



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

大学物理实验

(第2版)

钟 鼎 主 编

吕 江 耿耀辉 副主编



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

College Physics Experiment

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

大学物理实验

(第2版)

钟 鼎 主 编

吕 江 耿耀辉 副主编



内容简介

本书是为培养应用型和探究型人才而精心设计的适应实验室开放教学需要的《大学物理实验》手册类教材。在知识结构编排方面,力图展现给读者一个相对完整的实验物理学全貌;在基础和预备知识内容选材方面,力求充实和实用。

本书可作为普通高等院校理工科各专业教科书或参考书,并可供不同层次的教学需要选用,同时也可供从事物理实验的教师参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/钟鼎主编.—2版.—天津:天津大学出版社,2011.6

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5618-3978-2

I. ①大… II. ①钟… 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(2011)第 111096 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
网 址 www.tjup.com
印 刷 河北省昌黎县第一印刷厂
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm×260mm
印 张 28.75
字 数 718 千
版 次 2006 年 3 月第 1 版 2011 年 6 月第 2 版
印 次 2011 年 6 月第 1 次
印 数 1—4 000
定 价 49.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

第 2 版前言

物理实验以独立课程面目亮相于基础课程的舞台还是 20 世纪 70 年代末的事。物理实验不仅是物理专业的基础课程之一,并早已成为理工、经管类学生开设的独立的必修实验课程。物理实验的任务是通过实验,培养学生观察、发现、分析、归纳、统计的方法,以及解决物理问题的综合能力,让学生系统地掌握实验物理的基本知识、基本方法和基本技能。因此,人们已经认识到实验物理技术的重要性和加强对学生进行实验物理知识系统训练的必要性,这是物理实验独立设课时代背景的必然产物。

本书根据理工科类大学物理实验课程教学基本要求,以培养 21 世纪创新人才的培养目标为出发点,在重视传授知识的同时更加注重培养能力、素质和创新意识,加强实验技能训练。本书是经过编者多年的实验教学实践,在几代人修改原有实验讲义的基础上编写而成。为了使学能系统地掌握实验物理的基本知识和基本方法,将不确定度及数据处理等预备知识放在前面集中介绍,旨在尽早清除后续实验过程中的理论障碍。因此,本书用了较多的篇幅进行介绍,并且在不同的实验题目中对测量误差的估计和数据处理方法提出不同的要求,为学生进一步理解、掌握误差理论提供方便。

本书在编写过程中,首先注意到物理实验课程是以系统培养实验物理学知识、方法和技能的独立课程,该课程是以独立设课和开放型的教学模式为特征,因此教材体系的系统性和完整性显得十分必要。本书主要内容包括测量误差及数据处理的基本知识以及力学、热学、电磁学、光学和近代物理实验中的基础实验。其次,遵循培养实验认知能力和创新能力的规律性。本书对基本知识、基本仪器、基本方法和基础仪器维护知识等部分力求系统详细介绍,并按不同层次由易到难,逐步加强对知识的灵活运用能力的综合训练。与此同时,注重实验教学的各个环节,每个实验都编写了思考题,促使学生认真准备、积极思考,加深对实验目的、原理等内容的理解。考虑到计算机技术的应用,注意了计算机数据处理在实验教学中的广泛应用,并自行开发了实验数据处理软件,该软件可以将常见实验数据处理方法结果智能化和图形化。

本书由钟鼎编写绪论、第三章(实验九、实验十)、第五章(实验二、实验三、实验四、实验五)、第八章、第九章、第十章、第十一章;吕江编写第三章(实验十一、实验十二、实验十四)、第四章(实验八),同时负责第三章、第四章和第五章的总策划;耿耀辉编写第三章(实验二十)、第六章(实验四、实验十二、实验十三、实验十九至实验二十三),同时负责第六章的总策划;张颖涛、李洪国编写第三章(实验三)、第五章(实验一)、第六章(实验一、实验二、实验八、实验九、实验十一);田竹编写第三章(实验四、实验十三)、第六章(实验三、实验五、实验六、实验七、实验十八);于文惠编写第三章(实验五至实验八)、第六章(实验十四至实验十七);刘丽丽编写第三章(实验十五)、第四章(实验一至实验七);张岷编写第一章;刘爱华、李洪国编写第三章(实验一、实验二);李凤艳、李洪国编写第二章光学实验仪器简介;李凤艳编写第三章(实验十六至实验十九);孙晓捷编写第七章和附录。钟鼎负责全书的策划、统稿和绝大部分绘图

工作。

本书是在天津市高校“十五”规划教材《大学物理实验》基础之上编写而成,同时得到了各级领导和各界友好人士的热情鼓励和帮助,编写中参考了全国许多兄弟院校的有关教材,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存有缺点和错误,敬请读者批评指正。

编者

2010年12月

目 录

绪论	(1)
第一篇 基础实验	(5)
第一章 误差、不确定度及数据处理	(5)
第一节 测量误差	(5)
第二节 不确定度	(8)
第三节 有效数字	(14)
第四节 数据处理的基本方法	(16)
第二章 常用物理实验仪器简介及使用方法	(25)
第一节 力学实验仪器简介	(25)
1. 游标卡尺	(25)
2. 螺旋测微器	(26)
3. 物理天平	(28)
4. 秒表	(29)
5. 气垫导轨系统	(31)
第二节 热学实验仪器简介	(32)
1. 量热器	(32)
2. 温度计	(32)
第三节 电学实验仪器简介	(34)
1. 开关	(34)
2. 电阻器	(34)
3. 电表	(43)
4. 电源	(45)
5. 电容器	(45)
6. 电感器	(50)
7. 电位差计	(53)
8. 电桥	(55)
9. 示波器及其使用	(56)
第四节 光学实验仪器简介	(60)
1. 几何光学元器件	(61)
2. 光源	(62)
3. 读数显微镜	(63)

4. 分光计	(64)
5. 迈克耳孙干涉仪	(66)
第三章 基本物理量测量实验	(68)
实验一 长度测定系列实验	(68)
(一) 用直接测量法测定物体限度	(68)
(二) 用等厚干涉法测定薄膜厚度	(72)
实验二 物质密度测定系列实验	(74)
实验三 重力加速度的测定系列实验	(78)
(一) 用自由落体法测定重力加速度	(78)
(二) 用单摆法测定重力加速度	(81)
实验四 金属材料杨氏模量测定系列实验	(83)
(一) 用拉伸法测定金属丝的杨氏模量	(83)
(二) 共振法测定金属棒弹性模量	(86)
(三) 用迈克耳孙干涉仪测量杨氏模量	(89)
实验五 刚体转动惯量测定系列实验	(91)
(一) 用重力法测定刚体转动惯量	(91)
(二) 用三线悬盘法测定刚体转动惯量	(95)
实验六 用拉脱法测定液体的表面张力系数	(98)
实验七 验证机械能守恒定律实验	(101)
实验八 简谐振动的研究系列实验	(102)
(一) 测定弹簧的劲度系数	(102)
(二) 间接法研究简谐振动	(104)
(三) 弦的振动系统谐振动的研究	(106)
实验九 测定物质的比热容比系列实验	(109)
(一) 绝热法测定空气的比热容比	(109)
(二) 电热法测定水的比热容	(113)
(三) 用冷却法测量金属的比热容	(114)
实验十 测定液体黏度系数系列实验	(117)
(一) 用落针法测量液体黏度系数	(117)
(二) 用转筒法测量液体的黏度	(120)
实验十一 混合法测定冰的熔解热实验	(122)
实验十二 用电热法测定热功当量实验	(124)
实验十三 测量电阻系列实验	(126)
(一) 用替代(补偿)法测量线性电阻	(126)
(二) 伏安法测量线性电阻	(128)
(三) 伏安法测量非线性电阻	(131)
(四) 用惠斯通(单臂)电桥测电阻	(133)
(五) 用开尔文(双臂)电桥测电阻	(137)
(六) 用冲击电流法测量高电阻	(140)

实验十四 模拟法测量静电场分布实验	(141)
实验十五 测量磁场分布系列实验	(144)
(一)用霍尔元件测磁场分布	(144)
(二)磁性材料的基本磁化曲线及磁滞回线的测定	(150)
(三)用冲击电流计测量磁场分布	(155)
实验十六 薄透镜焦距测定系列实验	(158)
实验十七 迈克耳孙干涉仪系列实验	(162)
实验十八 透明介质折射率的测定系列实验	(165)
(一)用干涉法测量空气的折射率	(165)
(二)用极限法测量棱镜的折射率	(166)
(三)用最小偏向角法测量三棱镜的折射率	(168)
(四)用真实深度和视觉深度的方法测量液体的折射率	(173)
实验十九 光衍射系列实验	(174)
(一)单缝、单丝衍射实验	(174)
(二)衍射光栅	(177)
实验二十 光拍频法测量光速实验	(180)
第四章 电磁学综合实验	(185)
实验一 模拟电表的改装和校准系列实验	(185)
(一)电流表的改装和校准	(185)
(二)电压表的改装和校准	(186)
(三)欧姆表的改装和校准	(188)
实验二 数字万用表的组装和校准系列实验	(190)
(一)电压表的改装和校准	(190)
(二)电流表的改装和校准	(194)
(三)欧姆表的改装和校准	(197)
实验三 温差电偶的制备和定标系列实验	(199)
(一)温差电偶的制备	(199)
(二)温差电偶的定标	(200)
实验四 灵敏电流计特性研究系列实验	(202)
实验五 电源电动势特性研究系列实验	(206)
实验六 暂态过程特性研究系列实验	(209)
实验七 模拟示波器系列实验	(212)
第五章 光学综合实验	(218)
实验一 类杨氏双缝干涉系列实验	(218)
(一)杨氏双缝干涉	(218)
(二)双棱镜干涉	(220)
(三)劳埃德镜法观测干涉光强的分布	(222)
实验二 等厚干涉系列实验	(223)
(一)牛顿环特性的研究	(223)

(二)劈尖干涉及应用	(227)
(三)等厚干涉特性的研究	(229)
实验三 成像技术系列实验	(231)
(一)拍摄技术	(231)
(二)暗室技术	(234)
(三)全息成像技术	(236)
(四)全息照相应用	(242)
实验四 透射式光栅应用实验	(245)
实验五 光偏振现象的研究	(250)
第六章 近代实验	(255)
实验一 光电效应及普朗克常数的测定	(255)
实验二 电子电荷的测定	(257)
实验三 弗兰克—赫兹实验	(262)
实验四 真空的获得与测量	(264)
实验五 电子衍射实验	(269)
实验六 法拉第-塞曼效应	(275)
实验七 光泵磁共振实验	(281)
实验八 金属电子逸出功的测定	(287)
实验九 单光子计数	(291)
实验十 平行光管的调整及使用	(297)
实验十一 He—Ne 激光器的最佳放电条件	(302)
实验十二 用光栅光谱仪测氢与氘原子光谱	(307)
实验十三 数字存储示波器的原理及使用	(309)
实验十四 微波电子顺磁共振	(312)
实验十五 核磁共振实验	(314)
实验十六 高温超导实验	(318)
实验十七 LED 荧光粉的光电色特性测量	(320)
实验十八 音频信号光纤传输技术	(324)
实验十九 声光效应实验	(330)
实验二十 电阻应变式传感器实验	(334)
实验二十一 霍尔传感器实验	(339)
实验二十二 相关器的研究	(342)
实验二十三 锁定放大器实验	(346)
第二篇 实验基本技能综述	(351)
第七章 计算机处理实验数据	(351)
第一节 Basic 语言处理实验数据的方法	(351)
第二节 Visual Basic 语言处理实验数据的方法	(357)
第三节 Microsoft Office XP Excel 处理实验数据的方法	(375)
第八章 基础物理实验的测量方法	(382)

第九章 基础物理实验仪器操作技法	(391)
第一节 仪器调整与操作技术	(391)
第二节 电磁学实验基本操作规则	(394)
第三节 光学实验基本操作规则	(394)
第十章 电子仪器使用和维修的基本知识	(396)
第一节 电子仪器维护的基本知识	(396)
第二节 电子仪器故障检修的基本方法	(398)
第三节 常用的 10 种故障排除方法	(399)
第四节 元器件的一般检查方法	(403)
第五节 万用表的使用	(404)
第三篇 设计性和综合性实验	(407)
第十一章 设计性和综合性实验	(407)
第一节 力学设计实验	(407)
第二节 热学设计实验	(412)
第三节 电磁学设计实验	(414)
第四节 光学设计实验	(424)
第五节 综合设计实验	(427)
附录 A 中华人民共和国法定计量单位	(430)
附录 B 常用物理数据	(432)
附录 C 常用电气测量指示仪表和附件的符号	(439)
附录 D 正态分布与标准偏差	(442)
附录 E t 因子	(444)
附录 F 物理实验基本要求	(445)
附录 G 实验室常用仪器的允差及主要指标	(448)
参考文献	(449)

绪 论

一、“大学物理实验”课程的目的和任务

科学的发展历史证明:科学的理论来源于科学的实践,并指导我们的实践;科学理论要受到实践的检验,并在实践中不断地得到修正、补充和完善。对于科学研究来讲,科学实验是最重要、最基本的实践活动。而且,随着社会发展和研究深入,科学实验的重要性和基本性将会越来越突出显示出来。

科学实验是根据一定的研究目的,通过科学的构思,利用科学仪器设备等物质手段,人为地控制和模拟自然环境与现象,使自然过程或生产过程以比较纯粹的或典型的形式再现出来,从而在有利条件下探索自然规律的一种研究方法。

科学实验的主要任务是研究人类尚未认识或尚未充分认识的自然过程,发现未知的自然规律,创立新学说、新理论,研制发明新材料、新方法、新工艺,为生产实践提供科学的理论依据,促进生产技术的进步和革命,提高人们认识自然、利用自然和改造自然的能力。

物理理论的建立也遵循这一过程,它是通过由物理实践到物理理论,再由物理理论指导实践的辩证过程建立和发展起来的。通过对物理学历史地、全面地考察发现,物理学本质上是一门实验科学。首先,物理概念的建立、物理规律的发现是以实验为基础,物理学作为一门科学的地位是由物理实验予以确立的;其次,已有的物理定律、物理假说、物理理论必须接受实验的检验,正确就予以确定,不正确的就予以否定,不完全正确的就予以修正。例如,普朗克在黑体辐射实验的基础上提出了能量子概念,爱因斯坦通过分析光电效应现象提出了光量子;伽利略用新发明的望远镜观察到木星有四个卫星后,否定了地心说;杨氏双缝干涉实验证实了光的波动假说的正确性。可以说,物理学的每一次进步都离不开实验。

1. 物理实践的基本类型

在进行物理实践的过程中,由于所涉及的研究对象、实践的目的、研究方法、获得的结论等方面的不同,通常将物理学的实践活动分为观察和实验两种基本类型。下面简述其概念和特征。

(1) 观察

观察就是对自然界中发生的某种现象,在不改变其自然条件的情况下,按照原来的状态加以研究。比如,观察天空后发现,晴朗无云的天空是蓝色的;观察气候后发现,一年可以分为春、夏、秋、冬四个季节。

观察的特征如下。

①现象是在自然状态下发生的,通常没有人为限制。因此,一般地讲,观察这种实践活动是简便易行的,是一种可以经常进行的实践活动,也是对现象进行深入研究的基础。在科学实践中,养成观察的习惯,掌握观察的方法,对一个科学研究者来说是极其重要的。

②影响自然现象的因素多而复杂。通过观察,一般只能对现象作定性研究,即了解影响现

象的主要因素及大致关系,其研究不够准确、不够深刻。

(2) 实验

所谓实验则是在人工控制的条件下,抑制次要因素,突出主要因素,使现象能够向着更加直接、更加单纯的方向进行,并能反复重现,从而借助仪器设备对影响现象的主要因素进行测量。

实验的特征如下。

①可以按照研究的需要和目的人为地简化和控制现象发生和进行的条件和方向。目的是为了突出主要因素,排除或减少次要因素的干扰和影响,使过程的进行更直接、更纯粹,以获得明确的结果。实验也是物理学中一种重要的研究方法,实验对物理学的发展起着十分重要的作用,过去是这样,现在是这样,将来也一定是这样。

比如,伽利略用落体实验驳倒了亚里士多德的“重的物体落得快,轻的物体落得慢”的说法。他在斜面实验的基础上指出:力不是维持运动的原因,物体的运动不需要力来维持。伽利略开创了物理学的实验方法,也正是因为实验方法的引入,才使物理学真正成为一门科学。牛顿“最伟大的宇宙定律”的正确性,是因为它能计算出哈雷慧星的运行周期(约 76 年),解释了潮汐现象,指出了(当时)太阳系中还应有所谓冥王星、海王星的存在。伟大的詹姆斯·克拉克·麦克斯韦于 1864 年将电和磁“合”在了一起,把描述电学规律和磁学规律的关系式总结为优美的麦克斯韦方程组,由此预言了电磁场和电磁波的存在,指出光是一种电磁波。而这一结论的正确性是在经过了 24 年——也是麦克斯韦逝世(1879 年)9 年之后的 1888 年才被赫兹向世界宣布的实验结论所印证。故世界科学界最崇高的奖励——诺贝尔奖一般都授予与实验有关的科学发现者。

②实验一般都需要对现象进行定量研究。实验一般都需要对影响现象发生的主要因素进行测量,以获得较为精确的结论或规律。现在,几乎所有物理问题最终都要被量化。正因为如此,物理学才成为一门定量的精确的科学。物理学家们在长期的研究实践中,不仅创造了巧妙而丰富的实践方法,而且在进行物理问题量化的过程中,还创造了许多物理学特有的研究方法。所有这些,不仅对物理学,而且对自然科学的其他学科,以及工程技术和社会科学、社会生活的各个方面都具有重要的作用和意义。

综上所述,“大学物理实验”是高等院校学生的一门重要的基础课程。了解和掌握实验研究的方法和技巧,不仅对物理学理论的学习十分重要,而且对后续课程的学习,尤其是对将来所从事的实际工作所需要具备的独立工作能力和创新能力等素质的培养也十分必要。

2. 大学物理实验课程的任务

“大学物理实验”课程与“大学物理”理论课程一起构成了高等工科学生必修的基础物理学知识体系。理论课主要注重对物理概念、物理规律的研究、讨论和学习,训练学生的逻辑思维、形象思维、归纳总结的方法;实验课则主要以实践动手为教学手段,对学生进行全面而系统的实验方法和实验技能的训练。它们具有同等重要的地位,具有深刻的内在联系。

2008 年教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会颁布的“理工科类大学物理实验课程教学基本要求”,明确了本课程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。具体任务如下。

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,遵守纪律、团结协作、爱护公共财产的优良品德。

总之,是要培养和提高学生理论联系实际、实事求是的工作作风,一丝不苟、严肃认真的工作态度,孜孜不倦、探求未知的精神以及创新精神和团队精神,等等。

二、物理实验课的一般要求

为达到物理实验课的教学目的,学生应重视物理实验教学中的以下重要环节。

①实验预习。课前要仔细阅读实验教材、相关背景资料并可通过仿真实验等手段弄清实验所依据的原理、所使用的仪器设备、涉及的实验方法、需要控制的实验条件及实验关键步骤等,根据实验要求设计记录数据的表格。另外,设计性实验还要求学生课前自拟实验方案,自己设计实验装置、电路图或光路图,自行设计数据表格等。总之,课前预习是实验过程是否顺利的关键环节。

②实验操作。学生进入实验室后应遵守实验室规则,用一个准科学工作者的标准要求自己,实验前先阅读仪器说明书,了解仪器操作方法、仪器工作环境条件,然后进行仪器和仪表的集成、安装与调整,使仪器在实验台上布局合理。同时注意安全操作,在使用过程中注意细心观察实验现象。认真钻研和探索实验中可能遇到的问题。如在使用过程中遇到未预料到的问题时,应视为学习的机遇,要冷静分析和处置。仪器发生故障时,请示指导教师,在指导教师的指导下学习排除故障的方法。

③数据测量与处理。要严肃对待实验数据,学生要用钢笔、签字笔和圆珠笔记录原始数据,不能使用铅笔。如确系记错了,也不要涂改,应在错误数据上轻轻画一条线,在其旁边写上正确值,不要先草记在另外的纸上再誊写在数据表格里,这样容易出错,错误太多的,须重新记录,使正确和错误数据都能清晰可辨,以供在分析测量结果和误差时参考。希望学生注意纠正自己的不良习惯,从一开始就培养实事求是的科学作风。有条件的实验室可以先用数据处理软件进行预处理,确认无误后再请实验教师审阅原始数据并签字。实验结束后必须整理还原仪器至初始摆放位置后方可离开实验室。

④实验总结。实验后要对实验数据及时进行处理。如果原始记录删改较多,应加以整理,对重要的数据要重新列表。数据处理过程包括计算、作图、误差分析等。计算要有计算式(或计算举例),代入的数据都要有根据,便于别人看懂,也便于自己检查。作图要按作图规则进行,图线要规整、平滑、美观。数据处理后应给出实验结果和实验结论。最后要求撰写出一份字迹清楚、文理通顺、图表正确、数据完备、结果明确、有独到见解的实验报告。

⑤实验报告。

⑥实验名称。

⑦实验目的。

⑧实验原理。简要叙述有关物理内容(包括电路图、光路图或实验装置示意图)及测量中依据的主要公式,式中各量的物理含义及单位,公式成立所应满足的实验条件等。

⑨实验步骤。根据实际的实验过程写明关键实验步骤和实验过程中应注意的安全问题。

⑩数据表格与数据处理。记录的数据中包括仪器编号、规格及完整的原始实验数据。同时要完成数据处理计算、实验数据曲线图的绘制(含实验误差的标注)、误差分析。最后写明

实验结果。

⑪小结或讨论。该项内容不作硬性要求,可以是对实验中现象的分析,对实验关键问题的研究体会,对实验错误结论的分析,以及实验的收获、建议和解答相应的思考题。

总之,物理实验教学要把重点放在全面培养学生科学综合素质、创新能力、实践动手能力上,而不是测出几组实验原始数据就算完成任务了。

三、实验室规则

①学生必须提前十分钟按顺序进入实验室,同时必须带预习报告(该报告说明完成了指定的实验前预习内容,课前不做预习,不准参加本次实验课)和记录实验数据的表格,经指导教师检查同意后方可进入实验室。

②进入实验室后,学生遵守实验室规则,按指定编组就坐,保持安静的实验环境。

③首先阅读仪器设备说明书,再检查仪器设备是否齐全、仪器设备有无缺损。如有缺损或不全,及时报告指导教师请求补发或调换,不得随意到其他实验台上拿取。

④实验前要确认本次实验的内容、目的和操作步骤,严格遵照指导老师认可的方案进行实验。未经指导教师许可,学生不准动手做实验。

⑤实验必须按步骤进行,仔细观察现象,如实记录数据,周密思考分析,一丝不苟地记录原始数据(记录数据不得使用铅笔);不得弄虚作假,伪造数据,拼凑答案。

⑥要爱护实验仪器设备、珍惜耗材及药品,避免损坏玻璃器皿、易损仪器或元器件,培养优良的实验习惯。如有实验仪器设备损坏、丢失,应及时向指导教师报告,填写报损单,照章酌情赔偿。公用工具使用完后应立即放回原处。

⑦在实验过程中注意人身和仪器设备的安全,使用电气设备要严格执行操作程序,经指导教师许可方可接通电源,使用完毕立即将电源切断,杜绝违章操作。

⑧禁止在实验室内大声喧哗,随意走动,乱丢杂物和泼洒废液等。

⑨在实验过程中注意防火、防爆、防腐和防毒等。

⑩实验室内的一切物品未经指导教师许可,禁止带出实验室,违者按学籍管理规定处理。

⑪实验完毕,学生应填写“实验情况登记册或实验情况表”,并将仪器设备整理还原。然后做好实验台面和附近实验区卫生,并检查电源、气源和水源是否切断。最后请指导教师确认仪器还原情况和测量数据并签字后方可离开实验室。

⑫实验报告应在实验后一周内交到实验室规定的地点。

第一篇 基础实验

第一章 误差、不确定度及数据处理

第一节 测量误差

一、测量

进行物理实验时,不仅要物理现象进行定性的观测和研究,更重要的是要对所观测到的物理现象进行定量的测量,得出物理量之间的关系,表明物理性质,得出物理规律。

测量就是将被测量和选作标准单位的同物理量之间进行比较得出的其倍数的过程。显然,倍数称为待测物理量的数值,选作的计量标准称为单位。因此,一个物理量的测量值应由数值和单位两部分组成。

1. 直接测量和间接测量

根据测量方式的不同,物理量的测量可分为直接测量和间接测量。凡是直接由仪器获取物理量数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,用温度计测温度,用电压表测电压等。但是更多的物理量是无法通过仪器直接获取的,而是要通过待测量和若干个直接测量量之间的函数关系求出,这样的测量称为间接测量。相应的物理量称为间接测量量。例如:测量钢柱的密度 ρ 时,钢柱的高 h 和直径 D 是直接测量量,密度 ρ 是间接测量量。再如:用单摆测重力加速度 g ,周期 T 和摆长 l 是直接测量量,加速度 g 是间接测量量。

需要指出的是,直接测量和间接测量并非绝对,通常与仪器的选择有关。而且,随着科学技术的飞速发展以及测试手段的不断改进,更多的间接测量将转化为直接测量。

2. 等精度测量和非等精度测量

根据测量条件的不同,物理量的测量可分为等精度测量和非等精度测量。凡是在测量的过程中,每次测量的条件都相同,没有根据判断哪一次测量更为精确,这样的一系列测量称为等精度测量。反之为非等精度测量。

通常在测量的过程中,要保证测量条件始终不变是十分困难的。例如测量的环境、测量的人员、测量的方式及方法、测量的仪器等,其中一个条件改变了,等精度测量就变成了非等精度测量。非等精度测量的数据处理很困难,因此在某一条件变化不大时,仍可视作等精度测量。

本书的测量均按等精度测量来处理数据。

二、真值及测量误差

1. 真值

在观测一个物理量时,其在客观世界具有的真实大小,称为真值。一般来说,它是系统状态的函数。由于真值是不可知的,人们归纳出了几种近似真值。

①理论真值。如理论设计值、公理值、理论公式计算值。

②计量约定值。如国际计量大会规定的各种基本单位值、基本常数。

③标准器件值。将高一等级仪表的测量结果作为低等级测量结果的近真值。

④算数平均值。测量次数趋于无穷时算数平均值趋于真值。因此,多次测量结果的平均值作为近真值。

某些特定情况下的真值是可行的。例如,三角形的内角和为 180° ,一个圆周角为 360° 等。

2. 测量误差

前面讲过,真值是不可知的。这是由于测量时,测量仪器、测量方法、测量环境及条件等的限制和影响,其测量值和真值之间总会存在一些偏差,这种偏差称为误差,也称为绝对误差。设某个物理量的测量值为 x ,真值为 A ,则测量的绝对误差为

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

它反映了测量值偏离真值的大小与方向,其直接反映的是测量结果的可靠性。值得指出的是,误差存在于一切科学实验的过程中,因此必须对测量的误差进行分析、计算。

三、误差分类

1. 系统误差

在等精度测量条件下,对同一物理量进行多次测量,其误差总是使测量结果向一个方向偏离,其数值是一定的或按某种规律变化的。这种误差称为系统误差。由于系统误差有定值性、积累性、周期性,使得系统误差可确定、有规律、可修正。

但是系统误差的发现和估计并非易事,这是因为在同一条件下多次进行重复测量并不一定能发现系统误差的存在,也就不能借此来消除它的影响。而且在具体的测量中,系统误差往往和其他误差并存,这给判断带来很大困难。能否识别和判断系统误差在很大程度上取决于实验者的经验和判断力。系统误差一经发现,就可对其进行修正或消除。

从系统误差的特点可以看出,在实验中增加测量次数并不能减小系统误差的影响。要减小或消除这种影响,首先应在设计实验时对实验的方式和方法予以考虑,或者对使用的公式进行修正,其次在实验时应对所使用的仪器仪表进行校准。

2. 随机(偶然)误差

在等精度测量条件下,对同一物理量进行多次测量,其误差的绝对值时大时小,其符号时正时负,既不可预料也不可控制,呈现一种随机性。这种误差称为随机误差。

由于随机或不确定的因素所引起的每一次测量值无规律的涨落都服从一定的统计分布规律,常见的一般性测量中,基本上属于正态分布,因此可以用统计的方法处理随机误差。

以测量值 x 为横坐标,以误差出现的概率密度 $f(x)$ 为纵坐标,则多次测量结果的偶然误差概率密度可用图 1-1-1 所示的正态分布曲线表示。从图上可以看出,测量值在 $x = \mu$ 处的密度最大,相应横坐标 μ 点为测量次数 $n \rightarrow \infty$ 时的测量平均值。图中 σ 为正态分布的标准偏差,

其值为曲线拐点处的横坐标与 μ 值之差,是表征测量值分散性的参数。当曲线与 x 轴之间总面积为1时,介于横坐标上任意两点间的面积可用来表示此范围内的概率。由此曲线可得出随机误差的特点如下:

①误差的绝对值不会超过某一最大值 $\Delta_{\max}$ ——具有有界性;

②绝对值小的误差出现的概率大,绝对值大的误差出现的概率小——具有单峰性;

③绝对值相同的正、负误差出现的概率相等——具有对称性。

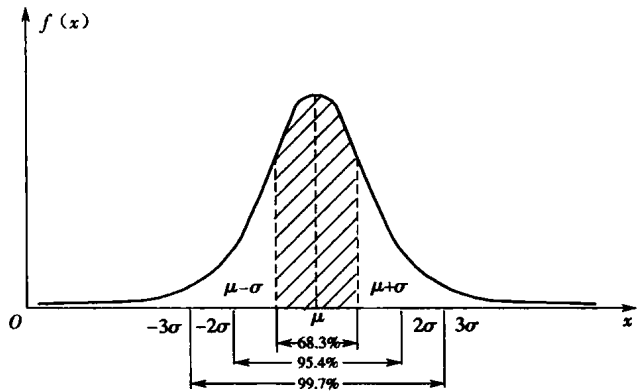


图 1-1-1 正态分布曲线

由此可见,随机误差虽因不可预知而无法避免,但却可以通过多次测量,利用其统计规律而达到互相抵偿,因而能找到真值的最佳近似值。

需要指出的是,系统误差和随机误差并不存在真正的界限。因为其产生的根源是一致的,故这两种误差在一定条件下是可以相互转化的。掌握了误差相互转化的特点,可将系统误差转化为随机误差,即可用数据统计的方法减小误差的影响,或将随机误差转化为系统误差,用修正的方法来减小误差。

3. 粗大(过失)误差

过失误差主要是由于测量人员的粗心大意或仪器设备的不完善、或实验环境和测量条件发生突变、干扰造成的异常值。一经发现,经过科学的判断证实为过失误差,应马上予以剔除。

判断异常值的简单方法是 3σ 准则。由图 1-1-1 可知,任一测量值的误差落在 $(-\sigma, +\sigma)$ 区间的可能性是 68.3%;落在 $(-2\sigma, +2\sigma)$ 区间的可能性是 95.4%;落在 $(-3\sigma, +3\sigma)$ 区间的可能性是 99.7%;对于误差大于 3σ 的测量,出现的可能性只有 0.3%。因此一般将 3σ 称为极限误差。在测量次数不甚多时,误差不会超过此区间,某次测量值的误差大于 3σ 时,即使找不到理由说明它是测错的数据,也将其当成异常值剔除。这个过程一直进行到所有单次测量值的误差均小于 3σ 为止。

另外,还有肖维涅准则、格拉布斯准则等其他更为精确的判断异常值的准则。实验中,判断异常值用 3σ 即可。

四、误差来源

1. 测量仪器及标准量的问题

在许多情况下,测量仪器上的刻度(或数字显示)代表了标准值,如米尺、温度计等。但是这种“标准量”也并非真正的标准,它与真正的标准必有差距。另外,测量时仪器设备也可能并未调整到最佳状态。

2. 测量方法的问题

采用不正确的测量方法或测量方法的近似往往会得到不同的测量结果。