同时介绍了多种实验(测量)方法,以期方便于本书使用者根据自身要求选择实验项目和方法,增加本书的通用性。本书也可作为相关专业的教师和学生的参考用书。

参加本书编写的人员有:苏州大学物理科学与技术学院的江美福、方建兴、叶超、张毓麟、罗晓琴、朱天淳、戴永丰、钱依、阮中中、吴亮、储炳寿、杨俊义、吴茂成;江苏师范大学物理与电子工程学院的吕华平、周荣生、孙镭、刘淑娥、周红生、

吕建伟和王勇等。本书最后由江美福、方建兴和吕华平统稿及修改定稿。

本书的出版,得到了苏州大学物理科学与技术学院、江苏师范大学物理与电子工程学院、高等教育出版社、科学出版社有关领导和同仁的大力支持,在此,编者致以最诚挚的感谢!

为编写本书,相关单位和老师们进行了多次研讨,希望更好地为广大师生服务,但由于水平有限,书中仍会存在许多缺点和不足,敬请使用本书的广大师生提出意见和建议,以便编者及时修正。

编 者

2012年8月于苏州

第一版前言

本书是在苏州大学出版社出版的《大学物理实验》(1998年,江美福,谈利琴编著)、《物理实验》(2002年第一版,方建兴,江美福,魏品良编著;2007年第二版,方建兴,江美福,朱天淳编著)的基础上,考虑到近年来实验仪器和项目已作的更新,教学内容和要求也已发生了较大的变化,综合多年来使用上述教材的老师和学生的建议和要求,结合建设国家级物理实验教学示范中心过程中的教学实践改编而成,名称改为《大学物理实验教程》,仍定位于高等学校物理实验课程教材,也可作为相关专业的教师和学生的参考用书。

本书在内容编排上体现了物理实验教学示范中心近年来形成的物理实验课程新体系的特色,在体系上按物理实验操作基础、基本物理实验和提高性实验、综合设计性实验、拓展创新性实验四大模块编写。依托全息光学、光电子技术、材料物理和等离子体物理组成的三个拓展实验平台,更新、增添了26个相关实验,综合设计性实验和拓展性实验的比重显著加强,突出对学生综合实验研究能力的培养。

参加本书编写的人员包括:江美福、方建兴、叶超、张毓麟、罗晓琴、朱天淳、戴永丰、钱侏、阮中中、吴亮、杨亦赏、储炳寿、吴茂成等,最后由江美福、方建兴统稿和修改定稿。

本书出版的整个过程中,得到了苏州大学物理科学与技术学院、科学出版社、复旦大学物理系马世红教授以及高等教育出版社有关领导和同仁的大力支持,在此,编者致以最诚挚的感谢!

虽然编者为一本书的出版进行了较长时间的酝酿和多次研讨,为保证本书的质量做了许多努力,但由于水平有限,书中仍会存在许多缺点和不足,敬请广大读者批评指正。

编 者

2009年1月于苏州

目 录

绪论	1
第 1 章 物理实验的基本知识	4
1.1 测量与误差	4
1.2 不确定度的评定	17
1.3 有效数字及其运算	21
1.4 测量结果的完整表示	25
1.5 实验数据的分析和处理	30
1.6 数据处理的基本方法	32
1.7 物理实验的基本测量方法	38
1.8 常用物理量的测量	43
1.9 实验基本操作规程	77
1.10 测量仪器和测量条件的选择	80
1.11 测量最有利条件的确定	81
1.12 测量次数的确定	82
练习题	83
第 2 章 力学和热学实验	86
实验 2.1 长度的测量和密度的测定	86
实验 2.2 空气密度的测定	89
实验 2.3 重力加速度的测定	95
实验 2.4 气垫实验	101
实验 2.5 弹性模量的测定	111
实验 2.6 液体表面张力系数的测定	114
实验 2.7 金属线胀系数的测定(光杠杆法)	120
实验 2.8 用落球法测液体的黏度	123
实验 2.9 耦合摆的研究	127
实验 2.10 切变模量和转动惯量的测定	130

实验 2.11	惯性秤	138
实验 2.12	弹簧振子振动周期的研究	140
实验 2.13	用玻尔共振仪研究受迫振动	143
实验 2.14	弦振动的研究	146
实验 2.15	空气中声速的测定	148
实验 2.16	冷却法测量金属的比热容	153
实验 2.17	电热法测定热功当量	157
实验 2.18	不良导体导热系数的测定	160
实验 2.19	空气比热容比的测定	162
第 3 章	光学实验	167
实验 3.1	薄透镜焦距的测定	167
实验 3.2	透镜组基点的测定	170
实验 3.3	显微镜与望远镜	173
实验 3.4	分光计的调节及棱镜折射率的测定	178
实验 3.5	用透射光栅测定光波波长	184
实验 3.6	迈克耳孙干涉仪的调节和使用	188
实验 3.7	牛顿环与劈尖干涉	195
实验 3.8	偏振现象的观察与分析	201
实验 3.9	用双棱镜测光波波长	206
实验 3.10	单缝衍射	209
实验 3.11	单色仪的定标与滤光片光谱透射率的测定	216
实验 3.12	普朗克常量的测定	221
实验 3.13	液晶的电光效应与显示原理	225
实验 3.14	全息照相	232
实验 3.15	氢氘原子光谱	240
实验 3.16	光拍法测定光速	243
实验 3.17	阿贝成像原理和空间滤波	247
实验 3.18	用旋光仪测旋光性溶液的旋光率和浓度	257
附录 A	中华人民共和国法定计量单位	263
附录 B	基本物理常量	266
附录 C	常用物理量数值	268
参考文献	280

绪 论

1. 物理实验课的地位、作用和任务

物理学是实验科学。物理学的概念、规律和理论的建立、发现与形成,都以物理实验为基础并受到实验的检验。物理学在自然科学的其他领域的广泛应用也离不开实验。历史上每次重大的技术革命都来源于物理学上的重大突破。热学、热力学的研究(18世纪下半叶)导致蒸汽机的发明和广泛应用,引发了第一次工业革命,使人类进入了热机、蒸汽机时代。电磁感应的研究、电磁学理论的建立(19世纪中叶)导致发电机、电动机的发明及无线电通信的发展,从而引发了第二次工业革命,人类从此跨入了电气化时代。相对论、量子力学的建立(1900—1930)使物理学进入了高速、微观领域;核物理的研究和发展使核能的释放和应用成为现实;原子物理、分子物理的研究和发展导致了激光的发明和应用;半导体、固体物理、材料科学的研究和发展导致了晶体管、大规模集成电路、新材料、电子计算机的发明和广泛应用。人们把新能源、新材料、激光技术、信息技术的发展称为第三次工业革命。物理实验的思想、方法和技术已广泛应用于其他学科和生产实践之中,成为推动科学技术发展的强有力的工具。

作为21世纪的理工科大学生,不仅要掌握比较深厚的专业理论知识,还应在物理实验的基本知识、基本方法、基本技能等方面受到较系统的训练,加深对物理学基本概念和基本规律的理解和掌握,培养良好的科学素质、创新精神和实践能力。

物理实验课是学生必修的独立开设的一门基础实验课,是学生进入大学后接受系统实验方法和实验技能训练的开端,是理工科类专业对学生进行科学实验训练的重要基础课程。

物理实验课的具体任务是:

(1) 通过对实验现象的观察、分析,研究物理现象、验证物理规律和对物理量进行测量,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,了解一些物理量的测量方法。

(2) 培养与提高学生的科学实验能力,其中包括:

① 自行阅读实验教材或资料,做好实验前的准备;

- ② 借助教材或仪器说明书正确使用常用仪器；
- ③ 运用物理学理论对实验现象进行初步分析和判断；
- ④ 学会对实验进行误差分析和不确定度评定的基本方法，正确记录和处理实验数据，绘制曲线，说明实验结果，撰写合格的实验报告；
- ⑤ 完成简单的设计性实验，为以后独立设计实验方案和解决新的实验课题创造条件；
- ⑥ 提高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。

(3) 培养与提高学生的科学实验素养，使学生具有理论联系实际和实事求是的科学作风，严肃认真的工作态度，主动研究的探索精神和遵守纪律、爱护公共财物的优良品德。

2. 物理实验课的基本程序

(1) 预习

实验前必须认真阅读教材及有关参考资料，着重理解实验原理，明确实验目的、测量方法和主要实验步骤，并在上课前写好预习报告。预习报告的内容主要包括：实验名称；回答预习思考题；列出有关测量的计算式或将要被验证的定律；画出电路图、光路图或设备示意图；列出数据记录表格。

(2) 实验操作

首先应根据教材或仪器说明书熟悉仪器，在老师指导下了解仪器的正确使用方法，对照仪器，明确要测什么物理量，弄清先测什么、再测什么、最后测什么、如何测等，做到心中有数，绝对不可盲目动手。

实验中，应集中精力仔细观察，认真思考观察到的物理现象；正确读数，及时将采集的实验数据和观察到的现象如实地记录下来，尤其是对所谓异常现象更要仔细观察分析，不要单纯追求“顺利”，要养成对观察到的现象和所测得的数据随时进行判断的习惯；对实验过程中出现的故障要学会及时排除。

实验结束后，要将测得的数据交给老师检查，检查合格并整理好仪器后，方可离开实验室。

(3) 撰写实验报告

写实验报告是为了培养、训练学生以书面形式总结工作或报告科研成果的能力。一份完整的实验报告一般包括以下内容：① 实验名称和日期；② 实验目的；③ 实验原理（应用自己的语言简要叙述，切忌照抄教材，应画出实验的原理图、电路图、光路图等，并列测量和计算所依据的公式）；④ 实验仪器及装置（仪器应标明规格、型号）；⑤ 主要实验步骤（对实验中关键性的调整方法和测量技巧应着重写出）；⑥ 数据表格、实验曲线；⑦ 数据处理及结果分析（要求写出

数据处理的主要过程、进行误差分析和不确定度评定,并给出最后结果);⑧ 问题讨论(包括对实验现象的分析、实验中存在的问题、改进实验的建议、回答讨论题等)。

实验报告要求努力做到书写清晰,字迹端正,数据记录整洁,图表合格,文理通顺,内容简明扼要。实验报告一律用物理实验报告纸书写。

第 1 章 物理实验的基本知识

所谓实验,就是在理论指导下,实验者选用一些仪器设备,在一定的条件下,人为地控制或模拟自然现象,并通过对某些物理量的观察与测量去探索客观规律的过程。由于实验方法的不完善,仪器都有一定的精确度,测量条件并非总能满足理论上假定的或测量仪器所规定的使用条件,因此任何测量都不可能是绝对准确的。进行一项实验,除了要懂得如何正确获取应有的数据外,如何正确处理实验中得到的数据,如何正确表达测量结果,并给出对测量结果的可靠性评价(合理估计出误差范围或不确定度),也是实验工作者必须掌握的基本知识。

本章就是针对上述问题,通过实例,系统地介绍物理实验的基本知识。主要内容包括:测量与误差,误差与不确定度,不确定度的评定,测量结果的质量评价,有效数字及其运算,数据处理的基本方法,物理实验的基本测量方法等。

1.1 测量与误差

所谓测量,就是将待测量与选作法定标准的同类计量单位进行比较,从而确定待测量是标准单位的若干倍,这一过程称之为测量。显然,测量值(结果)应包含数值和单位两部分,两者缺一不可。我国采用的单位是以国际单位制(简称 SI)为基础的法定计量单位。

测量得到的数值称为测量值,用“ x ”表示。

1.1.1 测量的分类

一、直接测量和间接测量

用测量仪器能直接获得测量结果的测量称为直接测量,相应的物理量称之为直接测量量,直接测量是实验中最基本最常见的一种测量方式。如用米尺量物体的长度,用天平称物体的质量等。

实际上很多物理量是不能用仪器直接测量的,往往是通过若干可直接测量的物理量经过一定的函数关系运算后获得结果的,这种测量称为间接测量,相应

的物理量称为间接测量量。

如测圆柱体的密度时,可以用游标卡尺或螺旋测微器量出它的高度 h 及直径 d ,用天平称出它的质量 m ,则圆柱体的密度为

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{4m}{\pi d^2 h}$$

值得指出的是,同一物理量,由于选用的测量方法不同,它可以是直接测量量,也可以是间接测量量。例如,采用上述方法测出的圆柱体体积为间接测量量,若改用量筒排水法测量,它又成为直接测量量了。

二、等精度测量与不等精度测量

如对某一物理量进行多次重复测量,而且每次的条件都相同(同一观察者、同一组仪器、同一种实验方法、同一实验环境等),测得一组数据(x_1, x_2, \dots, x_n),尽管各次测得的结果有所不同,我们没有充足的理由可以判断某次测量比另一次更精确,这样只能认为每次测量的精确程度是相同的,于是将这种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。在诸测量条件中,只要有一个发生了变化,这时所进行的测量就成为不等精度测量。

严格说来,在物理实验中,保持测量条件完全相同的多次测量是极其困难的,但当某一条件的变化对测量结果影响不大,甚至可以忽略时,仍可视这种测量为等精度测量。在本章中,除了特别指明外,所讨论的测量均为等精度测量。

1.1.2 误差

一、真值

在一定的客观条件下,被测量的物理量具有一个客观的真实数值,称为该物理量的“真值”,用“ X ”表示。测量的目的就是力图得到这些真值。由于在具体测量时各种条件的限制(仪器、测量者、客观条件、实验方法等),测量不可能绝对准确,实际上真值永远得不到。测量只可能尽量得到真值的近似值或称近真值,有时也称最佳值。

二、误差

测量值与真值之差,称之为误差,可表示为

$$\Delta x_i = x_i - X \quad (1.1.1)$$

式中 Δx_i 为某次误差, x_i 为某次测量值,显然 Δx_i 可正也可负。

既然真值永远得不到,按照误差定义,误差也就无法精确求出。为了解决这个问题,实际测量时,有时可以用下列各类值与测量值之差来估算误差。

(1) 理论值 如三角形内角之和为 180° 等。

(2) 公认值 世界各国公认的一些常量,如在标准大气压下,0℃时水的密度为 999.84 kg/m^3 等。

(3) 计量学约定真值 如国际及国家计量部门规定的长度、时间、质量等标准。

(4) 相对真值 用准确度高一个等级的仪器校正的测定值。

三、误差的分类

为了得到尽可能接近真值的测量结果,测量者必须分析和研究误差的来源和性质,有针对性地采取适当措施,尽可能地减小误差。

误差按其特征和表现形式可以分为系统误差、偶然误差两大类。

1. 系统误差

系统误差的特点是,在同一条件下(实验方法、仪器、环境和观察者等不变),每次测量同一物理量时,误差的大小和符号始终保持恒定或按一定的规律变化。

系统误差的来源有以下几个方面:

(1) 仪器的固有缺陷 如刻度不准,零点没调准,仪器水平或竖直未调整好,砝码本身未经校准等。

(2) 实验方法的不完善 实验所依据的原理不尽完善,公式的近似性或实验条件达不到理论公式所要求的条件而引起的误差。如称重时未考虑空气浮力,忽略摩擦、接触电阻等。

(3) 环境条件的变化 外界环境(如温度、湿度、电磁场等)发生变化或不满足测量仪器规定的使用条件所造成的误差。如标准电池是以20℃时的电动势作为标准值的,若在5℃时使用而不加修正就引入了系统误差。

(4) 测量者自身的某些因素 由测量者感觉器官的不完善或某种不良习惯所引起的误差。如有的人习惯侧坐斜视读数而造成读数偏大或偏小,几个人同时用秒表计时会因每个人的反应快慢不同而结果不一致等。

系统误差的数值和符号(正、负)一般来说是定值或按某种规律变化,因此系统误差是可以被发现、减小、消除或修正的,但不能通过多次测量来减小或消除。对操作者来说,系统误差的规律及其产生原因可能知道,也可能不知道。已被确切掌握了其大小和符号的系统误差,称为可定系统误差;对大小和符号不能确切掌握的系统误差称为未定系统误差。前者一般可以在测量过程中采取措施予以消除或在测量结果中进行修正;而后者一般难以作出修正,只能估计出它的极限范围。

2. 随机误差(偶然误差)

在一定条件下,每次测量同一物理量时,测量值仍会出现一些似乎毫无规律的起伏,这种大小和符号随机变化的误差,称为随机误差又称偶然误差。

随机误差可能的来源是：人们的感官（如听觉、视觉、触觉）的分辨能力不尽相同，表现为每个人的估读能力不一致；外界的干扰（如温度不均匀、振动、气流、噪声等）既不能消除又无法精确估量；所有影响测量的次要因素不尽全知等。这种误差是无法控制的。但在同一条件对同一物理量进行多次测量时，随机误差的分布显示出一定的统计规律，大多数情况下遵守正态分布，如图 1.1.1 所示。横坐标表示误差 $\Delta = x - X$ ，纵坐标表示与误差出现的概率有关的概率密度函数 $f(\Delta)$ 。应用概率论的数学方法可导出

$$f(\Delta) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\Delta^2}{2\sigma^2}} \quad (1.1.2)$$

式(1.1.2)中的特征量 σ 为

$$\sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - X)^2}{n}} \quad (1.1.3)$$

σ 称为标准误差。

服从正态分布的随机误差具有下面一些特性：

- (1) 单峰性 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。
- (2) 对称性 绝对值相等的正负误差出现的概率相同。
- (3) 有界性 在一定的测量条件下，误差的绝对值不超过一定限度。
- (4) 抵偿性 随机误差的算术平均值随着测量次数的增加而越来越趋向于零，即

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i = 0 \quad (1.1.4)$$

综上所述，系统误差的特点是确定性，随机误差的特点是随机性。它们是两种不同性质的误差，在一定的实验条件下，它们有自己的内涵和界限，但当条件改变时，彼此又可能相互转化。例如：系统误差与随机误差的区别有时与空间和时间的因素有关。测量时环境温度在短时间内可保持恒定或缓慢变化，但在长时间内却是在某个平均值附近作无规律的变化，因此由于温度变化造成的误差在短时间内可以看成系统误差，而在长时间内则宜作随机误差处理。随着技术的发展和设备的改进，某些产生随机误差的因素能够得到控制，这些随机误差就可以确定为系统误差并得到改善或修正；而有些规律复杂的未定系统误差也可以通过改变测量状态使其随机化，这种系统误差又可以当做随机误差来处理。

还有一种过失误差，是由于测量系统偶然偏离所规定的测量条件和方法或

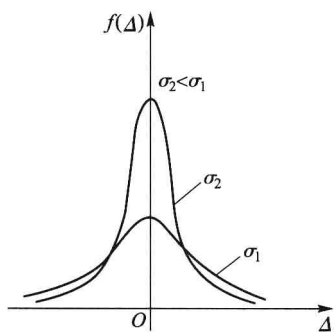


图 1.1.1

记录、计算数据时出现失误而产生的,实际上是一种测量错误。错误不同于误差,它是不允许存在的,是完全可以事先发现和避免的。

值得指出的是,不应当把有某种异常的观察值都作为过失误差来处理,因为它可能是数据中固有的随机性的极端情况。判断一个观察值是否为异常值,通常应根据技术上或物理上的理由做出决定。本章1.5节将给出一个简单的判定方法。

如上所述,误差自始至终存在于一切科学测量的全过程之中,因此作为一个科学实验的结果,不仅应当提供被测对象的量值大小和单位,还应当对测量数值本身的可靠程度作出判断(即给出误差范围或不确定度)。一个不知道可靠程度的测量值是没有多大意义的。因此,一个正确的实验结果应该包括数值、单位和误差(或不确定度),三者缺一不可。下面简单介绍系统误差的发现和消除以及如何估算随机误差。

1.1.3 系统误差的发现和消除

分析和消除系统误差是一个比较复杂的问题,任何一个实验者都应在实验前、实验中和实验后对可能产生的或已经产生的系统误差加以分析和研究。但由于系统误差的分析很难脱离具体的实验内容,在此仅作一简单介绍,在以后的仪器误差及不确定度的评定中也将涉及。

一、系统误差的发现

如前所述,系统误差的数值和符号(正、负)一般来说是定值或按某种规律变化,因此系统误差不能通过简单地重复测量来发现或消除。下面介绍几种常用的揭示系统误差的方法。

1. 理论分析

测量过程中因理论公式的近似性等原因所造成的系统误差常常可以从理论上作出判断并估计其量值。如伏安法测电阻时,电流表内接时将产生正误差,外接时将产生负误差。

2. 将实验结果与公认值或相对真值比较

对已经调好的仪器或系统,可通过测量已有公认值或相对真值的物理量来发现该仪器或系统是否存在重大的系统误差。如在光学实验中,常常通过测量波长已知的钠双线(589.0 nm 和 589.6 nm)或氦氖激光器发出的红光(632.8 nm)等来检查测量系统的准确度。

3. 进行不同测量方法的比较测量

比较用不同的测量方法或设备去测量同一物理量所得出的结果也可以判断是否存在系统误差。如用两种不同型号的天平来测量某物体的质量、用两只不同的电流表先后测量某电路的电流值等。