

高等学校教材

工科物理实验教程

(第2版)

主 编 周 珺

副主编 孙小伟 欧阳玉花

高等教育出版社

高等

工科物理实验教程

(第2版)

Gongke Wuli Shiyān Jiāochéng

ISBN 978-7-04-043312-0

主编 周 珺

副主编 孙小伟 欧阳玉花

ISBN 978-7-04-043312-0

ISBN 978-7-04-043312-0

ISBN 978-7-04-043312-0

ISBN 978-7-04-043312-0

ISBN 978-7-04-043312-0

ISBN 978-7-04-043312-0

ISBN 978-7-04-043312-0

ISBN 978-7-04-043312-0

ISBN 978-7-04-043312-0

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(2010年版)编写而成的。本书共分5章,第1章为误差理论和数据处理;第2章为物理实验中的基本调整与操作技术;第3章为基础性实验;第4章为综合性实验;第5章为引导设计性实验。本书的特点是始终把重点放在实验的基本设计思想、基本方法、仪器的正确操作以及科学的数据处理上,尤其是对基础性实验采取了规范性的数据处理模式,以强化对学生的训练。

本书可作为高等学校工科各专业大学物理实验课程的教材或参考书,也可供其他专业的师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

工科物理实验教程 / 周珺主编. --2版. --北京 : 高等教育出版社, 2015.8
ISBN 978-7-04-043318-0

I. ①工… II. ①周… 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(2015)第 164080 号

策划编辑 马天魁 责任编辑 马天魁 封面设计 赵 阳 版式设计 马敬茹
插图绘制 杜晓丹 责任校对 陈 杨 责任印制 尤 静

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.landraco.com
印 刷	北京市昌平百善印刷厂		http://www.landraco.com.cn
开 本	787mm×1092mm 1/16	版 次	2013 年 8 月第 1 版
印 张	23.5		2015 年 8 月第 2 版
字 数	570 千字	印 次	2015 年 8 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	31.90 元
咨询电话	400-810-0598		

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 43318-00

前 言

本书第一版(高等教育出版社,2013年)是为适应实验教学改革的要求,根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(2010年版)和《高等教育面向21世纪教学内容和课程体系改革计划》的精神,以多年使用的讲义为基础并结合近年来实验教学改革实践的成果而编写的。根据两年来使用本教材的众多读者和教师反映的情况及提出的宝贵意见,现又进行了认真修订,将经过实践检验的最新实验教学改革成果充实到教材中来,使本书在体系上和内容上更趋完善,形成了本书自身的特色与风格,从而更便于相关专业的师生择优选用和参考。这次修订保持了第一版的主要特色,即始终把重点放在实验的基本设计思想、基本方法、仪器的正确操作、数据的科学处理上。尤其对基础性实验采取规范性的数据处理模式,强化训练,以达到对误差理论的深刻理解的目。

“大学物理实验”是理工科学生必修的一门重要基础实验课程,也是学生进入大学后较早接触到的一门系统全面的实验课程。为了使学生在有限的时间内能系统地掌握物理实验的基本知识和基本方法,培养学生的实验动手能力,促使学生积极参与实验,为后续实验课程奠定基础,本书在熟悉基本仪器和基本测量的基础上,采用基础性实验、综合性实验、设计引导性实验三结合的模式,秉承“分层次、多模块、组合式、衔接化”的教学原则,纵向层次递进实施,打破了传统教材按照力、热、电磁、光、近代物理的顺序布局,适当减少验证性实验,增设提高型、应用型、综合型、设计型和研究创新型选做实验。本书还将现代科技成果融入基础物理实验教学,形成从低到高,从简单到复杂,从基础到前沿,从接受知识到培养综合能力、创新能力而步步提高的“模块分层次”实验教学新模式。实践证明,这样的模式适合大多数学生的需要。

本书第1章为误差理论和数据处理;第2章为物理实验中的基本调整与操作技术;第3章为基础性实验;第4章为综合性实验;第5章为引导设计性实验。第二版由周珺教授担任主编,物理系主任孙小伟博士、大学物理公共课实验室主任欧阳玉花博士任副主编,兰州交通大学应用物理专业实验室和大学物理公共课实验室王婷、宋婷、郭鹏、田俊红、郑玉、王小云、谈勇等全体教师共同编修。第二版保留了第一版的大部分实验项目,对误差理论进行了大幅度修订,更新了部分创新实验项目,并对第一版中出现的印刷错误和个别表达欠确切的内容和词句一并做了修改。

在编写和修订本书时,还吸收了多年来在兰州交通大学物理实验室工作过的许多同仁的智慧和成果,也参考和借鉴了兄弟院校的有关教材。在此,编者一并表示衷心的感谢!

限于编写水平,虽经多次审校,本书错、漏和不当之处难免,恳请广大教师和读者斧正。

编者

2015年春季于
兰州交通大学

目 录

实验守则	1
绪论	4
第 1 章 误差理论和数据处理	7
第一节 测量	7
第二节 误差	9
第三节 测量结果的不确定度表示	12
第四节 数据处理	17
第 2 章 物理实验中的基本调整与操作技术	23
第 3 章 基础性实验	28
实验 1 物体密度的测量	28
实验 2 拉伸法测量钢丝的弹性模量	37
实验 3 动力学法测杨氏模量	43
实验 4 扭摆法测定刚体转动惯量	46
实验 5 三线摆测量转动惯量	50
实验 6 霍尔传感器法测量简谐振动	56
实验 7 拉脱法测量液体的表面张力系数	61
实验 8 落球法测量液体黏度	66
实验 9 气垫导轨上的实验——测量速度、加速度及验证 牛顿第二定律	70
实验 10 声速的测量	77
实验 11 固体比热容的测量	84
实验 12 空气比热容比的测量	88
实验 13 液体比热容的测定	92
实验 14 不良导体导热系数的测定	97
实验 15 液体变温黏度的测定	100
实验 16 金属线膨胀系数的测量	104
实验 17 电涡流传感器实验	108
实验 18 电场的描绘	111
实验 19 电位差计的使用	115
实验 20 霍尔元件测量磁场	124
实验 21 电磁波综合实验	129
实验 22 串联 RLC 谐振电路	136

实验 23	伏安法测电阻	140
实验 24	霍尔传感器测量磁化曲线与磁滞回线	146
实验 25	整流、滤波与稳压电路	151
实验 26	示波器的调整与使用	154
实验 27	惠斯通电桥测电阻	167
实验 28	直流双臂电桥测电阻	170
实验 29	热电偶传感器测温	174
实验 30	金属箔式应变片的温度效应及补偿	178
实验 31	金属箔式应变片的性能	182
实验 32	半导体应变片的性能	188
实验 33	非线性电路混沌实验	193
实验 34	薄透镜焦距测量	198
实验 35	分光仪的调节及三棱镜顶角测量	202
实验 36	牛顿环与劈尖干涉	206
实验 37	迈克耳孙干涉仪	213
实验 38	菲涅耳双棱镜测激光波长	216
实验 39	显微镜与望远镜的组装	219
第 4 章	综合性实验	223
实验 40	霍尔位置传感器法测量杨氏模量	223
实验 41	热敏电阻温度特性的研究(非平衡电桥的使用)	226
实验 42	PN 结正向压降温度特性及正向伏安特性的研究	231
实验 43	电表的改装与校准	237
实验 44	电位差计校准电表	243
实验 45	太阳能电池基本特性测定实验	247
实验 46	光栅常量的测量	252
实验 47	普朗克常量的测定	254
实验 48	光敏传感器的光电特性研究	259
实验 49	迈克耳孙干涉仪测折射率及压强	267
实验 50	多普勒测速	270
实验 51	真空的获得与测量	274
实验 52	类金刚石薄膜的制备	281
实验 53	核磁共振	285
实验 54	光泵磁共振	291
实验 55	微波顺磁共振	298
实验 56	全息照相	304
实验 57	ESPI 散斑干涉原理测量位移	307
实验 58	拉曼光谱实验	312
第 5 章	引导设计性实验	319

实验 59	频率的测定和烧杯打击乐的形成	319
实验 60	“风洞”实验	321
实验 61	用激光演示李萨如图形	322
实验 62	电磁感应与磁悬浮力	324
实验 63	重力加速度的测量	326
实验 64	激光监听器	328
实验 65	烛灭水升现象的研究	329
实验 66	可闻声波测声速	330
实验 67	孔明灯的研究	332
实验 68	有雾玻璃的趣味	333
实验 69	流体桥	334
实验 70	超声波测距	335
实验 71	电涡流传感器测距	341
实验 72	霍尔传感器测量微小长度	343
实验 73	基于照片方法的微小长度测量	348
参考文献		352
附录		353

实验守则

一、基本程序

实验与听课不同，它的特点是学生在教师的指导下自己动手，独立地完成实验任务。通常，每个实验的学习都要经历三个阶段。

1. 实验的准备

实验前应想一想如何去做？期望什么结果？实验后应对实验进行评价，并认真反思实验中遇到或想到了哪些问题，收获是什么？总之，在实验过程中一定要既动手又动脑，使自己的独立实验能力逐步提高。

预习是主动学习的开始。实验课前要认真阅读教材，阅读时要以实验目的为中心，搞清楚实验原理、操作要点、数据处理及其分析方法等，同时要精心构思，写出简明的预习报告，内容包括实验的目的、原理、内容等。

带着问题学习是探索精神的体现。在预习时如能提出要和教师讨论的问题以及自己要探索的问题，并准备在实验中做些探索和分析，是非常有益的。

2. 实验的进行

(1) 实验的物理思想

对于每一个物理实验，不仅应重视其原理、实验装置和数据处理方法等问题，更应着重了解其物理思想，这对于我们设计新的实验往往能提供很多启示和借鉴之处。例如，对弹性模量的测量，我们在实验中可以用三种测量方法来实现，它们有什么共同之处，各自的思想、特点是什么，与当今的技术发展有什么联系，是否能设计出新的方法等都值得我们去思考。

(2) 实验装置与仪器

使用仪器或装置必然要了解它的原理和使用方法，作为一个实验者还要了解该仪器设计的独创性之所在。例如，测量低电阻的双臂电桥的创造性就在于它消除了导线电阻和接触电阻的影响，使低电阻的测量成为可能。

仪器的改进可以减小某些误差。但是不论设计如何精良，加工和装配如何精细，都不可能制造出没有误差的仪器。因此，在使用仪器时都会给测量引入误差。测量时我们一要采取适当的方法削减其误差的影响，二要将实验仪器的误差限作为测量不确定度的一部分去评估测量的好坏程度。

使用仪器时，要遵守仪器的操作规程，这是取得客观数据、保护仪器所必需的。

实验后，不要立即拆散测量系统，要对记录作初步分析，在不需要补测数据时才可结束。实验结束时，仪器装置要恢复到使用前的状态。

(3) 及时发现问题

实验者一般都是细心安排实验的,实验的进程可能比较顺利,但是由于某种原因实验中出现问题也是常见的。实验者应能及时发现问题,及时进行处理,防止精力和物资的浪费。出现问题的原因是多方面的,如理解上的偏差、仪器调节不到位、线路接错、参量取值不当、看错了现象、读错了数据、实验装置变动等。

实验时要边观察现象,边审查数据,边思考分析,看看有无不正常的现象或数据。如果不假思索地埋头测量,可能在实验结束时才发现测错了。应力求避免这种情景的出现。

(4) 实验记录

记录是整理实验结果以及分析问题的依据,这要求记录的是原始数据,即从仪器上读出的未经任何运算的量值。记录不仅包括实验数据,还应包括实验的环境条件,仪器的型号和编号,实验中遇到的问题、故障及可疑现象等一切有价值的内容。学生在实验结束前应将原始记录交给指导教师审查签字后方可离开实验室。

3. 编写实验报告

编写实验报告是对实验进行全面总结分析的一个过程,必须予以充分重视。实验报告要对实验过程和结果进行分析和评价,要有自己的思考,这是培养我们分析问题能力及综合能力的重要步骤。

实验报告的基本要求是:字迹清楚、文理通顺、图表正确、数据完备和结论明确。

报告的主要内容通常包括以下部分:

(1) 实验名称。

(2) 实验目的。

(3) 实验原理。在理解实验原理的基础上做到简明扼要,切忌整篇照抄,力求做到图文并茂(原理图和装置示意图等),并列出实验所用的主要公式,说明公式中各量的物理意义及公式的适用条件。

(4) 实验仪器。列出实验中使用的仪器名称、型号、规格、编号等。

(5) 实验内容和实验步骤。这一部分包括本次实验的主要内容,实验的具体实施步骤。合格的步骤是完全按照实际的实验步骤所写,包括实验过程中的各种参数设置。此步骤和实验教材上的步骤可能有所不同,所以不能照搬教材上的实验步骤。

(6) 数据记录与处理。数据记录应做到整洁清晰而有条理,尽量采取列表法给出原始测量数据。在根据数据特点设计表格时,力求简单明了,分类清楚而有条理,以便计算与复核。同时在标题栏内要注明单位。

写出数据处理的主要过程,绘制图线并进行误差分析、不确定度评估等,以醒目的方式完整地表示出实验结果。

(7) 实验讨论和思考题。如对物理现象、实验结论和误差来源进行分析,对实验方案提出改进建议,回答实验思考题,叙述实验体会等。

二、基本要求

为了保证实验的正常进行,培养严肃认真的工作作风和良好的实验工作习惯,特制订下列规则,望同学们遵守执行。

(1) 学生应在课表规定或预约的时间按时进行实验, 不得无故缺席或迟到。实验时间如需变动, 要事先经实验室老师批准同意。

(2) 实验时应携带必要的物品, 如学生证、文具、计算器、草稿纸和作图纸等。

(3) 学生在每次实验前要认真做好实验预习, 并在预习的基础上写出预习报告。

(4) 学生进入实验室后, 应将预习报告和学生证放在桌子上由指导教师检查, 并回答教师的提问, 经检查合格后, 才可准备实验。

(5) 进入实验室后, 学生应核对自己使用的仪器有无缺少或损坏, 若发现问题, 应向指导教师或实验室管理人员提出。实验完毕应及时归还借用的仪器。

(6) 要细心观察仪器构造, 谨慎操作, 严格遵守操作规程及注意事项。尤其是电学实验, 线路接好后, 先经教师或实验室工作人员检查无误后才可接通电源, 以免发生意外。

(7) 测量结束应将数据交给指导教师检查, 实验合格者予以签字通过, 否则要重测或补测。

(8) 要保持实验室整洁、安静。实验完毕应将仪器、桌椅恢复原状, 放置整齐, 并由值日同学做好实验室卫生清洁工作。

(9) 如有损坏仪器, 应及时报告教师或实验室工作人员, 说明损坏原因并根据学校规定的赔偿办法处理。

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自然科学。它的基本理论渗透在自然科学的各个领域中,应用于生产技术的许多部门,是其他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科学的世界观和方法论,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,是人类文明的基石,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。

一、课程的地位、作用 and 任务

物理实验课是高等理工科院校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。

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。它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。

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。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。

(2) 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以及遵守纪律、团结协作、爱护公共财产的优良品德。

二、教学内容基本要求

大学物理实验应包括普通物理实验(力学、热学、电磁学、光学实验)和近代物理实验,具体的教学内容基本要求如下。

1. 掌握测量误差的基本知识,具有正确处理实验数据的基本能力

(1) 掌握测量误差与不确定度的基本概念,能逐步学会用不确定度对直接测量和间接测量的结果进行评估。

(2) 学会处理实验数据的一些常用方法,包括列表法、作图法和最小二乘法等。随着计算机及其应用技术的普及,还应包括用计算机通用软件处理实验数据的基本方法。

2. 掌握基本物理量的测量方法

例如：长度、质量、时间、热量、温度、湿度、压强、压力、电流、电压、电阻、磁感应强度、光强度、折射率、电子电荷、普朗克常量、里德伯常量等常用物理量及物性参量的测量，注意加强数字化测量技术和计算技术在物理实验教学中的应用。

3. 了解常用的物理实验方法，并逐步学会使用之

例如：比较法、转换法、放大法、模拟法、补偿法、平衡法和干涉、衍射法，以及在近代科学研究和工程技术中广泛应用的其他方法。

4. 掌握实验室常用仪器的性能，并能够正确使用

例如：长度测量仪器、计时仪器、测温仪器、变阻器、电表、交/直流电桥、通用示波器、低频信号发生器、分光计、光谱仪、常用电源和光源等常用仪器。

应根据条件，在物理实验课中逐步引进在当代科学研究与工程技术中广泛应用的现代物理技术，如激光技术、传感器技术、微弱信号检测技术、光电子技术、结构分析波谱技术等。

5. 掌握常用的实验操作技术

例如：零位调整、水平/竖直调整、光路的共轴调整、消视差调整、逐次逼近调整、根据给定的电路图正确接线、简单的电路故障检查与排除以及在近代科学研究与工程技术中广泛应用的仪器的正确调节。

6. 适当介绍物理实验史料和物理实验在现代科学技术中的应用知识

三、能力培养基本要求

1. 独立实验的能力

能够通过阅读实验教材、查询有关资料和思考问题，掌握实验原理及方法、做好实验前的准备；正确使用仪器及辅助设备、独立完成实验内容、撰写合格的实验报告；培养学生独立实验的能力，逐步形成自主实验的基本能力。

2. 分析与研究的能力

能够融合实验原理、设计思想、实验方法及相关的理论知识对实验结果进行分析、判断、归纳与综合。掌握通过实验研究物理现象和物理规律的基本方法，具有初步的分析与研究的能力。

3. 理论联系实际的能力

能够在实验中发现、分析问题并学习解决问题的科学方法，逐步提高学生综合运用所学知识和技能解决实际问题的能力。

4. 创新能力

能够完成符合规范要求的具有设计性、综合性内容的实验，进行初步的具有研究性或创新性内容的实验，激发学生的学习主动性，逐步培养学生的创新能力。

四、分层次教学基本要求

上述教学要求，应通过开设一定数量的基础性实验、综合性实验、设计性或研究性实验来

实现。这三类实验教学层次的学时比例建议大致分为 60%、30%、10%。

1. 基础性实验

主要学习基本物理量的测量、基本实验仪器的使用、基本实验技能和基本测量方法、误差与不确定度及数据处理的理论与方法等,可涉及力学、热学、电磁学、光学、近代物理等各个领域的内容。此类实验为适应各专业的普及性实验。

2. 综合性实验

这类实验指在同一个实验中涉及力学、热学、电磁学、光学、近代物理等多个知识领域,综合应用多种方法和技术的实验。此类实验的目的是巩固学生在基础性实验阶段的学习成果、开阔学生的眼界和思路,提高学生对实验方法和实验技术的综合运用能力。应根据本校的实际情况设置该部分实验内容(综合的程度、综合的范围、实验仪器、教学要求)。

3. 设计引导性实验

根据给定的实验题目、要求和实验条件,由学生自己设计方案并基本独立完成全过程的实验。

设计引导性或研究性实验的目的是使学生了解科学实验的全过程、逐步掌握科学思想和科学方法,培养学生独立实验的能力和运用所学知识解决给定问题的能力。

附录 1 基础物理实验课程大纲

附录 2 基础物理实验课程大纲

附录 3 基础物理实验课程大纲

附录 4 基础物理实验课程大纲

附录 5 基础物理实验课程大纲

附录 6 基础物理实验课程大纲

附录 7 基础物理实验课程大纲

附录 8 基础物理实验课程大纲

附录 9 基础物理实验课程大纲

附录 10 基础物理实验课程大纲

附录 11 基础物理实验课程大纲

附录 12 基础物理实验课程大纲

附录 13 基础物理实验课程大纲

附录 14 基础物理实验课程大纲

附录 15 基础物理实验课程大纲

第 1 章

误差理论和数据处理

第一节 测 量

物理实验以测量为基础，所谓测量，就是用合适的工具或仪器，通过科学的方法，将反映被测对象某些特征的物理量（被测物理量）与选作标准单位的同类物理量进行比较的过程，其比值即为被测物理量的测量值。

1. 直接测量

将待测物理量与选定的同类物理量的标准单位相比较直接得到测量值。

测量值 = 读数值(有效数字) + 单位

2. 间接测量

利用直接测量的量与被测量之间的已知函数关系，求得该被测物理量。

3. 有效数字

测量结果和数据运算的有效位数确定是数据处理中的一个十分重要的问题，是物理实验的基本要求之一，也是实验的基本技能，必须认真对待。

有效数字 = 可靠数字 + 1 位可疑数字

3.1 有效数字读取(如图 1 所示)

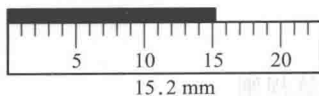


图 1

3.1.1 有效数字和测量条件有关系

有效数字的位数由测量仪器精度和待测量的大小共同决定，对于大小一定的物理量，测量的准确度越高，有效数字的位数就越多，说明有效数字在某种程度上反映了仪器的精度。

3.1.2 数字“0”在有效数字中的作用

数字“0”是否为有效数字取决于其在数据中的位置。例如 0.010 20，“1”前的两个“0”只用来表示小数点的位置，不是有效数字，而其余的两个“0”都是有效数字。不能在末尾随意加减“0”。

3.1.3 换算单位时，有效数字的位数应保持不变

例如 $3.56 \text{ m} = 3.56 \times 10^3 \text{ mm} = 3.56 \times 10^{-3} \text{ km}$

3.2 有效数字的运算

3.2.1 加、减法

诸量相加(相减)时,其和(差)数在小数点后所应保留的位数与诸数中小数点后位数最少的一个相同。

$$\text{例: } 4.178 + 21.3 = 25.478 = 25.5$$

3.2.2 乘、除法

诸量相乘(除)后其积(商)所保留的有效数字位数,只需与诸因子中有效数字位数最少的一个相同。

$$\text{例: } 4.178 \times 10.1 = 42.1978 = 42.2 \quad 5.348 \times 205 = 1096.340 = 1.10 \times 10^3$$

$$3.142 \times 18.6 = 58.4412 = 58.4 \quad 12764 \div 361 = 35.35 = 35.4$$

3.2.3 乘方开方

有效数字位数与其底的有效数字位数相同。

$$\text{例: } 1.352^2 = 1.828 \quad (158.6)^{1/2} = 12.59$$

3.2.4 对数函数

运算后的尾数位数与真数位数相同。

$$\text{例: } \lg 1.938 = 0.2973$$

$$\lg 1938 = 3 + \lg 1.938 = 3.2973$$

3.2.5 指数函数

运算后的有效数字的小数点后位数与指数的小数点后的位数相同(包括紧接小数点后的零)。

$$\text{例: } 10^{6.25} = 1.79 \times 10^6$$

$$10^{0.0035} = 1.0080$$

3.2.6 三角函数: 取位随角度有效数字而定

$$\text{例: } \sin 30^\circ 00' = 0.5000$$

$$\cos 20^\circ 16' = 0.9381$$

正确数不适用于有效数字的运算规则。

取常数的位数与测量值的有效数字的位数相同。

3.3 有效数字尾数的舍入规则

- (1) 若舍去部分的数值小于所保留的末位数单位的 $1/2$, 末位数不变。
- (2) 若舍去部分的数值大于保留的末位数单位的 $1/2$, 末位数加 1。
- (3) 若舍去部分的数值恰好等于保留的末位数单位的 $1/2$, 当末位数为偶数时, 保持不变; 为奇数时, 末位数加 1。

$$\text{例: } 4.32749 \rightarrow 4.327$$

$$4.32751 \rightarrow 4.328$$

$$4.32750 \rightarrow 4.328$$

$$4.32850 \rightarrow 4.328$$

通俗地说: 四舍六入, 五凑偶。

第二节 误差

1. 真值

在一定条件下,任何一个物理量的大小都是客观存在的,都有一个不以人的意志为转移的客观量值,称为真值。以 x_0 表示。严格的完善测量难以做到,故真值就不能确定。

约定真值:

理论真值:理论设计值、公理值、理论公式计算值。

计量约定值:国际计量大会规定的各种基本单位值、基本常量值。

标准器件值:高级标准器件值作为较低级仪表的相对标准值。

算数平均值:测量次数趋于无穷时,测量值的算术平均值趋于真值。

2. 测量误差

对一待测物理量 x : 测量误差 $\Delta x = \text{测量结果 } x - \text{真值 } x_0$

测量误差是物理量在一定实验条件下的客观存在值;测量误差存在于一切测量过程中,可以控制得越来越小,不可能为零。

误差分为系统误差、随机误差。

2.1 系统误差

2.1.1 定义

在对同一被测物理量的多次测量过程中,绝对值和符号保持恒定或随测量条件的改变而按确定的规律变化的误差。

2.1.2 产生原因

由于测量仪器、测量方法、环境带入。

2.1.3 分类及处理方法

(1) 已定系统误差:必须修正电表、螺旋测微器的零位误差;测电压、电流时由于忽略表内阻引起的误差。

(2) 未定系统误差:要估计出分布范围,如螺旋测微器制造时的螺纹公差等。

2.2 随机误差

2.2.1 定义

在对同一量的多次重复测量中绝对值和符号以不可预知方式变化的测量误差分量。

2.2.2 产生原因

实验条件和环境因素无规则的起伏变化,引起测量值围绕真值发生涨落的变化。例如:电表轴承的摩擦力变动、螺旋测微器测力在一定范围内随机变化、操作读数时的视差影响。

2.2.3 特点

(1) 小误差出现的概率比大误差出现的概率大。

(2) 无穷多次测量时服从正态分布。

(3) 具有抵偿性。取多次测量的平均值有利于消减随机误差。

2.3 算数平均值

假定对一个物理量进行了 n 次测量,测得的值为 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$, 则

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

可以用多次测量的算术平均值作为被测量的最佳估计值, 测量次数 n 为无穷大时, 算术平均值趋近于真值。

2.4 标准误差

对于等精度的单次测量列, 如果真值为 x_0 , 则其标准误差 (正态分布的标准差) 定义为

$$\sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_0)^2}{n}}$$

2.4.1 意义

$n \rightarrow \infty$ 时, 反映测量列的离散程度 (测量的分散性)。

2.4.2 标准误差小

表示测得值很密集, 随机误差分布范围窄, 测量的精密度高。

2.4.3 标准误差大

表示测得值很分散, 随机误差分布范围宽, 测量的精密度低。

由于真值 x_0 难求、测量次数也总是有限的, 所以无法计算。标准误差也仅仅是一种理论上的定义。在等精度的有限次测量中, 以平均值作为真值的最佳估计值, 用残差来估计标准误差, 即标准偏差。

2.5 标准偏差

$$\text{有限次测量时, 测量值的标准偏差: } \sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{贝塞尔公式})$$

意义: 表征随机误差引起测得值 x_i 的分散性

$$\text{有限次测量时, 算术平均值的标准偏差为: } \sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

意义: 表征同一被测量的各个测量列平均值的分散性

说明: 为了知道某一种测量方法的重复性到底如何, 往往通过对同一个被测对象重复测量 n 次 (一般取 $n=10$), 用贝塞尔公式计算出测量值的实验标准偏差 σ_x , 这个 σ_x 就是通过科学实验得到的用该测量方法对被测对象测量一次给出测量结果的标准偏差。

这个通过科学实验得到的 σ_x 就可以作为一个固定的已知标准偏差使用。以后无论测量多少次, σ_x 是不变的。通过多少次测量, 取其“算术平均值”作为测量结果, 那个以算术平均值作为测量结果的“标准偏差”只需要用已知的 σ_x 除以测量次数的平方根即可。测量 1 次则 $\sigma_x/\sqrt{1} = \sigma_x$, 就是 σ_x ; 测量 2 次就是 $\sigma_x/\sqrt{2}$; 测量 3 次就是 $\sigma_x/\sqrt{3}$; 测量 n 次就是 $\sigma_x/\sqrt{n}$ 。实验标准偏差是评价一组数据的离散程度的量。