



“十三五”普通高等教育规划教材

大学物理实验



DAXUEWULI SHIYAN

主 编 曹显莹 曲 阳



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



“十三五”普通高等教育规划教材

大学物理实验

主 编 曹显莹 曲 阳

副主编 孙纪勃 马英宸 郭春来

北京邮电大学出版社

· 北京 ·

内 容 提 要

本书根据教育部颁发的《非物理类理工学科大学物理实验课程教学基本要求》，吸收了各高校物理实验的成果和经验，再结合教学的实际情况编写而成。

本书共分7章。绪论部分主要介绍物理实验的地位和作用。第1章主要介绍物理实验中的测量误差、测量的不确定度的评价和数据处理的常用方法。第2~5章分别从力学、热学、电磁学、光学等方面选编了一些相关的典型实验，侧重实验的基本知识、基本方法、基本技能的训练。第6章为综合性实验，侧重于学生综合能力的提高。第7章为设计和研究性实验，侧重于对学生的创新思维能力的提高。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/曹显莹,曲阳主编.——北京:北京邮电大学出版社,2018.1

ISBN 978-7-5635-5299-3

I. ①大… II. ①曹… ②曲… 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(2017)第251907号

-
- | | |
|------|--|
| 书 名 | 大学物理实验 |
| 主 编 | 曹显莹 曲 阳 |
| 责任编辑 | 刘国辉 |
| 出版发行 | 北京邮电大学出版社 |
| 社 址 | 北京市海淀区西土城路10号(100876) |
| 电话传真 | 010-82333010 62282185(发行部) 010-82333009 62283578(传真) |
| 网 址 | www3.buptpress.com |
| 电子信箱 | ctrd@buptpress.com |
| 经 销 | 各地新华书店 |
| 印 刷 | 北京泽宇印刷有限公司 |
| 开 本 | 787 mm×1 092 mm 1/16 |
| 印 张 | 14 |
| 字 数 | 347千字 |
| 版 次 | 2018年1月第1版 2018年1月第1次印刷 |
-

ISBN 978-7-5635-5299-3

定价:32.00元

如有质量问题请与发行部联系

版权所有 侵权必究

前 言

本书是按照教育部颁发的《非物理类理工科大学物理实验课程教学基本要求》，吸收了各高校物理实验的成果和经验，再结合本校物理实验室仪器设备的实际情况编写而成。

本书的特色之一在于求新：新的物理实验理念，新型的物理实验设备，新的物理实验方法，体现了进入 21 世纪带来的新时代气息。另一个特色是力求严谨：实验步骤的严谨，实验数据处理的科学严谨，使工院校的学生在完成全部物理实验后，培养出一种严谨的工作态度，严谨的科学的解决问题的能力。

本书在编写过程中力求做到：实验目的明了、突出，实验要求明确，实验原理叙述清楚，实验内容和步骤详尽，方便学生学习和教师授课。

本书在体系结构上，充分考虑了与现行的工院校大学物理教材相匹配，遵循循序渐进的原则，按照力、热、电、光的顺序进行编排；在内容安排上，加强对基础知识的解读，使学生在充分理解物理知识的基础上，掌握实验方法，提高实验能力。

本书共分为 45 实验。绪论部分主要明确了物理实验的地位和作用。第 1 章主要阐述物理实验中的测量误差、测量的不确定度的评价和数据处理的常用方法。第 2~5 章分别从力学、热学、电磁学、光学等方面选编了一些相关的典型实验，进行实验知识和技能的学习，侧重于实验基本知识、基本方法、基本技能的训练。第 6 章为综合性实验，目的是培养学生实验方法的综合运用，侧重于学生综合能力的提高。第 7 章为设计和研究性实验，目的是培养学生的创新思维，提高学生的创造能力。在实验内容的安排上，可以根据不同专业对学生能力培养的需要进行合理的选配。

本书由曹显莹负责制定编写方案、全书统稿及对各章内容进行修改。曲阳编写第 5 章、第 6 章的部分章节及第 2 章的部分章节；孙纪勃编写 3.1、6.1、6.2、6.3、4.1、4.9 节；马英宸编写 2.1、2.2、2.3、4.8 节；郭春来编写 4.2、4.4、4.6、4.7 节。孙纪勃、马英宸、郭春来对本书进行了审阅，曲阳在资料整理、文字录入方面做了大量的工作，本书由张天春教授担任主审。

本书在编写过程中，参考了国内大量的文献资料，并在书后逐一标注。在此表示感谢！同时，向所有对本书做出贡献的同仁，致以深切的谢意。

限于编者的学术水平，书中难免存在错误和不妥之处，望各位读者在使用过程中多提宝贵意见，我们将会在今后的再版中加以纠正，使我们的教材不断完善。

编 者
2017 年 6 月

目 录

绪 论	1
第 1 章 测量误差、不确定度及数据处理的基础知识	6
第 2 章 力学实验	30
实验 2.1 长度测量	30
实验 2.2 声速的测量	37
实验 2.3 拉伸法测量金属丝的杨氏弹性模量	45
实验 2.4 扭摆法测量刚体转动惯量	49
实验 2.5 落球法测量液体的黏滞系数	57
第 3 章 热学实验	62
实验 3.1 导热系数的测定	62
实验 3.2 热电偶定标	67
实验 3.3 空气比热容比的测定	72
第 4 章 电磁学实验	78
实验 4.1 光敏传感器特性	78
实验 4.2 电位差计测电势	89
实验 4.3 电致伸缩实验	93
实验 4.4 双臂电桥测量低值电阻	99
实验 4.5 测绘线性电阻和非线性电阻的伏安特性曲线	104
实验 4.6 惠斯通电桥	109
实验 4.7 静电场的描绘	113
实验 4.8 RLC 电路特性	119
实验 4.9 硅光电池基本特性的研究	126
第 5 章 光学实验	132
实验 5.1 迈克耳孙干涉仪的调节和使用	132
实验 5.2 分光计的调整与使用	139
实验 5.3 用旋光仪测量旋光性溶液的浓度	148
实验 5.4 衍射光栅特性与光波波长的测量	152
实验 5.5 薄透镜焦距的测定	158
实验 5.6 光学基本实验: 组装显微镜、望远镜、幻灯机放大倍数测量	165
实验 5.7 用双棱镜干涉测光波波长	171
实验 5.8 光的干涉	177

第 6 章 综合性实验	185
实验 6.1 用电磁感应法测交变磁场	185
实验 6.2 利用光电效应测普朗克常数	189
实验 6.3 用示波器测量铁磁材料的磁滞回线	195
实验 6.4 用霍尔效应法测量磁场	200
第 7 章 设计与研究性实验	206
实验 7.1 设计测量不良导体的导热系数	206
实验 7.2 电表内阻的测量设计	207
实验 7.3 电容 C 的测量设计	207
实验 7.4 设计用电势差计校准毫伏表、伏特表	208
实验 7.5 电表的改装与校准设计	210
实验 7.6 万用表组装设计	210
实验 7.7 设计用电流场模拟静电场	211
实验 7.8 设计用“霍尔开关”测量弹簧的劲度系数	212
实验 7.9 设计用“分光计”测定液体折射率	213
实验 7.10 P-N 结温度传感器测温设计	214
附录 物理学常用数表	216
附录 1 常用物理常量	216
附录 2 物理实验中常见的仪器 $\Delta_{\text{分度值}}$ 、仪器基本误差限值 Δ_{ms}	217
参考文献	218

一、大学物理实验的地位、作用、目的和任务

(一)大学物理实验的地位、作用

物理学是自然科学的基础。物理学的每一次重大突破,不仅带来了物理学新领域、新方向的发展,而且导致新的分支学科、交叉学科和新技术学科的产生,推动了化学、生物和医学等各学科向更深层次发展,物理学是这些学科成长和发展的基础和先导;物理学的思想方法和取得的成就,改变了人类对宇宙和自然的认识观和思维方式,彻底影响了人类社会。

物理学从本质上说是一门实验科学,物理概念的建立和物理规律的发现都以严格实验事实为基础,并且不断受到实验的检验,物理学在科学其他领域、各高新技术领域的广泛应用也离不开实验。在物理学发展和应用的过程中,人类积累了丰富的实验方法,设计制造出各种精密巧妙的仪器设备,从而使物理实验课程有了充实的实验内容,物理实验在培养学生严谨的科学思维和理论联系实际方面,在训练学生运用实验手段在观察、分析、发现乃至研究、解决问题的能力方面,在提高学生科学实验素质方面,都起着极其重要的作用。因此,物理实验是所有工科院校不可或缺的公共基础课程,是对学生进行科学实验的基本训练。物理实验课程覆盖面广,它包括了力学、热学、电磁学、声学、光学、近代物理学及现代物理技术实验,具有丰富的实验思想、方法和手段,同时提供了综合性很强的基本实验技能训练。

物理实验是用实验的方法去研究物理学的规律,物理实验课的一个显著特点是它的实践性,做实验的时候,要充分考虑到各种实际的情况,得出的结论要尽量符合实际,在上物理理论课时,大家学习过质点、刚体的概念;在分析物体的某些运动时,常常假设运动是没有摩擦的,这种经过抽象的、理论化了的模型,对于理论研究无疑是重要的,但是在做实验的时候,情况就会不同,因为找不到真正的质点、刚体和没有摩擦的运动。所以,实际情况与理想化的模型是不同的,做实验的时候,就要考虑到这些差别。

(二)工科物理实验的目的和任务

物理学的发展史告诉我们,一种科学理论的形成离不开科学思想的指导和科学方法的应用,正确的科学思想和科学方法是我们认识世界的基本手段,掌握了它就能使我们透过现象看

本质,从认识科学的必然王国跃进到应用科学的自由王国。科学方法是我们打开科学大门的钥匙,无论是自然科学还是社会科学,掌握了研究的科学方法,就有了在未来从事各项工作的“武器”,就能创新,就能发明创造,发挥聪明才智,成为一个有益于人类、造福于人类、贡献于科学的有用人才。

工科物理实验的任务是,使学生掌握研究各种不同自然现象的基本实验方法、各种基本测量仪器的使用方法、实验结果的科学处理方法和归纳总结实验结果以及撰写总结报告的基本要领;培养学生自学能力、思维判断能力、综合运用教材和资料的能力、理论联系实际的能力、科学实验能力、表达书写能力、创新和实验设计能力,从而提高学生的科学素养。

二、大学物理实验教学新体系和基本要求

(一)大学物理实验教学新体系

在本课程教学中,要紧紧把握信息时代大学物理实验教学的建设与发展规律,树立“以学生为本,传授知识、培养能力、提高素质、协调发展”的教学理念,以自主学习、综合实践、研究和创新能力培养为核心的实验教学新观念。始终坚持理论与实践相结合,坚持“创新发展”教学改革,不断完善教学内容、教学方法等,巩固提高教学质量、教学效果。

根据“多层次、模块化、组合式,且相互衔接”的原则,为强化自主学习实践、注重探索研究、创新能力训练,构建科学的物理实验教学内容新体系。将实验教学内容按科学合理、灵活的“层次化”进行设置,把“开放性、设计性”贯穿于“层次化”应用到教学的全过程。

以“夯实基础、激发兴趣、创新教育、培养能力”为目的,在基础性、提高性、综合性、应用性实验教学中,扎扎实实夯实基础,训练好基本功;在设计性、研究性教学层次中,着力激发学生兴趣,培养提高实际能力,综合素质、创新意识和创新能力。在各层次实验中,按照科学合理、灵活设置的原则,设置编写了一些设计性、研究性与创新性的实验课题,按照“设计性”实验教育的理念与方法,进行教学。学生也可以根据自己的知识储备、学习兴趣、时间、实验条件等实际情况,自选“课内题目”,或选择在实践中感兴趣的“课外题目”,进行自主设计、研究与创新的实践探索与训练。对于完成效果优秀的题目和学生,可鼓励或推荐参加校级及省级以上的设计与创新实践活动。

对于“开放式”网络选课与教学,可采用师生交流人工选课,网上“选课系统平台”自主选课,或二者相结合的办法,根据实际情况,在一定时间范围内,以教学计划推荐实验题目和内容为主,进行“开放式”网络选课与实践教学,选课内容分“必选实验题目”和“自选实验题目”两类,并要求两者在以基础性为主前提下,基础性、提高性、综合性、应用性、设计性、研究性等层次均占一定比例,学生可以通过“选课系统平台”,根据自己的兴趣和条件等自主选择实验项目、上课时间、任课教师等,体现以学生为本,开放教学的教育思想,有效扩大实验教学的信息量与覆盖面,着力拓展学生的视野和知识面;同时,留给大学生充分的想象空间,为大学生搭建一个亲自动手进行自主学习、自主实验、创新实践训练的平台。

(二)大学物理实验教学内容与基本要求

(1)根据教学大纲和内容,比较系统的分层次学习“力学、热学、光学、电学、电磁学”等,在各层次教学中,注重进行“综合性、应用性和设计性”的实验设置与实际训练。

(2)学习掌握基本物理规律、实验原理(含实验原理论述、原理图示、理论公式推导等)。

(3)学习了解常用的实验仪器原理、性能、组成结构,了解正确选择仪器的原则方法,掌握其使用方法。

(4)学习掌握一般物理实验的方法、实验技术。

(5)学习掌握一般物理量的测量方法,正确测量、实事求是地完整记录实验数据。

(6)学习掌握实验数据及误差处理方法(例如,列表法、作图法、算法、不确定度评定方法等),能够正确表述结果、结果分析和讨论。

(7)通过实验全过程,逐步学会观测、研究、分析物理现象,总结物理规律;逐步加深对某些重要物理现象和规律的认识和理解。

(8)养成良好的科学实验习惯,树立严谨的科学作风、实事求是的科学态度,良好的道德修养。特别是:严肃认真、规范对待实验数据,严格杜绝抄袭、剽窃、弄虚作假,摒弃一切不良行为。

(9)能根据实验要求,撰写出规范、合格的实验报告、设计报告或实验课题小论文。

本课程宗旨在于培养学生的综合素质,提高综合能力,包括:科学实验素质,实事求是的工作态度 and 作风,团队协作、进取的创新精神,实际动手能力、提高问题能力、分析判断能力、独立思考能力、解决问题能力、革新创造能力、归纳总结能力、口头表达能力等。

三、大学物理实验教学的主要环节与基本规则

(一)实验教学的主要环节与基本规则

1. 实验课前预习

课前认真阅读教材中的有关内容,在理解本次实验的目的、原理的基础上,弄清楚要观察哪些现象,测量哪些物理量,要明确哪些物理量是间接测量量,哪些是直接测量量,用什么方法和仪器来测定,在此基础上写出预习报告。预习报告包括:画出实验原理图,列出实验所依据的理论公式,画出数据记录表格。

2. 实验操作

在实验课上,要“动手之前先动脑”。必须知道自己要做什么,为什么要这么做。实验课重在实验的过程,在这个过程中,培养学生主动思考,提高分析和解决实际问题的能力。

实验操作时进行物理实验的最重要内容和步骤,主要包括如下六个步骤。

1) 实验准备

签到、检查阅读仪器资料,了解仪器结构、使用方法等。

(1)首先,进入实验室后,按照实验室规定要求,按学号和仪器号“对号入座”。签到并填写

有关进行实验日志的记录,例如,“仪器使用及维护情况记录”等。

(2)严格遵守教师布置,认真听取教师讲解实验,对照实验设备说明,进一步熟悉实验目的、实验内容,做好相互协作与配合的准备。

2)调整仪器

(1)学生进入实验室入座后,要亲自检查,确认实验仪器原始状态是否完好,如有损坏及时报告教师。

(2)学生在实验室规定的条件下,严格按照规定(实验步骤、安装、连接线路、调试仪器)进行,使仪器达到正常使用状态。

(3)经教师检查确认仪器使用正常无误后,学生才能按照实验目的要求,实验原理、方法、内容及步骤,亲自动手动脑,逐步逐项进行实验操作,观察实验现象,测量实验数据。

3)正式观测

要严格按照步骤观测,亲自获取并记录测量数据等。

(1)原则是:先定性后定量,先观察、试测,再进行正式测量。

(2)原始数据:实验过程中,根据实验现象,用测量仪器时记录的实验测量数据,称为原始数据。务必亲自正确观察物理现象,正确测试,读取数据后,正确记录在事先准备好的原始数据表格中,并经教师审阅签字。

4)仪器复原

(1)完成实验后,学生务必各自将所有仪器设备的桌椅整理、复原。如关闭电源、拆卸线路、装箱、整理,恢复原始状态。

(2)将实验日志记录签字后,由教师检查仪器设备无误,经教师签字许可后,方可离开实验室,不可无故早退。

5)实验报告

(1)撰写实验报告的目的。

(2)科学地总结实验工作,通过对实验课题,内容、方法的科学表述,阐明实验的结论,是将来撰写科技文章的基本训练。

(3)按该实验的具体要求认真处理数据,在此过程中,要按照有效数字的运算规则计算数据,用“不确定度”正确表示实验结果。在表示实验结果时,要写清楚所得物理量的单位。如需要作图表示实验结果时,要写清楚坐标轴名称、坐标轴的分度和单位。实验报告要字迹工整,具有可读性,逻辑性要强,实验结果分析要切合实际。

6)实验报告的基本内容

(1)实验名称。

(2)实验者姓名、学号,实验台号,实验日期。

(3)实验目的。

(4)实验原理:应简明扼要、文理通顺,应包括必要的计算公式、原理图、电路图、光路图和公式中各物理量的有关文字说明等。

(5)实验仪器:列出实验所用仪器。

(6)实验数据记录:把所记录的原始数据全记下来,并尽可能列出表格。

(7)总结:包括实验结论,影响实验结果的主要因素分析;减小误差应采取的措施;对实验中观察到的现象的解释;改进实验的建议和心得体会;讨论问题;本实验的应用。

3. 实验规则

(1)在整个实验过程中要树立“安全第一”的观念。

(2)课前应做好预习,携带必要的文具、预习报告进入实验室。

(3)实验时如缺少仪器、用具、材料等,应向指导教师提出,不得擅自调换。

(4)爱护仪器设备,如有损坏、丢失,应立即报告教师,由于违反操作规程而损坏仪器者,应按规定赔偿,并提交仪器损坏记录。

(5)凡使用电源的实验,必须经过教师检查线路并同意后,方可接通电源。

(6)做完实验,测量数据要交教师检查并签字,离开实验室前,应将仪器整理还原,桌面收拾整洁,凳子摆放整齐,保持实验室卫生。

(7)实验报告连同教师签字的原始数据,应在做实验后规定的时间内一起交给任课教师。

(8)完成规定的实验数目并按时递交实验报告者,方可计算期末成绩。

测量误差、不确定度及数据处理的基础知识

本章从实验教学的角度出发,主要介绍测量误差和不确定度的基本概念,测量不确定度的估算、实验数据处理等方面的基础知识。这些知识不仅在每个物理实验中都要用到,而且对今后从事科学实验也是必须要了解和掌握的。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完全掌握。我们要求实验者首先对提到的问题有初步的了解,以后结合具体实验在仔细阅读有关内容,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,要求达到以下规定。

(1)建立测量误差和不确定度的概念,正确估算不确定度,懂得如何正确、完整地表示测量结果。

(2)了解系统误差对测量结果的影响,学习发现某些系统误差、减小系统误差及削弱其影响的方法。

(3)了解有效数字与不确定度的关系,掌握有效数字的运算规则。

(4)掌握列表法、作图法、逐差法和回归法等数据处理方法。

1.1 测量与误差的基本知识

1.1.1 测量的概念及分类

1. 测量

测量是将预定的标准与未知量进行定量比较的过程,为了使结果具有一定意义,在测量的过程中必须满足如下两个条件:①预定的标准必须是已知精确的量,并为人们所公认;②用进行这种定量比较的仪器设备和程序必须能被证明是正确的。

进行测量时,观察者对确定的测量对象,必须利用适当的测量装置、仪器或设备,并运用正

确的测量方法,一切测量必定是在以室内因素为特点的,可能对测量值产生影响的一定测量条件下进行,我们把观察者、观测对象、测量仪器、测量方法及测量条件统称为测量要素。

1) 直接测量与间接测量

物理量的测量有两种基本类型:直接测量和间接测量。按获得测量结果的方式不同,测量可分为直接测量和间接测量。直接测量是指把待测量与作为标准的物理量直接进行比较得出结果。例如,用米尺测量物体的长度、用天平测量物体的质量、用安培表测量电流强度等都是直接测量。在实际中还有许多物理量无法由测量仪器直接测出,此时通常是根据其直接与待测量之间的函数关系计算得出,这样的测量成为间接测量。例如,测量物体的密度,实际上是测量出物体的质量和体积,然后根据式 $\rho=V/m$ 算出物体的密度,这个对密度的测量就是间接测量。

2) 等精度测量和非等精度测量

按测量的方法和条件不同,测量可分为等精度测量和非等精度测量。等精度测量是指在相同的条件下对同一物理量进行的多次测量。例如,由同一人,操作同一仪器,使用同一种测量方法对同一物理量进行多次重复测量,即每次测量的可靠程度是相同的。这就是等精度测量。反之,对同一物理量进行多次测量时,若改变测量条件,如所用仪器不同、测量方法不同等,这样的测量是非等精度测量。

1.1.2 误差的定义与分类

本课程主要讨论等精度测量,如无特殊说明,多次测量均指等精度测量。

1. 误差的定义

由于实验条件、方法等测量条件有限,任何测量都不可能绝对精确,即测量结果与被测量真值之间总存在着偏差,这就是**测量误差**。

2. 误差与真值

真值是待测量的真实大小,是待测量客观存在的量值,它是一个理想的概念,从测量角度讲,任何一个待测物理量,在一定条件下,都有一个确定的真值是客观存在的。

由于实验仪器、条件、方法、人的观察能力等因素的存在,真值是不可能确切得到的,仅仅是待测量的近似值。也就是说测量结果与真值之间有一定差异,即**误差**。

在实际实验中,真值常用约定真值来代替,约定真值是指为了给定目的,可以替代真值的量值,通常用已修正过的算术平均值,满足规定准确度量值,计量标准器所复现的标准量值,公认值(物理常数)、理论值作为约定真值。

测量误差与被测量的(约定)真值之比称为**相对误差**。若以 x_0 表示真值, x 表示测量值, Δx 表示误差,则有

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1.1)$$

误差与真值之比的百分数称作**相对误差**,用 E 表示

$$E = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\% \approx \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1.2)$$

误差 Δx 反映测量值偏离真值的程度,是一个可正可负有量纲的代数值,其值大小与所取

单位有关,能反映误差的大小与方向,但不能确切地反映出测量工作的精准程度。相对误差 $E(x)$,是一个无量纲的量,通常用百分数表示,其值大小与测量所取的单位无关;能反映误差的大小与方向。

由于误差不可避免,真值无法得到,所以误差的概念只有理论上的价值。

3. 偏差与最佳值(算术平均值)

在实际实验测量中,为了减少误差,常常对某一物理量 x 进行 n 次等精度测量,得到一系列测量值 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_i, \dots, x_n$, 则测量结果的算术平均值 \bar{x} 为

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_i + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.3)$$

算术平均值 \bar{x} 并非真值 μ , 但它比任何一次单次测量值的可靠性都高,通常把算术平均值 \bar{x} 作为最佳值,称为近真值。把测量值 x_i 与算术平均值 \bar{x} 之差,称为偏差 ν_i 或残差,即

$$\nu_i = x_i - \bar{x} \quad (1.4)$$

这里的 Δx 无法准确写出,但要求不高时,可用 ν_i 代替。

虽然误差在测量中不可避免,并贯穿于一切测量中,但应努力减少引起误差的各种影响因素,测量出在给定条件下待测量的最佳值,为此就必须进一步研究误差的种类、性质和来源。

4. 误差及其分类

根据误差的性质和产生的原因,误差一般分为系统误差、随机误差和粗大误差。

1) 系统误差

系统误差是指在一定条件下对同一被测量的多次测量中,误差保持恒定或按一定的规律变化。

系统误差的来源有以下几种。

(1) 仪器误差:由于仪器本身的灵敏度、分辨能力的限制或是没有按规定的条件使用仪器而造成的误差。如天平的零点不准,电表刻度不均匀。

(2) 附加误差:由实际环境条件的改变与规定不一致引起的误差。例如,温度、湿度、压强,环境等变化。

(3) 理论误差:由理论公式或测量方法的近似性而造成的误差,如伏安法测电阻没有考虑电表的内阻。(测量方法的近似性是指测量条件不符合理论公式所规定的要求。)

(4) 人员误差:由测量人员的主观因素、操作技术等引起的。例如,生理或心理习惯与偏向,左右手(眼)习惯不同,远近、色彩视力差异等,致使读数偏大或偏小等造成的误差。

系统误差的分类有以下几种。

按系统误差的规律及产生的原因、掌握的程度,可分为已定系统误差和未定系统误差,按数值特征分类,可以分为定值系统误差和变值系统误差(线性变化的、周期性变化的、复杂规律变化的系统误差等)。

(1) 已定系统误差:指绝对值和符号已经确定并已知其值或计算规律的系统误差分量,它可以并必须采取措施予以消除或修正,在实验中一般可以通过修正测量数据、或采用适当的测量方法(例如,交换法、补偿法、替换法、异号法等)予以消除或修正。例如,电表、千分尺的零点误差;电流表内接、外接时,由于忽略表内阻引起的误差。

(2) 未定系统误差:指绝对值和符号尚未确定的系统误差。它一般难于消除或修正。在实

验中常用估计误差限的方法,只能估计其取值分布范围。例如,千分尺(螺旋测微计)制造时的螺纹公差等。

(3)定值系统误差:是指在整个测量过程中,误差的符号和大小都有固定不变的系统误差。

例如,某尺子的公称尺寸为100 mm,实际尺寸为100.001 mm,误差为 -0.001 mm,若按公称尺子使用,始终会存在 -0.001 mm的系统误差。

(4)变值系统误差:是指在整个测量过程中,误差值随某些因素作线性变化、周期性变化或按确定的且复杂规律变化的系统误差。

2) 随机误差

随机误差是指即使在测量过程中已经减小或消除了系统误差,但在同一测量条件下对某一物理量进行多次测量时,也总是存在差异,误差时大时小,时正时负。

随机误差来源:测量过程中各种随机的或不确定的因素。例如,测量时外界温度、湿度的微小起伏,空间散杂的电磁场,不规则的机械振动和电压的随机波动等,使实验过程中的物理现象和仪器性能时刻发生随机变化,加上人们感官灵敏性的限制,致使每次测量都存在偶然性。

注意:随机误差服从统计规律,可采取多次测量取平均值的方法减少其影响,但不能消除。

系统误差和随机误差,二者在一定条件下可以相互转化。对一些未能掌握的系统误差,可设法使它随机化。反之,随着测量水平的提高,人们对随机变动因素的认识和控制能力的提高,可使随机误差变成系统误差。

3) 粗大误差

由测量者的失误引起测量结果产生明显歪曲、数值比较大的误差称为粗大误差。这是一种人为的测量错误,严格地说它不属于测量误差,测量者应采取严肃认真的态度,尽量避免,一旦发生,在处理数据过程中应依照判据加以剔除。

1.1.3 精密度、正确度和准确度

在实验中对同一物理量进行多次等精度测量时,其结果并不完全一样。如何对测量结果的好坏进行评价呢?这时要用到精密度、正确度和准确度这三个概念。

1. 精密度

精密度反映测量结果密集的程度。测量结果彼此之间比较接近的,其测量的精密度较高。它反映随机误差的大小,与系统误差无关。

2. 正确度

正确度反映测量值接近客观实际的程度,测量结果越接近客观实际,测量的正确度越高。它反映了系统误差的大小,与随机误差无关。当多次测量的平均值与真值偏离小,即系统误差小,则正确度较高。

3. 准确度

准确度综合地反映测量的系统误差和随机误差的大小,准确度高表示测量既精密又正确,即系统误差和随机误差都较小。

利用如图1.1所示的靶向图,可以形象地表明这三个定义的意义。如图所示,图1.1(a)

表示精密度高、正确度低,图 1.1(b)表示正确度高、精密度低,图 1.1(c)表示精密度和正确度均高。

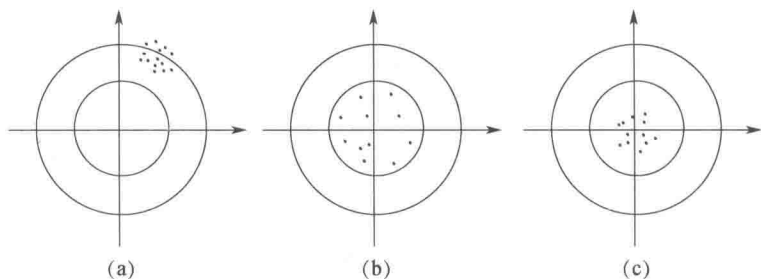


图 1.1 精密度、正确度、准确度靶向示意图

1.2 系统误差的理论分析和处理

1.2.1 系统误差的分析发现

系统误差是由仪器、方法和理论、环境条件、测量者等原因产生的,它的大小直接影响实验的正确度,因此在实验中应当首先减小它的影响,并设法修正,但是,它一般难于发现,且不能通过多次测量来消除,人们通过长期的实践和理论研究,总结出一些分析发现系统误差的常用方法。

1. 理论分析法

通过分析实验所依据的理论公式和实验方法是否完善,仔细研究测量理论和方法的每一步,检查所要求的实验条件是否得到满足,与实际情况有无差异;仪器和量具是否存在缺陷,检查或校正每一件器具;分析实验环境能否保证仪器正常工作;考虑实验者心理和技术素质因素;注意分析每一个因素对实验的影响,是否存在造成系统误差等。

2. 实验对比法

实验对比法:就是对同一待测量采用不同的实验方法,使用不同的实验仪器,在不同的实验条件下,由不同的实验人员进行测量,对比、研究测量值的变化情况,以便发现系统误差的存在。

(1) 实验方法的对比,即用不同的方法测同一个量,看结果是否一致。

(2) 仪器的对比,如用两个仪器测同一个量,并对比。

(3) 改变测量步骤对比,如测量某物理量与温度的关系,分别用升温测量与降温测量,对比读数点是否一致。

(4) 改变实验中某些参数的对比。

(5) 改变实验条件的对比。

(6)换人测量对比等。

如果对比发现实验结果有差异,即说明存在系统误差。

3. 分析数据法

这种方法的理论依据是偶然误差服从一定统计分布规律,如果分析测量数据,结果不服从这种统计规律,则说明存在系统误差,在多次测量得到大量数据时可用这种方法。例如,按照测量列表记录的先后次序,把偏差列表或作图,观察其数值变化的规律,若偏差的数值是单向的或周期性变化的,说明存在固定的或变化的系统误差。

以上仅仅是普通意义上的几种分析发现系统误差的方法,在实际实验中,有许多具体办法。

1.2.2 系统误差的处理

知道了系统误差的来源,并能够分析发现系统误差,也就为处理系统误差提供了对策依据。

1. 减少和消除产生系统误差的根据

对实验中可能产生系统误差的因素,尽可能予以处理,如采用更符合实际的理论方式,使用符合实验要求的或较高级别的仪器,保证满足所需的基本实验条件,选择科学的实验方案和方法,选用或设计合理的实验参数,对测量结果的修正等方式,限制、减少或消除系统误差。

2. 消除定值系统误差的方法

利用实验技巧、改进测量方法等,可以消除定值系统误差。

(1)替代法:即在测量条件不变的情况下,先对待测量 x 进行测量,然后,立即用一个已知标准量 A 替换待测量 x ,并通过改变 A 的值,使测量装置恢复到测 x 时的状态,再次测量出 A 的值,则待测量等于标准量: $x=A$ 。

(2)交换法:即在测量中,将某些测量条件交换一下再次测量,造成系统误差变化,再通过计算减小或消除系统误差。

(3)异号法:即在测量中,改变某些条件,先后进行两次测量,取两次测量中出现的误差符号相反,再取两次测量值的平均值作为测量结果,以消除系统误差。

(4)补偿法:有电压补偿法、温度补偿法、压力补偿法等。补偿法是科学实验中常用的方法之一。

(5)微差法:即只要求标准量与被测量相近,而用指示仪表测量标准量与被测量的差值,这样,指示仪表的误差对测量的影响会大大减弱。

3. 消除变值系统误差的方法

(1)等时距对称观测法:即对于随某些因素线性变化的变值系统误差,可将观测程序对某时刻对称的再做一次,由于很多随时间变化的误差,在极短时间内均可认为是线性变化,因此,它是一种能够有效消除随时间、成比例变化的线性系统误差的好方法。

例如,测电阻温度系数实验,测电阻前后,分别记录一次温度,取两次测量温度的平均值作为该点温度。