

普通高等教育“十二五”规划教材

~~01010101010101010101010101010101~~

101010101010101010101010101

应用物理实验

YINGYONG WULI SHIYAN

主编 ● 方莉俐 王秀杰

 郑州大学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

应用物理实验

YINGYONG WULI SHIYAN

主编 ● 方莉俐 王秀杰

~~010101010101010101010101010101010101~~

郑州大学出版社
郑州

图书在版编目(CIP)数据

应用物理实验/方莉俐,王秀杰主编. —郑州:郑州大学出版社,
2013.9

ISBN 978-7-5645-1541-6

I. ①应… II. ①方…②王… III. ①应用物理-实验-高等学校-
教材 IV. ①O59-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第184189号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路40号

出版人:王峰

全国新华书店经销

河南地质彩色印刷厂印制

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:27.5

字数:654千字

版次:2013年9月第1版

邮政编码:450052

发行部电话:0371-66966070

印次:2013年9月第1次印刷

书号:ISBN 978-7-5645-1541-6

定价:48.00元

本书如有印装质量问题,请向本社调换

编委名单

BIANWEIMINGDAN

主 编	方莉俐	王秀杰		
副主编	任海振	冯军兰	贺 庆	
	葛向红			
编 委	刘 敏	曾灏宪	郭 鹏	
	丁星星	张 莹	李 林	
	郭 颖	罗银燕		

内 容 提 要

NEIRONGTIYAO

本书是按照工科院校应用物理专业本科培养目标的要求编写的,内容涵盖了测量误差与数据处理、普通物理实验、近代物理实验、专业基础课以及专业课程的实验和课程设计。本书注重教学内容的时代性和先进性,注重与现代科学技术、工程技术接轨,兼顾物理学的各个方面,并与任课教师的科研项目相结合。实验性质包括验证性实验、综合性实验、设计性实验和研究性实验。本书对应用物理专业实验具有极强的指导性、适度的前瞻性和内容上的不可替代性。

本书可作为普通工科院校应用物理专业的实验教材,也可作为其他工科专业实验教学的参考用书,还可供实验教师和实验技术人员参考。

前言

QIANYAN

物理学是揭示自然界奥秘、认识自然规律的科学。物理学的本质是研究物质的基本结构和运动规律,是推动人类文明进步和社会发展的强大动力,在为 21 世纪培养合格科技人才工作中起着至关重要的作用,而物理实验教学又是其中的一个重要环节,它在培养学生的实验技能方面起着重要的作用。进入 21 世纪以来,社会发展对科技人才提出了更高的要求。为了适应社会的发展,适应对人才培养的需要,物理实验的课程体系、教学内容、教学方法必须进行改革。我们在多年从事物理实验教学过程中积极进行实验教学探索,积累了一定的经验,组织多年从事物理实验教学和参与实验教学改革教师们编写了本书。我们愿将此书奉献给 21 世纪的教育事业,希望本书能对新世纪人才培养发挥应有的作用。

为了提高学生的科学素质,培养学生的创新能力,物理实验教学既要使学生得到基本实验技能的训练,又要能使学生在综合能力方面得到提高。本书具有如下特点:

1. 极强的指导性。教材内容紧扣应用物理专业所开设实验项目,无论是实验目的、实验内容、实验仪器,还是实验报告的撰写,该教材对应用物理专业的实验、实习及课程设计的各个环节都有极强的指导意义。

2. 适度的前瞻性。本书绝大部分实验项目都以现有仪器为标准而编写。考虑到应用物理专业的发展和提高,少部分目前没有仪器的实验内容根据发展规划也编写进去,从而对应用物理专业的发展和提高具有指导意义。

3. 内容上的不可替代性。本书针对应用物理专业的方向是光电科学与技术,书中编写了许多代表该专业方向的实验项目,而这些实验项目和相关的实验仪器仅针对应用物理专业,相应的实验指导是独一无二的,具有不可替代性。

在选择实验内容时注重时代性和先进性,注重与现代科学技术、工程技术接轨,兼顾物理学的各个方面,同时努力将最新的科技成果渗透到物理实验教学中,以此来激发学生的学习积极性。

全书分 15 章。第一章是测量误差与数据处理。为了使学生懂得测量误差的基本概念,具有数据处理的初步能力,本书将测量误差和数据处理作为一章单独编写,同时将误差和数据处理方法落实到不同的实验中去练习、巩固。第二~第四章是普通物理实验,每章都包含了若干个验证性实验和一个设计性实验,通过这些实验,培养学生具有较坚实的应用物理基本实验能力。第五章是近代物理实验,包含了近代物理发展过程中一些著名的实验,以及反映当代物理发展前沿的实验项目,同时,我们还将部分老师的科研项目与实验教学相结合,物化成部分实验项目,使其成为研究性实验项目,对学生动手能力、锻炼学生创新能力可起到不可替代的作用。第六~十章是应用物理专业的专业基础课的实验和课程设计,通过这些实验和课程设计,可使学生具备较高的对新事物的分析、学习、掌握及应用能力。第十一~十五章是代表应用物理专业方向的实验和课程设计,通过这些实验和课程设计,使学生具备运用物理学(如电子信息、光电技术等方向)的知识,进行科学研究、技术开发、教学及相应管理工作的能力。

本书由中原工学院多年从事物理实验教学的老师编写,方莉俐、王秀杰担任主编,任海振、冯军兰、贺庆、葛向红担任副主编,其中,方莉俐教授负责全书的统稿工作并编写了实验 5-9、实验 5-10、实验 5-12、实验 5-13,王秀杰编写了绪论、第一章、第七章及实验 3-5、实验 5-1、实验 5-2,任海振编写了实验 5-8、第十四章、第十五章,冯军兰编写了第六章、第十章,贺庆编写了第八章、第十二章,葛向红编写了第十三章及实验 5-3、实验 5-4、实验 5-5、实验 5-6、实验 5-7,刘敏编写了实验 2-5,曾灏宪编写了实验 11-1、实验 11-2、实验 11-3、实验 11-4,郭鹏编写了实验 11-5、实验 11-6、实验 11-7、实验 11-8、实验 11-9、实验 11-10,丁星星编写了实验 2-3、实验 2-4、实验 3-6、实验 4-3、实验 4-4、实验 4-6,张莹

编写了实验 2-1、实验 2-2、实验 4-1、实验 4-2、实验 4-5, 李林编写了实验 3-1、实验 3-2、实验 3-3、实验 3-4, 郭颖编写了第九章, 罗银燕编写了实验 5-11。

在编写过程中, 我们参阅了许多兄弟院校的有关实验教材, 并作了适当的引用, 同时在本书的编写过程中, 冯宝莉老师做了大量工作, 在此一并表示衷心的感谢。

实验教学是一项集体工作, 本书是大家经过日积月累、逐步完善、发展和升华的结果, 是集体智慧的结晶。借本书出版之际, 衷心感谢几十年来在中原工学院物理实验教学中作出贡献的老师们。

由于编者水平和条件所限, 书中难免有不妥或疏漏, 恳请读者给予批评指正。

编者
2013 年 5 月

目录

MULU

绪论	1
第一章 测量误差与数据处理	5
1.1 测量与误差	5
1.2 测量误差的估算	7
1.3 有效数字	10
1.4 实验数据的处理方法	12
第二章 力学实验	17
实验 2-1 用扭摆法测定物体的转动惯量	17
实验 2-2 用霍尔位置传感器测杨氏模量	22
实验 2-3 示波器的使用	28
实验 2-4 用显示驻波法测定空气中的声速	37
实验 2-5 粒状材料及不规则物体密度的测定	42
第三章 电磁学实验	47
实验 3-1 磁场测量与描绘	47
实验 3-2 电表的改装	50
实验 3-3 用电位差计测热电偶的电动势	55
实验 3-4 霍尔效应及其应用	59
实验 3-5 物理电学设计性实验	69
实验 3-6 电磁感应与磁悬浮实验	79
第四章 光学实验	85
实验 4-1 分光计的调节和使用	85
实验 4-2 用牛顿环测量球面的曲率半径	94
实验 4-3 迈克尔逊干涉实验	98
实验 4-4 偏振光的观测与研究	103
实验 4-5 组装望远镜和显微镜	109

实验 4-6 光敏传感器光电特性的研究	112
第五章 近代物理实验	125
实验 5-1 密立根油滴实验	125
实验 5-2 光电效应测普朗克常数实验仪	131
实验 5-3 弗兰克-赫兹实验	137
实验 5-4 电子射线的电偏转与磁偏转	142
实验 5-5 电子射线的电聚焦与磁聚焦	145
实验 5-6 塞曼效应	150
实验 5-7 金属电子逸出功的测定	155
实验 5-8 全息照相	160
实验 5-9 光速的测量	168
实验 5-10 气体放电等离子体的研究	174
实验 5-11 液晶电光效应	181
实验 5-12 复合电镀实验(一)——赫尔槽实验	186
实验 5-13 复合电镀实验(二)——金属-固体微粒复合膜电铸工艺研究	189
第六章 电路实验	197
实验 6-1 验证基尔霍夫定律	197
实验 6-2 RC 、 RL 一阶电路暂态过程研究	199
实验 6-3 RLC 二阶电路暂态过程研究	201
实验 6-4 RLC 稳态电路特性研究	206
实验 6-5 RLC 串联谐振电路研究	210
实验 6-6 电路课程设计——万用表组装与调试	213
第七章 模拟电路实验	220
实验 7-1 电压放大器的调试与测量	220
实验 7-2 射极跟随器	221
实验 7-3 低频 OTL 功率放大器	223
实验 7-4 差动放大器	226
实验 7-5 RC 正弦波振荡器	228
第八章 数字电路实验	232
实验 8-1 常用组合逻辑电路实验(一)	232
实验 8-2 常用组合逻辑电路实验(二)	234
实验 8-3 触发器及参数测试	242
实验 8-4 计数器及其应用(一)	246
实验 8-5 计数器及其应用(二)	249
实验 8-6 数字时钟	250
第九章 通信原理实验	253
实验 9-1 FSK 调制解调实验	253
实验 9-2 二相 PSK/DPSK 调制解调实验	258

实验 9-3 抽样定理与 PAM 通信系统实验	265
实验 9-4 脉冲编码调制 PCM 与时分复用	267
第十章 传感器实验	276
实验 10-1 金属箔式应变片——单臂电桥性能实验	276
实验 10-2 金属箔式应变片——半桥、全桥性能和电子秤实验	279
实验 10-3 差动变压器实验	283
实验 10-4 电容式传感器位移特性实验	286
实验 10-5 直流激励时霍尔传感器位移特性实验	289
实验 10-6 电涡流传感器位移特性实验	291
实验 10-7 光电二极管和光敏电阻特性研究	293
实验 10-8 光纤传感器实验	295
第十一章 光电子技术实验	298
实验 11-1 LD/LED 光源特性测试	298
实验 11-2 电光调制实验	306
实验 11-3 声光调制实验	312
实验 11-4 光电倍增管综合实验	322
实验 11-5 光敏电阻特性测试	331
实验 11-6 光电二极管光照特性测试	337
实验 11-7 雪崩光电二极管特性测试实验	345
实验 11-8 硅光电池特性测试	353
实验 11-9 光电探测器直流参数测试	358
实验 11-10 光电耦合开关实验	361
第十二章 信号与系统实验	366
实验 12-1 连续时间信号的实现及波形变换	366
实验 12-2 离散时间信号的实现及波形变换	370
实验 12-3 连续时间信号的卷积运算	373
实验 12-4 离散时间信号的卷积和	376
实验 12-5 连续与离散系统的冲激响应和阶跃响应	380
第十三章 激光物理实验	385
实验 13-1 氦氖激光器谐振腔调节实验	385
实验 13-2 氦氖激光器功率稳定性测量实验	387
实验 13-3 氦氖激光器光斑尺寸和发散角的测量	388
实验 13-4 氦氖激光器模式分析	391
第十四章 光电转换课程设计	395
实验 14-1 单缝衍射实验观测和研究	395
实验 14-2 光栅衍射	398
实验 14-3 光的偏振	400
实验 14-4 透镜焦距测量	406

实验 14-5 LD/LED 光谱特性研究	409
第十五章 光电信息课程设计	411
实验 15-1 光电测距设计实验	411
实验 15-2 光纤微弯称重系统设计实验	413
实验 15-3 太阳能充电器设计实验	416
实验 15-4 光纤烟雾报警设计实验	419
实验 15-5 光纤位移测量系统设计实验	420
实验 15-6 光控灯设计实验	423
实验 15-7 PSD 位移测试设计实验	424
参考文献	427

绪 论

一、物理实验的意义与任务

物理学的形成与发展是以实验为基础的。物理学的研究方法通常是在观察和实验的基础上,对物理现象进行分析、抽象、概括和总结,从而建立物理定律,进而形成物理理论,再回到实验中去经受检验。实验是物理科学的基础,也是物理知识的源泉,加强物理实验是物理教学的时代特征,又是提高物理教学质量的先决条件。

在研究物理现象时,实验的任务不仅是观察物理现象,更重要的是找出各物理量之间的数量关系,找出它们变化的规律。任何一个物理定律的确定,都必须依据大量的实验材料。即使已经确定的物理定律,如果出现了新的实验事实和这个定律相违背,也需要在新的实验基础上修正原有的物理定律或物理理论。因此,物理实验是物理理论的基础,也是物理理论正确与否的试金石。

物理实验既为开拓新理论、新领域奠定基础,又为丰富和发展物理学开辟了广阔的天地。最近数十年来,物理学和其他学科一样发展很快,尤其是核物理、激光、电子技术和计算机等现代化科学技术的发展,更反映了物理实验技术发展的新水平。科学技术的发展越来越体现出物理实验技术的重要性,基于这方面的原因,人们逐渐感到理工院校加强对学生进行物理实验训练的重要性。在实验过程中,通过理论的运用与现象的观测分析,理论与实验相互补充,从而加深和提高学生的物理知识。

通过物理实验对学生进行系统地实验技能训练,可使学生学到很多在实际工作中非常有用的知识和技能,同时,物理实验还有益于培养科学的工作态度,在实验中逐步养成勤于思考、善于观察、认真细致、一丝不苟的良好习惯和工作作风。概括起来,它的主要任务有以下三个方面。

(1)通过对物理现象的观察、分析和对物理量的测量与处理,学习物理实验的基本知识,加深对物理基本概念、基本规律的理解。学习物理实验的实验方法及其物理思想,有助于思维与创造能力的培养。

(2)使学生获得必要的实验知识和操作技能,培养学生初步具有正确使用仪器进行测量、记录和处理数据、正确绘制实验图表、完整表示实验结果、分析实验结果及其产生误差原因以及撰写合格实验报告等方面的能力。进一步培养学生具备运用知识进行综合分析和设计创新的能力。

(3)培养学生严格、细致、实事求是、刻苦钻研、一丝不苟的科学态度,以及爱护国家财产的良好品质;培养学生善于动脑、乐于动手、讲究科学方法、遵守操作规程、注意安全等良好习惯。

二、应用物理专业的培养目标

应用物理专业培养的学生是系统掌握物理学的基本理论、基本知识和基本技能,以光电科学与技术为主要业务范围,具有物理、数学等方面的基本专业素质,能在科学研究、教育、光电子技术行业从事技术研发、系统维护、教学等工作的高级应用型人才。

本专业学生应主要学习物理学的基本理论与方法,具有良好的数学基础和实验技能,受到科学研究、技术开发以及工程技术的初步训练,具有良好的科学素养,适应高新技术发展的需要,具有较强的知识更新能力和较广泛的科学适应能力,成为理工结合的、宽口径的、复合型的高级应用型人才。

本专业学生通过四年的学习后,毕业生应获得的主要知识有:

- (1)掌握较为系统的数学、物理(光电科学与技术)方面的基本原理与知识;
- (2)了解相近专业以及应用领域的一般原理和知识。

应具备的基本能力有:

- (1)掌握较坚实的应用物理基本实验能力;
- (2)具备较高的对新事物的分析、学习、掌握及应用能力;
- (3)具备运用物理学(如电子信息、光电技术等方向)的知识,进行科学研究、技术开发、教学及其相应管理工作的能力;
- (4)掌握资料查询、文献检索及运用现代信息技术获取最新参考文献的基本方法,具有一定的实验设计,创造实验条件,归纳、整理、分析实验结果,撰写论文,参与学术交流的能力。

应注意:在系统学习物理专业和光电子技术专业理论知识的基础上,进一步加强现代物理实验,特别是现代物理在工程技术方面应用的实验;在专业课程实验方面加大和加强综合性、设计性实验,适当开设小型科研型实验;激励学生将物理知识与工程技术结合起来,确保学生具有一定的创新能力,使其在将来从事的专业领域工作中保持强大的发展后劲。

三、物理实验课的要求

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,独立地完成实验任务。通常,每个实验的学习都要经历三个阶段。

1. 课前预习。

实验前必须认真阅读教材,做好必要的预习,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。阅读时要以实验目的为中心,搞清楚实验原理、操作要点、数据处理及其分析方法等;要反复思考实验原理、仪器装置及操作、数据处理等方面如何达到实验目的。预习时要尽量精心构思,写出预习报告,内容包括名称、目的、原理摘要、主要步骤、数据记录表格等,每次做实验时要向实验教师出示预习报告。

2. 实验操作。

进入实验室首先根据教材或仪器说明书熟悉仪器,特别注意仪器使用的注意事项,在实验操作前要认真听老师讲解,在老师的指导下了解仪器的使用方法。对于连线较为

复杂的实验,应先连线,经老师检查确认无误后方可接通电源进行实验。进行实验时,应合理操作、集中精力、仔细观察、认真思考,把实验数据和观察到的实验现象及时细心地记录下来,实验数据要记录在预习报告中画好的表格内。实验记录经老师检查合格签字,并当场记录课堂成绩后方可离开。

3. 撰写实验报告。

撰写实验报告,这是完成一个实验题目的最后程序,也是对实验进行全面总结分析的一个过程,必须予以充分重视。撰写实验报告要求如下。

(1)封面上每项内容都必须填写,特别是班级学号一定要写清楚,以便指导教师批改完实验报告后登记成绩,指导教师的名字在做实验时务必记下并填写在实验报告封面,实验日期就填写做实验的日期。

(2)实验目的:要求逐条写清楚本实验的实验目的。

(3)实验原理: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,用图表示原理图、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,以及公式适用条件(或必要的实验条件)。

(4)实验仪器:要求列出实验中实际使用的仪器的名称、规格、型号、编号和数量。

(5)实验步骤:根据实际操作过程写出主要的实验步骤和 safety 注意事项。

(6)实验数据:将实验中测量的数据以表格的形式罗列出来,数据记录应做到整洁、清晰而有条理,便于计算与复核。在标题栏内要注明单位。数据不得任意涂改。

(7)数据处理:按照实验要求计算有关物理量,计算时先将文字公式化简,再代入数值进行运算。按照规范形式写出完整的实验结果。误差计算要预先写出误差公式。需要画图时必须画在坐标纸上。

(8)思考题:完成实验指导教师规定的思考题,必要时还需写出对该实验的体会和建议。

四、实验室规则

为了保证实验正常进行,以及培养严肃认真的工作作风和良好的实验习惯,要求学生遵守以下实验室规则。

(1)学生应在课程表规定时间内进行实验,不得无故缺席或迟到。实验时间若要变动,须经实验室同意。

(2)学生在每次实验前对安排要做的实验应进行预习,并在预习的基础上,写出预习报告。

(3)进入实验室后,应主动向实验指导教师出示预习报告,经过教师检查认为合格后,方可进行实验。

(4)实验时应携带必要的物品,如实验指导书、文具、计算器和草稿纸等。

(5)进入实验室后,核对自己使用的实验仪器与要做的实验是否相符,实验前应细心观察仪器构造,在老师讲解后再开始做实验,严格遵守各种仪器仪表的操作规则及注意事项。尤其是电学实验,线路接好后先经教师检查,经许可后才可接通电路,以免发生意外。

(6) 实验完毕后应将实验数据交给教师检查, 实验合格者教师予以签字通过, 并当场记录课堂成绩。将实验仪器整理好并打扫实验室卫生后方可离开。要求每个学生必须在规定时间内完成实验, 不得拖堂。确实做不完的, 与老师预约时间补做实验。

(7) 如有仪器损坏应及时报告教师, 并填写损坏单, 注明损坏原因, 按有关规定进行赔偿。

第一章 测量误差与数据处理

1.1 测量与误差

一、测量

科学实验都是以测量为基础的。要研究一些科学现象,了解物质特性,验证科学定律等,都要进行测量。所谓测量就是将待测物理量与规定作为标准单位的同类物理量通过一定的方法进行比较,比较所得的倍数即为待测量的测量值。在物理实验中,测量一般被分为两类,一类是直接测量,另一类是间接测量。待测量也分为直接测量量和间接测量量。直接测量就是用已知的标准单位与待测定物理量直接进行比较,或从已用标准量校准的仪器表上直接读出待测物理量的测量值。如用米尺测量物体的长度,用电表来测量电路中的电流和某段电路两端的电压,用天平测物体的质量,等等。但是,大多数物理量都不能直接测量出它的大小,而是依据待测量与几个直接测量之间的函数关系,得到待测物理量的量值,这样的测量称为间接测量。如测量某金属长方体的密度,可用游标卡尺或螺旋测微器测出它的长(a)、宽(b)和高(c),再用天平测出它的质量 m ,然后通过函数关系 $\rho = m/V(a, b, c)$,计算出金属长方体的密度。随着科学技术的发展,很多的间接测量都变成了直接测量。如电功率测量用功率表可直接测量,速度也可用速度表来直接测量。

应注意的是,测量所得的结果是数据,而不是单一的数值,它应由数值和单位两部分组成。

二、测量误差

客观上讲,反映物质某种特性的物理量都具有客观的真实性,称为这种物理量的真值,测量的目的就是力求得到这个真值。但是,在实际测量中都受到依据的测量理论和测量方法、所使用的测量仪器、测量时所处的环境条件以及测量人员的技术水平等诸多因素的影响和限制,使测量结果与客观存在的真值之间总是存在着差值,这种差值被称为该测量值的测量误差(又称测量值的绝对误差),简称误差。

$$\text{绝对误差} = \text{测量值}(N') - \text{真值}(N)$$

测量误差大小反映了测量结果的准确程度。

误差存在于一切测量之中,而且贯穿于测量的全过程。因此,在进行实际测量时,从