



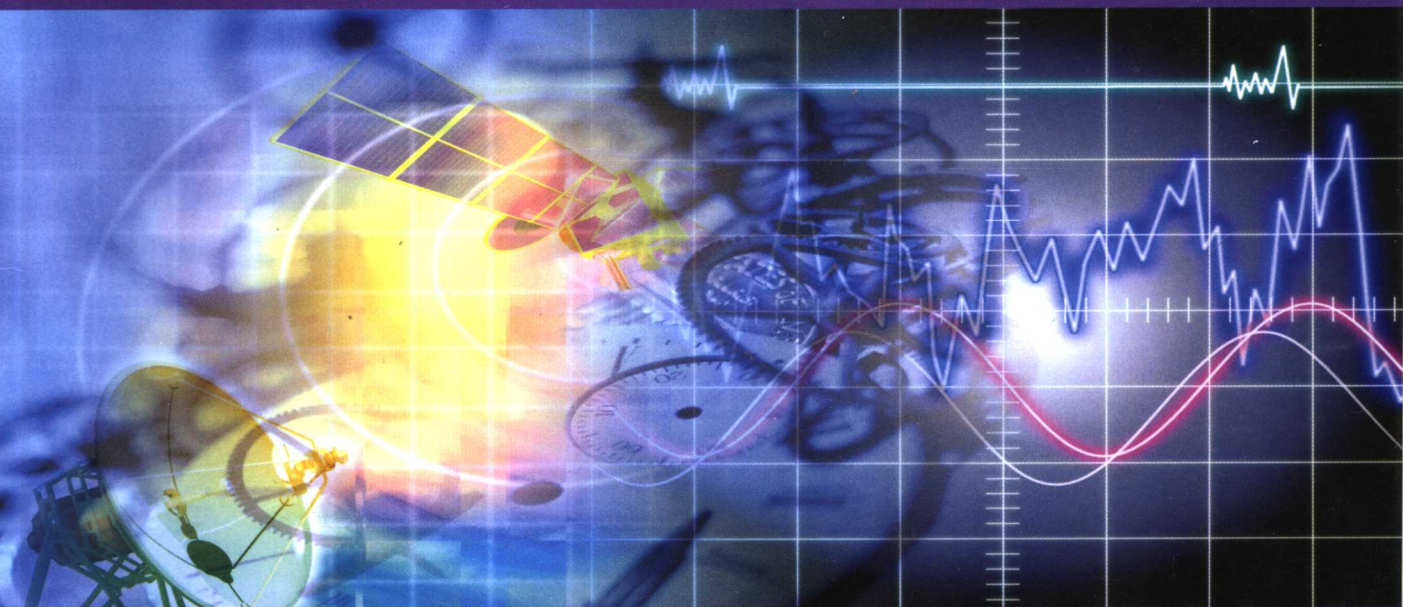
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

大学物理实验立体化教材 / 熊永红 主编

大学物理实验

熊永红 张昆实 任忠明 皮厚礼 主编

(第一册)



科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
大学物理实验立体化教材/熊永红主编

大学物理实验

(第一册)

熊永红 张昆实 任忠明 皮厚礼 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本套书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本套书以培养学生的科学实验的基础知识、方法、技能和综合素质,创新意识、创新思维和创造能力为目的。因此,本书除了基本内容外,还有许多“弹性”内容和丰富的多媒体资料供学有余力的同学设计或做探索性实验时参考。全套书分为四册,第一册突出“三基”训练和初级综合与设计性实验,可作为理、工、医、农、商、管等各学科本科生的科学实验入门教材;第二册为提高性实验,适合作为理、工、医各专业物理实验教材;第三册为综合、设计与探究性实验,适合作为理、工、医、农、商、管、文等各学科本科生课内外的实验研究和公选课教材;第四册为近物和专题研究性实验,涉及国内外前沿研究课题,适合作为理科类专业基础实验教材。

本套教材还可以作为中学物理教师的参考书,前三册可作为涉及物理实验方法和测量技术的广大青年和成人教育的参考书,第四册也可供涉及物理学的广大科技工作者或科普工作者参考。为方便教学,本书将配有光盘出版。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验. 第1册/熊永红等主编. —北京:科学出版社,2007
普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 大学物理实验立体化教材
ISBN 978-7-03-019611-8

I. 大… II. 熊… III. 物理学-实验-高等学校-教材 IV. O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 124433 号

责任编辑:昌盛 / 责任校对:曾茹

责任印制:张克忠 / 封面设计:卢秋红

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2007年8月第一次印刷 印张:14

印数:1—13 000 字数:320 000

定价:17.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈明辉〉)

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向大学物理实验教学提出了严峻的挑战。

为此,本套书力求在突出物理实验的设计思想,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。在实验的编写上,采取开篇设问的方式,提出一些“预备问题”,让学生带着问题进行学习,使他们更好地理解 and 掌握实验的原理、方法、技术。在“引言”中介绍了实验原理和相关资料(更详细的描述、背景资料和最新进展放到配套光盘中)。“仪器设备”仅作了简要的介绍(配套光盘中的视频介绍和演示更加直观和生动)。“实验程序”包含实验的基本内容,并强调实验研究过程的规范性。“数据处理与结果分析”中包含数据处理和实验结果表述。“拓展问题”是基本内容的延伸,或者是实验原理(或物理效应)的灵活应用,或者是对实验中发现新问题的深入研究。本教材增加拓展问题的目的是:①引导学生理论联系实际,做到学以致用;②给学有余力的同学更多的实践机会,有利于因材施教;③鼓励学生勇于质疑,探索创新,对一些难题课内无法解决,可以带到课外进行研究。

随着科技的飞速发展,现代测试技术和仪器也进入物理实验室,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显其测量快捷、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。针对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、显微技术(扫描隧道显微镜和原子力显微镜)、真空与镀膜技术、数字信号光纤传输技术、低温技术、等离子体技术、微波技术、磁共振技术、传感器技术、虚拟技术和现代测控技术用于其中。

本套教材分为四册,以引导学生主动观察物理实验现象和规律、发现和提出问题、分析和解决问题为主线,将创新教育理念和以围绕“问题”组织教学的方法运用到各个教学层次之中。

第一册主要介绍物理实验的基本程序和规范,介绍科学实验的基础知识(测量与不确定度的基本概念、数据处理与结果分析的方法等)、基本实验方法和基本技能,加入少量设计与综合性实验内容。在基础实验之外,利用多媒体提供背景知识、相关仪器、测量方法和技术的介绍,以及相关扩展实验内容和影像资料。

第二册在“三基”训练的基础上,增加部分综合、设计、近代物理实验内容,并将科技前

沿的部分最新成果融入到教材之中,引导学生进行主动学习,在完成基本实验要求后,选做“弹性”内容或进行自选实验的探索和研究。

第三册简要论述了科学思维方法和物理实验方法论。实验课题以各种综合、设计、系列和专题研究性实验为主,也加入了一些定性与半定量的探究性实验。实验内容由易到难,实现了由经典到现代前沿课题的过渡,以满足不同层次的学生进行自主学习与创新设计的需求。

第四册按研究型课程要求编写教材,将实验根据近代物理的物理概念、方法和技术等方面的特点划分为若干模块,使学生很容易了解每个实验的内涵和外延。使教材有助于学生创新能力的培养。

本套书博采众长,吸收了国内外优秀物理实验教材的精华,融入了华中科技大学、长江大学等高校几十年来的教学改革与实践的成果。物理实验课是一门体现集体智慧和教学研究果实的课程,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,我们衷心感谢多年来在华中科技大学物理实验教学中辛勤劳作和无私奉献的所有老师!尽管一些老师没有直接参加教材编写,但这套教材仍凝聚着他们辛勤的汗水和智慧的结晶。

本套教材吸纳了国内多所高校在实验教学方面具有较高造诣的教授参与讨论和编写,大多数教师具有丰富的实验教学经验、精湛的技艺和较高的学术水平。在主编和编委会的参与和指导下,集体讨论、以个人执笔的方式完成书稿,撰写人都署名在各自撰写的章节或实验之后。

本套教材在编写的过程中听取了北京大学、清华大学、中国科技大学、南京大学、东南大学、合肥工业大学、武汉大学、华中师范大学、湖北大学、长江大学等高校的院士、专家和教授给本书提出的宝贵意见和建议。本套书在编写过程中,华中科技大学主管校长、教务处和物理系及科学出版社领导对本教材编写给予了极大的鼓励和支持,在本套书出版之际,向他们表示诚挚的敬意和衷心的感谢!

由于我们的水平和条件有限及时间紧迫,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

2007年6月

目 录

前言

绪论	1
一、物理实验的地位与作用	1
二、物理实验教学在人才科学素质培养中的作用	1
三、物理实验的基本程序	3
四、实验室安全与选课系统简介	5
第1章 测量与不确定度	7
1.1 测量的定义与基础知识	7
1.2 误差与不确定度的基本知识	9
1.3 直接测量不确定度评估	13
1.4 间接测量不确定度评估	18
1.5 有效数字与测量数据的预处理	21
1.6 常用数据分析与处理方法	24
第2章 基础训练实验	33
实验 2.1 单摆的设计与不确定度的分析	33
实验 2.2 物质的密度测定	35
实验 2.3 转动惯量的测定	38
实验 2.4 示波器的调节与使用	42
实验 2.5 电子元件的伏安特性的测定	51
实验 2.6 分光计的调整与折射率的测定	56
实验 2.7 薄透镜焦距的测定	65
实验 2.8 惯性秤	69
第3章 力学、热学、声学基础实验	73
实验 3.1 用玻尔共振仪研究受迫振动	73
实验 3.2 简谐振动的研究	79
实验 3.3 弦振动的实验研究	82
实验 3.4 复摆的振动研究	87
实验 3.5 牛顿第二定律的研究	90
实验 3.6 动量守恒定律的研究	92
实验 3.7 角动量守恒定律的研究	95
实验 3.8 用共振法测定材料的杨氏模量	97
实验 3.9 用拉伸法测定金属丝的杨氏模量	102
实验 3.10 物质三态的相变研究	107

实验 3.11 空气比热容比的测定	112
实验 3.12 超声声速的测量	117
实验 3.13 多普勒效应测声速	123
第 4 章 电磁学基础实验	128
实验 4.1 用补偿法测量电压和校准电表	128
实验 4.2 线式电势差计	132
实验 4.3 用模拟法描绘静电场	136
实验 4.4 直流电桥及其应用	141
实验 4.5 霍尔效应与应用设计	147
实验 4.6 温差电效应与应用	152
实验 4.7 磁化曲线和磁滞回线的测量	156
第 5 章 光学基础实验	164
实验 5.1 平行光管的调节和应用	164
实验 5.2 等厚干涉	169
实验 5.3 双棱镜测光波波长	173
实验 5.4 用阿贝折射仪测液体的折射率	175
第 6 章 初级综合与设计实验	180
实验 6.1 多功能摆的设计与研究	180
实验 6.2 重力加速度的测量	184
实验 6.3 直流稳压电源的虚拟设计	186
实验 6.4 霍尔位置传感器的应用设计	191
实验 6.5 显微镜和望远镜的设计与组装	194
实验 6.6 投影仪的设计与组装	198
实验 6.7 数字万用表的设计	199
附表	202
附表 1 国际单位制的基本单位和辅助单位	202
附表 2 国际单位制中具有专门名称的导出单位	202
附表 3 基本物理常数	203
附表 4 长度测量方法和仪器简表	205
附表 5 质量测量方法和仪器简表	207
附表 6 时间测量方法和仪器简表	209
附表 7 温度测量方法和仪器简表	211
附表 8 电流和电压测量方法和仪器简表	212
附表 9 物理实验常用光源简表	215
附表 10 水的密度	217

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，是研究和探索客观物质世界的奥秘和规律的学科，其研究领域从基本粒子到浩瀚的宇宙（跨越了 $10^{-28} \sim 10^{28}$ m），从 Z_0 粒子的寿命到质子的寿命（跨越了 $10^{-25} \sim 10^{38}$ 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。物理学的基本定律全部都是来源于实验或受到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奖的物理学家，占总获奖人数的三分之二以上，这足以说明实验研究在物理学中所处的重要地位。

物理实验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 射线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、光电通信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。一个典型的例证是 DNA 双螺旋结构的发现，沃森（生物学家）-克里克（物理学家）的组合与学术上的互补产生了巨大智能，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，也为各学科本科生的

后续课程学习打下一个坚实的基础。

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一句话: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、刻苦钻研的探索精神的培养。

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。

基本方法包括:科学思维方法和实验研究方法。

基本技术包括:常规物理实验仪器的调节和灵活运用,物理实验测试技术和相关联的实验技术的掌握。例如,传感器技术、虚拟技术、测控技术、光电技术、网络技术、量热技术、电子技术、计算机技术、磁共振技术、光纤技术、核物理技术、显微技术、光谱技术、低温技术、真空技术、微波技术等。

基本技能包括:实验现象和规律的观测能力、发现和排除实验仪器或装置的简单故障的能力,各种测量技术中技巧的掌握和积累以及实验的组织与协调能力等等。

在物理实验的学习过程中,不仅要强调科学的、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、发散思维和联想思维,又能保证思维的活力,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。

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的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。

尽管多数基础教学实验的内容所涉及的理论和定律是成熟的,实验是经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,首先是它将科学与技术融为一体,肩负着物理现象、规律、效应的观测,物理定律和理论的验证与应用和将理论知识转变为实验研究能力的双重功能。其次是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,这样可以反过来更好地理解 and 掌握理论的精髓.更进一步是将新的实验现象、规律和效应上升为新的理论,真正做到手脑并用,理实交融.

(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,要逐步养成自主学习的方法.不能只是不动脑经盲目抄原理,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、想像能力、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.学会了正确的思维和学习方法才能在有限的课时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.预习报告应包括: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,认真思考并回答“预备问题”将有助于搞好实验预习,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,盲目的“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

做实验是培养从事科学研究的能力,学生应该学会带着“问题”进行学习和研究.

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,井井有条地安排仪器,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是目的而是手段,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.

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,应看作是学习的良机,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.

实验记录应全面、客观地反映实验研究的过程,它包括现象的观测记录、实验的数据记录、主要的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,学生要用钢笔和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,使正确和错误的数据都能清晰可辨,以供在分析测量结果和误差处理时参考。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。

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或求解得到的,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。希望同学们从一开始就培养良好的实验习惯和工作作风。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,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(包括不确定度的分析),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。作图要按作图规则,图线要规矩、美观。实验结果的表述必须给出测量结果和不确定度。

实验报告的格式

- ① 实验名称。
- ② 实验目的:学习重点。
- 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、步骤与原始数据记录:要详细记录实验过程中的实验现象,主要的实验步骤以及原始的实验数据。
- 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 实验小结或问题讨论。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,也可解答预备问题和思考题。

四、实验室安全与选课系统简介

1. 实验室安全

实验室是进行科学研究和实践的地方,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,做电学实验应注意:遇到 220 V 以上的交流电或高压时,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烧伤眼睛;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,一定要关闭电源并将仪器归位,最后离开实验室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.

2. 选课系统

开放式教学模式已成为国内实验教学改革的一种趋势,很多学校都采用了计算机网络管理下的全开放式教学模式. 由学生自主地选择上实验课的时间、教室、感兴趣的实验项目. 现以华中科技大学的选课系统为例,简单介绍使用选课系统的基本流程.

学生可以通过科技楼全天候开放的触摸一体机和校园任何一台计算机终端进行网上预约实验和查询成绩,预约系统设有开放实验项目的内容简介和实验导引,还设有中心教学网站的连接键详细介绍每个实验室的情况,以方便学生有目的选择合适的实验项目,老师通过计算机网络进行实验教学管理.

科技楼二楼大厅和网站均有实验选课查询系统的详细介绍. 这里是最基本的简介.

3. 实验预约

输入你的学号、预设密码,进入大学物理实验预约查询系统. 进入系统后请你更改密码!

请先选中周次,单击界面下方物理实验预约按钮,在显示窗口下方的表格中显示出你所选的实验名称、时间和教室等. 单击下表中的预约实验按钮,确认预约实验.

单击下表中实验课程安排按钮,显示出你所预约的全部实验. 单击关闭按钮,可退出预约系统.

请认真记下预约的实验名称、教室、设备号、周次等,以免忘记!

4. 取消预约

在进入实验预约系统后,点击下表中取消预约按钮,选中你要取消的实验,单击取消

实验按钮.

点击实验课程安排按钮, 查阅是否取消, 确认取消成功后点击关闭按钮, 退出系统.

5. 注意事项

必须提前两天取消预约的实验, 当天的实验无法取消. 若当天有特殊情况请上课前到实验室找任课教师请假, 以免计算机作为旷课处理.

预约完成后务必关闭窗口, 退出系统, 以免他人无意之中改动你的预约!

(熊永红)

第 1 章 测量与不确定度

1.1 测量的定义与基础知识

1.1.1 测量的定义

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,并得出其倍数的过程. 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.

1.1.2 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(米)、质量(千克)、时间(秒)、电流强度(安培)、热力学温标(开尔文)、物质的量(摩尔)和发光强度(坎德拉)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.

1.1.3 分类

测量可分为直接测量和间接测量.

直接测量: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.

间接测量: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, T (周期)、 L (摆长)是直接测量量,而 g 就是间接测量量.

从测量条件上,测量可分为等精度测量和不等精度测量.

等精度测量:在对某一物理量进行多次重复测量过程中,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,这些测量是等精度测量.

不等精度测量: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. 在基础物理实验中,以学习等精度测量的数据处理为主.

1.1.4 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,准确地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。

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,合理地选择仪器和方法。以最基本的长度和温度测量为例(如下表所示)。

长度测量精度要求	1 mm	0.02 mm	0.005 mm	0.000 1 mm	0.000 000 1 mm
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(度)	<300	<600	>1600	—	—
测量仪器	半导体或液体温度计	热电偶	光测高温计	—	—

2. 选择实验方法

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。

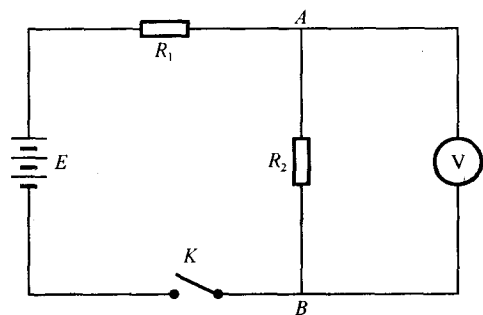


图 1.1.1 测量 AB 两点电压的电路

例如,一已知电路如图 1.1.1 所示。其中 $E=300\text{ V}$, $R_1=50\text{ k}\Omega$, $R_2=100\text{ k}\Omega$, 用一电压表测量 A、B 两点的电压 V_{AB} , 假定电表的内阻为 $R_v=100\text{ k}\Omega$, 在电表没有接入前有

$$R_{AB} = R_2 = 100\text{ k}\Omega$$

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{300}{50 + 100} = 2(\text{mA})$$

$$V_{AB} = IR_2 = 2 \times 100 = 200(\text{V})$$

接入电表后,有

$$R_{AB} = \frac{R_2 R_v}{R_2 + R_v} = \frac{100 \times 100}{100 + 100} = 50(\text{k}\Omega)$$

$$I' = \frac{E}{R_1 + R_{AB}} = \frac{300}{50 + 50} = 3(\text{mA}), \quad V'_{AB} = I' R_{AB} = 3 \times 50 = 150(\text{V})$$

$$\Delta V_{AB} = 200 - 150 = 50(\text{V}), \quad \frac{\Delta V_{AB}}{V_{AB}} = \frac{50}{200} \times 100\% = 25\%$$

由此可见,如果电表的内阻不变的话,无论使用级别多高的电压表,由测量方法所引起的巨大的测量误差都不可避免。要减小上述测量方法引入的巨大误差,可采用补偿法进行测量,或改用内阻很大($R_v \geq 200\text{ M}\Omega$)的数字电压表。

1.1.5 测量的读数和记录

在进行测量时,正确地读数和记录是关键。对于不同仪器有多种读数方法,在今后的

实验中将详细介绍. 在此仅谈一般规则.

① 如实记录仪器上显示的数值, 作为原始数据. 对指针式仪表和有刻度盘或标尺的仪器, 通常在直接测量时, 要求估读一位(该位是有效数字的可疑位). 估读数一般取最小分度的 $1/10 \sim 1/2$.

② 若仪表的示值不是连续变化而是以最小步长跳跃变化的, 如数字式显示仪表, 则谈不上估读, 只要记录全部数据即可.

③ 需要指出的是有一些仪表, 虽然也有指针和刻度盘, 但指针跳动是以最小分格为单位的, 例如最常用的钟表, 有以秒为最小分度的时钟, 也有以 $1/10$ 或 $1/100$ 秒为最小分度的秒表. 因此, 对此类仪表不需要估读.

④ 对于各类带有游标(或角游标)的仪器装置, 是依靠判断两个刻度中哪条线对齐来进行读数的, 这时一般记下对齐线的数值, 不必进行更细的估读.

1.2 误差与不确定度的基本知识

1.2.1 误差的基本知识

1. 误差的基本概念

① **误差公理**: 误差自始至终贯穿于一切科学实验之中.

② **误差的定义**: 测量误差 = 测量值 - 被测量的真值.

③ **真值**: 任何量在特定的条件下(时间、空间、状态)都有其客观的实际值.

由于“绝对真值”的不可知性, 人们在长期的实践和科学研究中归纳出以下几种“相对真值”.

理论真值: 理论设计值、公理值、理论公式计算值等.

计量约定值: 国际计量大会规定的各种基本单位值, 基本常数值.

标准器件值: 标准器件相对低一级或二级的仪表, 前者是后者的相对标准值.

算术平均值: 指多次测量的平均结果, 当测量次数趋于无穷时, 算术平均值趋于真值.

2. 误差的分类

系统误差: 在等精度测量条件下(即测量仪器、环境等条件和人员都相同), 多次测量同一物理量, 误差的符号和绝对值保持恒定; 或按某一确定的规律变化. 其特点为**确定性**、**有规律性**、**可修正性**.

根据其确定性的程度可分为已定系统误差和未定系统误差.

已定系统误差: 误差的变化规律已确知的系统误差.

未定系统误差: 误差的变化规律未确定的系统误差. 即这种系统误差的函数公式还未确定, 但一般情况下可以估计出这种误差的最大变化范围.

根据其规律性可分为定值系统误差、线性系统误差、周期系统误差和复杂规律系统误差.

定值系统误差: 误差的绝对值和符号都保持不变的系统误差.

线性系统误差:误差按线性规律变化的系统误差. 误差公式是一线性函数.

周期系统误差:误差按周期规律变化的系统误差. 误差公式是周期函数.

复杂规律系统误差:误差按非线性、非周期的复杂规律变化的系统误差. 误差公式是非线性函数.

由于系统误差的确定性和有规律性,使得已定系统误差、定值系统误差和线性系统误差等有规律的系统误差,可以通过理论的或实验的方法加以修正,减小系统误差对测量结果的影响.

随机误差:在等精度测量条件下,多次测量同一物理量时,误差的绝对值和符号及其变化,无确定性,但服从统计规律. 其特点是随机性、服从统计规律.

根据其特点,可以用统计的方法来估算随机误差的大小,通过改进实验方法或数据处理方法减小误差的影响.

粗大误差:又简称粗差,主要有过失误差(即测量人员粗心或使用有缺陷的仪器所造成的误差);外部环境和测量条件的突变和干扰等造成异常值. 粗差一经判明和确定其形成的原因,就应剔除,不得使用.

系统误差和随机误差并不存在绝对的界限,其产生的根源均来自测量方法、设备装置、人员素质和环境的不完善. 在一定条件下,这两种误差可以相互转化. 例如,按一定基本尺寸制造的量块,存在着制造误差,对某一具体量块而言,制造误差是一确定数值,可以认为是系统误差,但对一批量块而言,则制造误差属于随机误差. 掌握了误差转化的特点,可以将系统误差转化为随机误差,用统计处理方法减小误差的影响,或将随机误差转化为系统误差,用修正的方法减小其影响.

1.2.2 不确定度的基本知识

1. 研究不确定度的意义

不确定度是计量学的基本内容之一(过去常被称为误差理论),在科学技术、工农业生产、国防工程、商业贸易、医疗、环保和技术监督等各个领域都有广泛和重要的应用. 物理学被称之为“精确科学”,正是因为对自然规律的认识是通过量化了的测量数据之间的关系,可以用简明而严谨的数学公式表达出来. 在不少情况下,由于测量方法和手段的创新或精度的提高,而形成了物理学领域的新突破. 历史上不乏科学家精益求精,通过对实验不确定度的分析并不断改进实验做出重大发现的例子. 比如科学家曾通过对氢原子量实验值不确定度的研究,认定有未知系统误差的存在,最终发现了氢的同位素氘和氚,并发明了质谱仪. 所以研究对测量数据准确性或精确度的提高,以及对测量数据的有效利用,不仅对科学研究有着重大的意义,同时对我们物理实验教学也有着重要的意义.

现在我们按实验教学程序的三个阶段来看在物理实验教学过程中学习和应用不确定度的意义.

(1) 实验前

① 对实验结果进行预测. 通过对实验仪器、方法和环境等因素的分析,预测实验结果的可靠程度,确定实验是否有必要实施.