



iCourse · 教材
高等农林院校基础课程系列



自主创新
方法先行

大学物理实验

(第二版)

郑 林 许济金 邱祖强 主编

高等教育出版社



iCourse · 教材
高等农林院校基础课程系列



自主创新
方法先行

大学物理实验

(第二版)

DAXUE WULI SHIYAN

郑 林 许济金 邱祖强 主编

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是依照教育部高等学校原物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(2010版),结合编者多年物理实验教学的经验编写而成的。全书共5章,40个实验;分为基础实验、综合性实验和设计性实验。本书系统地介绍了测量、误差、不确定度、有效数字运算和数据处理的基础知识,所涉及实验包括力学、热学、电学、光学和近代物理各领域的物理实验。

本书可作为高等学校理工科类非物理专业大学物理实验课程的教材,也可作为教师或相关人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/郑林,许济金,邱祖强主编.--2
版.--北京:高等教育出版社,2015.3

iCourse·教材.高等农林院校基础课程系列

ISBN 978-7-04-041804-0

I. ①大… II. ①郑… ②许… ③邱… 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(2015)第016577号

项目策划 王 瑜 李光跃 陈琪琳 李艳馥 吴雪梅

策划编辑 程福平 责任编辑 程福平

插图绘制 邓 超 责任校对 刘春萍

封面设计 张 楠

版式设计 杜微言

责任印制 毛斯璐

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 北京玥实印刷有限公司

开 本 850mm×1186mm 1/16

印 张 19.5

字 数 410千字

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 2014年2月第1版

2015年3月第2版

印 次 2015年3月第1次印刷

定 价 35.50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 41804-00

iCourse · 数字课程 (基础版)

大学物理实验

(第二版)

主编 郑林 许济金 邱祖强

<http://abook.hep.com.cn/1244925>

登录方法:

1. 访问 <http://abook.hep.com.cn/1244925>
2. 输入数字课程及用户名 (见封底明码)、密码
3. 单击“进入课程”

账号自登录之日起一年内有效, 过期作废
使用本账号如有任何问题

请发邮件至: eCourse@hep.com.cn



iCourse · 教材
高等农林院校基础课程系列



自主创新
方法先行

大学物理实验 (第二版)

主编 郑林 等

用户名

密码

验证码

6394

进入课程

数字课程介绍

纸质教材

版权信息

联系方式

数字课程介绍: 大学物理实验 (第二版) 与纸质教材一体化设计, 紧密配合。数字课程涵盖实验仪器介绍、实验原理、实验步骤等视频资源。充分运用多种形式媒体资源, 极大地丰富了知识的呈现形式, 拓展了教材内容。在提升课程教学效果同时, 为学生学习提供思维与探索的空间。

高等教育出版社

数字资源 先睹为快



精彩视频

出版说明

“十二五”是继续深化高等教育教学改革、走以提高质量为核心的内涵式发展道路和农林教育综合改革深入推进的关键时期。教育教学改革的核心是课程建设,课程建设水平对教学质量和人才培养质量具有重要影响。2011年10月12日教育部发布了《教育部关于国家精品开放课程建设的实施意见》(教高[2011]8号),开启了信息技术和网络技术条件下校、省、国家三级精品开放课程建设的序幕。作为国家精品开放课程展示、运行和管理平台的“爱课程(iCourse)”网站也逐渐为高校师生和社会公众认知和使用。截至目前,已启动2911门精品资源共享课和696门精品视频公开课的立项建设,其中的1000多门精品资源共享课和600多门精品视频公开课已经在“爱课程(iCourse)”网站上线。

高等教育出版社承担着“‘十二五’本科教学工程”中国家精品开放课程建设的组织实施和平台建设运营的重要任务,在与广大高校,特别是高等农林院校的调研和协作中,我们了解到当前高校的教与学发生了深刻变化,也真切感受到课程和教材建设所面临的挑战和机遇。如何建设支撑学生自主学习和校际共建共享的课程和新形态教材成为现实课题,结合我社2009年以来在数字课程建设上的探索和实践,我们提出了“高等农林院校基础课程精品资源共享课及系列教材”建设项目,并获批列入科技部“科学思维、科学方法在高等学校教学创新中的应用与实践”项目(项目编号:2009IM010400)。项目建设理念得到了众多农林高校的积极响应,并于2012年12月—2013年6月,分别在北京、扬州、武汉、哈尔滨、福建等地陆续召开了项目启动会议、研讨会和编写会议。2014年,项目成果“iCourse·教材:高等农林院校基础课程系列”陆续出版。

本系列教材涵盖数学、物理、化学化工、计算机、生物学等系列基础课程,在出版形式、编写理念、内容选取和体系编排上有不少独到之处,具体体现在以下几个方面:

1. 采用“纸质教材+数字课程”的出版形式。纸质教材与丰富的数字教学资源一体化设计,纸质教材内容精炼适当,并以新颖的版式设计和内容编排,方便学生学习和使用;数字课程对纸质教材内容起到巩固、补充和拓展作用,形成以纸质教材为核心,数字教学资源配合的综合知识体系。

2. 创新教学理念,引导自主学习。通过适当的教学设计,鼓励学生拓展知识面和针对某些重要问题进行深入探讨,增强其独立获取知识的意识和能力,为满足学生自主学习和教师教学方法的创新提供支撑。

3. 强调基础课程内容与农林学科的紧密联系,始终抓住学生应用能力培养这一重要环节。教材和数字课程中精选了大量有实际应用背景的案例和习题,在概念引入和知识点讲授上也总是从实际问题出发,这不仅有助于提高学生学习基础课程的兴趣,也有助于加强他们的创新意识和创新能力。

4. 教材建设与资源共享课建设紧密结合。本系列教材是对各校精品资源共享课和教学改革成果的集成和升华,通过参与院校共建共享课程资源,更可支持各级精品资源共享课的持续建设。

建设切实满足高等农林教育教学需求、反映教改成果和学科发展、纸质出版与资源共享课紧密结合的新形态教材和优质教学资源,实现“校际联合共建,课程协同共享”是我们的宗旨和目标。将课程建设

及教材出版紧密结合,采用“纸质教材+数字课程”的出版形式,是一种行之有效的方法和创新,得到了高校师生的高度认可。尽管我们在出版本系列教材的工作中力求尽善尽美,但难免存在不足和遗憾,恳请广大专家、教师和学生提出宝贵意见与建议。

高等教育出版社

2014年7月

前言

“大学物理实验”是一门独立设置的必修基础课程,是本科生接受系统实验方法和实验技能训练的开端。实验教学的根本目的是“加强基础,重视应用,提高素质,培养能力,开拓创新”,同时培养学生观察、发现、分析、归纳以及解决物理问题的综合能力,让学生系统地掌握物理实验的基本知识、基本方法和基本技能,并通过综合性、设计性、创新性实验的训练,提高学生的科学实验能力和科学素质,为学生今后的学习、工作奠定一个良好的基础。

本书是以教育部高等学校原物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(2010版)为依据,参考和吸收各兄弟院校大学物理实验教学的成果和经验,以福建农林大学多年使用的物理实验补充讲义和《大学物理实验教程》为基础,结合物理实验中心仪器设备的实际情况编写而成的。

全书共分5章,40个实验。本书系统地介绍了测量、误差与不确定度、有效数字运算和数据处理的基础知识,所涉及实验分为基础性实验、综合性实验和设计性实验。本书内容由浅入深,通过各类实验分步骤、有阶段地培养学生的实践动手能力,并介绍了诺贝尔物理学奖的获奖年代和获奖原因。

本书的第1章、第2章和第5章及实验1、4、8、12、14、15、17、26、27、28、34、35、36、37由郑林编写,实验6、20、29、30、31、32、33由许济金编写,实验5、10、11、13、18、22由邱祖强编写,实验23、24、25、38、39由林仁荣编写,实验7、16、19由冯利编写,实验21、40由吕灵燕编写,实验9由谢知编写,实验2、3由梁真编写,参加本书编写的还有陈丽敏和许雪娥两位老师。本实验教学人员共同参与视频制作,摄像及后期加工由冯利、许济金等人完成。

实验教学是一项集体事业,从实验室建设、教材编写到课程内容的不断完善与改进,都是几代实验教师和编者,长期在教学岗位上辛勤耕耘,呕心沥血,将丰富的理论与实践经验,进行持续不断的积累和总结的结果。在本教材付梓之际,我们首先衷心地感谢对本实验室建设和教材编写付出辛勤劳动的实验教师和实验人员!在编写过程中参考了兄弟院校的有关教材和资料,编者在此向他们表示诚挚的谢意!福建农林大学的领导非常重视基础实验课的建设,给予较充足的经费支持,使物理实验中心的建设上了一个台阶,并且本教材的出版也获得学校的资助,这也是本书能够出版的重要因素,编者在此向他们表示衷心的感谢!

我们所做的工作只是一块引玉之砖,由于时间仓促,编者水平有限,书中难免存在错误和不足,恳请同行及读者指正。

编 者

2014年9月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》,其行为人将承担相应的民事责任和行政责任;构成犯罪的,将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序,保护读者的合法权益,避免读者误用盗版书造成不良后果,我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为,希望及时举报,本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

短信防伪说明

本图书采用出版物短信防伪系统,用户购书后刮开封底防伪密码涂层,将16位防伪密码发送短信至106695881280,免费查询所购图书真伪,同时您将有机会参加鼓励使用正版图书的抽奖活动,赢取各类奖项,详情请查询中国扫黄打非网(<http://www.shdf.gov.cn>)。

反盗版短信举报

编辑短信“JB,图书名称,出版社,购买地点”发送至10669588128

短信防伪客服电话

(010)58582300

目 录

第 1 章 物理实验课程简介	001
第 2 章 测量误差理论及数据处理	005
2.1 测量与误差	006
2.2 不确定度的评定	012
2.3 测量结果的完整表示	015
2.4 有效数字及其运算	019
2.5 测量结果的质量评价	023
2.6 数据处理的基本方法	024
第 3 章 基础物理实验	039
实验 1 长度测量和物体密度测量	040
实验 2 刚体转动惯量的测量	048
实验 3 弦振动的研究	053
实验 4 落球法测量液体的黏度	056
实验 5 超声波传播速度的测量	062
实验 6 液体表面张力系数的测定	067
实验 7 冷却法测量金属比热容	072
实验 8 导热系数的测量	076
实验 9 模拟静电场描绘	082
实验 10 模拟示波器的使用	089
实验 11 用霍尔元件测量磁场	104
实验 12 RLC 电路特性研究	110
实验 13 薄透镜焦距的测量	116
实验 14 牛顿环测透镜曲率半径	124
实验 15 迈克耳孙干涉仪的调节与使用	129
实验 16 单缝衍射	135
实验 17 分光计的调节与棱镜折射率的测定	143
第 4 章 综合性物理实验和仿真实验	153
实验 18 半导体制冷与温度传感器	154

实验 19	液晶电光效应	161
实验 20	光电效应测定普朗克常量	168
实验 21	pn 结正向特性综合实验	173
实验 22	电子束磁偏转及其比荷的测量	181
实验 23	压电陶瓷的电致伸缩系数的测量	188
实验 24	电阻温度计与非平衡直流电桥	193
实验 25	磁阻效应	198
实验 26	铁磁材料磁化曲线和磁滞回线的测绘	202
实验 27	光栅常量的测定	211
实验 28	全息照相	216
实验 29	空气热机实验	223
实验 30	波尔共振实验	230
实验 31	密立根油滴实验	237
实验 32	核磁共振	246
实验 33	仿真实验——数字温度计的设计	258
第 5 章 设计性物理实验		263
5.1	设计性物理实验概述	264
5.2	设计性物理实验项目	266
实验 34	不确定度分配和实验仪器的选择	266
实验 35	液体中超声波传播速度与液体温度的关系	268
实验 36	显微镜的组装及放大率的测定	269
实验 37	用迈克耳孙干涉测量薄膜的厚度	269
实验 38	电子秤的设计与制作	270
实验 39	变阻器控制电路特性的研究	272
实验 40	数字多用表设计	274
附录一 常用物理量数值表		285
附录二 诺贝尔物理学奖		290
参考文献		299

>>> 第1章

●●● 物理实验课程简介

物理学是一门以实验为基础的学科.物理学理论的发现和建立,都以物理实验为基础并受到后继实验的验证.物理实验是科学实验的先驱,体现了大多数科学实验的共性,在实验思想、实验方法以及实验手段等方面是各学科实验的基础.

16世纪意大利物理学家伽利略(Galileo Galilei)首先把科学实验方法引入物理学研究中来,从而使物理学走上真正的科学道路.17世纪牛顿(Isaac Newton)在伽利略、开普勒(Johannes Kepler)工作的基础上,建立了完整的经典力学理论……

当代最引人注目的诺贝尔物理学奖是颁发给物理学中划时代里程碑级的重大发现和发明.从1901年第一次授奖至今,已有一百多年的历史,已有得主约160名,其中主要以实验物理学方面的发现或发明而获奖者约占73%.例如,1901年德国人伦琴(W.C.Röntgen)获得首届诺贝尔物理学奖,以奖励他于1895年发现X射线;1902年荷兰人塞曼获得当年诺贝尔物理学奖,奖励他在1894年发现光谱线在磁场中会分裂的现象(更多见附录二).

因此,“大学物理实验”是一门重要的实验课程.

1. 大学物理实验课的主要任务

大学物理实验课是大学生必修的独立开设的一门公共基础实验课,是大学生进入大学后接受系统实验方法和实验技能训练的开端,使学生在物理实验的基本知识、基本方法和基本技能等方面受到较系统的训练,通过理论联系实际,培养学生初步的实验能力、良好的实验习惯及严谨求实的科学作风,提高学生科学实验的素质、创新精神,使学生较早地参加科研活动,为今后用物理方法解决本学科的问题打好基础,它与大学物理理论课既紧密联系,又相互独立.

物理实验课的具体任务有以下三点.

(1) 通过对实验现象的观察、分析,研究物理现象、验证物理规律,掌握常用基本物理实验仪器的原理和性能,学会使用和调节仪器并正确地读数,了解一些物理量的测量方法.

(2) 培养与提高学生的科学实验能力,其中包括:

- ① 自行阅读实验教材或资料,做好实验前的准备;
- ② 借助教材或仪器说明书正确使用常用仪器;
- ③ 运用物理学理论对实验现象进行初步分析和判断;
- ④ 学会对实验进行误差分析和不确定度评定的基本方法,正确记录和处理实验数据,绘制曲线,说明实验结果,撰写合格的实验报告;

⑤ 完成简单的设计性实验,为以后独立设计实验方案和解决新的实验课题创造条件;

⑥ 提高进行科学实验工作的综合能力,包括实际动手能力、分析判断能力、独立思考能力、创造革新能力、归纳总结能力、口头表达能力等.

(3) 培养与提高学生的科学实验素养,使学生具有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,主动研究的探索精神和遵守纪律、爱护公共财物的优良品德.

2. 大学物理实验课的基本程序及要求

(1) 课前预习

实验前必须认真阅读教材及有关视频等参考资料,着重理解实验原理,明确实验目的、测量方法和主要实验步骤,并在课前写好预习报告。预习报告的内容主要包括:实验名称、实验目的、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,写出实验所用的主要公式,公式中各物理量的意义和公式的适用条件,画出实验原理图、电路图或者光路图,力求做到图文并茂)、写出实验仪器及装置(仪器应标明规格、型号)、主要实验步骤(对实验中关键性的调整方法和测量技巧应着重写出)、实验注意事项。

(2) 实验操作

根据教材或仪器说明书熟悉仪器,了解仪器的正确使用方法,对照仪器,明确要测什么物理量,弄清先测什么、如何测、最后怎么测等,做到心中有数,不可盲目动手。

实验中,应仔细观察,认真思考观察到的物理现象;正确读数,及时将采集的实验数据和观察到的现象如实地记录下来,尤其是对所谓反常现象更要仔细观察分析,不要单纯追求“顺利”,要养成对观察到的现象和所测得的数据随时进行判断的习惯;对实验过程中出现的故障要学会及时排除。

实验结束后,要将测得的数据交给老师检查和签字,经检查合格并整理好仪器后,方可离开实验室。

(3) 撰写实验报告

写实验报告是为了培养、训练学生以书面形式总结工作或报告科研成果的能力。实验报告一律用物理实验报告纸书写。一份完整的实验报告一般包括以下内容:

- ① 实验名称和日期
- ② 实验目的
- ③ 实验仪器(标明规格、型号、组号)
- ④ 实验原理
- ⑤ 主要实验步骤(对实验中关键性的调整方法和测量技巧应着重写出)
- ⑥ 数据表格、实验曲线
- ⑦ 数据处理及结果分析(要求写出数据处理的主要过程、进行误差分析和不确定度评定,并给出最后结果)
- ⑧ 问题讨论(包括对实验现象的分析、实验中存在的问题、改进实验的建议、回答思考题等)。

实验报告中前六个部分即预习报告和实验操作记录的内容,因此只要继续完成后两个部分,整份报告要求做到书写清晰,字迹端正,数据记录整洁,图表合格,文理通顺,内容完整并且简明扼要。

3. 学生实验守则

(1) 实验前必须认真预习实验教材及有关视频等参考资料,掌握实验原理和方法,并写出预习报告。

(2) 准时参加实验,无故迟到 10 min 以上禁止进入实验室参加实验。

(3) 实验开始时,首先检查和熟悉仪器,根据仪器操作规程正确调试,应在规定的仪器上进行实验,未经教师同意,不得任意调换其他组仪器。

(4) 实验过程中,应仔细观察和思考所研究的物理现象,实事求是地记录实验数据,不得拼凑篡改原始数据.

(5) 实验过程中如发生仪器损坏以及其他异常情况应及时报告指导教师并说明原因.

(6) 实验观测结束不要急于拆卸实验装置,实验记录数据经指导教师检查认可并签字后,方可整理仪器;如果实验数据不正确应找出原因并重新测量.

(7) 实验完毕应整理好实验仪器,桌面整理干净,并填写好实验情况记录表格,经指导教师同意后方可离开实验室.

(8) 实验后及时完成实验报告,并在下次实验前上交.

>>> 第2章

... 测量误差理论及数据处理

>>> 2.1 测量与误差

借助专门的实验仪器,通过一定的实验方法,将待测量与选作计量标准单位的同类物理量进行比较,从而确定待测量是标准单位的若干倍,这一过程称为测量,这个倍数叫做测量的读数,读数加上单位记录下来就是数据.测量会有误差,误差的大小必将影响测量的结果,表述测量结果的误差用不确定度(u_c).所以,完成一个测量后必须给出测量的不确定度.测量结果应包含数值(度量的倍数)、单位(所选定的物理量)以及结果可信赖的程度(测量不确定度).例如用分度值为1 mm的米尺测量某物体长度,结果表示为

$$L = \bar{L} \pm u_c = (1\,723.5 \pm 0.5) \text{ mm} \quad (P = 0.683)$$

我国所采用的单位是以国际单位制(简称SI)为基础的法定计量单位.SI单位有7个基本单位:长度的单位m(米)、质量的单位kg(千克)、时间的单位s(秒)、电流的单位A(安培)、热力学温度的单位K(开尔文)、物质的量的单位mol(摩尔)和发光强度的单位cd(坎德拉).此外,还规定了两个辅助单位:平面角的单位rad(弧度)和立体角的单位sr(球面度).在这几个基本单位的基础上,其他一切物理量的单位都可以导出,如体积单位为 m^3 、密度单位为 kg/m^3 等辅助单位一起称为SI导出单位.

2.1.1 测量的分类

1. 直接测量和间接测量

测量分为直接测量和间接测量.用仪器能直接获得测量结果的测量称为直接测量,相应的物理量称为直接测量量,直接测量是实验中最基本和最常见的一种测量方式(如用米尺量物体的长度,用天平称物体的质量等).有些物理量不能用仪器直接测量,但可通过测量若干直接测量量,再经过一定的函数关系运算后获得结果,这种测量称为间接测量,相应的物理量称为间接测量量(如测圆柱体的密度 ρ ,用游标卡尺或螺旋测微器量出高度 h 及直径 d ,用天平称出它的质量 m ,根据 $\rho = 4m/(\pi d^2 h)$ 公式计算出圆柱体的密度).

2. 等精度测量与不等精度测量

对某一物理量进行多次重复测量,且每次的条件都相同(同一观察者、同一组仪器、同一种实验方法、同一实验环境等),测得一组数据($x_1, x_2, \dots, x_n$),虽然各次测得的结果有所不同,但各次测量的精确程度是相同的,这种测量称为等精度测量.在这些测量条件中,只要有一个发生了变化,这时所进行的测量就成为不等精度测量.

严格地说,在物理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测量结果影响不大可以忽略时,仍可视这种测量为等精度测量.本书所讨论的测量均为等精度测量,不等精度测量不在本书讨论范围.

2.1.2 真值与误差

1. 真值

真值是指在十分完善的理想测量条件下所测定的准确值,或称为该物理量客观存在的量值,用“ X_0 ”表示.测量的目的就是力图得到真值.物理量的真值是理想的概念,由于在具体测量中各种条件的限制(仪器、测量者、客观条件、实验方法等),测量不可能绝对准确,即真值永远测不到,因此在实际应用中可以用下列某一值替代真值:

- (1) 理论值、公认值或约定真值;
- (2) 用校正过的准确度高一个等级的仪器测量值;
- (3) 近真值或真值的最佳值(修正过的算术平均值 $\bar{X}$).

2. 误差

误差分为绝对误差与相对误差.

绝对误差定义为测量值 x 与真值 X_0 之差,记作 Δx ,即

$$\Delta x = x - X_0 \quad (2-0-1)$$

Δx 表示测量值 x 与真值 X_0 之间的差值以一定的可能性(概率)出现的范围,即真值以一定的可能性(概率)出现在 $x - \Delta x$ 至 $x + \Delta x$ 区间内,表达了测量值对真值绝对偏离的程度.

相对误差则能更直观地比较不同测量值的误差大小.不同的测量对象,即使误差相同,测量结果的优劣不一定相同.相对误差定义为

$$E = \frac{\Delta x}{X_0} \times 100\% \quad (2-0-2)$$

绝对误差和相对误差反映了测量结果的精确程度,通常只取 1~2 位有效数字来表示,本书约定绝对误差取 1 位有效数字表示,相对误差取 1~2 位数字表示.

3. 误差的分类

为了得到尽可能接近真值的测量结果,测量者必须分析和研究误差的来源及性质,采取措施减小误差.误差按其产生的原因和性质可以分为系统误差、随机误差和过失误差三大类.

(1) 系统误差

系统误差的特点:在同一条件下(实验方法、仪器、环境和观察者等不变),每次测量同一物理量时,误差的大小和符号始终保持恒定或按一定的规律变化.

系统误差的来源有以下几个方面:

① 仪器误差 仪器的固有缺陷或没有按规定条件使用而引起的误差,如刻度不准,零点没调准,仪器水平或竖直未调整好,砝码本身未经校准等.

② 理论误差 实验方法和所依据的原理的不完善,公式的近似性或实验条件达不到理论公式所要求的条件而引起的误差.如称重时未考虑空气浮力,电学实验中忽略接触电阻等.