

高等学校物理实验教学示范中心系列教材

大学物理实验教程

University Physics Experiments

主 编 葛 凡 郑飞跃
副主编 徐姪梅 尤素萍



高等教育出版社

高等学校物理实验教学示范中心系列教材

大学物理实验教程

DAXUE WULI SHIYAN JIAOCHENG

主 编 葛 凡 郑飞跃
副主编 徐姪梅 尤素萍
参 编 黄 华 黄春云 彭辉丽 蔡本晓

高等教育出版社·北京

内容简介

本书根据《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(2010年版),结合近年来实验理念的发展和风格演变编写而成。本书共7章,前2章系统地介绍了与大学物理实验相关的基本知识,包括实验误差和数据处理的基础知识、物理实验的常用方法和实验技术、常规仪器的工作原理和使用方法。后面几章包括衔接中学知识的预备性实验、加深物理规律理解的基础性实验、开阔视野和提高实验技能的近代物理与综合性实验、培养学生探索与创新精神的设计性实验。

本书结合现代的教学理念,在部分常规大学物理实验中,嵌入实验教学视频和实验拓展资料,可供学生自学或翻转课堂教学使用。本书可作为高等学校工科各专业的大学物理实验教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验教程/葛凡,郑飞跃主编.--北京:
高等教育出版社,2018.3
ISBN 978-7-04-049426-6

I. ①大… II. ①葛… ②郑… 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(2018)第025222号

策划编辑 王 硕
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 缪可可
责任校对 刘丽娴

封面设计 张 志
责任印制 赵义民

版式设计 马敬茹

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 北京盛通印刷股份有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 18.75
字 数 450千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版 次 2018年3月第1版
印 次 2018年3月第1次印刷
定 价 35.20元

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 49426-00

大学物理 实验教程

葛 凡 郑飞跃

- 1 电脑访问 <http://abook.hep.com.cn/1254591>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号 (20 位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 点击“进入学习”, 开始本数字课程的学习。



<http://abook.hep.com.cn/1254591>

前 言

大学物理实验课程是理工科学生进入大学后最先接触的独立的基础实验课程。虽然物理实验必须以物理学的理论为基础,需要运用物理学的原理进行实验或研究,但它并不是“大学物理学”课程的分支或组成部分,它不是单纯以验证物理定律和加深物理规律的理解为主要目的,而是通过实验学习物理实验的基本技术和测量方法,培养大学生科学实验的能力,提高其科学实验的综合素质。它是培养学生严谨的科学实验态度、活跃的创新意识的不可缺少的重要基础课程。

我们根据《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(2010年版),在杭州电子科技大学建校40年来大学物理实验课程教学改革和实验室建设以及参加浙江省大学生物理实验技能与创新竞赛的实践基础上,参考2017年高考改革浙江省普通工科院校对物理学的要求,结合我校相关专业的特色,继承了2010年出版的《大学实验物理教程》的优点,编写成适用于不同物理基础的新生和通过自学参加实验创新竞赛的学生的多层次教材。

为适应时代的发展,充分利用互联网的先进性和普遍性,本教材配套搭建了网站和手机APP,部分实验的视频、实验扩充知识和拓展内容的阅读资料在网站或手机APP中均可查看,通过打造立体化的教材,方便学生实验前的预习及自学,并且增加教材的深度和广度。教材的立体化为物理实验的翻转课堂提供必要的支撑。

我们在教材内容的编排上作了一定的调整,以适应不同层次学生的需求。新高考制度下物理作为选考内容,学生的物理基础参差不齐。为此,本书设置部分简单的基础实验作为中学和大学的衔接实验,供学生选修。根据当前学科发展的现状、市场需求,实验教材在“保证基础”的情况下,加强“面向应用”的内容,增加了新技术和新知识的介绍和相关的实验,如包含传感器技术和Pasco数据处理的Pasco综合实验、LED发光特性实验、数字式示波器和数字万用表的应用实验等。新增单片机原理及其简单应用、MATLAB在物理实验中的应用等内容,供有需要的学生参考。

本书按实验层次分成7章,包括:实验误差与数据处理基础知识,物理实验的常用方法与相关技术,预备性实验,基础实验,近代物理与综合实验,设计性与研究性实验,计算机辅助教学等,涵盖物理学中力、热、光、电的基础与应用。

参加本教材编写的有葛凡(前言,绪论,附录),郑飞跃(第1章,第2章,实验21、23、24、43、44、47、49),徐姪梅(实验1、2、6、7、8、9、10、14、15、16、17、22、27、29、31、32、36、37、38、39、40、41、45、46),尤素萍(实验3、11、12、18、20、28、33、35、42),黄华(实验4、5、13、19、34),蔡本晓(实验26、48、7.1、7.4),黄春云(实验25、30、7.3),彭辉丽(7.2)。葛凡、郑飞跃负责统稿和文字润色。实验PPT与视频由编写教材老师制作,尤素萍负责编辑加工。吴跃丽、石小燕、邵春强等老师参与了部分实验视频的录制,在此表示衷心的感谢。

本教材在编写中参考了国内一些兄弟院校的教材,在此谨对相关作者表示衷心的感谢。

大学物理实验教学是一项集体工作,教学内容和教材的形成凝聚了杭州电子科技大学全体同仁长年努力工作的**心血**。

限于我们的**学识和教学经验**,书中还会存在不足和**差错之处**,敬请读者提出宝贵意见与建议,以便修正。

编者

2017年9月

目 录

绪论	1
第 1 章 实验误差和数据处理基础知识	5
1.1 测量与误差	5
1.2 随机误差和测量结果的表示	8
1.3 有效数字及其运算	19
1.4 实验数据处理的基本方法	21
习题	29
第 2 章 物理实验的常用方法与相关技术	32
2.1 物理实验的常用测量方法	32
2.2 物理实验的常用仪器	35
2.3 物理实验中的调整与操作技术	58
2.4 物理实验中的基本技术	62
第 3 章 预备性实验	69
实验 01 密度的测量	69
实验 02 单摆测重力加速度	72
实验 03 数字万用表的使用	74
实验 04 用模拟法测绘静电场	78
实验 05 示波器的使用	80
实验 06 滑线变阻器的限流与分压	85
实验 07 薄透镜焦距的测量	90
第 4 章 基础性实验	96
实验 08 用拉伸法测量金属丝的杨氏模量	96
实验 09 用扭摆法测量刚体的转动惯量	98
实验 10 液体表面张力系数的测量	101
实验 11 液体黏度的测定	104
实验 12 固定均匀弦振动的研究	106
实验 13 动力学的实验研究	110

实验 14	空气比热容比的测量	117
实验 15	导热系数的测定	121
实验 16	金属线胀系数的测量	124
实验 17	电子束的偏转与聚焦及电子比荷的测定	126
实验 18	电势差计的原理和使用	134
实验 19	霍耳效应及其应用	137
实验 20	硅光电池的特性及其应用	142
实验 21	惠斯通电桥测电阻	147
实验 22	RLC 电路谐振特性的研究	151
实验 23	RC 串联电路的稳态过程	154
实验 24	单缝和双缝衍射的光强分布	157
实验 25	光的等厚干涉——牛顿环、劈尖	161
实验 26	分光计的调整及棱镜折射率的测定	167
实验 27	用双棱镜干涉测光波波长	174
实验 28	光的偏振	177
实验 29	光栅的衍射	182
第 5 章	近代物理和综合性实验	186
实验 30	迈克耳孙干涉仪的调整和使用	186
实验 31	$Nd:YAG$ 激光器的调整技术	193
实验 32	激光器特性的测定	197
实验 33	光电效应法测普朗克常量	200
实验 34	声速的测定	204
实验 35	用波尔共振仪研究受迫振动	208
实验 36	全息照相	214
实验 37	密立根油滴仪测量电子的电荷量	218
实验 38	弗兰克-赫兹实验	221
实验 39	热辐射与红外扫描成像实验	225
第 6 章	设计性与研究性实验	230
实验 40	误差分配和实验仪器的选择	230
实验 41	重力加速度的研究	232
实验 42	电表的改装与校准	233
实验 43	简谐振动的研究	236
实验 44	伏安法测非线性电阻	237

实验 45 简易欧姆表的设计	239
实验 46 光栅特性的研究	242
实验 47 望远镜与显微镜的组装	244
实验 48 LED 电流与光通量关系曲线的测量	245
实验 49 电子温度计的制作	246
第 7 章 计算机辅助教学与智能化实验	248
7.1 虚拟仿真实验	248
7.2 PASCO 系统在物理实验中的应用	253
7.3 MATLAB 在物理实验教学中的应用	261
7.4 单片机技术应用	273
附录 常用物理数据简表	279
I 中华人民共和国法定计量单位	279
II 一些常用的物理数据	281

绪 论

物理学从本质上说是一门实验的科学,物理规律的研究都以严格的实验事实为基础,并且不断受到实验的检验.例如,光的波动学说,就是由杨氏双缝干涉实验得到证实的;麦克斯韦的电磁场理论,则是建立在法拉第等科学家长期实验的基础上,赫兹的电磁波实验,又使电磁场理论得到普遍的承认和广泛的应用.一百多年来百余位科学家获得了诺贝尔物理学奖,部分是由于科学实验研究而获得,而开创性的理论也是通过实验检验以后才获奖.如,1913年玻尔提出的原子结构模型成功地解释了氢原子和类氢原子的结构和性质.而在1922年实验发现了由玻尔根据其原子理论预言的第72号元素铪时,玻尔的原子结构理论才完全被证明,并在当年获诺贝尔物理学奖.当实验结果与理论发生矛盾时,就需要进行进一步的实验,以便修正理论,所以实验是理论的源泉.

 文档:诺贝尔物理学奖 (1901—2017)

另一方面,正确的理论也能预言一些新的物理实验现象,例如爱因斯坦于1920年提出受激辐射的概念,首先从理论上预言有可能得到激光,基于这一新的理论概念,40年之后,即1960年,人们研制成功了世界上第一台红宝石固体激光器.

在物理学的发展中,人类积累了丰富的实验方法,创造出各种精密、巧妙的仪器设备,涉及广泛的物理现象,这些使得物理实验课程有了充实的教学内容.物理实验课程是教育部确定的六门主要基础课程之一,是独立设置的必修课,是学生进入大学后系统学习科学实验知识和技术的开端,是后续实验课程的基础,它在培养学生用实验手段去发现、观察、分析和研究问题、最终解决问题的能力方面起着至关重要的作用.因此,必须处理好实验和理论的关系,重视科学的实验,重视科学实验训练的实验课教学.

一、物理实验课程的目的

1. 通过对物理实验现象的观测和分析,学习如何运用理论指导实验、分析和解决实验中的问题,从理论和实际的结合上加深对理论的理解.
2. 培养学生从事科学实验的初步能力.这些能力是指:通过阅读教材或资料,能概括出实验原理和方法的要点;能正确使用基本实验仪器,掌握基本物理量的测量方法和实验操作技能;能正确记录和处理数据,分析实验结果和撰写实验报告;能完成简单的自行设计性实验等.
3. 培养学生“严格、严密、严谨”的三严精神和实事求是的科学态度,培养勇于探索、坚韧不拔、遵守纪律、团结协作、爱护公物的优良品德.

二、物理实验教学的主要环节

一般实验教学可分为实验预习、实验操作和撰写实验报告三个环节.

1. 实验预习

实验预习是为实验操作做准备的,通过实验预习应明确三个问题:做什么?怎么做?为什么

这样做?为此需要做到:

(1) 认真阅读实验指导书、参考资料等,事先对实验内容进行全面的了解.对于验证性实验,应充分理解与被验证的规律有关的概念、理论以及物理过程;对于探索性实验,应充分熟悉与实验有关的知识,以及要研究的物理过程和期望得到的带有规律性的物理现象,明确实验目的与要求.每个实验项目后的“预习思考题”,是帮助学生带着问题预习而设的.

(2) 弄清实验中使用的常用仪器的构造原理、操作规程、读数原理、方法及注意事项.特别对注意事项不仅要仔细看,还要时刻注意,否则有可能造成仪器损坏,甚至伤人事故.对真正弄不懂的部分,应做记录,在进入实验操作环节时,再向实验指导教师请教.只有这样,才能在实验中克服盲目性,充分相信自己的测量结果和由这些结果得出的结论,从而达到实验的目的.

(3) 拟定实验步骤、数据表格等,并在实验操作前交实验指导教师审阅,经认可后再做实验.

学校网站有关于大学物理实验教学相关的内容,本书的部分实验也附有相关视频,可供预习参考.

预习后需写预习报告,报告包含:① 实验目的,明确该实验的任务和要求.② 实验原理,阐述待测物理量的定义和采用的测量方法,包括基本关系式、必要的电路、光路等简图.书写原理时,不应照抄实验指导书,应该用自己理解后的语言来概述.③ 仪器设备,包括型号、规格、参数与仪器编号等.④ 注意事项,实验操作和仪器使用过程中需要注意的事项.⑤ 实验内容,实验要求的测量内容和实验步骤.⑥ 原始数据表格,根据实验内容在数据记录纸上画出表格.

预习报告除原始数据记录表格外,都将作为实验报告的一部分,因此学生不仅仅要弄懂实验原理和方法,还需要有条理地将实验原理和实验方法用自己的语言书面阐述出来.

2. 实验操作

实验操作是整个实验教学中最重要的一个环节,通过具体实验的操作,完成对学生动手能力、分析问题和解决问题等能力的培养.在该环节中,学生在教师指导下独立地进行仪器的正确安装和调整,对各种实验现象仔细观察,对实验原始数据完整记录.为此要注意下述几方面的问题.

(1) 先观察后测量,先练习后测量,先粗测后细测.

(2) 不要单纯追求实验数据,应学会分析实验中的问题.在实验过程中,会出现一些在教材资料中没有提到的或是与原先的估计不吻合的现象,对这类现象应及时发现,并提出问题,做出分析和判断.

(3) 实验中要贯彻严肃的态度、严格的要求、严密的观测.

(4) 遵守各项规章制度,注意安全.

(5) 实验原始数据须经实验指导教师审核、签字后才有效,应认真对待实验原始数据,它将为以后的计算和问题的分析提供宝贵的第一手资料.

(6) 离开实验室前,应自觉整理好仪器,并做好卫生清洁工作.

3. 撰写实验报告

作为科学实验能力的组成部分“写出合格的实验报告”,是物理实验课程的培养训练任务之一.实验报告是对实验工作的全面总结,既要全面又要简单明了,应做到用词确切、字迹整洁、数据完整、图表规范、结果明确.撰写实验报告的过程主要是对实验者的综合思维能力和文字表达

能力的训练过程,也为他们日后在科学研究、工程实践等实际工作中撰写实验报告、研究成果报告、科技论文等打下基础;这种能力的大小会直接影响到将来在科研与工程实践中的工作能力和工作业绩。

(1) 一份完整的实验报告除了预习报告①—⑤之外,还包括:⑥ 数据处理与结果,计算待测物理量的最佳值和不确定度,要给出完整的量化表达式。⑦ 结果讨论与误差分析,根据数据处理结果分析实验结果的可靠性和产生各项误差的可能原因。⑧ 分析讨论题及实验心得,对实验中的现象予以解释,对实验方法进行改进与建议,记录实验后的体会等。

(2) 撰写实验报告时必须注意:

1) 不可把实验报告与实验指导书混为一谈。实验报告与实验指导书从语言到具体内容都是有原则区别的。实验指导书向学生提出实验的任务、目的、要求,阐明实验原理,提供进行实验的思路和方法,告诉学生应该怎么做;而实验报告是在完成实验过程之后写出的总结,以书面形式汇报实验的成果,具体如何做、获得了什么结果、意义价值何在,这些必须由实验者根据其实践再用自己的语言来归纳、总结。

2) 实验报告的核心特征就是实事求是。因此在撰写的实验报告中,对实验过程中应记录的实验条件、实验现象、实验数据应严格如实地予以记录,对测量数据的有效位数不得随意增删。

3) 实验报告除“实验原理”外,重点放在“数据处理”和“结果讨论与误差分析”。数据处理是指对原始数据进行处理后代入测量公式,算出测量结果。计算各直接测得量的 A 类不确定度分量,估算 B 类不确定度分量,利用不确定度传递公式计算测量结果(间接测得量)的不确定度,最后应正确地表述测量结果。“结果讨论与误差分析”是对测量结果进行评价,测量是否达到预期目的,效果怎样。如果测量值误差较大,要分析原因,查明主要误差因素,提出减少或消除误差的措施。

4) 实验报告应该写在实验报告纸上,图表则必须用坐标纸。

5) 本次的实验报告必须在下次实验时交给指导教师,不得拖延。

三、学生实验守则

为保证实验教学的质量和水平,维护实验室仪器设备的完好,学生须遵守以下守则:

1. 凡进入实验室进行实验的学生必须严格遵守实验室各项规章制度。

2. 每次实验前,必须认真阅读实验指导书和实验教材,听从指导教师的指导,在了解仪器设备的性能之后,严格按照规程进行操作。

3. 严格遵守实验室纪律,爱护仪器设备和实验设施,与实验无关的仪器设备和实验器材不得擅自自动用,不得做与实验无关的内容。

4. 珍惜实验时间,重视实验技能训练,每次实验时间不应少于规定时间,不得提前离开实验室。

5. 实验结束后,做好仪器设备和实验器材的整理,经教师验收仪器设备和实验数据后方可离开实验室。

6. 提倡严谨科学的实验作风,如实做好实验记录,认真完成实验报告,注意培养分析问题和解决问题的能力。

7. 注意人身安全,爱护仪器设备,因不按规定程序操作而造成人身伤害或仪器损坏者按有关规定严肃处理。

8. 实验过程中应保持安静,遵守秩序,维护实验室的清洁整齐.

四、大学物理实验课程学生须知

1. 学生在学习大学物理实验课程前,须学习学生实验守则.
2. 严格按选课时间进行实验,不能无故缺课.有事需办理请假手续,迟到 15 分钟者不能做实验.
3. 实验前须做好充分预习,未预习的学生不允许做实验.
4. 不能穿拖鞋进入实验室,雨伞、食物和饮料等不得带入实验室.
5. 必须按时交实验报告.应在完成实验后的下一周上交报告,不得无故迟交.实验报告封面内容应详细填写.

实验误差和数据处理基础知识

在物理实验中,通过一定的手段和仪器使一些物理现象再现,并从中发掘出这些现象的规律,找出实验中的主要物理量的数学关系.要实现这一目的,大致包括以下三个步骤:第一步是设计,选择实验方法和实验仪器,为实验及测量准备条件;第二步是测量;第三步是数据处理,找出物理量之间的数学关系,得出物理现象的规律.因此,测量是物理实验的中心,数据处理是物理实验的结果.

由于测量中受各种条件的限制,使测量值和被测物理量的真值存在一定的偏差,这种偏差随科学技术的发展及实验手段的提高而被减小,但不可能为0,因此必须对测量结果的可靠性进行评价.本章介绍测量与误差、误差处理及测量结果的评定,有效数据等基本知识及常用的数据处理方法.

1.1 测量与误差

1.1.1 测量

测量是用一定的工具或仪器,通过一定的方法和程序直接或间接地对被测量对象进行比较.因为任何测量都是两个同类量之间的比较,因此必须使用统一的标准单位.将待测量与选作标准单位的物理量进行比较,其倍数即为该待测量的测量值.一个物理量的测量值应由数值和单位两部分组成,缺一不可.

1. 测量按性质,可分为直接测量和间接测量.

直接测量:指可以用测量仪器或仪表直接读出测量值的测量.如用米尺测长度、用温度计测温度、用电压表测电压等都是直接测量,所得的物理量如长度、温度、电压等称为直接测量值.

间接测量:指无法进行直接测量,而需依据待测量与若干个直接测量值的函数关系求出的物理量的测量.大多数的物理量都是间接测量值.如单摆法测量重力加速度 g , $g=4\pi^2l/T^2$ 中 T (周期)、 l (摆长)是直接测量值,而 g 就是间接测量值.

通常的实验过程是通过直接测量一些物理量,再由这些物理量之间的关系公式求得另一个物理量,或验证某一运动定律;或者反过来,当运动规律尚未知道时,通过实验数据的分析去建立它们之间的联系规律.



视频:测量与误差

2. 按测量的精度,测量可分为等精度测量和非等精度测量.

等精度测量:在相同的条件下对一个物理量进行多次测量称之为等精度测量,如同一观察者用同一台仪器和同样的方法在同样环境条件下对同一物理量作多次测量.在实际测量中,很难做到测量条件始终保持不变,因而一般情况下的等精度测量都是近似的.

非等精度测量:在测量过程中有一个测量条件发生改变即为非等精度测量.

1.1.2 误差

1.1.2.1 测量误差

测量的目的是在一定条件下,使用一定的仪器,通过一定的方法,获得被测量的客观实际值(真值).但是由于实验理论的近似性,实验仪器灵敏度和分辨能力的局限性、环境的不稳定性等因素的影响,待测量的真值是不可能测得的,测量值 x 和真值 x_0 之间总有一定的差异,我们称这种差异为测量值的误差.

误差 = 测量值 - 真值

$$\Delta = x - x_0$$

误差可以是正值,也可以是负值.误差愈小近似程度愈高.误差的大小标志着测量结果的可靠程度或可信赖的范围.测量所得的一切数据,都包含着一定的误差,因此,误差存在于一切科学实验过程中,并因测试理论、测试环境、测试技术等不同而有所差异.

1.1.2.2 误差的分类

为了研究误差的来源,根据误差性质和产生的原因可将误差分为以下几类.

1. 系统误差.

在相同条件下对同一物理量进行多次重复测量,误差的大小和符号(正、负)保持不变,或在条件改变时按一定规律变化,这类误差称为系统误差,前者称为定值系统误差,后者称为变值系统误差.

产生系统误差的原因大致有如下几点:

(1) 仪器因素.仪器本身的缺陷,如天平不等臂、温度计刻度不均匀、电表零点不准或长期未校准、分光计的刻度盘和游标盘偏心等.

(2) 方法理论因素.测量方法或计算公式的近似性,如用单摆法测重力加速度 g 所用的公式是近似的,用伏安法测电阻的电路中因电表有内阻等而产生系统误差.

(3) 环境因素.测量条件与所用仪器的规定使用条件不符,如有些仪器要求在一定温度与湿度的条件下使用,而实际条件与此不符.

(4) 个人因素.观察者的测量方法不对,或有不良习惯,如读数时头总偏向某一边,计时总是超前或滞后.

对于系统误差,如果其大小和符号已被确切掌握,如零点误差,称为已定系统误差,这类误差可在实验过程中采取措施消除,也可在实验后进行修正.如果系统误差的大小和符号不能确切掌握,只是知道大致的范围,如给出仪器标称误差,但具体测量时仪器误差未知,称为未定系统误差,这类误差则很难进行修正.

系统误差的发现、减少或消除是一种技能,只能在实验过程中逐渐积累经验、掌握技术、提高实验素养.因此,分析系统误差应当是实验必须讨论的问题之一.

2. 随机误差.

在相同条件下对同一物理量进行多次重复测量,误差的绝对值和符号的变化时大时小、时正时负,以不可预测方式变化着的误差称随机误差(也称偶然误差).

在测量中,有时排除了产生系统误差的诸因素,但在测量中仍可能存在一定的随机误差.这种误差是由于操作人员的经验和仪器的精密程度有限,周围环境的干扰以及随测量而产生的偶然因素决定的.从表面上看,随机误差的出现毫无规律,纯属偶然,但在测量次数足够多时会发现随机误差服从某种统计分布规律,因而可以利用这种规律对实验结果作出随机误差的估算.

3. 粗大误差

明显超出规律的误差称为粗大误差,其原因包括错误地读取示值、测量仪器具有缺陷、使用测量器具的环境干扰或使用不正确等.

1.1.3 对测量结果的评价

对于测量结果进行总体评价时,常用精密度、准确度和精确度三个概念,这些概念在使用时要加以区别.

1. 精密度.

精密度表示测量结果中随机误差大小的程度.在一定条件下,重复测量结果符合的程度高,即随机误差小,称精密度高,相反则精密度低.

2. 准确度.

准确度表示测量结果中系统误差大小的程度,它描述测量值与真值符合的程度.准确度高,即测得的结果与真值符合程度好,系统误差小.

3. 精确度.

精确度是测量结果中系统误差和随机误差综合大小的程度.即指测量结果的重复性及接近真值的程度.只有精密度和准确度都高时,精确度高.

上述概念可通过打靶加以说明,如图 1-1-1 所示.目标是击中靶心,图(a)7 发子弹偏离靶心较远,集中在靶的右上角,重复性好,结果表明随机误差小,系统误差大,称为精密度高、准确度低;图(b)7 发子弹较稀疏地分别在靶心周围,重复性差,表明系统误差小,随机误差大,称为准确度高、精密度低;图(c)7 发子弹偏离靶心较远且分散,表明系统误差和随机误差均大,称为精密度低、准确度低;前 3 例精确度都低.图(d)7 发子弹都集中在靶心周围,称为精密度与准确度均高,因而精确度高.

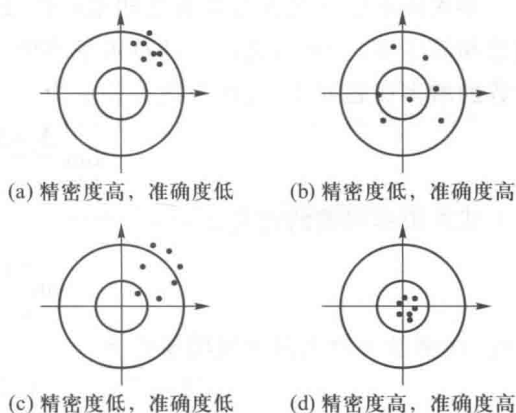


图 1-1-1 精密度、准确度和精确度示意图

1.2 随机误差和测量结果的表示

上面已讲到,随机误差是符合统计规律的.在测量次数足够多时,大部分测量中随机误差分布是正态分布.根据统计理论,可以证明随机误差分布函数 $f(\Delta)$ 的表达式为

$$f(\Delta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{\Delta^2}{2\sigma^2}} \quad (1-2-1)$$

其中 σ 为标准误差, Δ 为误差,如图1-2-1所示.曲线下斜线部分的面积元 $f(\Delta)d\Delta$ 是误差为 $\Delta \sim \Delta+d\Delta$ 出现的概率,式(1-2-1)就是误差的概率密度分布函数.这种分布也称为正态分布或高斯分布,它在测量次数趋于无穷时成立,测量次数很多时近似成立.

显然

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(\Delta) d(\Delta) = 1 \quad (1-2-2)$$

表示误差 Δ 出现在 $(-\infty, \infty)$ 区间的概率为百分之百,即归一化条件.

从图1-2-1所示的正态分布曲线可以看出以下几个特征:

1. 对称性.

正、负误差出现的概率相等,即呈正负分布的对称性.

2. 单峰性.

大误差出现的概率小于小误差出现的概率.零误差出现的概率最大,称为单峰性.

3. 有界性.

随机误差绝对值的有限性,即在一定观测条件下,随机误差的绝对值不会超过一定限度,换句话说具有一定的误差范围.

4. 抵偿性.

多次测量中随机误差具有互相抵偿性.因为随机误差的分布是正负对称的,故全部可能误差的总和等于零,全部可能误差的算术平均值也将等于零,即一系列随机误差的算术平均值随着测量次数的增多而趋向于零,用极限可表示为

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \cdots + \Delta_n}{n} = 0$$

由上式并根据误差的定义 $\Delta = x - x_0$ 可得

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - x_0 \right) = 0$$

因此,在测量次数无限增加的条件下,

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \bar{x} \rightarrow x_0$$

算术平均值就等于测量结果的最佳值.

此外,在某些情况下,随机误差也会遵循其他分布,如泊松分布、均匀分布或 t 分布.

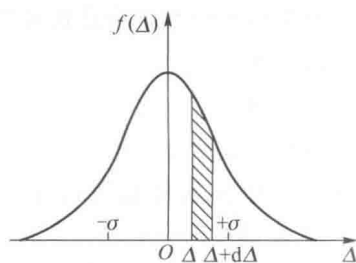


图 1-2-1 正态分布曲线