



普通高等教育“十二五”规划教材

近代物理实验

主编 郑建洲



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

近代物理实验

主编 郑建洲

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是根据教育部高等院校物理学与天文学教学指导委员会通过的“高等理科物理专业(四年制)近代物理实验课程教学基本要求”编写的。全书共9章,包括绪论、误差理论与数据处理基础知识、原子物理、激光技术与近代光学、微波实验、磁共振技术、真空技术、光纤通信技术、微弱信号检测技术及显微观测技术。

本书具有如下特点:一是把传授知识与培养能力相融合,科学教育与人文教育相融合;二是把近代物理实验实物仪器和虚拟仿真相结合开展教学,这种基于虚拟现实的实训是提高教育质量的一个有效方法和途径;三是创造性地提出并实施了渗透式双语教学模式,给出相应的物理实验各级题目对应的英文表述和关键词,不间断地进行英语专业词汇的渗透,使之成为课堂教学的一部分。

本书可作为普通理工科大学物理专业或相关专业近代物理实验课程的教材,也可作为从事实验教学的教师和工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

近代物理实验 / 郑建洲主编. —北京: 科学出版社, 2016.7
ISBN 978-7-03-049275-3

I. ①近… II. ①郑… III. ①物理学—实验—高等学校—教材
IV. ①O41-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 146544 号

责任编辑: 窦京涛 王 刚 / 责任校对: 邹慧卿

责任印制: 徐晓晨 / 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>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年7月第一版 开本: 787×1092 1/16

2016年7月第一次印刷 印张: 19 1/4

字数: 440 000

定价: 49.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

当今世界处于信息时代，科学技术迅猛发展、日新月异，高新技术层出不穷，而近代物理学是技术的基础。没有 20 世纪以来以相对论和量子力学作为理论基础的近代物理学的巨大发展，就没有今天的微型计算机、激光和光通信、核能、纳米科学和技术等各种各样的高新技术。

近代物理实验是继大学物理实验后为物理学及相关专业高年级学生开设的一门承前启后的重要基础实验课程，所涉及的物理知识面很广，具有较强的综合性和技术性。

近代物理实验的内容，反映现代科学技术发展的巨大成就和进步，而这一点恰恰是物理学的优势。理论的基础是实验。量子论的建立与黑体辐射、光电效应、固体比热相关。为什么在 19 世纪与 20 世纪之交发生这场物理学的革命？为什么量子的概念从热辐射这一特殊领域首先产生？重要原因就是当时的实验已达到相当的水平，能够反映微观世界的特性，如光谱学、电磁波、真空低温和电磁测量等技术发展使人们能够进行热辐射、光电效应、低温下固体比热等方面的实验研究，从而得到一系列经典物理学无法解释的新结果。又如电磁学的发展，麦克斯韦的电磁场理论建立在库仑、安培、奥斯特、法拉第等大量实验研究的基础上。光速的不断精确测定，使爱因斯坦思考“追光”，从而诞生狭义相对论。电磁现象的大量实验，使人们发现电磁感应的不对称性。人们对以太的长期探索，肯定了绝对坐标系不存在……实验对理论太重要了，也许不仅在物理学上。

选择著名实验，介绍其设计思想、实验结果和历史沿革，培养学生的科学素养。有时这些介绍给学生的印象远超过实验本身和一般知识性的内容。如密立根证实了爱因斯坦的光电效应方程正确无误，并且应用光电效应直接计算出普朗克常量，这个实验的意义是什么？他解决了什么技术关键？里德伯常量至今还在测，只是由于激光光谱学的发展，这个常量越测越精。一代物理宗师叶企孙曾对普朗克常量进行了反复测量，得到了 20 世纪 20 年代最精确的普朗克常量数据，给物理学深入研究原子结构、粒子、反物质等微观结构提供了更加精确的能量子自然单位。

在近代物理实验课程的建设中以坚持传授知识与培养学生实践能力和创新能力相结合，坚持近代物理实验虚拟和实物仪器相结合，坚持渗透式的双语教学原则，建立了近代物理实验课程立体化、信息化的体系，包括近代物理实验教学资源库的建立，近代物理实验虚拟仿真实验教学系统的建设，开放性网络教学平台的建设，明显地提高了教学质量，取得了一定的成绩。大连民族大学近代物理实验教材是学校的校本特色教材，大学物理实验中心取得了辽宁省示范中心和辽宁省首批虚拟仿真实验示范中心。本教材的编写，是我们多年来教学改革成果的总结。

本教材具有以下几点主要编写特点。

(1) 本教材做到传授知识与培养创新能力相融合、物理思想教育与科学素养教育相融合。该课程精选其首先完成者获得诺贝尔物理学奖的著名实验和在近代物理实验技术中广泛应用的典型实验为教学内容，通过这些代表人类顶尖智慧的创新范例，培养学生的科学创新意识，让他们了解科学家如何继承前人，如何发现问题，如何巧妙构思，如何改进提高技术，

如何创新。这些实验不仅使学生直观生动地学习在近代物理学发展中起重要作用的实验，领会大师们的物理思想和实验设计思想，进一步巩固理解已经学的理论知识，掌握近代物理的基本原理、科学仪器的使用和典型的现代实验技术，而且可以掌握科学实验中一些不可缺少的现代实验技术，了解近代实验技术在许多科学研究领域与工程实践中的广泛应用。通过这些实验的训练，还有助于开阔学生的视野，培养学生的创新意识和科学研究能力以及严谨认真的科学精神。在教材中阐述基本实验内容时，如遇到物理学史上的重要人物和重大事件，向学生作简要介绍，目的是使学生对于相关物理实验的背景资料有更进一步的了解，以激发同学们学习的动力和兴趣。

(2) 近代物理实验实物仪器和虚拟仿真相结合开展教学。虚拟仿真实验教学是高等教育信息化建设的重要内容，是实验教学示范中心建设的内涵延伸。虚拟仿真实验教学综合应用虚拟现实、多媒体、人机交互、数据库以及网络通信等技术，通过构建逼真的实验操作环境和实验对象，使学生在开放、自主、交互的虚拟环境中开展高效、安全且经济的实验。这种基于虚拟现实的实训过程具有形象生动、可操作性强、高效和安全等特点，大大增强了学生自主学习的热情，是提高教育质量的一个有效方法和途径。

在辽宁省首批大学物理虚拟仿真实验教学中心建设立项的基础上，加大近代物理仿真虚拟实验建设力度，开发真实实验不具备或难以完成的教学功能。在涉及高危或极端环境，不可及或不可逆的操作，高成本、高消耗、大型或综合训练等情况时，提供可靠、安全和经济的实验项目，如 γ 能谱实验、电子自旋共振实验等。

(3) 进行渗透式双语教学。针对绝大部分本科生目前不适应英文原版教材教学，而未来就业发展和终生教育又要求他们具有一定双语能力的实际问题，提出并实施了渗透式双语教学模式，给出相应的物理实验的各级题目的英文对应表述和关键词，使学生都能在符合自己水平的双语模式中受益，实现了学生专业英语词汇附带习得。将渗透式双语教学贯穿于教材始终，不间断地进行英语专业词汇的渗透，使之成为课堂教学的一部分，对每节课所渗透的专业词汇数量而言是分散式的；对不增加学时也不影响学科进度而言是高效式的；对学生习得方法而言是沐浴式的。既能丰富学生的专业词汇，又能增强学生的注意力，也能加深学生对物理知识的理解记忆，可达到教与学质量的双重提高。

本书精选了原子物理学和原子光谱学、激光与现代光学、微波技术、磁共振技术、真空技术、光纤通信技术、光电子技术和显微检测技术等领域的40个近代物理实验真实实验和虚拟实验。在这些实验中，有些是在近代物理学发展中起过重要作用的著名实验，甚至有的其首先完成者获得了诺贝尔物理学奖，它们能使学生了解前人的物理思想和探索过程，并从中受到很大启发。

本书的每一个实验都详细介绍了实验目的、实验原理、实验仪器、实验内容及注意事项，以便学生清楚地了解该实验的物理思想，能自己拟出实验步骤，独立进行实验。但是由于近代物理实验和普通物理实验相比有一定的难度，内容也涉及比较多，一个实验需要学生在实验室内工作4~8小时，所以同学在做实验之前，一定要认真预习，查阅资料，做到实验之前心中有数，以便顺利地完成实验，收到预期效果。

实验教学工作是一项群体性的工作，从实验室的建设，教材的编写，以及实验内容的改进、改革都凝聚着参编老师们的心血。在本书的编写过程中，得到大连民族大学的特色教材

(近代物理实验立体化可视教材建设)项目的资助。大连民族大学物理与材料工程学院近代物理实验室的老师和相关专业老师共同参与了本书的编写工作。

本书由郑建洲担任主编,刘德弟、于乃森、潘静担任副主编。参加本书编写的人员有:郑建洲(第1章,第2章,第4章实验4.1、实验4.2、实验4.4~实验4.7、实验4.10),张萍(第3章实验3.1,第8章实验8.1~实验8.3),刘德弟(第3章实验3.2、实验3.3、实验3.8),于乃森(第3章实验3.11),曹晓君(第3章实验3.4,第4章实验4.8),关寿华(第4章实验4.11,第6章实验6.3),刘峰(第5章实验5.1~实验5.4),何洋洋(第3章实验3.7、实验3.10),吴云峰(第4章实验4.3,第9章实验9.4、实验9.5),潘静(第3章实验3.5、实验3.6),季龙飞(第3章实验3.9,第6章实验6.1、实验6.2,第9章实验9.3),魏心波(第3章实验3.12),刘佳宏(第7章实验7.1~实验7.3),冯志庆(第9章实验9.1、实验9.2),郭丽娇(第4章实验4.9)。全书由郑建洲统稿,张萍审稿,何洋洋负责全书英文翻译和审阅。

本书是集体智慧和辛勤劳动的结晶,它是一项集体事业,是物理与材料工程学院老师多年教学成果的总结,也包含着学校领导以及兄弟院校同行的关怀和支持,特别是得到科学出版社的肯定与支持,在此一并表示衷心的感谢。

另外,在本书编写过程中还引用了大量中外文献,我们对这些文献的作者表示由衷的敬意和感谢。

由于编者水平有限,书中可能存在许多不足,望读者批评指正。

编 者

2015年11月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
Chapter 1 Introduction	
1.1 如何学好近代物理实验课	1
1.1 How to learn modern physics experiments	
1.1.1 近代物理实验课程的目的和任务 (Objective and task of modern physics experiments)	1
1.1.2 近代物理实验课程教学内容及特点 (Teaching content and characteristics of modern physics experiments)	1
1.1.3 怎样做好近代物理实验 (How to do modern physics experiments)	2
第 2 章 误差理论与数据处理基础知识	8
Chapter 2 Error theory and basic knowledge of experiment data processing	
2.1 测量误差	8
Section 2.1 Measurement error	
2.2 随机变量的概率分布	11
Section 2.2 Probability distribution of random variable	
2.3 随机误差的统计分析	15
Section 2.3 Statistical analysis of random error	
2.4 不确定度	17
Section 2.4 Uncertainty	
2.5 数据处理——最小二乘法拟合	19
Section 2.5 Data processing——least square method	
第 3 章 原子物理	23
Chapter 3 Atomiz physizs	
实验 3.1 光谱分析基本知识	23
Experiment 3.1 Basic knowledge of spectral analysis	
实验 3.2 氢、氘原子光谱实验	26
Experiment 3.2 Hydrogen and deuterium atom spectra experiment	
实验 3.3 傅里叶变换光谱实验	30
Experiment 3.3 Fourier transform spectroscopy experiment	
实验 3.4 用电视显微油滴仪测电子电荷	36
Experiment 3.4 Electron charge determination using Millikan oil-drop apparatus	
实验 3.5 塞曼效应实验	44
Experiment 3.5 Zeeman effect experiment	

实验 3.6 法拉第效应	51
Experiment 3.6 Faraday effect	
实验 3.7 弗兰克-赫兹实验	55
Experiment 3.7 Frank-Hertz experiment	
实验 3.8 拉曼光谱实验	59
Experiment 3.8 Raman spectroscopy experiment	
实验 3.9 黑体辐射实验	65
Experiment 3.9 Blackbody radiation experiment	
实验 3.10 光电效应法测普朗克常量	71
Experiment 3.10 Planck constant determination by photoelectric effect	
实验 3.11 材料形貌的扫描电子显微镜观测实验	78
Experiment 3.11 Materials morphology observation by scanning electron microscope	
实验 3.12 原子力显微镜的材料表面形貌表征实验	81
Experiment 3.12 Materials surface morphology characterization by atomic force microscope	
实验 3.13 NaI (TI) 单晶 γ 闪烁谱仪与 γ 能谱测量	88
Experiment 3.13 NaI(Tl) single crystal γ -ray scintillation spectrometer and γ energy disperse spectroscopy measurement	
第 4 章 激光技术与近代光学	96
Chapter 4 Laser technology and modern optics	
4.1 激光原理预备知识	96
Section 4.1 Basic knowledge of laser principle	
实验 4.2 半导体泵浦激光原理实验	103
Experiment 4.2 Semiconductor pump laser principle experiment	
实验 4.3 氦氖激光器高斯光束光强分布与发散角测量	109
Experiment 4.3 Measurement of He-Ne laser Gaussian beams light intensity distribution and divergence angle	
实验 4.4 共焦球面扫描干涉仪与氦氖激光束的模式分析	123
Experiment 4.4 Confocal spherical mirror scanning interferometer and analysis of He-Ne laser beam mode	
实验 4.5 YAG 激光器的电光调 Q 实验	130
Experiment 4.5 YAG laser electro-optic Q-switching experiment	
实验 4.6 Nd^{3+} :YAG 激光器的倍频实验	134
Experiment 4.6 Nd^{3+} :YAG laser frequency doubling experiment	
实验 4.7 激光相位测距实验	141
Experiment 4.7 Laser phase distance measurement	
实验 4.8 晶体的电光效应实验	147
Experiment 4.8 Crystal electro-optic effect experiment	

实验 4.9 准分子激光器实验	157
Experiment 4.9 Excimer laser experiment	
实验 4.10 激光打标实验	162
Experiment 4.10 Laser marking experiment	
实验 4.11 表面磁光克尔效应实验	171
Experiment 4.11 Surface magneto-optic Kerr effect experiment	
第 5 章 微波实验	183
Chapter 5 Microwave experiments	
5.1 微波技术基础知识	183
Section 5.1 Basic knowledge of microwave technology	
实验 5.2 微波测量系统及驻波比的测量	188
Experiment 5.2 Microwave measurement system and standing-wave ratio (SWR) measurement	
实验 5.3 用谐振腔微扰法测量微波介质特性	193
Experiment 5.3 Microwave dielectric properties measurement by resonant cavity perturbation method	
第 6 章 磁共振技术	196
Chapter 6 Magnetic resonance technique	
实验 6.1 核磁共振	196
Experiment 6.1 Nuclear magnetic resonance	
实验 6.2 脉冲核磁共振实验	203
Experiment 6.2 Pulsed nuclear magnetic resonance experiment	
实验 6.3 电子顺磁共振实验	213
Experiment 6.3 Electron paramagnetic resonance experiment	
第 7 章 真空技术	225
Chapter 7 Vacuum technology	
7.1 真空技术基本知识	225
Section 7.1 Basic knowledge of vacuum technology	
实验 7.2 真空的获得与测量	230
Experiment 7.2 Obtain and measurement of vacuum	
实验 7.3 真空蒸发镀膜实验	238
Experiment 7.3 Vacuum evaporation coating experiment	
第 8 章 光纤通信技术	246
Chapter 8 Optical fibre communication technology	
8.1 光纤通信简介	246
Section 8.1 Introduction of optical fibre communication	

实验 8.2 音频信号光纤传输技术实验	250
Experiment 8.2 Audio signal optical fiber transmitting technology experiment	
实验 8.3 数字信号光纤传输技术实验	259
Experiment 8.3 Digital signals optical fiber transmitting technology experiment	
第 9 章 微弱信号检测技术及显微观测技术	269
Chapter 9 Weak signal detecting technique and micro-observation technology	
实验 9.1 锁相放大器原理及应用实验	269
Experiment 9.1 Principle and application of lock-in amplifier experiment	
实验 9.2 单光子计数实验	272
Experiment 9.2 Single photon counting experiment	
实验 9.3 扫描隧道显微镜 (STM)	282
Experiment 9.3 Scanning tunneling microscope (STM)	
实验 9.4 双光栅微弱振动测量仪	288
Experiment 9.4 Double grating weak vibration measuring instrument	
附录	294
Appendix	

第 1 章 绪 论

Chapter 1 Introduction

1.1 如何学好近代物理实验课

1.1 How to learn modern physics experiments

1.1.1 近代物理实验课程的目的和任务 (Objective and task of modern physics experiments)

物理学是以实验为基础的科学。物理实验在物理学发展史上占有重要的地位，例如，量子论的产生就是基于光和实物相互作用的研究。近代物理实验不同于普通物理实验，近代物理实验是一门综合性和技术性很强的实验学科，它以物理学发展历史上最有代表性并对物理学发展起着重要作用的著名实验，以及在实验技术和实验方法上具有显著时代性的实验为教学内容，是由多个学科领域交叉综合的实验。近代物理实验在物理学科中处于特殊的地位，它介于普通物理实验与专门化实验或科学研究性实验之间，具有承上启下的作用。在学习中既可以使自己受到严格的实验素质训练，也可以正确认识新的物理概念的产生、形成和发展过程，启发自己的物理思想，使自己对物理现象的观察能力和分析能力得到锻炼。学习近代物理实验中常用的研究方法和技术，是非常重要的，它将培养自己良好的实验习惯以及严谨的科学作风，使自己在运用实验方法研究物理现象和规律方面得到一定的训练，这将是本教材贯彻始终的目标。近代物理实验的难点是对近代物理知识的理解和掌握，以及对贵重精密仪器设备操作能力的培养。

1.1.2 近代物理实验课程教学内容及特点 (Teaching content and characteristics of modern physics experiments)

近代物理学是 19 世纪末 20 世纪初以来，人们为了解释用经典物理不能作出令人满意解释的许多现象而提出的物理理论。相对论和量子论是近代物理学的两大理论支柱，而近代物理学的所有重大发现都是在一系列实验中完成的。近代物理实验就是在近代物理发展过程中起过“关键性”作用的一些实验以及与新理论、新技术有关的一些实验。

近代物理学创建时期，众多的物理学家做出了杰出的贡献，他们既具备很深的经典物理学基础知识，又不循规蹈矩；既有严谨的科学态度，又富有探索创新的精神。他们完成的诸多著名的实验至今仍具有深远的影响，他们建立的理论已得到广泛应用。

回顾物理学发展史，近代物理实验有如下特点：

(1) 近代物理实验以量子论的建立为标志，量子力学的发展与原子物理有着密切的联系。原子物理实验是近代物理实验课程的重要组成部分，其中的著名近代物理实验首先完成者，都荣获了诺贝尔物理学奖。

(2) 近代物理实验综合性较强, 它要求学生运用涉及物理学许多领域的知识和实验室技术. 近代物理实验的完成, 不仅需要成熟的经典物理实验方法和技术, 而且需要不断创新实验方法、实验技术和实验仪器. 学生在普通物理实验中使用过的仪器, 如示波器、真空泵等, 在本课程中还需进一步熟练和更加灵活地运用. 在本课程中还将接触些比较精密的近代物理研究中常用到的测试仪器和技术, 如微波测试技术、磁共振技术等. 通过近代物理实验进行科学实验技能特别是正确选用和使用基本仪器设备能力的培养.

(3) 近代物理实验的设计思想新颖, 求异思维起到了重要作用.

(4) 完成近代物理实验必须具备细致熟练的实验技能、敏锐的观察能力, 以捕捉微小、瞬时、内在的物理现象和规律.

(5) 实验误差与数据处理是一个重要的训练内容. 实验课中学生要在普通物理实验训练的基础上, 提高分析实验系统误差和随机误差的能力, 用简明的方法有条理地表达数据, 科学地处理数据, 正确地表达实验结果. 要学习对大量数据进行理论曲线拟合.

本教材选取的近代物理实验, 均是在近代物理学发展中起过“关键性”作用的实验, 是很著名的经典近代物理实验. 通过这些实验, 我们不仅要学习其中的基本实验方法和技能, 而且要从辩证唯物主义的认识论和方法论的角度去分析实验的设计思想, 从而提高我们发现问题和解决问题的能力.

1.1.3 怎样做好近代物理实验 (How to do modern physics experiments)

1. 要以正确的态度认识近代物理实验 (Correct attitude)

近代物理实验是为物理专业和相近专业学生在完成普通物理及电子学实验后开设实验课程. 共 3 个学分, 需 48 个学时.

在近代物理实验的题目中, 许多是历史上著名的实验. 成功地做出这些实验的第一个物理学家 (有的实验就是以他们的名字命名的) 以坚韧不拔的精神, 经历了数年的努力. 这些典型的实验已被重复过成千上万次, 正如培养神枪手需要练习打靶一样, 一个真正的物理学家正是在重复这些人所共知的实验开始训练出来的. 历史事实证明, 一个新的物理现象的发现往往需要物理学家从成千上万个几乎相同的物理现象中发现具有与以往不同的、差别微小然而也可能具有本质不同的性质. 这种对物理现象的洞察能力是物理学家取得成功的极其可贵的素质.

近代物理实验课程的特点也是学生在教师的指导下自己动脑思考、动手操作, 独立完成实验任务, 这样就需要安排足够的课内和课外时间, 课内外学时比为 1 : 1.5. 使学生有可能根据所遇到的问题, 阅读资料、思考问题, 有准备地与指导老师进行讨论, 独立地完成每个实验. 培养独立工作能力, 是开设近代物理实验的重要目的之一, 也是大学高年级学生应具备的能力之一. 教师只是起指导作用. 从每个实验的原理了解, 每台仪器特性的掌握, 到实验步骤确定, 实验数据记录、实验结果分析等, 都要求学生能独立完成. 学生要认真阅读本讲义, 也要查阅、研究其他文献资料, 还要积极思考、不断探索, 独立解决遇到的各种问题.

2. 认真做好实验前的预习工作 (Preview before experiment)

一般的实验教学分为预习、实验操作和写出实验报告三个大的环节, 近代物理实验也是

如此. 实验操作是最重要的环节, 课前预习是实验操作的必要准备, 撰写实验报告是实验结果的书面表达.

与普通物理实验相比, 各个近代物理实验的原理和使用的仪器设备都要复杂、精密得多. 而且, 有些题目是二、三年级学生在理论课中没有涉及的内容, 即这些实验内容在相应的理论课学习的前面, 所以安排足够的时间进行实验前的预习工作非常必要, 实验前一定要认真阅读有关材料, 学习相应的理论知识, 努力做好实验前的各种理论准备: 弄明白实验题目的目标, 实验的原理和物理思想, 实现的方法, 所用的公式, 需要什么仪器, 仪器及其精确度, 以及关键的实验步骤等. 总之, 一个有科学头脑的、善于且勤于学习的学生, 应将大部分时间花在实验前的准备工作上. 通常, 读取数据的时间往往是不需要很多的. 开始, 许多学生对这样的做法很不习惯并且感到费力, 但经过自己的努力和老师的严格要求, 是会尝到甜头的.

可见, 实验前的预习是非常重要的环节, 上课时教师要检查实验预习情况, 评定实验预习成绩, 并且没有预习的学生不能做实验.

实验预习的目的是全面认识和了解所要做的实验题目并进行相应的理论知识学习和对实验仪器进行了解. 预习是为正式的实验操作做准备, 所以应该做到:

(1) 认真阅读实验教材、参考书并查阅相关文献, 事先对实验内容作一个全面的了解. 学习相应理论知识, 清楚基本概念, 看懂结论. 对理论学习中的难点和不懂的地方要作标记, 以便教师讲解或与教师讨论时彻底搞懂; 同时要着重学习了解近代物理设计的物理思想和物理方法, 近代物理实验中蕴涵着丰富的物理思想和物理方法, 实验中有相当一部分选题来自近代物理学发展史上起过重大作用的物理学家们的研究课题, 这些题目中许多获得诺贝尔物理学奖. 了解近代物理学中许多基本理论的发展过程及其在物理学发展史上的作用, 以进一步了解近代物理的基本原理, 学习科学实验的方法.

查阅仪器的说明书、操作规程及其他参考资料, 把实验的基础知识和背景知识弄清楚, 明白实验的目的、要求、原理、仪器、方法、注意事项以及需要解决的问题等.

(2) 有条件的还可以和老师联系, 提前到近代物理实验室, 预先了解各实验仪器设备的特性与使用方法, 或到物理实验中心的网站上用仿真实验软件去学习了解仪器设备的性能、操作要领等. 通过预习明确“做什么、怎么做、为什么”等问题.

(3) 写出预习报告. 拟定出实验步骤, 把要观测的实验内容写清楚, 把要测量的实验数据绘成表格, 一并写在预习报告上.

预习报告内容主要包括: 实验名称; 目的与要求; 实验原理; 测量内容, 操作步骤, 数据表 (列出有关测量的计算式及条件和将要被验证的规律, 其中要明确哪些物理量是直接测量量, 哪些物理量是间接测量量, 用什么方法和测量仪器等); 绘出电路图、光路图或设备示意图, 回答预习思考题等, 就成了一张操作路线图, 可以指导学生有条不紊地完成实验任务, 操作者按此程序去做即可, 不必再参考教材或其他文件. 数据表与操作步骤是密切相关的, 数据表中项目栏的排列顺序, 应与操作步骤的顺序合理配合, 这样, 可以随时将实验数据按顺序填入表中, 也可以随时观察和分析数据的规律性.

3. 认真做好实验的操作环节 (Experiment operation)

这一过程是让学生进入实验室进行正式的观测和操作, 在这一环节中学生在教师的

指导下主动地、自觉地、有创造性地去获取知识和实验技能，通过实验探索研究问题的方法，培养细致、踏实、一丝不苟、严肃认真和实事求是的科学态度以及勇于克服困难、坚韧不拔的工作作风。

(1) 认真观察。实验是一个综合的教学过程，它是观察、分析、测量、交流、推论五个方面的综合。观察是一个感知过程，它通过看、听、触、尝、嗅等直接感知客观事物，在实验中要培养良好的观察习惯，逐步提高观察能力。事实表明，透过现象快速看到本质，准确无误地观察实验的真实情况，不是一件轻而易举的事情。有些人对一些异常现象视而不见、听而不闻，而有些人却从中获得了新的发现和发明。

(2) 养成良好的测量习惯。在实验中，为了更好地进行观测，最好先观察后测量，先练习后测量，先粗测后细测，养成一个良好的测量习惯。

(3) 注重基本内容，明确重点。每一个实验根据教学大纲要求都提出了需要重点掌握的内容，如基本知识、基本方法和基本技能，这些是需要重点掌握的，要始终明确实验的重点知识和重要内容。

(4) 发挥学习的主观能动性和创造性。做好实验，教师的指导固然重要，但更为重要的是学生要有发现问题、研究问题的主动态度，对待实验要有信心、耐心和细心，要逐步摆脱对教师的依赖，改变过去严格按照实验教材中的步骤看一步做一步的实验方法。学生要培养自己勇于动手、勤于思考的习惯，做到善于分析思考、学会提出问题。

(5) 不但追求实验结果和数据，还要学会分析实验。做实验一般需要实验数据，在很多学生的心目中有教师的所谓“标准数据”，然而，不要以为实验的目的就是做出与“标准数据”一致的结果。有很多学生满足于自己的结果与“标准数据”或理论计算一致，认为这样实验就圆满成功，而当两者的差别较大时，就感到失望，认为实验一点也没有进展，就会抱怨仪器设备，甚至会拼凑数据或涂改实验数据和结果，这是很不可取的。实验中要学会分析实验，不论数据好坏，都要认真分析，查找原因。分析实验包括分析实验方法、仪器设备、人为因素、操作技能、测量次数和周围环境等因素对测量结果的影响。当自己的数据和教师或其他同学的不一致时，可能是自己错，也可能是仪器有问题，或者存在其他意外的原因，这时一定要认真检查自己的操作过程和实验记录，必要时可以重复多做几次，一定要找出问题，要有耐心，认真细致，严肃对待。

(6) 养成良好的实验习惯。实验室工作的基本素质和素养是在实验的过程中逐渐培养和锻炼形成的，所以一开始进入实验室就一定要注意养成良好的实验习惯。良好的实验习惯应包括：正确使用仪器、规范的实验操作、认真观察并记录实验现象、如实完成实验报告、遵守实验室规则、注意节约药品和实验安全等。学生只有掌握了基本的实验技能、认识并了解了仪器使用方法及其用途后，才能动手操作仪器，并顺利完成任务。记录数据要准确简明，有条有理，自始至终认真对待，如实记录观测数据、简单过程和出现的一切不正常的或自己认为有意义的现象，以便写实验报告时分析讨论，数据记录最好清楚明了，还要注明单位。

(7) 严格遵守实验室规则，注意安全。一旦进入实验室就一定要按照学生实验守则严格要求自己，以严肃的态度、严格的要求、严密的观测进行实验，保证实验顺利进行。如果实验室中有电、机械、化学、温度、压力、辐射等可能发生危险的仪器，一定要按照实验操作规程，不能疏忽大意，避免人身事故和损坏仪器事件的发生。

4. 认真对待实验报告 (Experimental reports)

实验报告是整个实验全面的书面总结, 是完成实验过程的一个必要环节, 通过实验报告可以客观公正地评价自己的实验结果, 使实验过程在头脑中更加清晰. 因此写实验报告应该实事求是, 严肃认真, 不能敷衍了事, 更不能伪造数据或抄袭他人的结果. 实验结束后按照要求及时写出实验报告, 这样做不但数据完整准确, 也便于对实验进行分析与讨论.

(1) 写实验报告要采用统一的实验报告纸, 字体要端正, 语句要简练, 用语要确切, 图表要按照统一要求绘制, 使整个实验报告清晰明了.

(2) 写实验报告一定要按照统一的格式书写, 应该包括实验名称、实验目的、实验仪器、实验原理、实验步骤、数据处理与结果讨论, 还要包括实验过程中涉及的计算公式、观测和记录的数据以及绘制的图表等内容.

(3) 实验报告最后一定要有结果分析与讨论. 这是培养学生从实验现象中观察和分析问题能力的重要方面, 可以分析讨论的内容很多, 比如:

① 弄清实验的原理和实验方法; 掌握仪器的性能; 实验目的的完成情况, 如果没有完成实验目的应分析原因.

② 实验误差的分析与讨论. 分析都有哪些误差来源, 哪些是主要的, 哪些是次要的, 系统误差表现在哪里, 如何减少或消除这些误差.

③ 改进实验的设想. 改进实验的测量方法甚至是对仪器设备自身的改进、改造. 实验教材中的实验步骤是否合理, 如果不合理, 提出修改意见. 对实验教师的业务素质、教学能力、教学方法、教学效果等是否满意, 如果不满意, 应向教师提出自己的希望和要求.

④ 实验过程中发现异常现象, 应正确地对待和处理, 包括: 实验过程中遇到了哪些困难, 通过哪些途径克服了困难等.

⑤ 实验自身涉及了哪些重要的物理现象和物理理论, 通过参阅哪些资料可弄清实验的来源、发展过程以及涉及的仪器设备.

⑥ 通过做实验使自己学过的哪些理论知识得到了进一步的理解和巩固, 实验自身的原理和方法对自己有哪些启示, 有没有具体的实用价值等.

(4) 写实验报告一定要养成严肃、科学、实事求是、一丝不苟的态度, 这是培养学生科研素质的重要方面, 也是锻炼学生语言表达能力的方法, 写实验报告就是写科技论文和技术报告的训练的必要环节.

总之, 在校理工科大学生要重视实验教学的地位和作用, 认真对待实验的每一个环节, 养成良好的实验习惯, 培养实验室工作的基本素质和素养以及扎实的实验能力和科学意识, 为以后的发展奠定坚实的基础.

5. 学好开拓实验途径的虚拟仿真近代物理实验 (Virtual simulation modern physics experiments)

虚拟仿真实验教学是学科专业与信息技术深度融合的产物, 是实验教学示范中心建设的内涵延伸. 虚拟仿真实验教学综合应用虚拟现实、多媒体、人机交互、数据库以及网络通信等技术, 通过构建逼真的实验操作环境和实验对象, 使学生在开放、自主、交互的虚拟环境中开展高效、安全且经济的实验.

近代物理仿真虚拟实验是通过数字设计虚拟仪器、虚拟实验环境，学生可以在此环境中自行设计开放性实验方案，拟定实验参数，操作实验仪器，模拟真实的实验过程。

为了近代实验教学改革，拓展实验领域，提供绿色、安全和经济的实验项目，教学体系层次化，教学方式多样化，我们把信息化技术引入近代物理实验教学，开展了虚拟仿真实验的建设和教学工作。按照虚实结合、相互补充、能实不虚的原则，使仿真虚拟实验与实物实验有机结合，提高了实验教学的质量。

在虚拟仿真实验中实现了仪器的模块化，学生可自己拟定实验方案，根据实验方案选取合适仪器自主完成实验，是实现大面积学生开设设计性、开放性实验的有力工具。

开展创新性研究的前提是实验环境的丰富资源及其灵活可变性。虚拟实验中仪器实现了模块化，丰富的设计性、研究性、开放性仿真实验教学资源，为学生开设设计性、研究性实验提供了良好的教学平台和教学环境。教师可以在此开展创新实验内容的研究，设计创新实验内容。学生也可以在这里开展除规定实验内容之外的个性化实验研究、创新开发研究。在这里没有时间限制、没有空间的限制、没有元器件的限制。

网络技术的发展使虚拟仿真实验教学突破了空间和时间的限制，近代物理虚拟实验的网络远程教学管理平台是将虚拟现实、多媒体、人机交互、数据库和网络通信等技术有机结合在一起，构建起了仿真的虚拟实验环境和实验对象的网络教学平台，实现了网上远程实验教学模式和教学管理以及资源共享，也实现了网上师生间、学生间的实时交互教学。

网络教学平台主要包括：

(1) 开放式虚拟仿真实验系统。学生通过模拟操作实验仪器，模拟真实的实验过程。

(2) 在线交互系统。学生发现问题可以随时提出，并得到老师在线解答。在线答疑交流系统便于师生之间的交流，激发学生学习的主动性，充分发挥学生的主观能动性，让学生主动参与到教学过程之中。

(3) 实验报告管理系统。学生上传或修改实验报告通过学生的实验报告管理系统实现，教师批改实验报告通过教师实验报告管理系统实现。

近代物理虚拟仿真实验在线的网络版，基于客户端软件的实验大厅，实现了高效快速进行仿真虚拟实验的操作。包括了：①虚拟仿真实验的在线操作部分；②在线演示功能；③操作向导部分。

6. 实验室安全知识 (Laboratory safety)

安全操作是到实验室来工作的全体人员必须充分重视的大问题。

1) 电器

除 220V 的供电外，许多实验设备（如各种放电管、激光管、X 射线衍射仪等）均使用从 400V 到 40kV 不等的高压电源。这些高压电源是能致命的，一定要注意实验中各种高压电器的标志。实验前在确认断电的情况下先检查地线，接好高压线后再连接供电线（有的仪器不必另外接高压线，应先接通低压电源再开高压开关），使用完后一定要将高压降下来再断电。作为一个常识，接高压线或高压开关，只能用一只手操作。

射频电磁波能够通过小电容器耦合。接触高频电压器件的任何部分都是危险的。因为人体起着接地电容的一个极板的作用。例如，高频火花发生器约 20MHz，你的身体对地电容的作用几乎像一根电线连到水管上一样，所以要严格遵守操作规则。

需要打开仪器外壳时，一定要先拔掉电源插头！

2) 防辐射

γ 射线和 X 射线都能伤害人体。实验中已采取了必要的防护措施。一次实验接触和吸收的剂量是很微量的，对身体并无危害。但即使这样，也应尽量避免直接接触放射性射线。

在调整 X 射线仪时，不要让 X 射线直接照射眼睛。不用的窗口要用铅板遮盖，并加防护罩。因为高压使空气电离产生臭氧和 N_2O ，实验室内要具有良好的通风条件。

激光能使人产生灼伤。小功率激光发射的激光也不能直接照射眼睛，因为人眼就像一个小透镜，它将光束聚焦在眼底，局部能量将增大许多倍，会造成伤害。

3) 机械

在转动机械装置旁工作，要将头发束好。过长的头发、过宽的裤腿和飘动的衣裙都不适宜在转动机械旁工作。

4) 低温

有的实验要接触液氮。直接接触液氮会使皮肤局部冻伤，但主要危险来自残存液蒸发使密闭容器爆炸，抛出玻璃碎片。所以要将容器充足液体。容器不用时，要让残存液体顺利地自然蒸发掉。

5) 仪器

仪器损坏的主要原因来自学生违反操作规程，其中又以接错电源占多数，所以学生在接线路时一定要谨慎，搞清楚输入、输出电压以后再连线。对不作预习、违反操作规程、严重损坏实验设备的学生要作处理，直至取消实验资格。所以同学们要认真做好实验前的准备工作，用科学的态度和踏实的作风，完成实验任务。