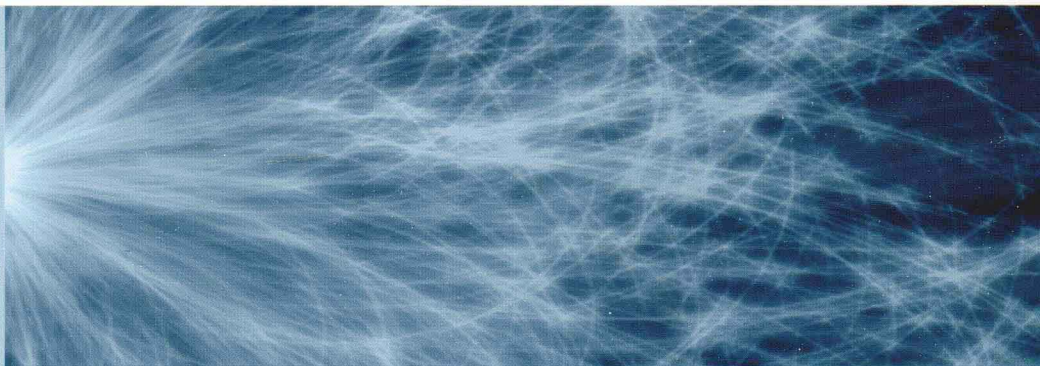


高等学校教材

大学基础物理实验

University
Physics
Experiments



鞠曙光 贺小光 郭延生 郑 春 主编

 高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校教材

大学基础物理实验

Daxue Jichu Wuli Shiyan

鞠曙光 贺小光 郭延生 郑 春 主编
岳 明 姜 义 岳巾英 副主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是依据《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(2010 年版), 结合多年教学实践经验编写而成的。全书遵循物理实验自身的特点和规律, 共分六章, 包括实验基础知识、基本实验、近代物理实验、设计性实验等。

本书可作为高等学校工科各专业的大学物理实验教材, 也可作为专科或其他从事物理实验工作人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

大学基础物理实验/鞠曙光等主编. —北京: 高等教育出版社, 2014. 2

ISBN 978 - 7 - 04 - 039224 - 1

I. ①大… II. ①鞠… 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 (2013) 第 315894 号

策划编辑 郭亚嫒

责任编辑 郭亚嫒

封面设计 于 涛

版式设计 马敬茹

插图绘制 尹 莉

责任校对 李大鹏

责任印制 韩 刚

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 河北新华第一印刷有限责任公司

开 本 787mm × 960mm 1/16

印 张 19.25

字 数 340 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.landaco.com>

<http://www.landaco.com.cn>

版 次 2014 年 2 月第 1 版

印 次 2014 年 2 月第 1 次印刷

定 价 30.20 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 39224 - 00

前 言

本书是根据《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(2010年版)的精神,结合我校各专业设置的特点以及实验仪器设备的具体情况编写而成的。在本书的编写过程中,富有实验教学经验的多位教师对历届使用的物理实验讲义进行深入研究、反复修改,对数年的教学实践予以认真总结,同时广泛参阅国内和国外的同类教材及各种相关资料,吸收其优点与精华,因此,本书是集体智慧的结晶。

物理实验是一门独立设置的基础必修课,按课程自身的体系和它所承担的任务,遵照循序渐进的原则,本书内容共分六章:第一章为具有共性的物理实验基础知识,包括物理实验课的任务与作用、误差理论、不确定度概念以及物理实验方案的制定、物理实验的基本测量方法等;第二章至第四章为基本实验,其实验原理、仪器、方法、内容与步骤以及数据处理、误差分析、不确定度估算、测量结果等,使学生的学习物理实验知识、掌握实验方法和实验基本技能等方面受到系统的基本训练,并得以逐步提高;最后两章的内容,应当是学生经过一段课程的学习,在已具备一定的实验基础知识和技能情况下要学习的内容。一方面考虑进一步加强学生分析和解决实际问题能力的培养,另一方面考虑教材应该体现学科发展的新动向,使教学更好地适应现代科技的发展。所以,第五章除介绍一些具有代表性的近代物理实验外,还将与物理实验相关的现代应用知识加以介绍,以扩充学生的知识,有利于学生了解物理实验技术在现代科学中的实际应用;第六章设计性实验,只给出实验目的、要求和方法的提示,更多的工作需要学生独立完成。

本书由鞠曙光统稿。绪论、第一章和第二章由郭延生、姜义编写;第三章由贺小光编写;第四章由郑春编写;第五章由鞠曙光、岳巾英编写;第六章由岳明编写;附表由鞠曙光编写。在编写过程中力求做到:实验目的明确,实验原理清晰,实验仪器介绍详细,计算公式推导严密,实验步骤详简适当,数据表格由详到略。每个实验项目都精选适当的预习思考题和思考题,便于学生的课前预习和课后讨论。当然书中难免疏漏与谬误,恳请读者批评指正。

编 者

2013年9月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010) 58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010) 82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

绪论	1
第一章 测量误差、不确定度及数据处理基础知识	5
第一节 测量误差的基本知识	5
第二节 不确定度的基本概念	15
第三节 间接测量的不确定度	22
第四节 有效数字及其运算规则	28
第五节 数据处理常用方法	33
第六节 物理实验基本测量方法	41
第七节 物理实验最佳方案选择	46
第二章 力学和热力学实验	56
实验 2-1 长度的测量	56
实验 2-2 质量与密度的测量	63
实验 2-3 静态拉伸法测金属丝弹性模量	74
实验 2-4 固体线胀系数的测定	81
实验 2-5 声波速度的测量	86
第三章 电磁学实验	94
实验 3-1 电阻元件伏安特性的测定	94
实验 3-2 电表的改装与校准	98
实验 3-3 电桥的使用	103
实验 3-4 电位差计测量电源电动势及电阻	117
实验 3-5 铁磁材料居里温度的测定	126
实验 3-6 示波器的使用	131
实验 3-7 霍尔效应法测磁场	137
实验 3-8 灵敏检流计特性研究	144
实验 3-9 铁磁材料动态磁滞回线和磁化曲线的测量	152
实验 3-10 毕奥-萨伐尔实验	159
第四章 光学实验	165
实验 4-1 光路调整与透镜焦距的测量	165

目 录

实验 4-2 分光计的调整与光栅衍射实验	172
实验 4-3 牛顿环法测曲率半径	181
实验 4-4 双棱镜法测光波波长	188
第五章 近代物理实验	197
实验 5-1 迈克耳孙干涉仪的调整与使用	197
实验 5-2 光学全息照相	202
实验 5-3 光电效应和普朗克常量的测定	204
实验 5-4 密立根油滴实验	211
实验 5-5 弗兰克-赫兹实验	215
实验 5-6 核磁共振测磁场	219
实验 5-7 利用光拍法测光速	224
实验 5-8 音频信号光纤传输技术	232
实验 5-9 光导纤维中光速的测定	242
实验 5-10 传感器实验	249
实验 5-10-1 金属箔式应变片性能——单臂电桥	250
实验 5-10-2 金属箔式应变片:单臂、半桥、全桥比较	253
实验 5-11 pn 结温度——电压特性的测定及数字温度计的设计	256
实验 5-12 液晶光电效应实验	261
第六章 设计性实验	267
实验 6-1 自组望远镜与显微镜	270
实验 6-2 重力加速度的测定	271
实验 6-3 转动惯量的测定	272
实验 6-4 双臂电桥测金属杆的电阻率	274
实验 6-5 电位差计测定电阻率	277
实验 6-6 电磁波综合实验	278
实验 6-7 磁光调制(法拉第效应)实验	280
实验 6-8 A 类超声诊断与超声特性	282
实验 6-9 超声 GPS 三维声纳定位	286
实验 6-10 太阳能电池特性研究	288
附表	291
附表 1 常用基本物理常量表	291
附表 2 标准大气压下不同温度水的密度	292
附表 3 20℃时常用固体和液体的密度	292
附表 4 海平面上不同纬度处的重力加速度	293

附表 5	20 ℃ 时金属弹性模量	293
附表 6	液体黏度	294
附表 7	不同温度下水的黏度	295
附表 8	某些金属(或合金)的电阻率及其温度系数	295
附表 9	常用材料的导热系数	295
附表 10	某些物质中的声速	296
附表 11	常用光谱灯和激光器的可见谱线波长	297

绪 论

物理实验的地位和作用

物理实验是理论的源泉。物理学是一门以实验为本的科学,即是一门实验科学。物理学基本概念的形成、基本规律的发现、基本理论的建立,无一不是以严格的物理实验为基础的。经典物理学的创立、近代物理学的发展,正是归功于伽利略、牛顿、开普勒、安培、麦克斯韦、法拉第……这些科学巨匠们对自然界一丝不苟的观察与实验。

物理实验是理论的试金石。理论一旦提出必须借助于实验来检验其是否真实可靠,是否具有广泛而普遍的意义。麦克斯韦当年预言的电磁波理论,沉寂达 21 年之久,因为在当时人们没有办法证明其说法是对还是错。只有在 1886 年赫兹做出电磁波实验后,才使麦克斯韦的电磁理论大厦高高矗立起来。

物理学不仅是自然科学中独立的一门学科,它还是所有自然科学和工程技术的基础;物理方法不仅贯穿于物理学的全部,而且也是自然科学和工程技术各个领域广泛使用的研究方法。物理学在自身不断的发展过程中,既受到其他学科的影响,又有力地带动着整个科学技术的进步。事实上,许多科学与技术的产生,都是建立在物理和实验的研究成果上;物理与实验研究的每一个新发现、新思想和新成果都会转变成成为某种新技术的应用,并在此基础上,为新科学开辟出更广泛的研究和应用领域,从而推动着生产力的发展和新兴产业的崛起。以激光理论的产生和激光技术的发展为例:正是爱因斯坦的理论及梅曼的实验才成功地制造和运转了世界上第一台激光器。激光的出现,不仅引起现代光学应用技术的重大变革,而且对科学技术的许多领域都产生着深刻的影响。从激光理论的创建到激光器成为现实,人类用了 40 多年的时间,而在紧接的 20 年中,人类不仅制造出数以千种的激光器应用于各行各业,而且,诸如激光加工、激光计量、激光通信、激光医疗、激光种植、激光摄影等技术,如雨后春笋一般涌现出来。激光技术渗透各个生产领域,其创造产值持续增长。仅激光加工一项,据资料统计:世界市场 1988 年为 90 亿美元,到 1995 年就达到 220 亿美元。此外,像放电

物理学、固体物理学以及化学、生物学等学科,由于与激光技术结合,更是取得了丰富的研究硕果。

综上所述:物理实验是自然科学、工程技术的基础,是探索和开拓新科学领域的最有力工具之一。

物理实验课的目的和任务

物理实验是高等院校学生进行科学实验基本训练的一门独立必修基础课程,是学生进入大学后受到系统实验方法和实验技能训练的开端。物理实验课的目的并不单纯是教会学生一些实验知识,也不单单是使其得到实验基本技能和方法的训练。其实最重要的是要使学生借助于实验手段,培养其观察、发现、分析、研究直至最终解决问题的能力,提高其自身的科学素质。因此,物理实验课的任务是:

(1) 通过对物理实验现象的观测和分析,学习运用理论指导实验,分析和解决实验问题的方法。从理论和实验的结合上加深对理论的理解。

(2) 培养与提高学生的科学实验能力。这些能力包括:通过阅读实验教材或资料,能概括出实验原理和方法的要点,并做好实验前准备;借助教材或仪器的说明书,能够正确调试和使用基本实验仪器,掌握基本物理量的测量方法和实验操作技能;正确读取、记录和处理数据,分析、表达实验结果和撰写实验报告;在掌握一定实验技能的基础上,能够依据选题的目的和要求制定合理的实验方案,选择合适的仪器,拟定切实可行的实验程序。

(3) 培养实事求是的科学态度、严谨踏实的工作作风和爱护公物、团结协作、遵守纪律的优良品德。

物理实验课的三要素

物理实验课不同一般的书本理论课,它是在教师指导下学生所独立进行的一种实践活动,因此相应的学习方法也有很大的不同。为学好实验课,需注意如下的三方面因素:

实验预习:每项实验之前,仔细阅读实验教材中有关内容(必要时需查阅相关的参考资料),了解本实验的原理和方法,了解测量仪器的使用方法和注意事

项,并在此基础上写出预习报告。预习报告包括:① 简要回答预习思考题;② 画出实验的原理图(光路图、电路图等),列出实验依据的理论公式,画出实验数据的记录表格;③ 分析实验过程中不确定度与误差产生的原因及其处理措施。(注意:指导教师将通过不同方式对预习情况予以检查,没有预习报告者,不得进入实验室进行实验操作。)

实验操作:进入实验室后应严格遵守实验室规则。未经指导教师允许,不得擅动仪器;实验观测前应首先清点所需用仪器、用具;严格按仪器说明或操作规程正确使用仪器,注意爱护仪器,稳拿妥放,防止损坏。对需接通电源的仪器或电路,必须在教师的允许下方可接通电源。数据记录应用钢笔(不用铅笔)将文字、数据、符号细心地记录在预习报告的数据表格内。切勿字迹潦草,以免别人或自己在以后辨认时产生误解;也不要将数据随便记在其他的纸上,然后再抄写在表格内,这是一种不科学的坏习惯。数据确系记错了,不要涂抹,应该在其上做一删除记号(必要时应注明删除的原因),然后在旁边写上正确值,使正误数据清晰可辨,以供在分析测量结果、不确定度或误差时参考。当数据出现异常值时,分析原因,必要时应增加测量次数。凡是与实验结果有关的物理现象、过程,也要简单地记录下来。此外,还要记下所用仪器的型号、编号等,以便以后核对数据时查用。总之,实验记录应保证:自己看得懂,别人看得懂;现在看得懂,将来也看得懂。实验记录看上去很简单,做好却并不容易。做好实验记录的确是一项基本功。实验结束时,需将实验记录交予指导教师审阅,整理还原仪器,在《仪器作用记录本》签名后,经教师同意方可离开实验室。

实验总结:实验后要对实验数据及时进行处理,处理过程包括计算、作图、不确定度及误差分析等,最后撰写实验报告。

实验报告内容包括:

- (1) 实验题目、实验者姓名、实验日期、实验地点、实验指导教师等。
- (2) 实验目的。
- (3) 实验原理和方法:简要说明有关物理内容及测量所依据的主要公式,画出实验中涉及的光路图、电路图、实验装置示意图等。
- (4) 实验用具、仪器、元器件等。
- (5) 实验步骤:用自己的语言简要明了地将实验实际过程叙述清楚,切勿照抄书本。
- (6) 数据记录与数据处理:将预习报告所记录的数据仔细转记过来,并完成数据处理、不确定度及误差分析、测量结果表述等工作。
- (7) 小结或讨论:内容不限,可以是实验中现象的分析,对实验遇到的问题

4 绪 论

的讨论,实验的收获或建议,也可解答实验思考题。

实验报告是实验工作的全面总结,是科学技术交流中不可缺少的方式,要写好每一篇实验报告,为将来进行科学实验,写好科技报告、科学论文打下基础。当然,以上只是向初学者提供的实验报告的一般格式,实际上一份成功的报告,完全可以按照自己的思路来写,只要立论正确、思路清晰、结果完整就都是可以的。

第一章

测量误差、不确定度及数据处理基础知识

大学物理实验的任务,一是定性地观察物理现象和变化过程;二是定量地测量物理量之间的关系;三是通过对测量数据的误差分析和数学处理,科学地评价测得的物理量或物理关系接近客观真实的程度。因此,实验误差分析、不确定度估算、实验数据处理以及实验结果评定是每一位实验者必备的知识与能力。限于篇幅,本章不可能对实验误差、不确定度概念以及数据处理和结果评定做出全面而详细的叙述,仅对这方面常用的基础知识做一介绍,以使学习者在今后更高层次的科学实验研究打下坚实的基础。

第一节 测量误差的基本知识

【测量和单位】

实验物理学是建立在对物理现象观察和对物理量测量的基础上,测量是人类认识和改造世界必不可少的重要手段,“科学自测量开始,没有测量便没有精密科学”。所谓测量,就是将待测的物理量与一个选作标准的同类物理量(标准量)进行比较,得出它们之间的倍数关系。选作标准的同类物理量称之为单位,倍数值称之为测量数值,两者的乘积即为被测物理量的测量值,也叫测得量。

一个物理量的大小是客观存在的,但选择不同的单位,却有不同的测量数据。对同一个物理量测量时,选用单位越大,数值就越小(例如一本普通书的厚度是 2.36 cm ,若以 mm 为单位则为 23.6 mm ,若以 m 为单位,则为 0.0236 m)。因而在表示一个被测量物理量的测量值时,应注意测量值包含数值和单位两部分,仅有数值而没有单位的测量结果是没有意义的。

根据获取测量数据途径的不同或测量条件的不同,测量可有多种分类:按获取数据的方法,可分为直接测量和间接测量;按测量条件,可以分为等精度测量和不等精度测量。

直接测量又可分直读法和比较法两种。直读法就是使用具有相应单位分

度的量具或仪表直接读取测量值的直接测量,如用米尺测长度、用温度计测温度、用电表测电流或电压等。其特点是测量方便,但受仪器仪表准确程度的限制,其测量准确度一般较低;比较法是把被测对象直接与体现计量单位的标准器进行比较的直接测量,如用砝码与天平称质量、用直流电桥测电阻、用电位差计测电动势、用标准信号源与示波器测频率等。这种测量的操作较麻烦,但因其准确度取决于标准器,只要仪器的选配与使用得当,可使测量准确度达到较高水平。

另一类测量叫间接测量(或称复合测量)。某些物理量不能通过量具或仪器直接读取测量值,而必须由一些其他的直接测得量通过一定的函数关系计算出最终结果。例如,测量铜质圆柱体密度时,需先用卡尺或千分尺测出钢柱的高 h 和直径 d ,用天平称出它的质量 m ,然后将这三个直接测得量代入函数关系式 $\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{\pi(d/2)^2 h} = \frac{4m}{\pi d^2 h}$,从而计算出铜的密度。像这种通过直接测得量而计算出待测值的物理量叫做间接测得量。

需要说明的是,同一物理量,选用的测量方法不同,它可以是直接测得量,也可以是间接测得量。随着科学技术的发展,很多原来只能间接测量的物理量,现在都可以直接测量了。

等精度测量(也称重复性测量)是指对同一待测量进行多次测量时,其各次测量数据是在相同条件下获取的,如测量仪器、测量方法、测量人员、测量环境均无变化的情况下对某一物理量进行的重复测量,所得到的每个测量值都具有相同的可信赖性。如果多次测量不是在相同条件下进行的,如中途更换测量仪器、测量人员或改变测量环境等,这样的测量是不等精度测量(也称复现性测量)。大学物理实验中的测量大多是等精度测量,本书后面提到的多次测量,如无特别说明,都是指等精度测量。

无论是何种测量,单位一律采用国际单位制(SI)。国际单位制(SI)的七个基本单位是:长度单位米(m)、质量单位千克(kg)、时间单位秒(s)、电流单位安培(A)、热力学温度单位开尔文(K)、物质的量单位摩尔(mol)、发光强度单位坎德拉(cd)。其余各种物理量,如力、功、能量、热容、电阻、电容、电感、磁感应强度、光通量等均可由上述基本单位导出,称为国际单位制(SI)的导出单位。

某些具有重要作用和广泛使用的单位,如时间单位分(min)、小时(h),质量单位吨(t),体积单位升(L),能量单位电子伏(eV),长度单位埃(Å),级差单位分贝(dB)等,常可与国际单位制同时使用。

SI单位的国际符号,无论是拉丁字母还是希腊字母,也无论是大写字母还是小写字母,一律用正体印刷。为了避免单位的符号与物理量的符号相混淆,国

际上规定,所有物理量的符号,一律用斜体印刷。

【误差及其分类】

1. 绝对误差与相对误差

每一个待测物理量都是客观存在的,在一定的条件下具有不以人的意志为转移的数值,这个客观数值叫做该待测量的真值(例如直角的真值为 90° 、三角形内角之和的真值为 360°)。无论是直接测量,还是间接测量,其目的都是希望获得被测量的真值。但在任何一种测量的过程中,由于采用的测量方法和所使用的仪器均不可能绝对完善,同时由于测量条件、测量环境和测量人员种种因素的限制,都不可能使测量值与真值完全相同。这就意味着,任何测量值总会与真值存在一定的差值,这个差值就定义为测量值 x 与真值 x_0 的测量误差(简称为误差) Δx ,即

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1-1)$$

误差 Δx 表示的是测量值对真值绝对偏离的大小和方向,与被测量有相同单位,这种有单位的误差就称为绝对误差。

绝对误差的大小能够反映对同一待测量的测量质量,但却难以确定对不同待测量的测量质量。例如:用米尺测量两个物体的长度时,测量量值分别是 0.10 m 和 $1\ 000\text{ m}$ 。假定测量中出现的绝对误差分别是 0.01 m 和 1 m 。虽然后者的绝对误差远大于前者,但是前者的绝对误差占测量值的 10% ,而后者的绝对误差仅占测量值的 0.1% ,说明后一个测量值的可靠程度远大于前者,故绝对误差并不能正确比较不同测量值的可靠性。为此,我们引出相对误差的概念:我们将测量值的绝对误差与测量值之比定义为相对误差,用 E_x 表示,即

$$E_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1-2)$$

相对误差是一个比值,没有单位,通常用百分比形式表示。相对误差不仅包含误差的大小,同时还表示误差对测量结果影响的严重程度,故它能全面评价测量质量的高低。

2. 系统误差与随机误差

由于测量误差是不可避免的,它存在于一切测量之中,而且贯穿于测量过程的始终。因此,正确地处理误差是非常重要的。其目的在于:① 分析误差来源,以便找到减小和消除误差的方法;② 估算误差范围,以便于对实验结果进行修正和评价。

误差的产生有多方面的原因,如实验理论的近似性、实验仪器灵敏度和分辨能力的局限性、实验环境的不稳定性、实验者的实验技能以及判断能力等因素都

可能导致测量误差。根据误差的性质及其产生的原因,通常将误差分作系统误差、随机误差。它们对测量结果的影响不同,处理方法也不同。

(1) 系统误差

系统误差的特征是其确定性。即在一定实验条件下(实验的方法、仪器、环境和观测者均保持不变),多次测量同一物理量时,误差的大小与正负或恒定不变,或遵守某一规律(递增、递减、呈现周期性等)变化,而增加测量次数并不能减少这种误差的影响。凡具有上述特征的误差称为系统误差,其产生的原因主要来自以下几个方面。

仪器误差——由测量仪器、装置不完善而产生的误差。通常有两种情况导致仪器误差的产生:一是任何量具、标准器、指示仪表等都存在一定的自身缺欠,如天平的不等臂、砝码标称的不准确、标尺刻度线的不均匀、检流计的灵敏度不足等;二是仪器在安装、调整和使用时,因水平、垂直、平行、准直、共轴、零点等状态没有达到规定的要求而引起误差。

方法误差(理论误差)——由于实验方法本身或理论不完善等原因所导致的误差。在物理理论中我们常常进行某种理想假定,比如创造出像“无质量”、“无摩擦”、“不可伸缩的弦线”等这样一些概念。这些理论模型可以大大简化理论问题研究的复杂性,但却在实际测量中带来误差。例如,称重时忽略了空气浮力的影响;测长时未考虑热胀冷缩的因素;伏安法测电阻时,没有考虑电表内阻的作用等,均要产生一定的误差。

环境误差——由于外界条件变化所引起的误差。如温度、气压、湿度、电磁波、振动、光照等条件按一定规律的变化,引起环境与仪器要求的标准状态不一致,不仅会影响仪器的工作或各测量之间的关系,甚至会影响被测量的本身,如要求在 20℃ 温度下使用的元器件,在 50℃ 温度下使用就属于这种情况。

人为误差——由于观测者的感官或习惯所引起的误差(也称人身误差)。人为误差取决于观测人员心理和生理的特点,通常与观测者的反应速度、固有习惯以及经验和能力等因素相关。如记录信息时习惯上的超前或滞后、对准目标读值时习惯上的偏左或偏右、估取数据时习惯上的偏大或偏小等。人为误差在测量中常表现为观测误差、估读误差、视差等。值得一提的是,随着数字化、智能化仪器的不断普及,观测人员对测量的干预越来越少,因而人为误差一般可以不考虑。还需要注意的是,人为误差不包括由测量者粗心大意所造成的错误,如将 7 看成 9,将 12.5 记为 15.2。

总之,系统误差是在一定条件下由一些确定因素引起的,因此,通过在相同条件下多次测量来求平均,或者试图用增加测量次数来减少系统误差的方法都是行不通的。

系统误差的存在会影响测量结果的准确性,历史上就不只一次地发生过因系统误差处理不当而造成测量结果的不准确,几乎致使相关物理学理论出现谬误的教训。而且,对系统误差的分析研究,不仅可使测量结果更加接近真值,同时还可以从中发现或获取某些新信息,从而导致物理学理论的突破。但是发现和分析、修正、减少以至消除系统误差,既涉及较深的数学和误差理论知识,更需要丰富的科学实验专门知识。所以,在大学物理实验中,一般情况下只考虑两类系统误差:一类叫做可定系统误差。可定系统误差系指那些具有固定不变性,且能够确定其大小或影响因素的系统误差。对于可定系统误差,无论是来自仪器、方法,还是来自环境、测量者,要设法找到它,探求其规律,然后采取相应措施将其对测量结果的影响尽可能减少到可忽略程度;另一类叫做未定系统误差。未定系统误差是指那些只知道测量误差可能存在于某个大致范围而并不知道它的具体数值的系统误差,如仪器的最大允差。任何测量仪器在生产过程中,都会因种种原因,如结构或制造工艺的不完善,活动部件的摩擦,游丝弹性的不均,度盘分格的不准等因素而带来误差。为了综合评定某一仪器产生误差的大小,通常仪器在出厂时都会给出仪器的最大允差(也称为仪器最大误差)。不过最大允差只能使我们知道误差的极限范围,而无法知道其确切的大小和正负,所以,最大允差是一种未定系统误差。通常对于未定系统误差可以根据其分布的随机性而将其合并到我们下面要介绍的另一类误差——随机误差中去,并以随机误差的形式报告出来。

(2) 随机误差

随机误差的特征是其随机性。在一定的实验条件下多次测量某一物理量时,即使消除了一切引起系统误差的因素,测量结果仍会出现不同的数值。这些测量值在与真值的偏差上表现为忽大忽小、忽正忽负。表面看来,它既不可预知,又无法控制,没有确定的规律可循。因而把这种随时都在变化的误差称为随机误差,也叫做统计误差。

随机误差的产生,一方面是由于实验过程中存在着某些不可预知和无法控制的偶然因素的影响,如实验环境中的温度、湿度的起伏、杂散电磁场的干扰、空气的流动、地面的振动、电源电压的不稳定以及重复测量中观测者每次操作在对准、估读、判断、分辨上产生的微小差异等。另一方面是由被测对象本身的不稳定性所引起的,如被测物体本身存在微小差异等。

随机误差的出现,从表面上看似乎纯属偶然,但也并非无规律可循。实践和理论都证明,在等精度条件下,当重复测量次数很多时,随机误差显示出明显的统计规律。以随机误差 Δx 为横坐标,以某一误差出现的概率 $f(\Delta x)$ 为纵坐标画图,可得到图 1-1 所示的曲线,此曲线称为正态分布曲线(或称为高斯分布曲