

大学物理 实验教程

周殿清 \ 主编



全 国 优 秀 出 版 社
武 汉 大 学 出 版 社

大学物理实验教程

主 编 周殿清
参 编 杨明明 欧阳俊
冯 辉 程 放
胡 燕 罗文慧
肖怡安

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验教程/周殿清主编. —武汉: 武汉大学出版社, 2005. 1

ISBN 7-307-04400-5

I. 大… II. 周… 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 129251 号

责任编辑: 黄汉平 责任校对: 程小宜 版式设计: 支 笛

出版发行: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: wdp4@whu.edu.cn 网址: www.wdp.whu.edu.cn)

印刷: 华中科技大学印刷厂

开本: 787×1092 1/16 印张: 18.875 字数: 455 千字

版次: 2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 7-307-04400-5/O · 313 定价: 26.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有缺页、倒页、脱页等质量问题者, 请与当地图书销售部门联系调换。

内 容 提 要

本书是武汉大学物理实验教学中心在长期教学实践的基础上总结教学经验编写而成的。

全书共分四章,第一章讲述测量误差、不确定度和数据处理的基础知识;第二章编入 20 个普通物理基本实验,以巩固和加强学生的基础训练;第三、四章分别编排了 14 个综合实验和 20 个设计性实验,以利于学生的个性发展和创新能力的培养。

本书可作为工科各专业和理科非物理类专业大学物理实验课程的教材或参考书,也可供其他专业和社会读者阅读。

当您生活于实验室和图书馆的宁静之中时，首先应问问自己：我为自己的学习做了些什么？当您逐渐长进时，再问问自己：我为自己的祖国做了些什么？总有一天，您可以因自己已经用某种方式对人类的进步和幸福作出了贡献而感到巨大的幸福。

——巴斯德(Louis Pasteur, 1822—1895, 法国生物学家)

前 言

大学物理实验是高校理工科专业必修的基础课程,是为培养学生的创新能力和实践能力、提高学生的科学素质打下坚实基础的极其重要的教学环节。随着时代的发展,特别是随着物理学近年来在其他学科中的迅速渗透和广泛应用,基础实验的内容日益广泛,要求日益提高。为了适应这种变化,武汉大学物理实验教学中心近年来积极改革实验内容,大力引进新技术、新成果开出新实验,使基础实验紧跟时代发展而不断更新,取得了一定的效果。本教程就是总结这些经验并吸收兄弟院校的宝贵经验而编写成的。

全书共分为四章,第一章讲述了测量误差、不确定度和数据处理的基础知识,所涉及的内容以本课程必须掌握的基本要求为主,个别地方略有扩充。第二章为基础实验,共选编了20个力学、热学、电磁学和光学实验,其中,有些实验包括多个使用不同测量方法和装置的实习内容,以供选择。第三章为综合实验(共选编了14个实验),这类实验其内容涉及相关的综合知识或运用综合的实验方法、实验手段,对学生的知识、能力、素质形成综合的学习与培养。第四章为设计性实验(共选编了20个实验),这是在学生做了一定数量的基本实验,能对实验方法、仪器使用等方面作出恰当评价后,为了培养学生自主地进行科学实验的初步能力而设置的。设计性实验只提出研究对象、要求,给予适当的提示,主要让学生自行确定实验方法、选择合适的仪器设备和设计一定的实验程序,自己加以实现并对结果进行分析处理。这样,既保证了基本训练,又提高了物理实验的综合性和实用程度,促使学生更积极地完成实验,以利于学生的个性发展和创新能力的培养。

考虑到物理实验课的独立性和面向低年级学生的特点,对于基础实验,编写时力求将实验原理叙述清楚,计算公式推导完整,使学生在实验预习时掌握理论依据;实验内容与步骤亦尽可能具体,以加强对基本实验技能和基本实验方法的训练和指导。一般地说,一个基础实验的课堂实习任务可在3~4学时内完成,部分实验有多个实习内容,教师安排时可进行取舍,也可供学有余力的优秀学生选做。对于综合实验与设计性实验,编写时不局限在统一的格式上。有的重点放在新概念、新思路或原理的阐述上(如超声测厚、非线性电路混沌、超声光栅、激光散斑、光纤传感等);有的则不过分强调理论上的完整,而将主要内容放在实验方法和技巧的指导上(如计算机应用类实验以及传感器特性与应用等);有的设计性实验,只提出实验任务和基本要求,让学生查阅相关资料,自行设计实验方案,选择仪器用具,完成实验测试,以更多地发挥学生的主观能动性和创造性。这部分实验,根据各题目内容的不同一般可安排课内4~12学时完成。当然也允许有兴趣的学生利用课外开放时间进一步深入探索。多数实验后附有思考题,以引导学生在实验后进一步分析讨论,巩固和扩大所学知识。

实验教材离不开实验室的建设和发展,经过几十年的教学实践,作过多次调整、更新和扩充,才达到目前的规模和水平。这里面凝聚了教师和实验技术人员的智慧和劳动。除主编外,参加本教程编写的教师有肖怡安(实验1、2、5、22、30)、程放(实验4、6、9、21、29、31)、

欧阳俊(实验 14、15、32、40)、杨明明(实验 16、17、19、25、26、54)、罗文慧(实验 3、8、18、20、28)、胡燕(实验 7、10~13、46)、冯辉(实验 23、24、27、33、34)。全书由周殿清统稿。

本教程是在武汉大学马清茂教授主编的《物理实验教程》和潘守清教授主编的《大学物理实验》的基础上,吸收我校近五年来物理实验教学改革成果和兄弟院校实验教学的经验而编写的。在本教程的编写和出版过程中得到了武汉大学教务部、物理科学与技术学院和武汉大学出版社的大力支持,借此表示我们的诚挚敬意和衷心感谢!

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中难免有疏漏谬误之处,恳请读者和同行专家们批评指正。

编 者

2004 年 9 月于武汉大学

目 录

绪 论	1
第一章 测量误差、不确定度及数据处理的基础知识	4
§ 1-1 测量误差的基本知识	4
§ 1-2 不确定度的基本概念	11
§ 1-3 直接测量结果与不确定度的估算	12
§ 1-4 间接测量结果与不确定度的估算	17
§ 1-5 有效数字及其运算规则	22
§ 1-6 实验数据处理的常用方法	26
附录 常用仪器的仪器误差	34
第二章 基础实验	40
实验 1 重力加速度的测量	40
1-1 用自由落体法测量重力加速度	40
1-2 用单摆法测量重力加速度	44
实验 2 物体转动惯量的测定	48
2-1 用三线摆测物体的转动惯量	48
2-2 用台式扭摆测物体的转动惯量	52
实验 3 用伸长法测钢丝的杨氏模量	56
实验 4 液体粘滞系数的测定	63
4-1 用毛细管法测液体粘滞系数	63
4-2 用落球法测液体粘滞系数	67
实验 5 用拉脱法测液体的表面张力系数	70
实验 6 不良导体导热系数的测定	76
实验 7 超声声速测定	79
实验 8 电学元件伏安特性的测量	86
实验 9 静电场的模拟与描绘	90
实验 10 直流电桥及应用	94
实验 11 示波器的原理及应用	98
实验 12 交流电桥	105
实验 13 交流电路的谐振	110
实验 14 用电磁感应法测交变磁场	116

实验 15	霍尔效应	122
实验 16	薄透镜焦距测量	130
实验 17	分光计的调节和使用	135
实验 18	等厚干涉及其应用	142
实验 19	光栅衍射	147
实验 20	光的偏振	151
第三章 综合实验		156
实验 21	用动态法测金属的杨氏模量	156
实验 22	超声测厚	161
实验 23	用非线性电路研究混沌现象	165
实验 24	非平衡直流电桥及应用	169
实验 25	RC 和 RL 电路的稳态过程	182
实验 26	RLC 电路的暂态特性	186
实验 27	方波电信号的傅里叶分析	190
实验 28	迈克耳孙干涉仪	194
实验 29	超声光栅	200
实验 30	全息照相	205
实验 31	光电效应	209
实验 32	夫兰克-赫兹实验	215
实验 33	密立根油滴实验	222
实验 34	氢原子光谱	228
第四章 设计性实验		233
引言		233
实验 35	易溶于水的颗粒状物质的密度测定	238
实验 36	测量小灯泡的伏安特性曲线	239
实验 37	测量给定电阻丝的电阻	240
实验 38	用电位差计测电阻	241
实验 39	电位差计测干电池的电动势和内阻	242
实验 40	电表的改装与校正	245
实验 41	测量金属电阻的温度系数	251
实验 42	小功率直流稳压电源的设计与制作	253
实验 43	测量 PN 结温度传感器的温度特性	254
实验 44	数字温度计的设计与制作	255
实验 45	用示波器测量铁磁材料的磁滞回线	260
实验 46	利用霍尔器件测量地磁场水平分量	263
实验 47	光学材料折射率的综合测量	266
实验 48	内调焦望远镜的组装及放大倍率的测定	270

实验 49	利用莫尔条纹测微小长度	273
实验 50	全息光栅的制作	274
实验 51	激光散斑照相法测定钠光波长	278
实验 52	光学纤维特性参数的测量	281
实验 53	光纤温度传感特性的研究	285
实验 54	计算机在物理实验中的应用——激光多普勒频移测量	288
参考文献		292

绪 论

一、物理实验课的地位、作用和任务

物理学是自然科学中最重要、最活跃的带头学科之一。物理学理论和实验的发展哺育着近代高新技术的成长和发展。物理实验的思想、方法、技术和装置常常是自然科学研究和工程技术发展的生长点。

物理实验是对高等学校学生进行科学实验基本训练的一门独立的必修基础课程,也是工科学生进入大学后接受系统的实验思想和实验技能训练的开端。实验教学在育人方面有其独特的作用。只凭课堂教学培养不出合格的工程技术人才,更无法培养出科学家。近代许多重大的自然科学发现和高新技术的突破,大多来自实验。学生在实验室中通过亲自使用仪器进行观测和思考,经历过实验的失败和成功,经受一个科学家的喜悦和苦恼,就能更深刻而持久地了解科学知识。对于大多数学生来说,为了理解实验和理论的相互作用,没有什么方法能代替亲自做实验并讨论实验。由于实验具有自身特有的规律,具有不同于课堂理论教学的许多特征,因此决定了它在培养科学工作者的良好素质及科学世界观的过程中具有不可能被其他教学形式取代的地位和作用。

本课程重点是对学生进行物理实验理论、物理实验方法和实验技能方面系统的基本训练。这种训练,既为学生学习后续课程打下坚实和广泛的基础,更为今后参加科学研究、技术开发应用建立长期受用的潜在能力和普适能力。

本课程的具体任务是:

1. 通过对物理实验现象的观察、分析和对物理量的测量,加深对基本物理概念和基本物理定律的认识和理解。

2. 培养与提高学生的科学实验能力。这些能力包括:通过阅读实验教材和查阅参考资料,能概括出实验原理和方法的要点;正确使用基本实验仪器,掌握基本物理量的测量方法和各种测量技术;运用物理学理论对实验现象进行合理分析;正确记录和处理数据,判断和分析实验结果,撰写合格的实验报告;独立完成适当的综合、设计性实验任务等。

3. 培养与提高学生的科学实验素养。包括理论联系实际、实事求是的科学作风,严谨踏实、一丝不苟的工作态度,勤奋钻研、积极创新的探索精神以及遵守纪律、团结协作、爱护公物的优良品德。

二、物理实验课的基本程序

物理实验是学生在教师指导下独立进行实验的一种实践活动,无论实验内容的要求或研究的对象如何不同,无论采用什么方法,其基本程序大致相同,一般都有三个环节:

1. 课前预习

课前认真阅读教材中有关内容(必要时还需查阅有关参考资料),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。有些实验还要求学生课前自拟实验方案,自己设计线路图或光路图,自拟数据表格等。因此,课前预习的好坏是实验中能否取得主动的关键。

2. 课堂实习

课堂实习是实验课的重要环节,学生进入实验室后应按下列要求进行实验。

(1) 认真听取教师对本实验的要求、重点、难点和注意事项的讲解;对照仪器,仔细阅读有关仪器的使用说明和操作注意事项;进一步明确本实验的具体要求。

(2) 仪器(或实验装置)的调节。在力学、热学实验中,一些仪器使用前往往需要调至水平或垂直状态,如自由落体仪需调垂直,气垫导轨需调水平等。要注意测量仪器的零点,若某些仪器不能调零,则要记录仪器的零点值。电磁学实验中,在连接电路前,应考虑仪器设备的合理摆放,电路连接好后,还要注意把仪器调节到“安全待测状态”,然后请教师检查,确定电路连接正确无误后方可接通电源进行实验。光学实验的仪器调节尤显重要,它决定了实验能否顺利进行和测量结果是否精确可靠,一定要细心调节仪器至要求的工作状态(如分光计的调节等)。

(3) 观测。实验中必须仔细观察、积极思维、认真操作、防止急躁。要在实验所具备的客观条件(如温度、压力、仪器精度等)下,进行认真的实事求是的观察和测量。要初步学会分析实验,遇到问题时应冷静地分析和处理;仪器发生故障时,也要在教师指导下学习排除故障的方法;在实验中要有意识地培养自己的独立工作能力。

(4) 记录。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。要把实验数据细心地记录在预习报告的数据表格内。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,然后再誊写在表格内,这是一种不科学的习惯。此外,还应记录环境温度、湿度、气压等实验条件,仪器型号规格与编号以及实验现象等。

总之,在课堂实习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;应独立自主完成实习而不是依赖他人完成实习,否则,将收效甚微。

3. 课后小结

在充分分析实验现象、结果,理解实验原理的基础上写出实验报告。实验报告是实验工作的总结,是交流实验经验的材料,要求字体工整,文理通顺,图表规矩,结论明确,逐步培养以书面形式分析、总结科学实验结果的能力。

实验报告内容包括:

(1) 实验名称、实验者姓名、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,并附有必要的公式和原理图(包括电路图或光路图)。

(4) 实验内容。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。

三、学生实验制度

为了培养学生良好的实验素质和严谨的科学态度,保证实验顺利进行和进一步提高教学质量,特制定以下实验制度:

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. 上课时不准迟到,不准无故缺课。无正当理由迟到 15 分钟者实验要扣分;超过半小时者教师有权取消其本次实验资格;无故缺席者本次实验为零分。

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。

4. 爱护仪器设备。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;仪器如有损坏,照章赔偿。

5. 室内严禁吸烟、吐痰和大声喧哗。

6. 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并签字后,方可离开实验室。

7. 实验报告应在实验后一周内交实验室。

第一章 测量误差、不确定度及数据处理的基础知识

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;不会处理数据或处理数据方法不当,就得不到正确的实验结果。由此可见,测量误差、不确定度与数据处理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、实验数据处理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。

(3)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。

(4)掌握列表法、作图法、逐差法和回归法等常用的数据处理方法。

§ 1-1 测量误差的基本知识

1-1-1 测量与误差

物理实验是将自然界物质运动中的物理形态按人们的意愿在实验中再现,找出各物理量之间的关系,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。要得到这种定量化的认识,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。

1. 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。

2. 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,要尽量保持为等精度测量。

3. 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、不依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和判断能力的影响等,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 x ,真值为 A ,则测量误差定义为:

$$\epsilon = x - A \quad (0-1)$$

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 ϵ 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 10m 长相差 1mm 与测量 1m 长相差 1mm,两者绝对误差相同,而相对误差不同。相对误差定义为

$$\text{相对误差} = \frac{\text{绝对误差}}{\text{测量最佳值}} \times 100\% \quad (0-2)$$

有时被测量有公认值或理论值,还可用“百分误差”来表征:

$$\text{百分误差} = \frac{\text{测量最佳值} - \text{公认值}}{\text{公认值}} \times 100\% \quad (0-3)$$

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作出估计,就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。

1-1-2 误差的分类

误差按其性质和产生原因可分为系统误差、随机误差和粗大误差三类。

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。其特点是:确定性、有规律性、可修正性。

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。如天平不等臂、分光计读数装置的偏心差、电表的示值与实际值不符等属于仪器缺陷,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。它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。它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) 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. 系统误差按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。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。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。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. 系统误差按其表现的规律可分为定值系统误差和变值系统误差

(1) 定值系统误差。这种误差在测量过程中其大小和符号恒定不变。例如,千分尺没有零点修正,天平砝码的标称值不准确等。

(2) 变值系统误差。这种误差在测量过程中呈现规律性变化。这种变化,有的可能随时间而变,有的可能随位置变化。例如分光计刻度盘中心与望远镜转轴中心不重合,存在偏心差所造成的读数误差就是一种周期性变化的系统误差。

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。

二、随机误差

在测量过程中,即使系统误差消除以后,在相同条件下重复测量同一物理量时,仍然不会得到完全相同的结果,其测量值分散在一定的范围内,所得误差时正时负,绝对值时大时

小,既不能预测,也无法控制,呈现无规则的起伏。这类误差称为随机误差。

随机误差的产生,一方面是由测量过程中一些随机的未能控制的可变因素或不确定的因素引起的。如人的感官灵敏度以及仪器精密度的限制,使平衡点确定不准或估读数有起伏;由于周围环境干扰而导致读数的微小变化,以及随测量而来的其他不可预测的随机因素的影响等。另一方面是由被测对象本身的不稳定性引起的。如加工零件或被测样品本身存在的微小差异,这时被测量就没有明确的定义值,这也是引起随机误差的一个原因。

随机误差就个体而言是不确定的,但其总体(大量个体的总和)服从一定的统计规律,因此可以用统计方法估算其对测量结果的影响。

随机误差和系统误差并不存在绝对的界限,在一定条件下,它们可以相互转化。例如:按一定基本尺寸制造的量块,存在制造误差,对某一具体量块而言,制造误差是一确定数值,可以认为是系统误差,但对一批量块而言,则制造误差属于随机误差。又如测量对象的不均匀性(如小球直径、金属丝的直径等),既可以当做系统误差,又可以当做随机误差。有时系统误差和随机误差混在一起,也难以严格加以区分。例如测量者使用仪器时的估读误差往往既包含有系统误差,又包含有随机误差,前者是指测量者读数时总是有偏大或偏小的倾向,后者是指测量者每次读数时偏大或偏小的程度又互不相同。

三、粗大误差

明显地歪曲了测量结果的误差称为粗大误差。它是由于实验者使用仪器的方法不正确,粗心大意读错、记错、算错测量数据或实验条件突变等原因造成的。含有粗大误差的测量值称为坏值或异常值,正确的结果中不应包含有粗大误差。在实验测量中要极力避免过失错误,在数据处理中要尽量剔除坏值。

1-1-3 随机误差的分布规律与特性

随机误差的出现,就某一测量值来说是没有规律的,其大小和方向都是不能预知的,但对同一物理量进行多次重复测量时,则发现随机误差的出现服从某种统计规律。

随机误差的分布有多种,不同的分布有不同形式的分布函数,但无论哪一种分布形式,一般都有两个重要的参数,即平均值和标准偏差。

1. 正态分布规律

理论和实践都证明,大多数随机误差服从正态分布(高斯分布)规律。下面简要讨论正态分布的特点及特性参量。

标准化的正态分布曲线如图 0-1 所示。图中横坐标 x 表示某一物理量的测量值,纵坐标表示测量值的概率密度 $f(x)$:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-(x-m)^2/2\sigma^2}$$

式中:

$$m = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

m 称为总体平均值;

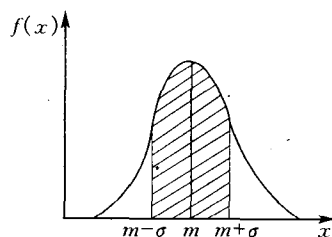


图 0-1 正态分布曲线