

高等农林院校精品课程建设教材

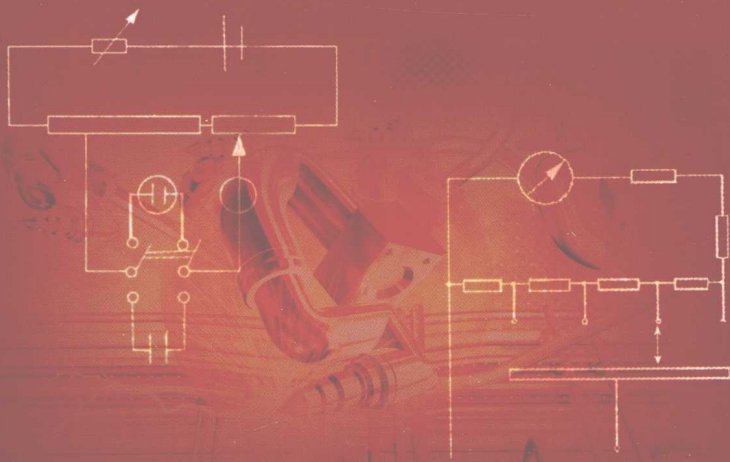
GAO DENG NONG LIN YUAN XIAO JING PIN KE CHENG JIAN SHE JIAO CAI

大学

DA XUE WU LI SHI YAN

物理实验

王乐新 李天和 主编



中国农业大学出版社

04-33
119

高等农林院校精品课程建设教材

大学物理实验

王乐新 李天和 主编

中国农业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/王乐新,李天和主编. —北京:中国农业
大学出版社,2004.8

ISBN 7-81066-808-0/O·41

高等农林院校精品课程建设教材

I.大... II.①王...②李... III.物理学-实验-高
等学校-教材 IV.O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 082165 号

书 名 大学物理实验
作 者 王乐新 李天和 主编

策划编辑 张秀环 责任编辑 杨建民
封面设计 郑 川 责任校对 洪重光
出版发行 中国农业大学出版社
社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号 邮政编码 100094
电 话 发行部 010-62731190, 2620 读者服务部 010-62732336
编辑部 010-62732617, 2618 出 版 部 010-62733440
网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup> E-mail caup@public.bte.net.cn
经 销 新华书店
印 刷 涿州市星河印刷有限公司
版 次 2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷
规 格 787×980 16 开本 12.5 印张 230 千字
印 数 1~3500
定 价 15.00 元

图书如有质量问题,本社发行部负责调换

前 言

物理实验课是大学中理、工、农、医等各科最基本的实验课之一,是为培养学生创新能力和实践能力、提高学生科学素质打下扎实基础的极其重要的教学内容和环节。随着时代的发展,特别是随着物理学近年来在其他各学科中的迅速渗透和广泛应用,“基础”的内容日益广泛,要求日益提高。为了适应这种变化,物理实验的内容必须“与时俱进”。大学物理教学实验室近年来积极改革实验内容,大力引进新技术、排出新实验,使基础实验紧跟时代发展而不断更新,取得了一定的效果。作为教材,我们在编写时,既注意到它的系统性、科学性,也注意到它的现代性、应用性,为此,我们对一些实验进行了取舍和调整,同时加增了一些新实验。本教材是总结这些经验并吸取其他院校的宝贵意见而写成的。

首先,近年来各类实验仪器有了长足的进步。数字式仪表已在许多领域取代了指针式仪表,以电磁力平衡为原理的各类电子天平已取代了以杠杆平衡为原理的各种衡量工具,小型精巧的霍耳元件已广泛应用于许多力学、电学和磁学测量中,由计算机实时监控的实验仪器装置也屡见不鲜……,因此,本教材在实验仪器的选用上也作了较大的改革,删除了一些过时的仪器设备,采用了一些先进的仪器,如刚体转动惯量周期测定仪、CCD 显示仪、用温度传感器和压力传感器测比热容比、CSY 系列传感器系统实验仪、CCD 光学多通道分析仪等;不少实验中采用了计算机记录、绘图或监控,提高了普通物理实验的现代化水平。

此外,实验教学改革的重要方面是要提高学生的科学素质,鼓励学生的创新精神,而我们多年来的实践已证明,定性与定量实验在这方面有很好的作用。这些实验突出了物理思想,引导学生认真观察物理现象、分析物理问题,有利于训练和提高学生的观察能力、判断能力、分析能力和综合能力,也有利于提高他们探索物理规律的热情和积极性,培养他们的创新思维。当然,在其他所有实验中,我们都要求学生观察和分析物理现象,并十分注意启发学生思考深入的物理问题,以引导学生深入思考,在每个实验后都配有“思考题”和“预习思考题”,以帮助他们掌握实验内容和提高实验操作能力。

在实验内容的安排上,考虑到每个专业对各个实验的要求并不相同,且各专业的学时数也不尽相同,因而有些实验含有“必做内容”和“选做内容”两部分,有些实验中还安排了“实验拓展”的内容,以适应不同专业的要求,也有利于学生个性的发

展和优秀学生的深造。同时结合专业的特点,为适应学生能力培养的需要,根据国家教委对物理教学的基本要求,更好地提高学生的综合素质,本教材单独编写了设计实验和综合实验部分。

在数据处理方面,本教材摒弃了传统误差理论中的一些不科学与不确切的内容,以国际权威组织制定的《测量不确定度表示指南》为标准来阐述不确定度的评定,使之与国际接轨。为使学生掌握评定不确定度的基本方法而不陷入过于严格的繁琐计算,对不确定度的评定进行了一些必要的简化,以适合于普通物理实验的要求。

总之,本教材是近年来物理实验教学改革成果的体现,是广大教职工辛勤努力的结晶。除主编王乐新、李天和,副主编许杰、张欣艳、蔡丽君外,参加本教材编写的教师主要有白亚乡、王畅、田春华、贺传琴、赵达等同志。其中实验 4.9、实验 4.10、实验 4.11、第二章和第一章由黑龙江八一农垦大学王乐新执笔;实验 4.2、实验 4.12、实验 5.1、实验 5.2 及前言由黑龙江八一农垦大学李天和执笔;实验 4.6、实验 4.7、实验 4.8 由黑龙江八一农垦大学张欣艳执笔;实验 5.4、实验 5.6、第三章和第六章由黑龙江八一农垦大学许杰执笔;实验 4.4、实验 4.5 由大连水产学院白亚乡执笔;实验 5.3、实验 5.5、实验 5.7、实验 5.8 由西北农林科技大学蔡丽君执笔;实验 4.1 由黑龙江八一农垦大学王畅、田春华执笔;实验 4.3 由黑龙江八一农垦大学贺传琴、赵达执笔。全书由黑龙江八一农垦大学史永臣教授担任主审,全书由王乐新、李天和统稿、定稿。

本教材是在史永臣、王乐新、孙敬武主编的《大学物理学实验技术》基础上,吸收了近年来物理实验教学改革成果和国内其他院校实验教学的经验而编写的。除以上主编和参编教师外,文理学院刘振忠教授对本教材的编写给予了很多关心和帮助,对本教材的大纲提出过许多宝贵的意见;教务处领导和教材科领导对本教材的编写给予了极大的鼓励和支持,提出了很多指导性的意见和建议;本教材的审稿专家组和出版社的编辑们都为本教材的顺利出版做出了很大的贡献。在此,我们向他们表示诚挚的敬意和衷心的感谢!

由于参编人员较多且水平有限,本教材不妥之处在所难免,恳请读者和同行专家们批评指正,以便日后进一步完善和提高。

编者

2004年6月

目 录

第一章 绪 论	1
第二章 测量误差和不确定度的基础知识	6
第一节 测量误差的基本知识	6
第二节 不确定度的基本概念	12
第三节 直接测量误差的估计	14
第四节 间接测量结果的偶然误差估计及误差传递与合成	17
第五节 测量结果的不确定度表示	19
第六节 有效数字及其运算规则	23
练习与思考题	28
第三章 物理实验的基本知识	30
第一节 物理实验的种类	30
第二节 物理实验的基本测量方法	31
第三节 实验室常用电源与光源	36
第四节 常用的实验数据处理方法	40
第四章 基础性实验	46
实验 4.1 长度测量	46
实验 4.2 杨氏弹性模量的测定	54
实验 4.3 液体表面张力系数的测定	58
实验 4.4 液体黏滞系数的测定	62
实验 4.5 空气比热容比的测定	65
实验 4.6 万用表的使用	68
实验 4.7 用模拟法测绘静电场	79
实验 4.8 用 ZY9845 学生型直流电位差计测电动势	84
实验 4.9 霍尔效应及其应用	90

实验 4.10	用阿贝折射计测物质的折射率	96
实验 4.11	用旋光仪测糖溶液的浓度	104
实验 4.12	迈克尔逊干涉仪	109
第五章	综合性实验	119
实验 5.1	用扭摆法测定刚体转动惯量	119
实验 5.2	分光计的调整和使用	124
实验 5.3	二踪示波器的原理及应用	135
实验 5.4	超声波的应用——探伤及测厚	145
实验 5.5	传感器的原理与应用	151
实验 5.6	全息照相	156
实验 5.7	塞曼效应	163
第六章	设计性实验	172
实验 6.1	电表的改装与校准	172
实验 6.2	温度传感器特性的测量	175
实验 6.3	流体力学特性研究——硬币起飞	177
实验 6.4	表面张力特性研究——硬币浮水实验	179
实验 6.5	光纤温度传感特性的研究	181
实验 6.6	激光散斑照相法测定钠光波长	184
附录	常用物理常数	189
	参考文献	192

第一章 绪 论

一、物理实验课的地位与作用

物理学是一切自然科学的基础,物理学又是一门实验科学。物理学的形成和发展是以实验为基础的。物理实验的重要性,不仅表现在通过实验发现物理定律,而且物理学中的每一项重要突破,都与实验密切相关。例如,杨氏的干涉实验使光的波动学说得以确立;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;卢瑟福的粒子散射实验揭开了原子的秘密;近代的高能粒子对撞实验使人们深入到物质的最深层——原子核和基本粒子内部来探索其规律性。实践证明,物理实验是物理学发展的动力。在物理学发展的进程中,物理实验和物理理论始终是相互促进、相互制约、相得益彰的。没有理论指导的实验是盲目的。

物理实验在探索和开拓新的科技领域中,在推动其他自然科学和工程技术发展中起着重要的作用。在大学里,物理实验课是对学生进行科学实验基本训练的一门独立的必修的重要基础课程,是学生在大学里受到系统实验技能训练的开端。它在培养学生运用实验手段去分析、观察、发现、研究、解决问题的能力方面,在提高学生科学实验素质方面都起着重要的作用。可以说,物理实验课是大学生学习或从事科学实验的起步,也为学生今后的学习、工作奠定良好的实验基础。

二、物理实验课的主要任务

物理实验已成为高等农业院校的一门独立的基础课程,有以下 3 个方面的任务:

① 通过对实验现象的观察分析和对物理量的测量,使学生学习实验的基本知识、基本方法和基本技能,包括一些典型的实验方法和物理思想,如实验中的模拟法、初查法、伏安法、电桥法、补偿法、示波法等。这有助于学生思维能力和创造能力的培养。

② 使学生获得必要的实验知识和操作技能的训练,培养与提高学生的科学实验能力:

自学能力——能够自行阅读实验教材或参考资料,正确理解实验内容,做好实验前的准备;

动手实践能力——能够借助实验教材和仪器说明书,正确调整使用常用仪器;

思维判断能力——能够运用物理学理论,对实验现象进行初步的分析和判断;
表达书写能力——能够正确记录和处理实验数据,绘制图线,说明实验结果,
撰写合格的实验报告;

简单的设计能力——能够根据课题要求,确定实验方法和条件,合理选择仪器,拟定具体的实验程序。

③ 培养和提高学生从事科学实验的素质。要求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,不怕困难、主动进取的探索精神,讲究科学方法、遵守实验操作规程、爱护公共财物的优良品德,以及在实验过程中培养相互协作、共同探索的协同心理。

总之,物理实验教学的重点放在培养学生实验能力和提高素质方面,使学生的自学能力、分析能力、实践能力及严肃认真、实事求是的科学态度方面得到训练与提高。

三、物理实验课的基本程序

物理实验课是学生在教师指导下独立进行实验的一种实践活动,无论实验内容如何,也无论采用哪一种实验方法,物理实验课的基本程序大都相同,学生应重视物理实验课的3个重要的环节。

(一) 实验前的预习

学生进入实验室前必须进行实验预习,预习时应仔细阅读实验教材。实验教材是进行实验的指导书,它对每个实验的目的与要求、实验原理都作了明确的阐述。为了在规定的时间内高质量地完成实验,每次实验前都要认真阅读实验教材,做好预习。预习内容主要包括以下几项:

① 弄清实验原理。教材中每个实验都用一定篇幅介绍了该实验的原理。学生必须认真阅读,必要时还应查阅理论物理教材或其他参考书,充分了解实验的理论依据和条件。

② 熟悉实验仪器。每一实验均列出了该实验所用的仪器或用具,其中对一些较为常见的基本仪器集中做了介绍,学生应根据本实验的需要认真查阅。

③ 了解实验步骤。明确本次实验测什么、怎么测、测几次,哪些物理量是已知的(或由实验室给出的),哪些量是待测的,哪些量是待求的,做到心中有数、有的放矢。

在完成上述预习要求的基础上,写出预习报告,预习报告内容包括实验名称、实验目的、实验仪器、实验原理和实验内容几部分。书写预习报告时必须注意:

① 预习报告一律写在统一印制的实验报告纸上。

② 要求文理通顺、字迹工整、图表美观。

③ 实验原理部分要求在理解的基础上用自己的语言简述有关物理内容(不能照抄教材),并列测量和计算所依据的公式,明确公式中各量的物理意义及公式的适用条件。

④ 根据实验数据特点设计表格,力求简单明了。

只有在充分了解实验内容的基础上,才能在实验操作中从容地观察现象,思考问题,减少操作中的忙乱现象,提高学生学习的主动性。所以每次实验前,学生必须完成规定的预习内容,教师要检查学生的预习情况,并评定预习成绩。没有预习的学生不许做实验。

(二) 课堂实验

学生进入实验室后应自觉遵守实验室规章制度;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,爱护仪器,稳拿妥放,防止仪器损坏。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。

实验记录是计算结果和分析问题的依据,在实际工作中则是宝贵的资料。做好实验记录是科学实验的一项基本功。在观察、测量时,要做到正确读数,实事求是地记录客观现象和数据。要把实验数据细心地记录在预习报告的数据表格内。写明实验日期、同组人,必要时还应注明天气、大气压、温度等环境条件。要记下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者其标记,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。记录时要用钢笔或圆珠笔,不要用铅笔。如确系记错了,也不要涂改,应轻轻画上一道,在旁边写上正确值,使正误数据都能清晰可辨,以供在分析测量结果和误差时参考。切勿先将数据记在草稿纸上,然后再填写在表格内,这是一种不科学的习惯,更不可为凑数据而将实验记录随心所欲地涂改。

误差与数据处理知识是物理实验的特殊语言。实验做得好与差,两种方法测量同一物理量的结果是否一致,这不能凭感觉,而必须用实验数据和实验误差来下断言。

实验结束,要把测得的数据交给指导教师检验,经指导教师确认签字后方可离开实验室;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。未经重新测试,不允许擅自修改实验数据。离开实验室前要整理好使用过的仪器,做好清洁工作。

总之,在课堂实验中希望同学们不要只会按照教材的实验步骤被动地去做,而要在弄懂原理的基础上自己思考着去做;不应片面追求快速完成数据测量,而应注重分析实验现象和所遇到的问题;应独立自主地完成实验而不是依赖他人完成实

验,否则,将收效甚微。

(三) 完成实验报告

完成实验报告的目的是为了培养和训练学生用书面形式总结工作或报告科研成果的能力。实验报告是实验成果的文字报道,所以最起码应该做到字迹清楚,文理通顺,图表正确,数据完备和结论明确。实验报告应写在专用的实验报告纸上。

实验报告内容包括:

① 实验名称,实验者姓名,实验室名称,实验日期。

② 实验目的。

③ 实验原理。用自己的语言对实验所依据的理论做简要叙述,不要照抄书本;附必要的公式和原理图(包括电路图或光路图)。

④ 实验步骤。概括地条理分明地说明实验所进行的主要程序,观察了哪些物理现象,测量了哪些物理量,并说明这些观测中所采用的方法。

⑤ 数据记录与处理。将原始记录数据转记于报告上(原始记录也应附在报告上,以便教师检查),该列表的要列表,该作图的要作图。计算按照有效数字的运算法则进行,并求出结果的不确定度,正确运用不确定度表示实验结果。

⑥ 结果及讨论。该部分要明确给出实验结果,并对结果进行讨论(如实验中观察到的现象分析、误差来源分析、实验中存在的问题讨论、回答实验思考题等);也可对实验本身的设计思想、实验仪器的改进等提出建设性意见。

总之,物理实验课有着自己的特点和规律,要学好这门课不是一件容易的事情。希望同学们在学习过程中不断提高对它的兴趣,打好基础,注意培养自己,早日成为优秀科学技术人才。

四、学生实验制度

参加物理实验的学生应遵守下列制度:

① 凡参加物理实验的学生,实验前必须认真预习,写出预习报告,经教师检查同意后方可进行实验。

② 遵守课堂纪律,保持安静的实验环境。室内严禁吸烟、吐痰和大声喧哗。上课时不准迟到,不准无故缺课。无正当理由迟到 10 min 者,教师有权取消其本次实验资格;无故缺席者本次实验记零分。

③ 必须严格按照实验要求和仪器操作规程,积极认真地进行实验,并做好相关实验记录。使用电源时,务必经教师检查线路后才能接通电源。

④ 爱护仪器。进入实验室不能擅自搬弄仪器,实验中严格按仪器说明书操作,不得随意从他组乱拉仪器,不准擅自拆卸仪器;仪器发生故障应立即报告,不得

自行处理;如有损坏,照章赔偿。公用工具用完后应立即归还原处。

⑤ 做完实验,学生应将仪器整理还原,将桌面和凳子收拾整齐,经教师审查测量数据和仪器还原情况并签字后,方能离开实验室。

⑥ 实验报告应在实验后 1 周内交实验室。

第二章 测量误差和不确定度的基础知识

物理实验离不开物理量的测量。由于测量仪器、测量方法、测量条件、测量人员等因素的限制,对一物理量的测量不可能是无限精确的,即测量中的误差是不可避免的。没有测量误差的基本知识,就不可能获得正确的测量值;不会计算测量结果的不确定度就不能正确表达和评价测量结果。测量误差、不确定度的基本知识在整个实验中占有非常重要的地位。本章从实验教学的角度出发,主要介绍误差和不确定度的基本概念、测量结果不确定度的计算和实验结果表达等方面的基本知识。这些知识不仅在每个物理实验中要用到,而且,对于今后从事科学实验也是必须了解和掌握的。由于这部分内容涉及面较广,深入的讨论需要有丰富的实践经验和较多的数学知识,因此不能指望通过一两次学习就能完全掌握。

我们要求实验者首先对提到的问题有一初步的了解,以后结合每一个具体实验再仔细阅读有关内容,通过实际运用逐步加以掌握。

误差分析、不确定度计算以及数据处理贯穿于实验的全过程,它表现在实验前的实验设计与论证,实验进行过程中的控制与监视,实验结束后的数据处理和结果分析。通过本章的学习和今后各个实验中的运用,要求达到:

① 建立误差和不确定度的概念,正确估算不确定度,懂得如何正确完整地表示实验测量结果。

② 掌握有效数字的概念及运算规则,了解有效数字与不确定度的关系。

第一节 测量误差的基本知识

一、测量与误差

物理实验是找出各个物理量之间的关系,确定它们的数值大小,从中获得规律性的认识,或验证理论,或发现规律,或作为实际应用的依据。要得到这种量化的认识,就必须进行测量。为确定被测对象的测量值,首先必须选定一个单位,然后用这个单位与被测对象进行比较,求出它对该单位的比值,这个比值即为数值。显然,数值的大小与所选用的单位有关。因此,表示一个被测对象的测量值时必须包括数值和单位。

(一) 直接测量和间接测量

可以用测量仪器或仪表直接读出测量值的测量称为直接测量,相应的物理量称为直接测量量。例如用米尺测长度,用天平称质量,用电表测电流和电压等都是直接测量。

在实际测量中,许多物理量没有直接测量的仪器,往往需要根据某些原理得出函数关系式,由直接测量量通过数学运算才能获得测量结果。这种测量称为间接测量,相应的物理量称为间接测量量。例如用单摆测某地重力加速度 g ,先直接测得摆长 L 和单摆周期 T ,然后由公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 算出重力加速度,因此, g 为间接测量量。

(二) 等精度测量和不等精度测量

如对某一物理量进行多次重复测量,而且每次测量的条件都相同(同一测量者,同一组仪器,同一种实验方法,温度和湿度等环境也相同),那么我们就没有任何依据可以判断某一次测量一定比另一次更准确,所以每次测量的精度只能认为是具有同等级别的。我们把这样进行的重复测量称为等精度测量。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,就称为不等精度测量。一般在进行多次重复测量时,要尽量保持等精度测量。

(三) 测量误差

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、不以人的意志为转移的客观量值,称为真值。在测量过程中,我们总希望准确地测得待测量的真值。但是,任何测量总是依据一定的理论和方法,使用一定的仪器,在一定的环境中,由一定的人员进行的。由于实验理论的近似性,实验仪器的灵敏度和分辨能力的局限性,实验环境的不稳定性和人的实验技能与判断能力的影响等,使测量值与待测量的真值之间总存在着差异。我们把这种差异称为测量误差。若某物理量的测量值为 N_i ,真值为 N_0 ,则测量误差定义为

$$\Delta N_i = N_i - N_0 \quad (1)$$

上式所定义的测量误差反映了测量值偏离真值的大小和方向,因此又称 ΔN_i 为绝对误差。一般来说,真值仅是一个理想的概念,只有通过完善的测量才能获得。但是,严格的完善测量难以做到,故真值就不能确定。实际测量中,一般只能根据测量值确定测量的最佳值。通常取多次重复测量的平均值作为最佳值。

绝对误差可以表示某一测量结果的优劣,但在比较不同测量结果时则不适用,需要用相对误差表示。例如,测量 10 m 长相差 1 mm 与测量 1 m 长相差 1 mm,两者绝对误差相同,而相对误差不同。相对误差定义为

$$\text{相对误差} = \frac{\text{绝对误差}}{\text{测量最佳值}} \times 100\% \quad (2)$$

有时被测量有公认值或理论值,还可用“百分误差”来表征:

$$\text{百分误差} = \frac{\text{测量最佳值} - \text{理论值}}{\text{理论值}} \times 100\% \quad (3)$$

误差存在于一切科学实验和测量过程的始终。在实验的设计、仪器本身的精度、环境条件以及实验数据处理中都可能存在误差,因此分析测量中可能产生的各种误差,尽可能消除其影响,并对最后结果中未能消除的误差做出估计,是物理实验和许多科学实验中不可缺少的工作。为此,必须进一步研究误差的性质和来源。

二、测量的精密度、准确度和精确度

精密度、准确度和精确度都是评价测量结果的量,它们之间既有联系,又有区别。

精密度是衡量多次测量数值之间互相接近程度的量,由偶然误差大小决定,与系统误差无关。测量精密度高是指多次重复测量结果比较集中一致,测量的偶然误差小,系统误差可能较大。

准确度是衡量所测数值与真值接近程度的量。测量的准确度高是指多次测量的平均值偏离真值较小,系统误差也一定小,偶然误差可能不小。

精确度是指所测数值的精密度与准确度的综合情况的量。测量的精确度高是指测量数值既比较集中一致,又在真值附近,即测量的系统误差和偶然误差都比较小。

我们以打靶为例说明上述 3 个概念的意义。如图 2-1 所示,左图精密度较高,但准确度不高;中间的图表示精密度较低,但平均的结果可能很接近靶心(在物理量的测量上是指平均值很接近真值),准确度可能很高;右图则表示精密度和准确度都很高,即精确度高。另外,精确度常说成精度,但精度的意思较多。一般对实验结果来说,精度多指相对误差的数量级,如 $E = 1.0\%$,则可称精度为 10^{-2} ;对仪器来说,精度多指仪器的最小分度值。

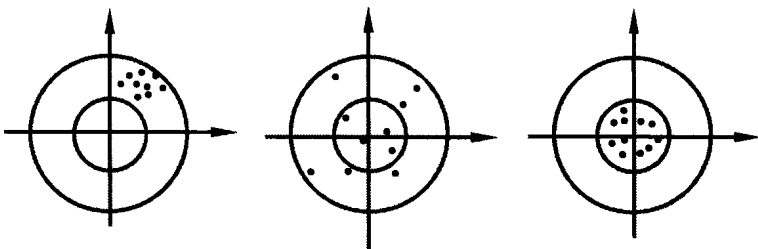


图 2-1 测量的精密度、准确度和精确度

直接测量结果的误差是系统误差和偶然误差的总和。它的估算值称为不确定度。精确度高表示测量比较集中在真值附近,即测量的系统误差和偶然误差都比较小。因此,误差分析的主要任务是限制和消除系统误差,估算偶然误差,提高测量的精确度。

三、误差的分类

误差按其性质和产生原因可分为系统误差、偶然误差和过失误差3类。

(一) 系统误差

在一定条件下,对同一物理量进行多次重复测量时,误差的大小和符号均保持不变;而当条件改变时,误差按某种确定的规律变化(如递增、递减、周期性变化等),则这类误差称为系统误差。

1. 系统误差的来源

(1) 仪器的结构和标准不完善或使用不当引起的误差

天平不等臂、分光计读数装置的偏心差、电表的示值与实际值不符等,在使用时可采用适当测量方法加以消除。仪器设备安装调整不妥,不满足规定的使用状态,如不水平、不垂直、偏心、零点不准等使用不当的情况应尽量避免。

(2) 理论或方法误差

理论和方法误差是由测量所依据的理论公式近似或实验条件达不到理论公式所规定的要求等引起的。如单摆测重力加速度时所用公式的近似性;伏安法测电阻时,不考虑电表内阻的影响等。

(3) 环境误差

环境误差是由于外部环境如温度、湿度、光照等与仪器要求的环境条件不一致而引起的误差。

(4) 个人误差

实验人员的生理或心理特点所造成的误差,如用停表计时时,总是超前或滞后;对仪表读数时总是偏一方斜视等。

2. 系统误差的分类

系统误差按对其掌握程度可分为已定系统误差和未定系统误差。

(1) 已定系统误差

已定系统误差是指在一定的条件下,采用一定的方法,对误差取值的变化规律及其大小和符号都能确切掌握的系统误差。已定系统误差一经发现,在测量结果中可以修正,如千分尺的零点修正。

(2)未定系统误差

未定系统误差指不能确切掌握误差取值的变化规律及其大小和符号,而仅知最大误差范围(或极限误差)的系统误差。例如仪表的基本允许误差主要属于未定系统误差。

3. 系统误差的特点

系统误差的出现是有规律的,可能全部测量值都大于真值,也可能都小于真值。因此,增加测量次数并不能减小系统误差。系统误差产生的原因往往可知或能掌握,一经查明就应设法消除其影响。对未能消除的系统误差,若它的符号和大小是确定的,则可对测量值加以修正;若它的符号和大小都是不确定的,则可设法减小其影响并估计出误差范围。

4. 系统误差的处理

在许多情况下,系统误差常常不明显地表现出来,然而它却是影响测量结果精确度的主要因素,有些系统误差会给实验结果带来严重影响。因此,发现系统误差,设法修正、减小或消除它的影响,是误差分析的一个很重要的内容。由于系统误差的处理涉及较深的知识,这里只做简要介绍。

(1)数据分析法

当随机误差比较小时,将待测量的绝对误差按测量次序排列,观察其变化。若绝对误差不是随机变化而呈规律性变化,如线性增大或减小、周期性变化等,则测量中一定存在系统误差。

(2)理论分析法

分析实验依据的理论公式所要求的条件在实验测量过程中是否得到满足。分析仪器要求的使用条件是否得到满足。实验不满足仪器的使用条件时也会产生系统误差。

(3)对比法

这种方法适合固定的系统误差。

① 实验方法对比。用不同方法测量同一物理量,在随机误差允许的范围内观察结果是否一致。如不一致,则其中某种方法存在系统误差。

② 仪器对比。例如用两个电表接入同一电路,对比两个表的读数,如果其中一个为标准表,就可得出另一个表的修正值。

③ 改变测量条件进行对比。例如电流正向与电流反向读数;在增加砝码过程与减少砝码过程中读数,观察结果是否一致。

5. 系统误差的消除与修正

任何实验仪器、理论模型、实验条件,都不可能理想到不产生系统误差的程度。对于系统误差,一是进行修正,二是消除其影响。