



21世纪高等学校教学用书

SHIJI GAODENG XUOXIAO JIAOXUE YONGSHU

大学物理实验

DAXUE WULI SHIYAN

◎熊永红 主 编

◎任忠明 张 炯 皮厚礼 副主编

华中科技大学出版社
<http://press.hust.edu.cn>

大学物理实验

主 编 熊永红

副主编 任忠明 张 炯 皮厚礼

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/熊永红 主编

武汉:华中科技大学出版社,2004年12月

ISBN 7-5609-3346-7

I. 大…

II. 熊…

III. 物理学-实验

IV. O4-33

大学物理实验

熊永红 主编

策划编辑:万亚军

责任编辑:万亚军

责任校对:刘 飞

封面设计:潘 群

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华大图文设计室

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:787×1092 1/16

印张:25

字数:579 000

版次:2004年12月第1版

印次:2004年12月第1次印刷

定价:30.00元

ISBN 7-5609-3346-7/O · 343

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书是华中科技大学物理系在为全校理、工、医各学科本科生开设的基础物理实验课程讲义的基础上编写的教材,是深化物理实验教学改革的研究成果。本书首先介绍了不确定度的基础知识和数据处理的基本方法,并涉及力学、热学、声学、光学、电磁学、微波技术、相对论、量子论、隧道效应、光纤传输、虚拟仪器和技术、非线性物理、红外扫描成像、薄膜材料制备等各个方面,其中有不少是综合、设计与专题研究性实验。在实验内容的选择和编排上,既注重突出物理实验的基本知识、基本方法、基本测量技术,又反映了若干物理学的最新进展和科技发展的最新成就与技术。理、工、医等各学科的本科生可根据自身学科的特点和需求,选择适合的实验内容,学有余力的同学可以增选设计和专题实验。

本书可作为理工科非物理类专业大学物理实验课程的教材,也可供其他专业学生和社会读者阅读、参考。

前 言

物理实验作为高校公共基础课,是大学生系统地学习科学实验的基础知识、实验方法、测量技术的入门课程,对学生科学思维方式、创新意识、科研能力、科学作风和综合素质的培养都具有极其重要的作用,是高校基础教学中不可缺少的重要环节。物理学是新兴技术学科的源头和基础,与其他学科的“嫁接”、“交汇”都可能产生巨大的能量,成为促进现代高科技发展和新兴学科诞生的催化剂。面对科学技术的飞速发展,我们感受到社会对高素质创新人才的迫切需求已向大学物理实验教学提出了严峻的挑战。为此,华中科技大学物理实验中心围绕培养创造性人才这一根本目的,对物理实验的教学体系、教学内容和模式、测量技术等进行了全面的改革,建立了全开放多层次的物理实验教学新体系,引进部分国内外先进技术和仪器,在教学内容上拓展和加强了近代、综合与设计的内容,在教学模式上采取多元化的教学方法和模式,鼓励师生积极探讨教学的新方法,取得了一定的成效,积累了一些经验。根据教育部有关深化教育改革的基本精神,我们结合多年的教学经验并吸取众多兄弟院校的宝贵意见,编写了这本《大学物理实验》。

本书力求在突出物理实验的设计思想,在物理实验的基本知识、基本方法、基本测量技术的基础上,将现代教育理念、先进教育技术和现代科技进步的成果融入到基础物理实验的教学之中。在实验内容的选择和编排上,将虚拟技术、传感技术和现代测控技术与丰富的物理实验内容相结合,注重物理实验内容的科学性、先进性和时代性,以及与本科生知识结构和认知能力的协调性。在各层次实验教学中,基础、近代和综合与设计性实验具有不同的比重,随着层次和级别的提高,近代、现代实验技术、综合与设计性实验内容的比重不断提高。例如:在基础物理实验的教学中新增加了非线性物理、高温超导、量子论、相对论、混沌、磁悬浮、红外扫描成像、磁光效应、傅里叶声分析、声学多普勒效应、数字信号光纤传输技术、低温与真空技术、薄膜制备、虚拟实验等教学内容。这样既保障了基本训练,提高了基础物理实验的起点,又增加了综合性、设计性、研究和探索性实验内容,供有潜力的学生进一步学习和研究,有利于因材施教。

随着科技的飞速发展,现代测试技术和仪器也进入了物理实验室,数字仪表正在逐步取代各种老式的指针式仪表,传感器和计算机在物理实验的教学中正凸现其测量快捷、准确,记录和存储方便,便于数据的分析预处理等诸多优势,促使许多高校物理实验教学中采用了计算机来进行采集、记录、绘图或监控等,提高了物理实验的现代化水平。由于目前国内部分教学仪器的盒装化和暗箱化制约了学生动手能力的培养和对测量原理的理解,我们增加了一些组合式(开放式)、模块化(散件化)的实验,并将数字仪表、存储示波器、红外扫描成像仪、扫描隧道显微镜、小型镀膜仪、现代传感器技术、虚拟技术和测控技术用于其中,为学生搭建设计和探索性实验的公共平台,使学生在完成基本实验内容后,有更多的弹性内容和自主设计与探索的空间。学生需要手脑并用,搭建测量装置(或连接电路)后才能进行测量,这有利于训练和提高学生的动手能力和实验技巧,有利于训练学生的观测、分析、判断和综合能力,培养创新思维和激发潜能。

全书共分8章,在第1章中删除了传统误差理论中一些不确切的内容,以国际计量委员会

(CIPM)等国际专业组织制定的《测量不确定度表达指南》为标准,结合物理实验教学的实际情况进行了必要的简化,以突出不确定度的基本概念和基本的评估方法,避免陷入烦琐的理论推导和数学计算之中,同时介绍了常用数据分析与处理方法,以利于学生掌握测量数据的记录、分析和处理方法,学会正确评估和表征实验测量结果方法。第2章到第5章在整合原有基础物理实验内容的基础上,增加了“用闪光法测定不良导体的热导率”“用动态法测定良导体的热导率”“双光栅测量微弱振动位移量”“音频信号光纤传输技术”“阿贝成像原理与空间滤波”“激光全息”“全息光栅的制作及其参数测定”“弗兰克-赫兹实验”“声光调制与光速测量”“光电效应和普朗克常数的测量”“密立根油滴实验”等新的实验。第6章介绍了虚拟仪器的基本原理及其在物理实验中的应用,给出5个虚拟实验课题。第7章给出了26个设计与综合性实验课题,要求学生根据给定的仪器和元器件,自主设计,并独立完成实验,写出实验研究论文。第8章是专题与综合实验,要求学生在实验室所提供的实验条件的基础上,自行设计实验方案,独立或合作完成某个专题实验研究,写出实验研究论文,参加论文答辩,旨在培养和提高学生实验动手能力和独立从事科研工作的能力。全书大部分实验都配有思考题,以引导学生深入思考。

本书的编者大多数都是多年从事物理实验教学并积极参与实验教学改革探索和实践的教师。其中,前言,绪论,第1章,实验3-6,7-1,7-6,7-7,7-8,7-9,7-15,7-16,7-17,7-18,7-20,7-21,7-25,7-26,8-1,8-2,8-3,8-5,8-6,8-7,8-8,8-9,8-10和附表由熊永红编写;实验2-1,2-7,2-9,2-10,2-11,2-12,2-13,2-14,2-15由李香莲和杨明编写;实验2-2,2-3,2-4,2-5,2-10,3-15,7-2,7-3,7-4,7-5,7-13,7-14,7-19,7-22,8-11,8-12,8-13和8-14由任忠明编写;实验2-6,2-16,3-2和8-4由李智华编写;实验2-8,3-1,4-2和4-12由陈劲编写;实验2-17,2-18,2-19和3-10由龙长才编写;实验3-3和3-4由柯圣志编写;实验3-14,4-5,4-6,4-7,4-8,4-9,4-10由范雅静编写;实验4-1,4-3,4-4,4-11由关桂珍编写;实验4-13,4-14,4-15由赵美蓉编写;实验3-5,3-7,3-8,3-9,3-11,3-13由皮厚礼编写;实验3-12由肖育英编写;第5章由金亚平编写;第6章和实验7-10,7-11,7-12,7-24由张炯编写。皮厚礼和肖育英做了大量的教材初稿整理和资料整理工作。皮厚礼、熊永红、任忠明、张炯、范亚静、金亚平、李香莲等承担了本书的校对工作。

本书是华中科技大学物理系物理实验中心教学改革与实践成果的体现。物理实验课是一门体现集体智慧和教学研究成果的课,是工作在物理实验教学第一线的广大教师和实验技术人员辛勤耕耘的结晶。在此,我们衷心感谢他们多年的辛勤劳作和无私奉献!

本书是在李天应老师主编的《物理实验》、是度芳和贺渝龙老师主编的《基础物理实验》的基础上,吸收了华中科技大学多年来的教学改革与实践的成果和兄弟院校的宝贵经验编写的。北京大学、清华大学以及武汉大学、华中师范大学等高校的专家给本书的大纲提出过许多宝贵的意见。本书在编写过程中得到华中科技大学冯向东副校长,以及教务处、实验设备处、物理系及华中科技大学出版社的领导对本书的编写都给予了极大的鼓励和支持,在此表示诚挚的敬意和衷心的感谢。

由于编者水平有限,编写时间紧迫,书中不妥和疏漏之处在所难免,恳请广大师生和同行专家及时批评指正。

熊永红

2004年9月于华中科技大学

目 录

绪论	(1)
第1章 测量与不确定度及数据处理的基础知识	(6)
1.1 测量的定义与基础知识	(6)
1.2 误差与不确定度的基础知识	(8)
1.3 直接测量不确定度评估	(12)
1.4 间接测量不确定度评估	(17)
1.5 有效数字与测量数据的预处理	(20)
1.6 常用数据分析与处理方法	(23)
练习题	(30)
参考文献	(31)
第2章 力学、热学、声学实验	(32)
实验2-1 速度的测量	(32)
实验2-2 用拉伸法测定金属丝的杨氏模量	(35)
实验2-3 动力学法测定材料的杨氏模量	(40)
实验2-4 用梁弯曲法测定材料的杨氏模量	(44)
实验2-5 用扭摆法测定材料的切变模量	(47)
实验2-6 转动惯量的测定	(50)
实验2-7 用波尔共振仪研究受迫振动	(54)
实验2-8 碰撞与守恒	(59)
实验2-9 金属线膨胀系数的测定	(62)
实验2-10 用闪光法测定不良导体的热导率	(67)
实验2-11 用动态法测定良导体的热导率	(72)
实验2-12 粘滞系数的测定	(77)
实验2-13 用毛细管升高法测定液体表面张力系数	(79)
实验2-14 旋光性溶液浓度的测量	(80)
实验2-15 用混合法测固体的比热容	(83)
实验2-16 温度传感实验	(85)
实验2-17 声速的测量	(91)
实验2-18 双光栅测量微弱振动位移量	(95)
实验2-19 音频信号光纤传输技术	(100)
参考文献	(112)
第3章 电磁学实验	(113)
实验3-1 直流电桥	(113)

实验 3-2	电子元件伏安特性的测定	(119)
实验 3-3	示波器的使用	(124)
实验 3-4	RLC 串联电路的暂态过程	(132)
实验 3-5	用补偿法测量电压和校准电表	(138)
实验 3-6	用模拟法测绘静电场	(141)
实验 3-7	交流谐振电路特性的研究	(144)
实验 3-8	整流滤波电路	(148)
实验 3-9	交流电桥	(152)
实验 3-10	霍尔效应及螺线管磁场测量	(156)
实验 3-11	介电常数的测量	(161)
实验 3-12	用纵向磁聚焦法测定电子荷质比	(164)
实验 3-13	塞贝克效应	(167)
实验 3-14	磁化曲线和磁滞回线的测量	(172)
实验 3-15	夫兰克-赫兹实验	(179)
参考文献		(183)
第 4 章 光学实验		(184)
实验 4-1	薄透镜焦距的测定	(184)
实验 4-2	显微镜和望远镜	(188)
实验 4-3	分光计的调整与折射率的测定	(192)
实验 4-4	用折射极限法测液体的折射率	(200)
实验 4-5	平行光管的调节和应用	(203)
实验 4-6	等厚干涉——牛顿环、劈尖干涉	(208)
实验 4-7	双棱镜测光波波长	(212)
实验 4-8	迈克耳孙干涉仪	(214)
实验 4-9	干涉法测空气的折射率	(218)
实验 4-10	钠黄双线的波长差与光源的相干长度	(220)
实验 4-11	衍射光栅的特性与光波波长的测量	(223)
实验 4-12	偏振与双折射	(227)
实验 4-13	阿贝成像原理与空间滤波	(235)
实验 4-14	激光全息照相	(238)
实验 4-15	全息光栅的制备及其参数测定	(240)
参考文献		(243)
第 5 章 物理学基本常数测量		(244)
实验 5-1	重力加速度的测量	(244)
实验 5-2	玻耳兹曼常数的测量	(253)
实验 5-3	声光调制与光速测量	(255)
实验 5-4	光电效应和普朗克常数的测量	(259)
实验 5-5	密立根油滴实验和电子电荷的测量	(264)

参考文献	(268)
第6章 现代测控技术与虚拟实验	(269)
实验6-1 交流信号的测量与分析	(270)
实验6-2 变压器的设计与变压器特性测量	(275)
实验6-3 混沌电路	(279)
实验6-4 混沌加密与混沌通讯	(281)
实验6-5 法拉第磁光效应	(283)
第7章 设计与综合实验	(286)
实验7-1 微型风力计的设计	(286)
实验7-2 研究弹性碰撞和非弹性碰撞时的动量守恒	(287)
实验7-3 物体在斜面上的简谐振动研究	(288)
实验7-4 多用转动惯量测试仪的设计	(288)
实验7-5 导轨上混沌摆的设计与研究	(289)
实验7-6 弦振动的特性研究	(289)
实验7-7 气体绝热过程的实验研究	(291)
实验7-8 红外无损检测	(291)
实验7-9 编钟的声学特性与音律识别	(292)
实验7-10 音频信号的傅里叶分析	(295)
实验7-11 声学多普勒效应	(295)
实验7-12 超声测距	(296)
实验7-13 不间断电源的设计与制作	(297)
实验7-14 助听器的设计与制作	(297)
实验7-15 电流平衡仪的设计	(298)
实验7-16 居里温度测试仪的设计	(298)
实验7-17 简易介电常数实验仪的设计	(300)
实验7-18 磁悬浮原理与应用	(301)
实验7-19 红外线防盗报警器的设计与制作	(302)
实验7-20 光的衍射现象研究	(302)
实验7-21 简易光谱仪的设计与应用	(304)
实验7-22 简易无线对讲机的设计与制作	(305)
实验7-23 温度测量与报警装置	(305)
实验7-24 微波波长的测量	(306)
实验7-25 微型水库的水位控制系统	(306)
实验7-26 简易图像监视系统	(307)
参考文献	(308)
第8章 专题与综合实验	(310)
8.1 薄膜的制备、表征和物性测量专题系列实验	(310)
实验8-1 金属薄膜的制备与工艺研究	(310)

实验 8-2 薄膜表面形貌表征	(319)
实验 8-3 干涉法测薄膜厚度	(325)
实验 8-4 椭偏仪测量薄膜厚度和折射率	(328)
实验 8-5 薄膜生长的动态电阻特性测量	(331)
8.2 热辐射与红外扫描成像系列实验	(334)
实验 8-6 物体的辐射发射量的测定	(335)
实验 8-7 空气中热辐射的传播规律研究	(338)
实验 8-8 黑体辐射基本特性	(339)
实验 8-9 斯特藩-玻耳兹曼定律	(342)
实验 8-10 热辐射扫描成像实验	(343)
8.3 真空与超导技术	(346)
实验 8-11 真空的获得和测量	(346)
实验 8-12 高温超导材料特性的测试	(351)
8.4 相对论与 γ 闪烁谱仪	(362)
实验 8-13 验证快速电子的动量与动能的相对论关系	(362)
实验 8-14 单晶 γ 闪烁谱仪	(366)
参考文献	(372)
附表	(374)

绪 论

一、物理实验的地位与作用

著名物理学家丁肇中教授曾说过：“实验科学是科学技术中很活跃的部分。自然科学是实验科学，任何理论与自然科学现象不符合就不能存在。它是发展自然科学的重要基础和动力。”而物理学从本质上说是一门实验科学，是一门研究和探索客观物质世界奥秘和规律的学科，其研究领域从基本粒子到浩瀚的宇宙（跨越了 $10^{-28} \sim 10^{28} \text{ m}$ ），从 Z^0 粒子的寿命到质子的寿命（跨越了 $10^{-25} \sim 10^{38} \text{ s}$ ），探究整个宇宙中物质的各种形态、现象、运动规律和相互作用，揭示宇宙中各种事物间的内在联系和本质。

物理学是新兴技术学科的源头和基础，是自然科学的核心基础学科。实验物理和理论物理是构成物理学的两大支柱。“没有实验，理论是空洞的；没有理论，实验是盲目的”，理论和实验是相辅相成的，它好比人之双足，鸟之双翼，缺一不可。物理学的基本定律都是来源于物理实验或受到物理实验的检验才得以成立的。以实验物理学方面的伟大发明或发现而获得诺贝尔物理学奖的物理学家，占总获奖（诺贝尔物理学奖）人数的三分之二以上，这足以说明物理实验研究在物理学中所处的重要地位。

物理实验中的发现和发明已经对物理学的发展和新型学科的诞生起到巨大的推动作用，例如：电磁感应定律和无线电的发现、晶体管的发明为当今半导体、电子工程、计算机、信息科学等学科的诞生和发展奠定了坚实的基础；X光和放射性的发现为物质结构的研究、现代医学成像、CT断层扫描、工业无损检测等领域的发展奠定了基础；激光器的发明，不仅开辟了激光光谱学这一新的学科，而且为材料制备、光电通讯和现代医疗技术等学科和高新技术奠定了基础……物理学与其他学科的“组合”、“嫁接”、“交汇”都可能产生巨大的能量，成为促进现代高科技发展和新兴学科诞生的催化剂。一个典型的例子是DNA双螺旋结构的发现：沃森（生物学家）-克里克（物理学家）的合作与其在学术上的互补导致了《核酸的分子结构——DNA的结构》这篇著名论文的诞生，开启了生命遗传之谜的大门，成为20世纪生物学上最伟大的成就之一。

物理实验是自然科学的基础，它反映了理工科实验的共性和普遍性问题。实验物理学不仅是现代新兴学科和高新科技的基础，而且对人的科学素质培养也起着极为重要的作用。物理实验课程曾经为培养20世纪的优秀人才做出了卓越的贡献，也必将为培养21世纪的高科技优秀人才奠定坚实的基础。

二、物理实验教学在人才科学素质培养中的作用

物理实验作为每个大学的公共基础课，是大学生入校后进行科学实验的入门课程，系统地

学习科学实验的基础知识、思维方式、实验方法和测量技术,对学生科学思维方式、创新意识、科研能力、科学作风和综合素质的培养都具有极其重要的作用,为各学科本科生的后续课程学习打下坚实的基础。

物理实验的内容和知识点涉及测量与不确定度、力学、热学、声学、电磁学、光学、相对论、量子论、近代物理、传感技术、计算机技术和现代测控技术的各个方面,具有很强的扩展和外延性,这是任何其他实验性课程所不能替代的。

物理实验课的教学目的就是培养学生的科学实验素质。科学实验素质包含的面很广,概括地说主要包括强烈的求知欲望、严谨的科学作风、科学的思维方式和创造能力、团结互助和协同作战的团队精神等。

物理实验课的具体要求是:为培养高素质的创新人才打下扎实的物理实验基本功,即注重物理实验的基础知识、基本方法、基本技术和基本技能(“四基”)的严格训练;注重科学的思维方式、求真务实的工作作风、刻苦钻研的精神的培养。

(1) 物理实验基础知识包括测量与不确定度的基本概念、基本的数据分析与处理方法、测量结果不确定度的评定、实验结果的正确表述等。

(2) 物理实验基本方法包括科学思维方法和实验研究方法。

在物理实验的学习过程中,不仅要强调科学、严谨的逻辑思维,还要学会进行人文的形象思维,两种思维方式的相互促进,才能充分发掘左右脑的潜在功能,刺激大脑的健康发育,激发创作灵感,增强创新意识和创造能力。严谨的逻辑思维、辩证思维,可以保证思维的正确性,是正确思维的基础;而开放的形象思维方式、发散思维和联想思维,才能保证思维的活力,是思维原创性的主要源泉。

在物理实验的学习中应注意科学实验分析方法和测量方法的掌握和积累,例如最基本的数量级的分析与判断法、比较法、替代法、放大法、转换法和模拟法等。要学会根据实验目的、对测量的范围和测量精度的要求,以及实验设备和环境等具体情况确定实验的思路和方法来达到预期的目的。

(3) 物理实验基本技术:常规物理实验仪器的调节和使用,常用物理实验测量和相关联的实验技术的掌握,例如:光纤技术、传感器技术、磁共振技术、核物理技术、光电技术、量热技术、电子技术、计算机技术、显微技术、光谱技术、低温技术、检测技术、真空技术、微波技术、虚拟技术和网络技术等。

(4) 物理实验基本技能:实验现象和规律的观测能力、实验仪器或装置简单故障的发现和排除能力,各种测量技术中技巧的掌握和积累等;查阅文献资料、分析、归纳和总结的能力,发现问题和解决问题的能力,自我学习和提高的能力,组织与协调能力等。

要学好物理实验课程必须注意以下两点。

1. 学习的目的要明确

在做物理实验的时候,要有意识地注意自身科学实验素质的培养,要有强烈的求知欲望、严谨的科学态度、勇于探索和刻苦钻研的精神。

多数基础教学实验涉及的理论和定律是成熟的,实验是教师编排和简化了的,在规定的学时内,经过努力是一定能够完成的,从表面看没有什么悬念和需要探索的内容,其实不然。因为物理实验是一门独立的科学实验研究课程。首先,它将科学与技术融为一体,肩负物理现象、规

律、效应的观测,物理定律和理论的验证与应用,将理论知识转变为实验研究能力的双重功能。其次,由于物理实验课程的独立性,使得有的实验内容超前于理论课的讲授内容,所以对学生而言它是未知的,因而就具有探索性和研究性的内涵。关键是在实验课程学习的过程中要仔细体会物理实验的设计思想和方法的奥秘所在,要学会将抽象的概念和深奥的理论转变为具体的实验研究能力,转变为分析和解决实际问题的能力,反过来更好地理解和掌握理论的精髓,更进一步将新的实验现象、规律和效应上升为新的理论,真正做到手脑并用,理论与实践交融。

2. 学习的方法要正确

进入大学后必须改变被动学习和应试教育的学习方法和教学方法,逐步养成自主学习的方法。不能只是不动脑筋盲目抄原理,机械地按实验步骤操作和记录,得到结果就完事,而是应理解和掌握实验原理,思考实验方案和步骤,仔细地观测现象和规律,多思、多想,多问几个为什么,遇到问题和困难要学会独立查找与其相关的资料和参考书,多与同学和老师进行讨论和交流,有意识地培养自己的观察能力、想象能力、质疑能力、思辨能力,资料的收集整理、分析与归纳的能力,以及设计与创新能力。只有学会了正确的思维和学习方法,才能在有限的课时内充分利用实验课提供的实践平台取得最大的收获,迅速提升自身的科学实验综合素质与能力。

三、物理实验的基本程序

1. 实验预习

课前预习的好坏是实验中能否取得主动的关键。课前应仔细阅读教材和相关资料(或参考书),了解实验的目的、原理、方法、实验条件及关键步骤,在此基础上写出实验预习报告。

预习报告的基本要求:实验名称、实验目的、实验原理简述(定律、公式、原理图等)、实验内容及数据表格。对于设计性实验,还要求学生课前自拟实验方案,自己设计线路图或光路图,自拟数据表格等。

预习时要以理解实验的原理和实验方法为主。只有真正理解和掌握了实验原理和方法,才能用自己的语言简要描述实验原理和方法;盲目“拷贝”原理是消化不良的表现,只有熟悉了实验内容和要求,才能有目的、有计划地进行实验。

2. 实验研究

做实验是为了培养从事科学研究的能力。学生进入实验室后应遵守实验室的规章制度,像一个科学工作者那样严格要求自己,井井有条地安放仪器,注意安全操作,细心观察实验现象。学会某些实验仪器的调节与使用不仅是目的,更重要的是手段,是实验技术和经验的积累。细心观察实验现象是发现问题的前提,发现问题是分析和解决问题的基础,只有手脑并用全身心地投入,认真钻研和探索实验中的问题,掌握实验的真谛,才能有所发现、有所创造。

(1) 要养成良好的心态,不要期望实验工作会一帆风顺;在遇到问题时,应看成是学习的良机,冷静地分析和处理它。仪器发生故障时,也要在教师指导下学习排除故障的方法。总之,要把着重点放在实验能力的培养上,而不是测出几个数据就以为完成了任务。

(2) 实验记录应全面客观地反映实验研究的全过程,包括现象的观测记录、实验的数据记录、主要测量步骤的记录以及实验环境和条件的记录等。对实验数据要严肃对待,学生要用钢笔或圆珠笔记录原始数据,实验记录要注意有效数字,要有数据表格。如记错了,也不要涂改,应轻轻划上一道,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误差

处理时参考。不要用铅笔记录,给自己留有涂改的余地,也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,况且,这已不是“原始记录”了。要知道原始记录是科学研究中的宝贵资料,重要实验的原始数据要长期保存。

(3) 要注重自身人格和品德的培养。在实验过程中,一定要养成求真务实的科学作风,坚决杜绝为得高分而弄虚作假,伪造或篡改实验数据的歪风邪气。基础教学实验的原理是成熟的,有些实验结果是可以理论推导求得,一些重要的基本常数有公认值或标准值。不要错误地认为测量值与标准值或公认值越接近,就表明实验做得越好。误差公理决定了绝对“真值”的不可知性,任何测量都存在误差。实际上,由于基础实验的条件、环境和实验仪器的精度限定了教学实验的测量精度,学生切勿片面追求所谓测量的“准确性”而忽略了教学实验的根本目的:科学素质的培养和科学作风的养成,自身科学研究能力的提高,道德品质的修养。实验结束时,将实验数据交教师审阅签字,整理还原仪器后才可离开实验室。

3. 实验总结

实验报告是实验工作的全面总结,要简明扼要地将实验结果完整、真实和准确地表达出来。这是进行科学实验素质培养的必要内容之一。实验报告要求:文字通顺,字迹端正,数据齐全,图表规矩,结果或结论表述正确(包括误差),讨论认真。因此要求同学们在实验后要及时处理数据,对重要的数据要重新列表。数据处理过程包括计算、作图、不确定度的计算等。计算要有计算公式,代入的数据都要有根据,便于别人看懂,也便于自己检查。要按作图规则作图,图线要规范、美观。实验结果的表述必须给出测量结果和不确定度。

实验报告的内容由以下部分组成。

(1) 实验名称。

(2) 实验目的:学习的重点。

(3) 实验原理:用自己的语言简要叙述原理(包括电路图或光路图或实验装置示意图)及测量中依据的主要公式,公式中各物理量的含义,公式成立所应满足的实验条件等。

(4) 实验仪器:记录仪器名称、级别、型号以及实验装置的编号(即实验台号)。

(5) 实验内容、步骤与原始记录:要详细记录实验过程中的实验现象,主要步骤。

(6) 数据处理:详细的实验数据表格;计算公式及主要的计算过程,画出图表;不确定度的传递公式和计算。

(7) 正确的实验结果和结论的表述。

(8) 思考题、小结或讨论:内容不限,可以是实验中现象的分析,对实验关键问题的研究体会,实验的收获和建议,也可解答思考题。

四、实验室安全

实验室是进行科学实验研究和实践的地方,有大量的仪器设备、实验材料和特殊的实验环境。各类实验室装备不同,实验环境要求也不同,分别涉及各种电源、电磁场、水源、激光、高温、高压、低温、真空、放射源以及精密仪器等。学生进入实验室学习一定要养成良好的实验习惯,严格执行实验室给出的各项具体的操作规程和安全防护规则,确保人身安全和仪器安全。例如:做电学实验注意遇到220 V以上的交流电和高压电时,应倍加小心,切勿带电操作;切勿用手触摸带电接触点、裸露的接线片或接线柱;使用直流电源和连接电路或仪表时,必须注意电

源的极性,应先连接好线路或仪表,最后接通电源。做高温或低温实验时,切勿用手直接触摸以免烫伤。做光学实验时,避免用眼睛直接对着强光源或激光观察,以免灼伤眼睛;调光路过程中观察光斑时,应在白纸或白屏上观察光斑,不能用眼睛直接对着光线观察;严禁用手触摸光学元件表面,避免污染和损坏光学元件;需要擦拭光学元件表面时,必须使用专用丝绸、镜头纸或药棉,严禁用其他纸张或布类擦拭。用到放射源的实验要特别小心,完成实验后应将放射源封装到铅盒之中,严格遵守安全防护规则。学生完成实验后,一定要关闭电源,仪器归位,最后离开实验室的同学一定要关实验室的总电源,关闭水源和门窗,避免水灾、火灾和盗窃事故的发生,这也是培养科学工作者的基本素质之一。

第1章 测量与不确定度及数据处理的基础知识

1.1 测量的定义与基础知识

一、测量

测量就是将待测物理量与选作计量标准的同类物理量进行比较,得出其倍数的过程。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,缺一不可。

二、物理量单位

按照中华人民共和国法定计量单位的规定,物理量单位均是以国际单位制(SI)为基础的,其中长度(m)、质量(kg)、时间(s)、电流强度(A)、热力学温度(K)、物质的量(mol)和发光强度(cd)是基本单位,其他物理量的单位可由这些基本单位导出,故称为导出单位。

三、测量的分类

根据测量方式,测量可分为直接测量和间接测量。从测量条件上,测量可分为等精度测量和不等精度测量。

1. 直接测量和间接测量

可以用测量仪器或仪表直接读出测量值的测量称为直接测量。例如用米尺测长度、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量。

有些物理量无法进行直接测量,而需依据待测物理量与若干个直接测量量的函数关系求出,这样的测量就称为间接测量。大多数的物理量都是间接测量量。例如,用单摆法测重力加速度 g 时,周期 T 、摆长 L 是直接测量值,而 g 就是间接测量值。

2. 等精度测量和不等精度测量

在对某一物理量进行多次重复测量的过程中,每次测量条件都相同的一系列测量称为等精度测量。例如,由同一个人在同一仪器上采用同样的测量方法对同一待测物理量进行多次测量,每次测量的可靠程度都相同,这些测量就是等精度测量。

在对某一物理量进行多次测量时,测量条件完全不同或部分不同,各测量结果的可靠程度

自然也不同的一系列测量称为不等精度测量。例如,在对某一物理量进行多次测量时,选用的仪器不同,或测量方法不同,或测量人员不同等都属于不等精度测量。

一般来讲,在实验中,保持测量条件完全相同的多次测量是极其困难的。但当某一条件的变化对结果影响不大时,仍可视这种测量为等精度测量。等精度测量的数据处理比较容易,所以绝大多数实验都采用等精度测量。除非不得已,一般情况不采用不等精度测量。在物理实验中,以学习等精度测量的数据处理为主。

四、学会正确的测量方法

1. 熟悉仪器

了解和熟悉仪器的性能,掌握实验仪器正确的调节和使用方法,准确读取实验数据是每个实验人员必备的基本素质。例如:测量仪器的级别(精度)、量程(使用范围)、稳定性以及对环境的要求等等。

2. 选择适当的测量仪器和测量方法

根据对实验测量精度的要求和测量范围,合理选择仪器和方法。以最基本的长度和温度测量为例,仪器的选择如下表所示。

长度测量精度要求/mm	1	2×10^{-2}	5×10^{-3}	1×10^{-4}	1×10^{-7}
测量仪器	米尺	卡尺	千分尺	激光干涉仪	电子显微镜

温度测量范围/°C	<300	<600	>1 600
测量仪器	半导体或液体温度计	热电偶	光测高温计

3. 选择正确的实验方法

在实验中不仅要了解仪器的级别、量程、稳定性等技术参数,而且还要学会采用正确的实验方法。

例如:已知电路如图 1-1 所示,已知 $E=300\text{ V}$, $R_1=50\text{ k}\Omega$, $R_2=100\text{ k}\Omega$ 。用一电压表测量 A 、 B 两点的电压 V_{AB} ,假定电表的内阻为 $R_V=100\text{ k}\Omega$,则在电表没有接入前

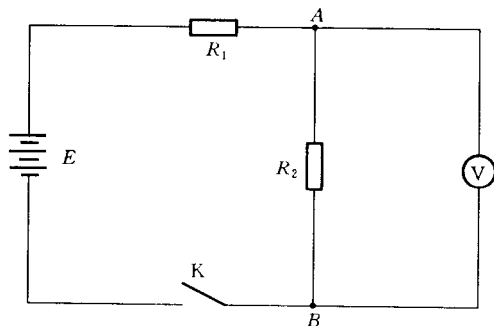


图 1-1 测量 A 、 B 两点的电压