

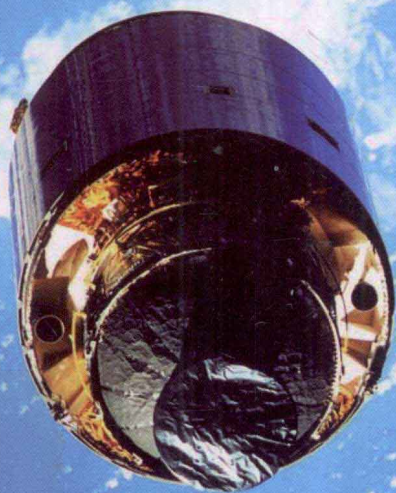


普通高等教育“十二五”规划教材
国家级物理实验教学示范中心系列教材



新编 大学物理实验

主 编 黄志高
副主编 赖 恒 郑卫峰 冯卓宏



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材
国家级物理实验教学示范中心系列教材

新编大学物理实验

主 编 黄志高
副主编 赖 恒 郑卫峰 冯卓宏

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是在福建师范大学国家级物理实验教学示范中心和大学物理实验国家级教学团队几十年教学经验的基础上编写而成的,它同时是国家精品课程“大学物理实验”的主讲教材。本书以“阶段化、单元化、现代化”的教学模式为指导,力图把“物理实验的设计与研究”、“物理实验方法”、“物理实验思想”贯穿于实验教学的全过程。教材以大纲为依据,主要内容包括测量的不确定度与数据处理,物理实验基本知识,基础物理实验,力学、热力学基本实验,电磁学基本实验,光学基本实验和近代物理基础实验等。教材重视科研与教学的有机结合,特别引入了基于 PASCO 计算机传感技术的 8 个数字化物理实验和 10 个与学科研究密切相关的创新性与研究性实验。

本书可用作高等院校理工类专业的大学物理实验课教材。

图书在版编目(CIP)数据

新编大学物理实验/黄志高主编。—北京:科学出版社,2011
普通高等教育“十二五”规划教材·国家级物理实验教学示范中心系列教材
ISBN 978-7-03-032752-9

I. ①新… II. ①黄… 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 230569 号

责任编辑:窦京涛 唐保军/责任校对:包志虹
责任印制:张克忠 / 封面设计:迷底书装

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>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2012 年 1 月第一次印刷 印张:23

字数:590 000

定价:45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

物理学是一门以实验为基础的科学,理论和实验二者相互协调、相互促进,带动了科学向前迈进.19世纪末、20世纪初,电子、X射线、放射性的三大发现彻底动摇了经典物理学大厦,引起了物理学又一次重大革命,从而导致了量子力学、相对论的建立,标志着近代物理学的诞生.翻开物理学的百年画卷,几乎每一个年代都有激动人心的物理学新发现,从100多年来诺贝尔物理学奖获得者的工作中可以发现,几乎每一项都与物理实验息息相关.

不同学科间相互交叉和相互渗透已经成为当今科学研究的热点,现代科学技术的突破往往产生于学科交叉的前沿领域,如物理学与化学的交叉形成了物理化学和化学物理学;化学与生物学的交叉形成了生物化学;物理学与生物学交叉形成了生物物理学等.纳米技术是材料科学、电子学、物理学、化学、微电子学、生命科学等学科的交叉;计算科学是物理学、数学、计算机科学等学科的交叉;生物信息学是生物学、数学、物理学、化学、信息科学、计算机科学等学科的交叉;自旋电子学是固体物理、微电子学与精细加工技术的交叉.此外,由物理学原理发展起来的光学、电学、磁学、力学、热学测量技术已经成为自然科学所有学科的必备技术,一个十分典型的例子是1895年德国物理学家伦琴发现X射线,至今这一技术已经广泛应用于物理学、化学、材料科学、生物医学等众多领域,仅与X射线研究有关的诺贝尔物理学奖、化学奖、生理学或医学奖就有15项.应该说,学习物理学的基本理论和基本实验技术对于理工科学生来说是非常必要的.

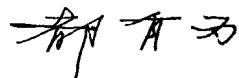
福建师范大学物理系历来重视教学改革和教学研究,有很好的工作基础.10多年来,物理实验全体教师依托国家级物理实验教学示范中心,以“规范性、先进性、创新性和应用性”为培养目标,探索出一个特色鲜明的新教学模式,主要实验教学改革思路及规划为:①坚持“阶段化、单元化、现代化”的新型教学模式;②进一步提高“三性”(综合性、研究性与设计性)实验的比例;③坚持把“物理实验的设计与研究”、“物理实验方法”、“物理实验思想”贯穿于实验教学内容,全面提高学生的物理实验素养;④以网络化的物理实验室、大学生物理创新实验室及报告会和实验技能竞赛等为平台营造创新人才培养的多元化教学环境;⑤坚持师范性,服务基础教育,建立了中学物理多媒体课件开发室、中学物理实验室、教具设计和制作实验室,全面提高师范生的实验技能和教学技能.经过10多年的教学改革与实践,该物理实验教学团队取得了丰硕的成果:“面向21世纪高师物理实验新教学模式的实践与研究”获2001年福建省优秀教学成果二等奖;“大学物理实验教学改革与实践”获2005年福建省优秀教学成果一等奖;“以队伍、课程和创新平台建设为核心,全面提升大学物理实验教学质量”获2009年国家国家级高等学校教学成果二等奖;“大学物理实验”评为2007年国家精品课程;大学物理实验教学团队评为2010年国家级教学团队.

由国家教学名师黄志高教授主编的物理实验系列教材是一套特色鲜明的教材.10多位参编人员都在教学科研第一线工作多年,具有较丰富的教学和科研经验.新教材融进了他们多年教学、科研积累的科学思想、科学方法、教学思想、教学经验和成果,能反映时代特点和科研转化的实验内容、实验方法和实验技术,是一套渗透着时代气息的教材.该套教材在福建师范大学经过多年使用并几经完善,是在实践的基础上形成的,当然教材也难免存在不足之处,还有待于今后

在实践中不断改进,但我相信该系列教材的出版将对大学物理实验教学改革起到很好的推动作用,具有很高的参考价值.

我衷心地祝贺该系列教材的出版.

南京大学物理系教授,中科院院士



2010年9月28日

前 言

物理学是一门以实验为基础的科学,大学物理实验是理工科专业独立开设的主干课程.物理实验不仅对于加深物理概念的认识与理解及培养学生发现问题、解决问题的能力 and 动手能力有十分重要的意义,而且它更是一项充满探索和创新的实践活动.所以,物理实验的教育对于培养高层次、高素质的创新人才和其他管理人才都十分必要.

10 多年来,我校(福建师范大学)物理实验教学中心开展了物理实验教学内容及课程体系改革的实践与研究,提出并实施了“阶段化、单元化、现代化”的教学模式.所谓“阶段化”,即把大学物理实验视为一个整体,有目标地把四年的物理实验分为三个“大阶段”,而把每门课分为三个“小阶段”进行教学和考核.大阶段:与中学物理实验教育的衔接阶段—规范阶段—提高阶段.小阶段:基础实验阶段—选做实验阶段—设计性、研究性实验阶段.“单元化”有两种含义:其一是物理实验教材的编写是以某一物理量或某一实验技术为主线,组成一个由易到难、由经典到现代的知识单元;其二以某一物理量或某一实验技术为单元组织教学.在每个单元的引言中,评述了物理量(如电阻)测量的最经典方法,最新的测量方法(纳米结构材料的电阻、磁电阻测量),给学生打开一个个新知识的“天窗”.“现代化”,即注重把传统的教学内容与现代科学技术的新成果相结合,把科研成果融入教学内容,注重把实验教学与工程和社会应用实践相结合.借助重点实验室和重点学科的科研项目 and 人才优势不断更新实验项目,把多年来的教学和科研成果融入教学内容,并特别注意把新技术、新材料、新方法编入新教材.例如,开发传感器技术及应用,自制了波传播实质演示仪、太阳能光热测量系统、变温电导特性和磁电阻测量仪等.同时还购置了多功能物性测量系统、磁控溅射仪、X 射线衍射仪、PLD 脉冲激光镀膜系统、分光光度计、荧光光谱仪、振动样品磁强计、高温超导测试仪、原子力显微镜、扫描隧道显微镜、表面磁光仪、法拉第效应测试仪等适合做科学研究的较高级的仪器,开设了瞄准前沿研究的创新性、研究性实验.这些项目对于学生创新能力培养和自主训练起了重要的作用.最近,又结合福建产业发展及海峡西岸经济区建设对人才要求的需要,建设中央与地方共建高校特色优势学科实验室——“纳米材料和纳米结构设计”及“新能源材料与工程”两个实验平台.

在实验教学过程中,通过结合使用 VRML 和 FLASH 技术,自行开发和设计模拟实验和网上仿真实验,研制了物理实验的 CAI 课件和《大学物理实验》的网络课程.与新教改模式相配套,我们所研制的 CAI 课件主要包含六个板块,即【预习检测】→【实验仪器】→【实验知识】→【实验内容】→【模拟实验】→【数据处理】等.同时我们也开发了网络化的物理实验室.网络化的物理实验室代表了国内实验物理教学的一种潮流,它从时间、空间上对传统物理实验教学进行了延伸,可以全时性让学生参与物理实验课程学习,可节约大量的人力、物力,开辟了物理实验学习的新途径.学生利用校园网对实验教学内容进行课前预习和课后复习,使教学内容在时间和空间上得到延伸.开设网上虚拟物理实验课程为学生提供了主动学习的环境、师生交互平台、学生间讨论平台.同时使学生可以根据自己的时间,在任何地点自主地进行学习,开拓学生的眼界,满足不同层次学生的学习需求,并给学生提供了自学物理实验的环境.

本书是物理实验系列教材之一,涉及力学、热学、电磁学、光学、近代物理等方面的实验.教材的主要特点可归纳如下:第一,以大纲为依据,主要内容包括测量的不确定度与数据处理,物理实验基本知识,基础物理实验,力学、热力学基本实验,电磁学基本实验,光学基本实验,近代物理基

础实验,数字化物理实验,创新性与研究性实验.第二,现代物理实验离不开计算机技术.在物理实验中有效地使用计算机,不仅可以实现测量的自动控制、自动数据采集和方便的数据处理,而且可以利用计算机预先模拟实验过程,选择最优化的实验方法.这就使实验工作既省力、省财,又优化、可靠.在本书中,我们引入了 PASCO 计算机传感技术开设了 8 个数字化物理实验.第三,重视科研与教学相结合,合理安排了综合性、设计性和研究性实验.注重把传统的教学内容与现代科学技术的新成果相结合,把科研成果融入教学内容.物理学实验教学示范中心的骨干来自省重点学科,因此,我们借助重点学科的科研项目和人才优势不断更新实验项目.还突出方法论的指导,将“物理实验的设计”、“物理实验思想”和“物理实验方法”等内容编入实验教材中.第四,中心以网络化的物理实验室、大学生物理创新实验室及实验技能竞赛等为平台,营造创新人才培养的多元化教学环境,特别研制了适合教学需要的多媒体教学软件.

本书是集体合作编写而成的.编写组成员为:黄志高、赖恒、郑卫峰、冯卓宏、郑志强、赖发春、翁存程、钟克华、林丽梅、蒋丽钦、林林、李山东、沈双娟、陈水源、杨艳敏、贾翠红、林应斌和王哲哲等.黄志高任主编,赖恒、郑卫峰、冯卓宏任副主编.

物理实验教材的编写离不开实验室的建设,更离不开实验物理教研室的老前辈,他们给我们留下了许多宝贵的经验、丰富的资料(包括讲义).在本系列教材付梓之际,我们首先衷心感谢在实验室建设和讲义编写等方面付出辛勤劳动的教师和实验人员.在本书编写过程中参考了兄弟院校的有关教材和资料,再此向编者们的表示诚挚的谢意.

本书的内容还参考了成都世纪中科仪器有限公司、杭州精科仪器有限公司、长春禹衡时代光电科技有限公司、天津港东科技发展股份有限公司、江苏绿扬电子仪器集团有限公司提供的仪器使用说明书和实验讲义,在此一并感谢.

本系列教材的出版,得到了福建省“凝聚态物理”重点学科、国家级物理学实验教学示范中心、国家精品课程“大学物理实验”、国家级物理学特色专业、国家级大学物理实验教学团队和福建师范大学重点教改课题等专项经费的资助;得到了科学出版社的鼎力支持.在此表示衷心的感谢!还要特别感谢福建师范大学吕团孙教授和方良栋副教授对本书进行了认真审阅.

由于编者水平有限,加上时间仓促,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正.

黄志高

2011年9月27日于福建师范大学

目 录

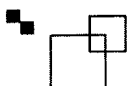
| | |
|---------------------------|-----------|
| 序 | |
| 前言 | |
| 绪论 | 1 |
| 第 1 章 测量的不确定度与数据处理 | 5 |
| 1.1 测量的基本概念 | 5 |
| 1.1.1 测量及其表示 | 5 |
| 1.1.2 测量的分类 | 5 |
| 1.2 误差的基本概念 | 6 |
| 1.2.1 真值与测量误差 | 6 |
| 1.2.2 误差的表示形式:绝对误差与相对误差 | 6 |
| 1.2.3 误差的分类及来源 | 7 |
| 1.3 直接测量随机误差的估算 | 8 |
| 1.3.1 随机误差的统计分布规律 | 8 |
| 1.3.2 用算术平均值表示测量结果的最佳值 | 9 |
| 1.3.3 随机误差的表示与估算 | 9 |
| 1.3.4 t 分布 | 10 |
| 1.3.5 粗差的剔除 | 11 |
| 1.4 测量不确定度简介 | 11 |
| 1.4.1 不确定度的概念 | 12 |
| 1.4.2 直接测量不确定度的估算 | 12 |
| 1.4.3 合成标准不确定度和展伸不确定度 | 13 |
| 1.4.4 间接测量不确定度的计算 | 14 |
| 1.4.5 不确定度计算的简化——微小误差舍去原则 | 15 |
| 1.5 有效数字及其运算规则 | 15 |
| 1.5.1 有效数字的概念 | 16 |
| 1.5.2 有效数字记录与修约时必须注意的问题 | 16 |
| 1.5.3 有效数字的运算 | 17 |
| 1.6 实验数据处理的常用方法 | 18 |
| 1.6.1 列表法 | 18 |
| 1.6.2 作图法 | 19 |
| 1.6.3 逐差法 | 21 |
| 1.6.4 线性回归法 | 22 |
| 第 2 章 物理实验基本知识 | 27 |
| 2.1 物理学中的基本物理量及其测量方法 | 27 |
| 2.1.1 物理学中的基本物理量概述 | 27 |
| 2.1.2 长度 | 28 |

| | | |
|------------|-------------------|------------|
| 2.1.3 | 质量 | 30 |
| 2.1.4 | 温度 | 31 |
| 2.1.5 | 时间 | 32 |
| 2.1.6 | 电压 | 32 |
| 2.1.7 | 电阻 | 33 |
| 2.1.8 | 磁场 | 34 |
| 2.1.9 | 光波波长 | 35 |
| 2.1.10 | 折射率 | 36 |
| 2.2 | 物理实验常用基本仪器 | 38 |
| 2.2.1 | 力学、热学实验常用仪器 | 38 |
| 2.2.2 | 电磁学实验常用仪器 | 50 |
| 2.2.3 | 光学常用仪器 | 59 |
| 2.3 | 物理实验的基本测量方法 | 65 |
| 2.3.1 | 放大法 | 65 |
| 2.3.2 | 补偿法 | 66 |
| 2.3.3 | 比较法 | 66 |
| 2.3.4 | 修正法 | 67 |
| 2.3.5 | 光学测量中的视差和等高共轴调节 | 68 |
| 2.3.6 | 转换法 | 69 |
| 2.3.7 | 模拟法 | 70 |
| 2.4 | 物理实验思想 | 71 |
| 2.4.1 | 古代朴素的物理实验思想 | 72 |
| 2.4.2 | 经典物理实验思想 | 73 |
| 2.4.3 | 现代物理实验思想 | 75 |
| 2.5 | 物理实验的设计 | 78 |
| 2.5.1 | 设计性实验概述 | 78 |
| 2.5.2 | 设计性实验需要遵循的四个基本原则 | 79 |
| 2.5.3 | 设计性实验的典型分析 | 82 |
| 第3章 | 基础物理实验 | 85 |
| 实验1 | 长度测量 | 85 |
| 实验2 | 密度测量 | 90 |
| 实验3 | 温度和气压测量 | 93 |
| 实验4 | 金属线胀系数测定 | 97 |
| 实验5 | 补偿法测干电池的电动势与内阻 | 100 |
| 实验6 | 用惠斯通电桥测电阻 | 103 |
| 实验7 | 静电场描绘 | 106 |
| 实验8 | 薄透镜焦距测量 | 110 |
| 实验9 | 用牛顿环测定透镜的曲率半径 | 113 |
| 第4章 | 力学、热力学基本实验 | 116 |
| 4.1 | 运动学与动力学实验 | 116 |

| | | |
|--------------|--------------------|-----|
| 实验 10 | 速度和加速度的测量 | 116 |
| 实验 11 | 碰撞中的动量和动能变化规律的研究 | 118 |
| 实验 12 | 用单摆测定重力加速度 | 120 |
| 实验 13 | 用自由落体法测定重力加速度 | 122 |
| 实验 14 | 用可倒摆测定重力加速度 | 124 |
| 实验 15 | 用复摆研究刚体转动 | 127 |
| 实验 16 | 声速测量 | 130 |
| 实验 17 | 多普勒效应实验 | 134 |
| 实验 18 | 弦振动的研究 | 136 |
| 实验 19 | 物体转动惯量的测量 | 139 |
| 4.2 | 气体、液体和固体的力学、热学特性测量 | 143 |
| 实验 20 | 液体黏滞系数的测量 | 143 |
| 实验 21 | 用焦利氏秤测量液体的表面张力系数 | 144 |
| 实验 22 | 空气比热容比的测量 | 146 |
| 实验 23 | 冰的溶解热的测量 | 148 |
| 实验 24 | 材料导热系数的测量 | 150 |
| 实验 25 | 金属比热容的测量 | 152 |
| 实验 26 | 金属材料杨氏模量的测量 | 153 |
| 第 5 章 | 电磁学基本实验 | 160 |
| 5.1 | 直流电学量的测量 | 160 |
| 实验 27 | 非线性电阻元件伏安特性的研究 | 160 |
| 实验 28 | pn 结正向压降温度特性研究 | 162 |
| 实验 29 | 电容放电法测量高阻值电阻 | 165 |
| 实验 30 | 用凯尔文电桥测铜棒的电阻率 | 167 |
| 实验 31 | 非平衡直流电桥及其应用 | 170 |
| 5.2 | 交流电学量的测量 | 173 |
| 实验 32 | 用交流电桥测量元件的交流参数 | 173 |
| 实验 33 | 用示波器测量交流信号 | 179 |
| 实验 34 | RLC 串联电路的暂态过程研究 | 182 |
| 实验 35 | RLC 电路的稳态特性研究 | 187 |
| 实验 36 | RLC 电路的谐振特性研究 | 193 |
| 实验 37 | “黑盒子”问题的研究 | 198 |
| 5.3 | 磁材料与磁场测量 | 199 |
| 实验 38 | 霍尔效应研究及磁场测量 | 199 |
| 实验 39 | 半导体材料的磁电阻效应研究 | 202 |
| 实验 40 | 地磁场水平分量的测量 | 204 |
| 实验 41 | 磁滞回线和磁化曲线的测量 | 209 |
| 第 6 章 | 光学基本实验 | 212 |
| 6.1 | 焦距与助视仪器放大率测量 | 212 |
| 实验 42 | 用平行光管测量透镜焦距 | 212 |

| | | |
|--------------|---------------------|-----|
| 实验 43 | 透镜组基点的测定 | 216 |
| 实验 44 | 助视仪器放大率测量 | 219 |
| 6.2 | 折射率与光强的测量 | 223 |
| 实验 45 | 用分光计测量玻璃棱镜折射率 | 223 |
| 实验 46 | 掠入射法测量液体的折射率 | 225 |
| 实验 47 | 用迈克耳孙干涉仪测定空气的折射率 | 227 |
| 实验 48 | 发光强度与光照度的测量 | 228 |
| 6.3 | 波长测量 | 230 |
| 实验 49 | 用双棱镜干涉测定钠光波长 | 230 |
| 实验 50 | 用迈克耳孙干涉仪测定钠光波长 | 235 |
| 实验 51 | 用透射光栅测量光波波长 | 239 |
| 实验 52 | 单色仪的定标和滤光片光谱透射率的测定 | 240 |
| 实验 53 | 用法布里-珀罗干涉仪测定钠光双线波长差 | 245 |
| 6.4 | 偏振、旋光效应及其应用 | 247 |
| 实验 54 | 偏振现象的观察与研究 | 247 |
| 实验 55 | 用旋光效应测定糖溶液的浓度 | 251 |
| 实验 56 | 液晶电光效应实验 | 253 |
| 实验 57 | 衍射法测量光纤包层外径 | 257 |
| 实验 58 | 用超声光栅测量声速 | 260 |
| 第 7 章 | 近代物理基础实验 | 264 |
| 实验 59 | 阿贝成像原理与空间滤波 | 264 |
| 实验 60 | 电子比荷测定 | 267 |
| 实验 61 | 光电效应研究 | 269 |
| 实验 62 | 弗兰克-赫兹实验 | 271 |
| 实验 63 | 光谱定性分析 | 273 |
| 实验 64 | 密立根油滴实验 | 276 |
| 第 8 章 | 数字化物理实验 | 279 |
| 引言 | | 279 |
| 实验 65 | 牛顿第二定律的验证 | 285 |
| 实验 66 | 滑动摩擦系数的测量 | 288 |
| 实验 67 | 阻尼振动研究 | 290 |
| 实验 68 | 空气热机实验研究 | 293 |
| 实验 69 | 变阻器控制电路的研究 | 296 |
| 实验 70 | 光的干涉与衍射现象的研究 | 300 |
| 实验 71 | 透明介质布儒斯特角的测定 | 304 |
| 实验 72 | 细杆直径的测量 | 306 |
| 第 9 章 | 创新性与研究性实验 | 309 |
| 引言 | | 309 |
| 实验 73 | ITO 薄膜的制备及其特性测量 | 310 |
| 实验 74 | 利用原子力显微镜观测薄膜的表面形貌 | 312 |

| | | |
|-----------------------|---|------------|
| 实验 75 | 太阳能集热器原理及其特性测量 | 316 |
| 实验 76 | 太阳能光伏电池原理及其特性测量 | 318 |
| 实验 77 | LED 光强分布和光束角测量 | 321 |
| 实验 78 | 用 LED 伏安曲线计算发射波长 | 323 |
| 实验 79 | 磁控溅射法制备薄膜材料 | 324 |
| 实验 80 | 锂离子电池正极材料 $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ 的制备及其电化学性能研究 | 327 |
| 实验 81 | 锂离子电池分析——循环伏安和交流阻抗 | 329 |
| 实验 82 | 新型磁制冷材料 | 331 |
| 参考文献 | | 336 |
| 附录 物理常量表 | | 339 |



绪 论

1. 物理实验的地位和作用

物理学是研究物质运动一般规律及物质基本结构的科学,是自然科学的基础学科,是学习其他自然科学和工程技术的基础.物理学是一门实验科学,物理实验在物理学的产生、发展和应用过程中起着重要作用.伽利略把实验和逻辑引入物理学,使物理学最终成为一门科学.经典物理学规律是从实验事实中总结出来的.近代物理学是从实验事实与经典物理学的矛盾中发展起来的.很多技术科学是从物理学的分支中独立出去的.到2010年为止,历次诺贝尔物理学奖的获奖者中,只有62位是理论物理学家,其余126位是实验物理学家或技术物理学家,这不但说明现代物理的本质是实验的,而且还说明了现代科学革命是以实验的事实冲破经典科学理论体系为开端的.由此窥探出物理实验在物理学发展中的重要价值.

任何一种新技术、新材料、新工艺、新产品都必须通过实验才能获得.通常物理学家要通过几年甚至几十年的物理实验加以总结和抽象,找出内在的联系和规律而得到理论.因此,实验是理论的源泉.另外,物理学家提出一种新的理论,又必须借助实验来检验其是否具有普遍意义,实验是检验理论的手段和标准.通过实验检验的理论才能被认可和承认,而被实验否认的理论就需要改进甚至可能是错误的.例如,麦克斯韦提出的电磁场理论预言了电磁波的存在,当赫兹从实验上检验其准确性后才被人们所公认;杨振宁、李政道在1956年提出基本粒子在“弱相互作用下的宇称不守恒”的理论,当吴健雄用实验验证后,才被同行学者承认,从而获得诺贝尔物理学奖.物理学的发展正是后人在前人的实验基础上进行了更加精密的、艰苦的实验,得出更加完善的理论,而这理论只有被拿到物质世界中经过大量的实践证明才能肯定其理论价值,然后在此基础上人们开始新的实验、新的证明,从而使物理学不断向前发展.

由物理学原理发展起来的光学、电学、磁学、力学、热学实验技术成为自然科学所有学科的必备技术.物理实验方法和技术为物理学、化学、材料科学和生命科学的学科交叉提供了重要的前提.例如,信息技术最重要的半导体集成电路技术就是固体物理、微电子学与精细加工技术的交叉;纳米技术是物理学、材料科学、电子学、化学、微电子学、生命科学等学科的交叉,它的基本内涵是以纳米颗粒、纳米线、纳米管、纳米薄膜为基本单元,在一维、二维和三维空间组装排列成具有独特介观性质的纳米结构体系,其表现出独特的物理性质.物理实验方法、技术的进步和发展大大推动了其他学科的发展.例如,X射线和由其衍生的电子衍射与中子衍射,导致了晶体结构分析的发展.它为凝聚态物理和材料科学奠定基础,而且大大促进了化学、生物学和矿物学的研究.1895年德国物理学家伦琴发现了X射线,为此荣获1901年首届诺贝尔物理学奖.一百多年来,与X射线有关的研究、应用不计其数,仅与X射线研究有关的诺贝尔物理学奖、化学奖、生理学或医学奖就有15项;显微镜在生命科学、地理科学中被广泛地应用,特别是,20世纪80年代以后,扫描隧道显微术发展成为花样繁多的显微探针技术,不仅实现了原子尺度的成像,还实现了多种原子尺度的测量和操纵技术,随后发明的原子力显微镜和磁力显微镜,已经在材料科学和生命科学研究中发挥了重要的作用.

2. 物理实验课的教学目的

大学物理实验教学目的与中学阶段的物理实验教学有着本质的不同.“大学物理实验”是一

门独立的基础课程,它不是“大学物理学”的分支或组成部分.虽然物理实验必须以物理学的理论为基础,运用物理学的原理进行实验或研究,但是“大学物理实验”又独立于“大学物理学”,它不是以验证物理定律、加强理解物理规律为主要目的的,不是分散的力、热、电、磁、光实验的堆砌,而是以物理实验的基本技术或基本物理量的测量方法为主线,再贯穿以现代误差理论,现代物理实验仪器设备与器件的原理、使用方法,构建成一个完整的、但又不断发展的课程体系框架.其教学目的如下:

(1) 掌握基本物理量的各种测量方法,学会分析测量的误差,学会基本的实验数据处理方法,能正确地表达测量结果,并对测量结果进行正确的评价(测量不确定度).

(2) 掌握物理实验的基本知识、基本技能,常用实验仪器设备、器件的原理及使用方法,并能正确运用物理学理论指导实验.

(3) 培养、提高基本实验能力,并进一步培养创新能力.基本实验能力是指能顺利完成某种实验活动(科研实验或教学实验)的各种相关能力的总和,主要包括:

观察思维能力——在实验中通过观察分析实验现象,并得出正确规律的能力.

使用仪器能力——能借助教材或仪器使用说明书掌握仪器的调整和使用方法的能力.

故障分析能力——对实验中出现的异常现象能正确找出原因并排除故障的能力.

数据处理能力——能正确记录、处理实验数据,正确分析实验误差的能力.

报告写作能力——能撰写规范、合格的实验报告的能力.

初步实验设计能力——能根据课题要求,确定实验方案和条件,合理选择实验仪器的能力.

(4) 培养从事科学实验的素质.包括理论联系实际和实事求是的科学作风;严肃认真的工作态度;吃苦耐劳、勇于创新的精神;遵守操作规程,爱护公共财物的优良品德;团结协作、共同探索的精神.

3. 大学物理实验课的基本程序

实验课与理论课不同,它的特点是学生在教师的指导下自己动手,独立完成实验任务,通常每个实验的学习都要经历三个阶段.

1) 实验的准备

实验前必须认真阅读讲义,做好必要的预习,才能保质、保量、按时完成实验.同时,预习也是培养阅读能力的学习环节.预习时要写预习报告,预习报告包括以下内容.

(1) 实验目的:说明本实验的目的.

(2) 原理摘要:在理解的基础上,用简短的文字扼要地阐述实验原理,切忌整篇照抄.力求做到图文并茂,图是指原理图、电路图或者光路图.写出实验所用的主要公式,说明式中各物理量的意义和单位以及公式的适用条件(或实验的必要条件).

(3) 列出原始数据表格,以便实验进行中记录数据使用.

(4) 写出实验注意事项.

2) 实验的进行

内容包括仪器的安装与调整、观察实验现象与选择测试条件、读数与数据记录、简单计算与分析实验结果,以及简单的误差估算等,这样有利于检验实验的成败.

进入实验室,要注意遵守《大学物理实验室学生守则》(见绪论附录1).实验过程中,对观察到的现象和测得的数据要及时进行判断,判断它们是否正常与合理.

实验过程中可能会出现故障,要学会自己分析故障原因,学会排除故障的本领,万般无奈之下再求助于实验指导教师.实验完毕,先让老师检查实验数据,再将仪器设备整理清楚.

3) 书写实验报告

撰写实验报告是为了训练学生具有以书面形式汇报实验工作成果的能力. 具体要求参见《大学物理实验报告写作规范》(见绪论附录 2). 实验报告要求同学努力做到书写清晰、字迹端正、文理通顺、内容简明扼要、数据记录整洁、图表合格、结果表达正确, 并对实验结果做正确的分析与讨论. 实验报告一律用专用的物理实验报告纸书写, 并要及时交实验报告.

综上所述, 大学物理实验教学是系统性的“工程”, 既需要教师的指导, 又需要学生们的努力与勤奋, 完全符合教育学中“以教师为主导、学生为主体”的教育思想.

4. 物理实验中应注意的安全事项

实验过程中应时刻注意人身与仪器的安全. 仪器的安装与使用必须符合技术规范. 在操作前, 应该了解所用仪器各旋钮、按键的作用, 按实验步骤进行操作, 未弄懂时严禁胡扭乱动.

(1) 实验常用到 220V 交流电, 也用到几千伏的直流电(如激光电源), 为了保证实验者的人身安全和仪器设备安全, 以免触电、击穿、起爆、起火, 实验者必须做到: ①进入实验室后, 在任课教师未同意之前, 不随意打开电源, 触摸、调节实验仪器; ②接、拆线路时, 在断电状态下或消除静电后进行; ③操作时, 人体不接触高压带电部位.

(2) 在改变电表量程或改接电路中任何一部分时, 必须断开电源, 以免发生危险或损坏仪器, 改接电路完毕应再请教师检查.

(3) 做完实验后, 先断电后拆线, 若电路中有多种电源, 先断易损电源(如标准电池), 再断其他电源, 将仪器按要求放置整齐, 将导线捆束整齐.

(4) 在需要加热的场合, 防止明火、避免烫伤和被蒸汽灼伤, 尤其是在热力学实验中.

(5) 在使用强光或激光的场合, 尤其注意眼睛的防护, 不使其过度疲劳, 特别是对激光光源, 更应注意, 绝对不允许用眼睛直接观看激光束, 以免灼伤眼球.

附 录

附录 1 大学物理实验室学生守则

(1) 实验前, 应认真预习实验内容, 明确目的、要求、实验原理、步骤及操作规程, 做好实验准备.

(2) 要保持实验室的安静、整齐、清洁. 不得穿背心、拖鞋进入实验室. 严禁在实验室抽烟、吃零食, 也不能在实验期间谈论与实验学习无关的话题, 或玩笑打闹.

(3) 进入实验室后先检查所分配的仪器、工具、材料等是否齐全, 如有缺少或损坏的实验器材要及时报告实验指导教师. 对于不同种类实验有不同的操作要求与规范, 学生进入实验室后要严格遵守各个实验室的实验要求与实验操作规范, 未经实验指导教师许可, 不得擅自动用实验器材.

(4) 实验时, 要听从教师指导, 注意安全, 严格按照规定的实验步骤和要求进行操作, 遇到问题应及时请教.

(5) 要坚持实事求是的科学态度, 如实记录实验资料, 不准抄袭. 经教师认可后方可终止实验, 并及时写出实验报告.

(6) 实验完毕, 使用过的仪器、工具、材料等必须放回原处, 打扫卫生, 关好电源、水龙头和门窗, 经教师检查允许后方可离开实验室.

附录 2 大学物理实验报告写作规范

为了使学生能养成认真、严谨、求实的工作作风, 特制定本规范, 望学生严格按本规范要求撰写实验报告.

实验名称

1. 实验目的

写明本实验的目的及要学习和掌握的内容。

2. 实验仪器

列出本实验所用的仪器用具(应包含规格、数量、型号和编号)及消耗品、被测物。

3. 实验原理

扼要说明本实验所依据的原理,该部分应包括:本实验所依据的物理原理、公式、方法、图(电路、光路、原理图等)及主要仪器描述。

4. 实验步骤

按实验过程的先后顺序列出主要步骤。

5. 原始资料

以表格的方式列出所测的资料(未经任何加工的“原始资料”),包括物理量的名称、单位及测量次数,记录时应注意有效资料的位数。

6. 数据处理

数据处理包括从原始资料中推算出必要的有用资料及用数字处理或公式算出被测量。所有的计算都必须按有效资料的运算规则进行,并得出最终结果。

7. 误差分析

有根据地分析出本实验中所存在的主要误差,以及它们对测量结果的影响。

8. 实验结论

写出本实验所得到的主要结果或结论。

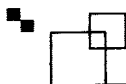
9. 问题讨论

根据实验过程中自己的体会进行有针对性的讨论,或提出改进意见。

10. 思考练习

完成教师布置的思考练习题。

一份完整的实验报告至少应包括以上十项基本内容,报告应独立完成并在下一次实验时交给指导教师。对实验资料的处理应实事求是,绝对不允许出现拼凑资料、抄袭等弄虚作假行为,否则将视情况做出严肃处理。



1.1 测量的基本概念

1.1.1 测量及其表示

在物理学发展史上,对物理现象、状态或过程的各种量的准确测量,是实验物理的关键工作.不管是研究物理现象及变化规律,还是测量物理量并确定物理量之间的关系,都离不开测量.测量就是把待测物理量与作为计量单位的同类已知量相比较,找出待测物理量是单位多少倍的过程.这个倍数称为测量的读数,读数加上单位记录下来就是数据.

要测量就会有误差,所以测量结果总是具有一定的分散性,待测量真值只是以与测量误差的某种分布相关联的概率落在其中.表述测量结果分散性的参数是不确定度,因此在完成一个测量时,必须给出测量结果的不确定度.一个完整的测量结果表示,应包括被测量的数值和测量单位,以及测量的不确定度.

例 1 用分度值为 0.02mm 的游标卡尺测量某个长度,其结果应写成

$$L' = L \pm U = (5.28 \pm 0.01) \text{mm} \quad (p \approx 0.68)$$

测量者对已定的测量对象进行测量时,要想获得正确的测量结果,就必须使用能正确定量比较的仪器或设备,运用正确的测量方法在一定的测量条件下进行,所以测量者、测量对象、测量仪器、测量方法、测量条件都是测量的要素.

目前,在物理学上各物理量的单位,都采用中华人民共和国法定计量单位,它是以国际单位制(SI)为基础的单位.国际单位制是在 1971 年第十四届国际计量大会上确定的,它是以米(长度)、千克(质量)、秒(时间)、安培(电流强度)、开尔文(热力学温度)、摩尔(物质的量)和坎德拉(发光强度)作为基本单位,称为国家单位制的基本单位;其他量(如力、能量、电压、磁感应强度等)的单位均可由这些基本单位导出,称为国际单位制的导出单位.

1.1.2 测量的分类

1. 直接测量与间接测量

测量分为直接测量和间接测量.直接测量是指把待测物理量直接与作为标准的物理量相比较,例如,用米尺测某长度.间接测量是指按一定的函数关系,由一个或多个直接测量量计算出另一个物理量.例如,直接测量某段已知电阻率为 ρ 的电阻丝的直径 d 和长度 L ,再根据 $R = 4\rho L / \pi d^2$ 计算出这段电阻丝的电阻.

直接测量和间接测量是相对的.一个间接测量量在一定的条件下可以进行直接测量.一个直接测量量在一定的条件下也可以通过间接测量来得到.例如,水银温度计测量温度、福丁气压计测量大气压、欧姆表测电阻就可当成是直接测量.而一根金属细丝的直径可用单丝衍射的方法间接测量得到.

随着现代科学技术特别是传感器技术和计算机技术的迅速发展,复杂的间接测量正被相对简单的直接测量逐步取代.例如,用伏安法测电阻是间接测量,但利用电子计算机对电流值和电压值同时取样、计算后,在屏幕上显示的就是直接测量量——电阻值.