



国家卫生和计划生育委员会“十三五”规划教材配套教材
全国高等医药教材建设研究会“十三五”规划教材配套教材

全国高等学校药学类专业第八轮规划教材配套教材

供药学类专业用

物理学 实验指导

主编 王晨光 武 宏



人民卫生出版社
PEOPLE'S MEDICAL PUBLISHING HOUSE



国家卫生和计划生育委员会“十三五”规划教材配套教材
全国高等医药教材建设研究会“十三五”规划教材配套教材

全国高等学校药学类专业第八轮规划教材配套教材

供药学类专业用

物理学实验指导

主 编 王晨光 武 宏

副主编 石继飞 赵 喆

编 者 (以姓氏笔画为序)

王晨光 (哈尔滨医科大学)

石继飞 (包头医学院)

李 喆 (哈尔滨医科大学)

张盛华 (桂林医学院)

张淑丽 (齐齐哈尔医学院)

武 宏 (山东大学)

郑海波 (福建医科大学)

赵 喆 (沈阳药科大学)

盖志刚 (山东大学)

人民卫生出版社

图书在版编目(CIP)数据

物理学实验指导 / 王晨光, 武宏主编. —北京: 人民卫生出版社, 2016

ISBN 978-7-117-22810-7

I. ①物… II. ①王… ②武… III. ①医用物理学 - 实验 - 医学院校 - 教学参考资料 IV. ①R312-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 155389 号

人卫社官网	www.pmph.com	出版物查询, 在线购书
人卫医学网	www.ipmph.com	医学考试辅导, 医学数据库服务, 医学教育资源, 大众健康资讯

版权所有, 侵权必究!

物理学实验指导

主 编: 王晨光 武 宏

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 010-59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E - mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷: 三河市尚艺印装有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 9

字 数: 225 千字

版 次: 2016 年 2 月第 1 版 2016 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-22810-7/R · 22811

定 价: 26.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: WQ@pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)

全国高等学校药学类专业本科国家卫生和计划生育委员会规划教材是我国最权威的药学类专业教材,于1979年出版第1版,1987~2011年间进行了6次修订,并于2011年出版了第七轮规划教材。第七轮规划教材主干教材31种,全部为原卫生部“十二五”规划教材,其中29种为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材;配套教材21种,全部为原卫生部“十二五”规划教材。本次修订出版的第八轮规划教材中主干教材共34种,其中修订第七轮规划教材31种;新编教材3种,《药学信息检索与利用》《药学服务概论》《医药市场营销学》;配套教材29种,其中修订24种,新编5种。同时,为满足院校双语教学的需求,本轮新编双语教材2种,《药理学》《药剂学》。全国高等学校药学类专业第八轮规划教材及其配套教材均为国家卫生和计划生育委员会“十三五”规划教材、全国高等医药教材建设研究会“十三五”规划教材,具体品种详见出版说明所附书目。

该套教材曾为全国高等学校药学类专业唯一一套统编教材,后更名为规划教材,具有较高的权威性和较强的影响力,为我国高等教育培养大批的药学类专业人才发挥了重要作用。随着我国高等教育体制改革的不断深入发展,药学类专业办学规模不断扩大,办学形式、专业种类、教学方式亦呈多样化发展,我国高等药学教育进入了一个新的时期。同时,随着药学行业相关法规政策、标准等的出台,以及2015年版《中华人民共和国药典》的颁布等,高等药学教育面临着新的要求和任务。为跟上时代发展的步伐,适应新时期我国高等药学教育改革和发展的要求,培养合格的药学专门人才,进一步做好药学类专业本科教材的组织规划和质量保障工作,全国高等学校药学类专业第五届教材评审委员会围绕药学类专业第七轮教材使用情况、药学教育现状、新时期药学人才培养模式等多个主题,进行了广泛、深入的调研,并对调研结果进行了反复、细致地分析论证。根据药学类专业教材评审委员会的意见和调研、论证的结果,全国高等医药教材建设研究会、人民卫生出版社决定组织全国专家对第七轮教材进行修订,并根据教学需要组织编写了部分新教材。

药学类专业第八轮规划教材的修订编写,坚持紧紧围绕全国高等学校药学类专业本科教育和人才培养目标要求,突出药学类专业特色,对接国家执业药师资格考试,按照国家卫生和计划生育委员会等相关部门及行业用人要求,在继承和巩固前七轮教材

建设工作成果的基础上,提出了“继承创新”“医教协同”“教考融合”“理实结合”“纸数同步”的编写原则,使得本轮教材更加契合当前药学类专业人才培养的目标和需求,更加适应现阶段高等学校本科药学类人才的培养模式,从而进一步提升了教材的整体质量和水平。

为满足广大师生对教学内容数字化的需求,积极探索传统媒体与新媒体融合发展的新型整体教学解决方案,本轮教材同步启动了网络增值服务和数字教材的编写工作。34种主干教材都将在纸质教材内容的基础上,集合视频、音频、动画、图片、拓展文本等多媒介、多形态、多用途、多层次的数字素材,完成教材数字化的转型升级。

需要特别说明的是,随着教育教学改革的发展和专家队伍的发展变化,根据教材建设工作的需要,在修订编写本轮规划教材之初,全国高等医药教材建设研究会、人民卫生出版社对第四届教材评审委员会进行了改选换届,成立了第五届教材评审委员会。无论新老评审委员,都为本轮教材建设做出了重要贡献,在此向他们表示衷心的感谢!

众多学术水平一流和教学经验丰富的专家教授以高度负责的态度积极踊跃和严谨认真地参与了本套教材的编写工作,付出了诸多心血,从而使教材的质量得到不断完善和提高,在此我们对长期支持本套教材修订编写的专家和教师及同学们表示诚挚的感谢!

本轮教材出版后,各位教师、学生在使用过程中,如发现问题请反馈给我们(renweiyaoxue@163.com),以便及时更正和修订完善。

全国高等医药教材建设研究会

人民卫生出版社

2016年1月

国家卫生和计划生育委员会“十三五”规划教材 全国高等学校药学类专业第八轮规划教材书目

序号	教材名称	主编	单位
1	药学导论(第4版)	毕开顺	沈阳药科大学
2	高等数学(第6版)	顾作林	河北医科大学
	高等数学学习指导与习题集(第3版)	顾作林	河北医科大学
3	医药数理统计方法(第6版)	高祖新	中国药科大学
	医药数理统计方法学习指导与习题集(第2版)	高祖新	中国药科大学
4	物理学(第7版)	武 宏	山东大学物理学院
		章新友	江西中医药大学
	物理学学习指导与习题集(第3版)	武 宏	山东大学物理学院
	物理学实验指导***	王晨光	哈尔滨医科大学
		武 宏	山东大学物理学院
5	物理化学(第8版)	李三鸣	沈阳药科大学
	物理化学学习指导与习题集(第4版)	李三鸣	沈阳药科大学
	物理化学实验指导(第2版)(双语)	崔黎丽	第二军医大学
6	无机化学(第7版)	张天蓝	北京大学药学院
		姜凤超	华中科技大学同济药学院
	无机化学学习指导与习题集(第4版)	姜凤超	华中科技大学同济药学院
7	分析化学(第8版)	柴逸峰	第二军医大学
		邸 欣	沈阳药科大学
	分析化学学习指导与习题集(第4版)	柴逸峰	第二军医大学
	分析化学实验指导(第4版)	邸 欣	沈阳药科大学
8	有机化学(第8版)	陆 涛	中国药科大学
	有机化学学习指导与习题集(第4版)	陆 涛	中国药科大学
9	人体解剖生理学(第7版)	周 华	四川大学华西基础医学与法医学院
		崔慧先	河北医科大学
10	微生物学与免疫学(第8版)	沈关心	华中科技大学同济医学院
		徐 威	沈阳药科大学
	微生物学与免疫学学习指导与习题集***	苏 昕	沈阳药科大学
		尹丙姣	华中科技大学同济医学院
11	生物化学(第8版)	姚文兵	中国药科大学
	生物化学学习指导与习题集(第2版)	杨 红	广东药科大学

续表

序号	教材名称	主编	单位
12	药理学(第8版)	朱依淳	复旦大学药学院
		殷 明	上海交通大学药学院
	药理学(双语)**	朱依淳	复旦大学药学院
		殷 明	上海交通大学药学院
13	药理学学习指导与习题集(第3版)	程能能	复旦大学药学院
	药物分析(第8版)	杭太俊	中国药科大学
	药物分析学习指导与习题集(第2版)	于治国	沈阳药科大学
	药物分析实验指导(第2版)	范国荣	第二军医大学
14	药用植物学(第7版)	黄宝康	第二军医大学
	药用植物学实践与学习指导(第2版)	黄宝康	第二军医大学
15	生药学(第7版)	蔡少青	北京大学药学院
		秦路平	第二军医大学
	生药学学习指导与习题集***	姬生国	广东药科大学
	生药学实验指导(第3版)	陈随清	河南中医药大学
16	药物毒理学(第4版)	楼宜嘉	浙江大学药学院
17	临床药物治疗学(第4版)	姜远英	第二军医大学
		文爱东	第四军医大学
18	药物化学(第8版)	尤启冬	中国药科大学
	药物化学习指导与习题集(第3版)	孙铁民	沈阳药科大学
19	药剂学(第8版)	方 亮	沈阳药科大学
	药剂学(双语)**	毛世瑞	沈阳药科大学
	药剂学学习指导与习题集(第3版)	王东凯	沈阳药科大学
	药剂学实验指导(第4版)	杨 丽	沈阳药科大学
20	天然药物化学(第7版)	裴月湖	沈阳药科大学
		娄红祥	山东大学药学院
	天然药物化学习指导与习题集(第4版)	裴月湖	沈阳药科大学
	天然药物化学实验指导(第4版)	裴月湖	沈阳药科大学
21	中医药学概论(第8版)	王 建	成都中医药大学
22	药事管理学(第6版)	杨世民	西安交通大学药学院
	药事管理学学习指导与习题集(第3版)	杨世民	西安交通大学药学院
23	药学分子生物学(第5版)	张景海	沈阳药科大学
	药学分子生物学学习指导与习题集***	宋永波	沈阳药科大学
24	生物药剂学与药物动力学(第5版)	刘建平	中国药科大学
	生物药剂学与药物动力学学习指导与习题集(第3版)	张 娜	山东大学药学院

续表

序号	教材名称	主编	单位
25	药学英语(上册、下册)(第5版)	史志祥	中国药科大学
	药学英语学习指导(第3版)	史志祥	中国药科大学
26	药物设计学(第3版)	方 浩	山东大学药学院
	药物设计学学习指导与习题集(第2版)	杨晓虹	吉林大学药学院
27	制药工程原理与设备(第3版)	王志祥	中国药科大学
28	生物制药工艺学(第2版)	夏焕章	沈阳药科大学
29	生物技术制药(第3版)	王凤山	山东大学药学院
		邹全明	第三军医大学
	生物技术制药实验指导***	邹全明	第三军医大学
30	临床医学概论(第2版)	于 锋	中国药科大学
		闻德亮	中国医科大学
31	波谱解析(第2版)	孔令义	中国药科大学
32	药学信息检索与利用*	何 华	中国药科大学
33	药学服务概论*	丁选胜	中国药科大学
34	医药市场营销学*	陈玉文	沈阳药科大学

注：*为第八轮新编主干教材；**为第八轮新编双语教材；***为第八轮新编配套教材。

全国高等学校药学类专业第五届教材评审委员会名单

顾问 吴晓明 中国药科大学

周福成 国家食品药品监督管理总局执业药师资格认证中心

主任委员 毕开顺 沈阳药科大学

副主任委员 姚文兵 中国药科大学

郭 姣 广东药科大学

张志荣 四川大学华西药学院

委员 (以姓氏笔画为序)

王凤山 山东大学药学院

朱依淳 复旦大学药学院

朱 珠 中国药学会医院药学专业委员会

刘俊义 北京大学药学院

孙建平 哈尔滨医科大学

李晓波 上海交通大学药学院

李 高 华中科技大学同济药学院

杨世民 西安交通大学药学院

杨 波 浙江大学药学院

张振中 郑州大学药学院

张淑秋 山西医科大学

陆 涛 中国药科大学

周余来 吉林大学药学院

胡长平 中南大学药学院

胡 琴 南京医科大学

姜远英 第二军医大学

夏焕章 沈阳药科大学

黄 民 中山大学药学院

黄泽波 广东药科大学

曹德英 河北医科大学

彭代银 安徽中医药大学

董 志 重庆医科大学

依据全国高等医药教材建设研究会关于全国高等学校药学类专业第八轮规划教材修订意见,我们在编写《物理学》第7版的同时,进行了国家卫生和计划生育委员会“十三五”规划教材配套教材《物理学实验指导》的编写。

《物理学实验指导》的编写以“实用”和“通用”为原则,力求最大程度地满足各类开设物理学实验的医药院校教学使用。教材整合了二十项常规实验项目,其中一些项目按实验目的或实验方法不同拆分成几个密切相关的子项目,供各院校选择参考。教材中所列实验项目既有传统实验,也有一些内容新颖的特色实验,可作为医药相关专业物理学实验课程教学和课程改革的重要参考资料。本教材绪论部分涉及了物理实验基本理论中的测量、误差、有效数字、不确定度以及实验数据处理等内容。所列出的每个实验项目都包含了实验目的、实验原理、实验器材、实验步骤、注意事项和思考题等部分。教材内容完整、科学、精练,并且尽可能规避了所涉及实验仪器的特定型号及其具体使用说明,以保证本教材的通用性。

参加本教材编写的院校有:哈尔滨医科大学、山东大学、沈阳药科大学、包头医学院、齐齐哈尔医学院、福建医科大学、桂林医学院等七所院校。

本教材在编写过程中得到了各位编者所在学校的大力支持,我们在这里表示衷心的感谢!

本书错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

王晨光 武 宏
2016年1月

绪论	1
第一节 物理学实验对医药类专业的重要性	1
第二节 如何做好物理学实验	1
第三节 测量、误差与有效数字	3
第四节 实验不确定度的评定	12
第五节 实验数据的处理方法	14
实验一 物体的基本测量	19
一、物体长度的测量	19
二、物体密度的测量	26
实验二 用拉脱法测定液体表面张力系数	32
实验三 杨氏模量的测量	35
实验四 液体黏滞系数的测量	39
一、奥氏黏度计	39
二、斯托克斯定律	42
实验五 万用表的使用	47
实验六 示波器的原理和使用	53
实验七 RC 电路的暂态过程	59
实验八 声速测定	62
一、利用多普勒效应测速	62
二、超声声速的测定	65
实验九 霍尔效应及其应用	71
实验十 热敏电阻的特性与应用	75
实验十一 用补偿法测电动势	78

实验十二 用阿贝折射仪测量液体的折射率	82
实验十三 干涉现象的应用	87
一、透镜曲率半径的测量	87
二、利用劈尖干涉测量厚度	91
实验十四 分光计的调节和使用	94
一、分光计的调节	94
二、用分光计测定棱镜的折射率	97
三、光波波长的测定	99
四、用分光计观察原子光谱	101
实验十五 旋光计的使用和测量	105
实验十六 人耳听阈曲线的测定	111
实验十七 人体参数相关测量	114
一、人体皮肤电阻抗的频率特性	114
二、人体血压测量	116
实验十八 心电图机的使用	120
实验十九 非正常眼的模拟与矫正	125
实验二十 传感器	129
一、扩散硅压阻式压力传感器	129
二、电涡流式位移传感器	131

绪 论

第一节 物理学实验对医药类专业的重要性

物理学是认识物质的基本属性,研究物质运动普遍规律及物质基本结构的学科。物理学实验是物理学研究的基本方法,无论是物理学规律的发现还是理论的建立,都必须以严格的物理学实验为基础。物理学实验在实验的思想、方法及手段等方面也是各学科实验的基础。

自然科学的很多规律是通过实验发现的。例如,伽利略(Galileo,1564—1642)通过观察发现教堂中吊灯的摆动具有等时性,并通过实验推导出单摆的振动周期与摆长的平方根成正比,并将这用于人心率的测量。实验可以发现新的事实,为物理规律的建立提供依据,同时又是检验理论正确与否的重要判据。

1895年11月8日,德国物理学家伦琴(Wilhelm Röntgen,1835—1923)在实验室首次发现了X射线,并用它拍下了他夫人手骨的照片,这是人类的第一张X线照片。几周后,芝加哥电气技师家格鲁勃(E.Grubbe)利用X射线为一名55岁的乳腺癌患者进行了放射治疗;3个月后,维也纳一所医院将X射线拍片应用于外科诊断。美国物理学家科马克(Allan MacLeod Cormack,1924—1998)和英国工程师亨斯菲尔德(Godfrey Newbold Hounsfield,1919—2004)根据人体不同的组织对X射线的吸收本领不同,提出了用投影数据重建图像的数学方法,并在1972年研制成第一台头部X-CT,使医学影像技术发生重大变革。目前,医用X-CT已成为临床医学诊断中最有效的手段之一。1953年,美国生物学家沃森(James Dewey Watson,1928—)和英国物理学家克里克(Francis Harry Compton Crick,1916—2004)根据X射线的衍射方法,发现了脱氧核糖核酸(即DNA)的双螺旋结构。

现在医疗上广泛使用的光纤内窥镜技术、激光技术、介入技术、X-CT技术、核磁共振成像技术,以及放射线在诊断和治疗肿瘤方面技术的进步和突破,大多都是从实验室中诞生的。这些物理学重大理论和技术在医药学方面的广泛应用,极大地推动了现代医药学的发展,提高了人们的生活质量。

第二节 如何做好物理学实验

物理实验在大学生素质教育中同样具有重要作用。通过实验训练可以使學生掌握物理实验的基本方法、基本知识和基本技能。基本的实验方法和测量技术是实际工作中复杂实验和测量的基础。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,教学方式主要是学生自己动手,完成相应实验规定的任务,教师只是在关键的地方给予提示和指导。因此,物理实验要充分发挥学生的主观能动性,注重培养学生独立工作的能力和严肃认真的工作作风。

一、预 习

预习是学生能否完成相应实验内容中至关重要的环节。为此,要求学生在实验前必须认真阅读实验的相关内容,也可参考其他资料(首次实验要认真学习实验室规则),明确实验目的、实验原理和实验内容,了解仪器的构造、操作方法和注意事项,并在此基础上书写预习报告。预习报告内容主要包括以下几方面:实验名称、实验目的、实验原理、仪器设备、实验步骤、数据记录表格等。

二、实 验 操 作

实验前首先要检查仪器设备,看其是否完备、齐全,如有问题,应向指导教师提出。然后记录主要仪器的名称、型号、规格和编号,仔细阅读仪器说明书或仪器使用时的注意事项,在教师指导下正确地组装和调试仪器,不要盲目操作、急于求成。实验时要先观察实验现象,再进行精确测量。在观察、测量时,要做到正确读数,将原始数据如实记录在事先准备好的表格中,真实地记录原始数据是取得正确实验结果的前提。对原始实验数据一定要实事求是地进行记录,字迹要清楚、整洁。要用钢笔或圆珠笔将原始数据、实验环境的温度、所使用仪器的名称、编号等准确无误地记在事先设计好的表格和预习报告上。如确系错误数据,应轻轻划上并注明原因,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不确定度时参考。原始数据绝不能随意更改,众所周知,历史上许多物理定律都是由于实验数据与根据已有理论所预期的结果不相一致才得以被发现的。实验中遇到仪器故障时要积极思考,在教师指导下学习排除故障的方法。实验结束时,将实验数据交给指导教师审阅签字,整理还原仪器后方可离开实验室。

三、实 验 报 告

为了培养和训练学生书面形式总结工作或报告科学成果的能力,实验后要对实验数据及时处理并撰写出实验报告。实验报告要思路清晰、字迹清楚、文理通顺、图表正确、数据完备和结论明确。

四、实 验 习 惯

良好的实验习惯是学生综合素质的重要组成部分。应根据实验场所的环境和实验所需的器材,正确合理地安排好各种装置的位置,实验材料不能随意摆放。尽可能减少人为故障,使实验准确、无误、顺利地进行。在电学实验中,要养成安全用电的习惯,对每一个连接点都要确保完好连接。否则线路中只要有一个点虚接,就会浪费大量时间去反复检查线路,使实验不能顺利进行。

分析问题的能力也是实验者最重要、最基本的素质之一。当实验结果与预期不相符合时,应对实验过程中的正常和“反常”现象进行分析,判断问题可能存在的环节并加以改正。若无法判断出问题的原因,则请教师帮助解决,从中学会如何判断和解决问题,从而提高判断分析的能力。

第三节 测量、误差与有效数字

物理实验是找出物理量之间的内在联系,从中获得规律性的认识,或验证理论,或发现规律。要想得到量化的认识,就必须进行科学的测量,正确地记录和处理实验数据。由于测量仪器的精度限制、测量环境的不理想以及测量者的实验技能等诸多因素的影响,所有测量都只能做到相对准确,估算并分析误差是科学实验过程中极为重要的组成部分。本节主要介绍测量与误差、误差处理、有效数字等基本知识。

一、测量与误差

(一) 测量及其分类

选定待测对象,同时确定同类标准单位量,然后待测对象与标准单位量进行比较,这就是测量。测量的方法有很多,有比较法、转换测量法、模拟法、线性放大法等等。无论采用哪种方法测量,我们都可将其分为直接测量和间接测量。

直接测量: 直接从测量仪器或量具上测出(读出)被测数值的测量,称直接测量。例如用电流表测电路中的电流,秒表测时间等都是直接测量。直接测量的数据称为读数或原始数据,它是测量的原始依据。在实验中,原始数据必须边测量边记录,不得事后补记。

间接测量: 一些物理量没有直接测量的仪器,需要根据相关需要将直接测量的量根据相关的物理原理以及公式进行运算,从而得到测量结果,这种方法称为间接测量。例如,测量圆柱体的体积时,先测出圆柱体的高度 h ,直径 d ,再由体积公式 $V=\pi d^2 h/4$ 可计算出圆柱体的体积。

按照测量条件又可将测量分为等精度测量和非等精度测量。

等精度测量: 实验中对某一待测对象,用同一仪器(或精度相同的仪器),在相同条件下进行的多次测量称为等精度测量。例如,用同一个游标卡尺用同样的方法对同一个圆柱体的直径进行多次测量,每次测量的可靠程度相同,这些测量就是等精度测量。

非等精度测量: 对待测对象进行多次测量过程中,测量条件完全不同或者部分不同,这样的测量称为非等精度测量。例如,用不同分度值的尺子测量同一物体的长度,每次测量结果的可靠度也就不同,这些测量就是非等精度测量。只有对待测对象进行等精度测量所得数值才能进行误差计算。

(二) 测量的误差及其分类

一定条件下,任何物质固有属性的物理量都存在着确定的客观真实数值,称为真值,实际测得的量称为测量值。实验数据的测量受到实验理论的近似性、测量器材灵敏度和分辨能力、测量条件的不稳定性以及测量者的实验技能等多种因素的影响,测得的结果只能准确到一定的程度,真值是不可能确切测得的。

测量结果与客观存在的真值之间的差异称为测量误差,简称误差。实验证明:误差自始至终存在于一切科学实验的测量过程中。

测量中的误差主要分为两类,系统误差和偶然误差。

系统误差: 在多次重复测量时,每次的测量中都具有大小一定、符号一定,或按照一定规律变化的测量误差分量,这种误差称系统误差。系统误差的主要来源于仪器本身的缺陷、仪

器未经过很好的校准、定理或公式本身不够严密或实验方法粗糙、测量时外部条件的改变、实验者技术不够熟练等。减小和消除系统误差是个复杂的问题,某些情况下可以通过对测量引入修正值和选择适当的测量方法等途径加以消除或尽可能减少。

偶然误差:待测物在同一测量条件下做多次重复测量的过程中,误差出现的数值和正负号没有明显规律。这种误差是由于许多不可预测的偶然因素造成的,称为偶然误差(又称随机误差)。偶然误差是由于实验中各因素微小变化引起的,例如测量时外界温度或湿度的微小起伏,实验装置在各次测量调整操作上的变动,杂散电磁场的干扰等随测量而来的其他不可预测的随机因素的影响,致使每次的测量值围绕着平均值发生涨落的变化。偶然误差就某一次测量值来说是没有规律的,其大小和方向都不能预知,但对一个量进行多次重复测量时,偶然误差服从某种统计规律,并且正、负误差出现的机会相等。因此,增加重复测量的次数可以减少偶然误差。

必须强调的是,误差与测量中的错误是不同的。测量中的错误是由于实验者在测量、记录或计算时读错、记错、算错或实验设计错误、操作不当等等造成的。测量中的错误不属于如前所述的误差,它完全可以并且必须避免。

(三) 对测量结果的评价

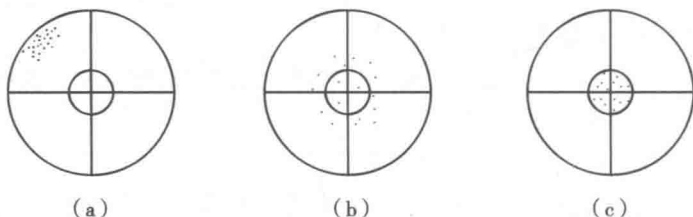
对于测量结果做总体评价时,一般把系统误差和偶然误差联系起来。可以通过正确度、精密度和精确度来评价测量结果。

正确度:正确度表示测量结果中系统误差大小的程度。它是指测量值或者实验所得结果与真值符合的程度,即描述测量值接近真值的程度。

精密度:精密度表示测量结果中偶然误差大小的程度。它是指在同一条件下对同一待测对象进行重复测量时,各测量值之间的接近程度。因此,在测量中偶然误差越大,则多次重复测量同一被测量所得的各次测量值相互之间的偏离也越大,即越分散,表明测量值的精密度越低。

精确度:精确度又称精度,是测量结果中系统误差和偶然误差的综合。用它来描述测量结果的重复性以及真值的接近程度。精确度包含了正确度和精密度两方面的含义。只有当系统误差和偶然误差都小时才能认为精确度高。

以打靶时弹着点的分布情况来形象的说明精确度、正确度、精密度三者之间的区别。如绪论图1所示,图中(a)显示弹着点集中,表示精密度高,即偶然误差小,但位置不正,所有弹着点均离靶心较远,表示有一较大的系统误差,正确度低;(b)显示弹着点较分散,表示精密度不如(a),但所有弹着点都在靶心附近,表示正确度较(a)高,即系统误差较(a)小;(c)显示所有弹着点都集中于靶心,表示精密度和正确度都高,即偶然误差和系统误差均小,精确度高。



绪论图1 正确度、精密度、精确度的形象描述

二、系统误差的修正

在许多情况下,系统误差常常表现不明显,然而它却是影响测量结果精确度的主要因素。因此,找出系统误差并设法修正它或消除它的影响是误差分析的一个重要内容。我们可以通过找到产生系统误差的根源、对测量结果引入修正值、选用适当的测量方法等使系统误差能够被抵消,从而不将其带入测量结果之中。

三、偶然误差的估计及测量结果的表示

实验中偶然误差不可避免、不可能消除,但可以根据偶然误差的理论来估算其大小。下面为简化起见,假设系统误差减小到可以忽略,讨论偶然误差的处理方法。

(一) 直接测量的误差

1. 单次直接测量偶然误差的估计 在实验过程中,有时由于条件不允许,或测量精度要求不高,常常只对待测对象测量一次并估计误差。估计误差要根据仪器精度以及测量条件来确定。一般来说,可取仪器误差作为单次测量的最大误差。没有注明仪器误差的仪器,可取仪器的最小分度的一半作为本次测量误差,例如用米尺测量物体的长度,米尺的最小分度为1毫米时,误差可取0.5毫米。从教学角度看,只做一次测量的误差值,可根据实验的不同情况以及学生的实验技巧的高低来具体对待。

2. 多次测量偶然误差的估计

(1) 以算术平均值代表测量结果: 偶然误差在测量次数足够多的情况下服从统计规律,即测量值比真值大的几率和比真值小的几率几乎相等。在操作方法正确的情况下,各次测量的结果都应在真值附近。

在实际测量中,设被测量的真值为 n ,测量次数为 k 。当 k 为有限值时,各次测量值分别为 $N_1, N_2, \dots, N_k$,则各次测量值与真值之差分别为:

$$\Delta n_1 = N_1 - n, \Delta n_2 = N_2 - n, \dots, \Delta n_k = N_k - n$$

根据前面的分析,这些差值有正有负,当 $k \rightarrow \infty$ 时

$$\lim_{k \rightarrow \infty} (\Delta n_1 + \Delta n_2 + \dots + \Delta n_k) = 0 \quad (0-1)$$

$$\bar{N} = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{N_1 + N_2 + \dots + N_k}{k} \quad (0-2)$$

其中, $\bar{N}$ 表示测量次数为 k 时的算术平均值。

测量的次数越多,表明测量值的算术平均值就越接近于真值。即

$$\bar{N} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k N_i = \frac{1}{k} (N_1 + N_2 + \dots + N_i) \quad (0-3)$$

(2) 标准误差: 根据误差的定义可知真值不能确定,因此误差也只能估计。估计偶然误差的方法有很多种,最常用的是用标准误差来表示偶然误差。

设对某一物理量在测量条件相同的情况下进行 k 次无明显系统误差的独立测量。用测量值的算术平均值 $\bar{N}$ 来表示测量结果。每一次测量值 N_i 与 $\bar{N}$ 之差称为偏差,记为:

$$\Delta N_i = N_i - \bar{N} \quad i=1, 2, \dots, k \quad (0-4)$$

显然每次测量的偏差有正、有负、有大、有小,因而常用“均方根”对它们进行统计,得到的结果就是单个测量值的标准误差,用 σ 表示: