



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

高等学校物理实验教学示范中心系列教材

大学物理实验 (第二版)

黄志高 主编

郑卫峰 赖恒 副主编

 高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



“十二五”普通高等教育本科

高等学校物理实验教学示范中心系列教材

大学物理实验 (第二版)

DAXUE WULI SHIYAN

黄志高 主编

郑卫峰 赖恒 副主编



清华大学出版社 北京
TSINGHUA UNIVERSITY PRESS BEIJING

内容提要

本书是依照《理工科类大学物理实验课程教学基本要求(2010年版)》，在福建师范大学国家级物理实验教学示范中心多年教学经验的基礎上修订而成的。以本书为主讲教材的课程在2007年被评为国家级精品课程。

本书以“阶段化、单元化、现代化”的教改模式为指导，突出实践能力和创新能力的培养。全书共六章，以基本物理量测量为主线，精选了实现基本技能训练的内容，且将数字化物理实验技术引入教学体系，重视科研与教学相结合。本书在教授经典实验知识的同时，介绍了很多最新的实验方法，以使了解实验科学的发展趋势，并开设了多种针对性强的试验项目。

本书可作为高等学校理工科各专业大学物理实验课程的教材，也可供社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/黄志高主编.--2版.--北京:
高等教育出版社,2013.8

ISBN 978-7-04-037808-5

I. ①大… 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(2013)第 136955 号

策划编辑 程福平
插图绘制 尹文军

责任编辑 程福平
责任校对 刘莉

封面设计 于文燕
责任印制 田甜

版式设计 马敬茹

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 北京铭成印刷有限公司
开本 787mm×960mm 1/16
印张 20.5
字数 370千字
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 2008年8月第1版
2013年8月第2版
印 次 2013年8月第1次印刷
定 价 32.80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 37808-00

序

物理学是一门以实验为基础的科学,理论和实验宛如科学巨人的两条腿,相互协调,相互促进,带动科学向前迈进。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的革命,从而导致了量子力学、相对论的建立,这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。一百多年来,获得诺贝尔物理学奖的工作,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,物理学与生物学的交叉形成了生物物理学等。自旋电子学是固体物理、微电子学与精细加工技术的交叉学科。纳米技术是材料科学、电子学、物理学、化学、微电子学、生命科学等的交叉学科。计算科学是物理学、数学、计算机科学等的交叉学科。生物信息学是生物学、数学、物理学、化学、信息科学、计算机科学等的交叉学科。另外,由物理学原理发展起来的光学、电学、磁学、力学、热学等测量技术已经成为自然科学所有学科的必备技术。一个很典型的例子是 1895 年德国物理学家伦琴发现的 X 射线技术的应用,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、化学、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。因此,各高校在大学本科阶段都开设了“大学物理”和“大学物理实验”课程。

福建师范大学物理系历来重视物理实验教学改革和研究,有很好的工作基础,十多年来,大学物理实验教学团队以国家级物理实验教学示范中心为平台,以“规范性、先进性、创新性和应用性”为培养目标,探索出了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学术报告会和实验技能竞赛等为平台营造培养创新人才

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。经过十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”2001 年获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”2005 年获福建省优秀教学成果一等奖;“大学物理实验”2007 年被评为国家级精品课程。

由黄志高教授主编的物理实验教材是一本特色鲜明的教材。十多位参编人员均在教学科研一线工作多年,具有较丰富的教学和科研经验。新教材融入了他们多年在教学、科研中积累的科学思想、科学方法、教学思想、教学经验和成果,反映了时代特点,并囊括了从科研转化的实验内容、实验方法和实验技术,是一部渗透着时代气息的教材。该教材在福建师范大学经过多年使用并几经完善,在实践的基础上形成,当然也难免存在不足之处,还有待于今后在教学实践中不断改进。但我相信该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,并为之提供有益的参考价值。

我衷心地祝贺该教材的出版。

南京大学物理系教授、中科院院士



2008 年 5 月 2 日于南京大学

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,培养学生发现问题、解决问题及动手的能力有十分重要的意义,而且它更是一项充满探索 and 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。

十多年来,福建师范大学国家级物理实验教学示范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”的新型教学模式。所谓“阶段化”,即把大学物理实验视为一个整体,按不同的教学目标把四年的物理实验分为三个“大阶段”,而每门课程又分为三个“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(如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和人才优势不断更新实验项目,并特别注意把新技术、新材料、新方法编入新教材。例如,开发太阳能光伏发电、传感器技术及应用、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、振动样品磁强计、高温超导测试仪、原子力显微镜、扫描隧穿显微镜、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。同时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,它从时间上、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,使教学内容在时间上和空间上得到延伸。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和给学生提供自学物理实验的环境。

该教材主要面对理、工、农、医等各专业,内容涉及力学、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,以长度、质量、时间、温度、电压、电阻、波长、折射率和磁场等基本物理量测量为主线,重点介绍与基本物理量相应的力学、热学、电磁学和光学等常用的基本仪器,最后精选了二十多个能够反映基本技能和基本训练的教学内容和实验项目。第二,现代物理实验离不开计算机技术,数字化物理实验成为当前教改的热点。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。在本教材中,我们引入了PASCO计算机传感技术,开设了力学、电磁学和光学方面的六个实验项目。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。物理实验教学示范中心的教学骨干也是凝聚态物理省重点学科的主要成员。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。同时,还突出方法论的指导,将“物理实验的设计与研究”、“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以及实验技能竞赛等为平台,营造培养创新人才的多元化教学环境,特别研制了适合教学需要的多媒体教学软件。第五,结合其他学科特点开设了一些针对性强的实验项目。

本教材是集体合作编写而成的。编写组成员为黄志高、赖恒、郑卫峰、郑志强、赖发春、卢宇、贾翠红、陈水源、林应斌、杨艳敏、冯卓宏、蒋丽钦、钟克华、林丽梅、沈双娟、林林等。黄志高教授任主编,郑卫峰、赖恒任副主编。

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)。在本教材付

梓之际,我们首先衷心感谢对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。在编写过程中参考了兄弟院校的有关教材和资料,在此向编者们表示诚挚的谢意。

本教材的出版,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、国家级“大学物理实验”精品课程、国家级物理学特色专业、国家级“大学物理实验”教学团队物理学国家级本科专业综合改革试点和福建师范大学重点教改课题等专项经费的资助;得到了李建平校长、黄汉升校长的大力支持;得到了高等教育出版社胡凯飞、陶铮、刘伟、忻蓓和程福平等的鼎力支持。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教材的认真审阅。在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中定有许多不妥之处,敬请读者批评指正。

黄志高

2013年5月1日于福建师范大学

目 录

绪论	1
第一章 学科交叉与基本物理量测量	6
第一节 从学科交叉看理工科学生修读物理学实验课的必要性	7
第二节 基本物理量及其测量方法	9
第二章 测量的不确定度与数据处理	27
第一节 测量的基本概念	28
第二节 误差的基本概念	29
第三节 直接测量随机误差的估算	32
第四节 测量不确定度简介	38
第五节 有效数字及其运算规则	44
第六节 实验数据处理的常用方法	48
第三章 物理实验常用基本仪器	61
第一节 力学、热学实验常用仪器	62
第二节 电磁学实验常用仪器	78
第三节 光学实验常用仪器	99
第四章 大学物理基本实验	108
实验 1 长度的测量	109
实验 2 物体密度的测量	112
实验 3 单摆周期的测定和随机误差统计规律的研究	115
实验 4 落球法测重力加速度	120
实验 5 水银温度计校正与热电偶定标	123
实验 6 冰的熔化热的测量	129
实验 7 冷却法测量金属的比热容	132
实验 8 空气比热容比的测量	134
实验 9 焦利氏秤测量液体的表面张力	137
实验 10 静电场描绘	139
实验 11 惠斯通电桥测电阻	143
实验 12 非线性电阻元件伏安特性的研究	146

实验 13	示波器的使用	149
实验 14	霍尔效应及磁场的测量	163
实验 15	磁阻效应实验	167
实验 16	薄透镜焦距的测量	170
实验 17	分光计的调节与棱镜角的测量	175
实验 18	棱镜玻璃折射率的测量	177
实验 19	迈克耳孙干涉仪的调节和使用	179
实验 20	等厚干涉测透镜的曲率半径	182
实验 21	PASCO 实验系列(一)	185
实验 21.1	速度和加速度的测量	193
实验 21.2	牛顿第二定律的验证	196
实验 21.3	变阻器控制电路的研究	199
第五章	综合与提高实验	205
实验 1	应用拉伸法测量杨氏弹性模量	206
实验 2	气垫实验:碰撞中的动量和动能	210
实验 3	用落球法测量液体的黏度	214
实验 4	金属线膨胀系数的测量	217
实验 5	用非平衡直流电桥测量电阻的温度系数	222
实验 6	pn 结正向压降温度特性研究	227
实验 7	用旋光仪测量溶液的旋光率及其浓度	230
实验 8	空气中声速的测量	233
实验 9	用虚拟仪器测量磁滞回线	237
实验 10	PASCO 实验系列(二)	243
实验 10.1	RLC 串联电路的暂态过程研究	243
实验 10.2	偏振光特性的研究	251
实验 10.3	光的干涉与衍射现象的研究	257
第六章	物理实验的设计与研究	263
第一节	设计性与研究性实验概述	264
第二节	设计性实验项目	273
实验 1	用计算机数据采集系统研究随机误差分布规律	273
实验 2	空气密度的测量	274
实验 3	弦音计实验研究	275
实验 4	自组惠斯通电桥电路参量选择的研究	278
实验 5	热敏电阻温度计的设计	280

实验 6 非线性电路振荡周期的分岔与混沌现象	281
实验 7 黑盒子问题的研究	283
实验 8 显微镜、望远镜的组装及其放大率的测量	285
实验 9 折射率测量的研究	287
实验 10 细丝直径的测量	290
实验 11 ITO 薄膜材料的制备及其光电特性测量	292
实验 12 利用原子力显微镜观测薄膜的表面形貌	296
实验 13 磁性纳米线阵列的制备及其性能研究	302
参考文献	306
附录	308

绪 论

一、物理实验课的教学目的

大学物理实验教学的目的与中学阶段的物理实验教学的目的不同。“大学物理实验”是一门独立的基础课程,它不是“大学物理学”课程的分支或组成部分。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”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,分散的力学、热学、电学、磁学和光学实验的堆积,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、器件的原理及使用方法,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,能正确的表达测量结果,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。其主要包括:

观察思维能力——在实验中通过观察分析实验现象,得出正确规律的能力。

使用仪器能力——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。它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

财物的优良品德以及团结协作、共同探索的精神。

二、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,并独立完成实验任务。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,只有这样才能按质按量按时完成实验。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,图系指原理图、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,以便在实验进行中记录数据。
- (4) 写出实验注意事项。

2. 实验的进行

实验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。这样做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,在万般无奈之下再求助于实验指导教师。实验完毕,先让教师检查实验数据,再将仪器设备整理并放回原位。

3. 实验报告的撰写

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》(见附录 2)。撰写实验报告要求做到书写清晰,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,并要及时上交实验报告。

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。

三、物理实验中应注意的安全事项

实验过程中应时时注意人身与仪器的安全. 仪器的安装与使用必须符合有关技术规范. 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 220 V 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:

a. 进入实验室后, 在任课教师未同意之前, 不准随意打开电源或触摸、调节实验仪器.

b. 接、拆线路时, 必须在断电状态下或消除静电后进行.

c. 操作时, 人体不能触摸高压带电部位.

(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, 避免烫伤和被蒸气灼伤, 尤其是在热力学实验中.

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

[参考文献]

[1] 赵近芳. 大学物理学[M]. 2 版. 北京: 北京邮电大学出版社. 2006

[2] 吴泳华, 霍剑青, 熊永红. 大学物理实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001

[3] 张兆奎, 缪连元, 张立. 大学物理实验[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2001

附录

附录 1 大学物理实验室学生守则

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

二、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无关的话题, 或玩笑打闹.

三、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.

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

五、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.

六、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

为了使同学们能养成认真、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

一、实验目的

写明实验的目的及要学习和掌握的内容.

二、实验仪器

列出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.

三、实验原理

扼要说明实验所依据的原理,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.

四、实验步骤

按实验过程的先后顺序列出主要步骤.

五、原始资料

以表格的方式列出所测的资料(即未经任何加工的“原始资料”),包括物理量的名称、单位及测量次数,记录时应注意数据的有效位数.

六、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数字的运算规则进行,并报告最终结果.

七、误差分析

有根据地分析出实验中所存在的主要误差,以及它们对测量结果的影响.

八、实验结论

写出实验所得到的主要结果或结论.

九、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.

十、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,否则将视情况作出严肃处理.

第一章

学科交叉与基本物理量测量