



简明大学物理 实验教程

◎ 黄立平 主编

 中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

简明大学物理实验教程

黄立平 主 编◎

鲜承伟 潘 雪 副主编◎

贵州师范学院内部使用

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

“大学物理实验”是高校理工科学生必修的一门重要基础课程，是进行科学实验方法和实验技能训练的重要基础，是训练学生独立思考、判断能力及创新能力，提高综合素质的开端，也是通向现代应用技术的跳板。

本书立足于服务新工科学科和专业建设，基于6年来应用型工科本科专业教学的实践，针对少学时的大学物理实验课程编写而成。全书共分九章，前三章为实验基础知识，后第四章至第八章为具体实验项目，第九章为总结。

本书可作为应用型高等院校的大学物理实验课程的教学用书，也可作为高校相关教学人员参考使用。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

简明大学物理实验教程 / 黄立平主编. —北京: 电子工业出版社, 2019.8

ISBN 978-7-121-36527-0

I. ①简… 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(2019)第092415号

责任编辑: 朱怀永

印 刷: 北京虎彩文化传播有限公司

装 订: 北京虎彩文化传播有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 16.25 字数: 416千字

版 次: 2019年8月第1版

印 次: 2019年10月第2次印刷

定 价: 49.80元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：(010) 88254608，zhy@phei.com.cn。

贵州师范学院内部使用



中国社会经济的飞速发展，推动着高等教育的迅猛变革。随着高等教育进入改革的深水区，中国大学遇到了前所未有的发展机遇。

在外部，新一轮科技革命和产业变革交叉融合，以新技术、新产业、新业态和新模式为特征的新经济呼唤着新工科，国家一系列重大战略深入实施呼唤新工科，产业转型升级和旧动能转换呼唤新工科，提升国际竞争力和国家硬实力呼唤新工科。在内部，研究性大学和示范高职院校经过扩张发展及内涵建设已经形成了一系列富有成效的教育理论和实践积累，一大批新建本科院校和地方高校以服务于地区社会经济发展为宗旨转向应用型大学。

新建应用型本科院校面临三种转型任务：“专科型”“学术型”向“本科型”转变；在“高职高专型”“综合性理科型”之外向“应用型”发展；“传统教育型”向“互联网+教育”发展。这三种叠加的转型发展现状迫切需要对原有专业课程体系进行改革与重组，重构专业课程体系。在新工科建设的讨论中，课程重构是新建地方本科高校转型发展着陆生根的重要途径已经成为共识，达到高等教育教学目标最终都聚焦于课程，因此新工科的大学物理实验室建设和大学物理课程改革应适应这种要求，以应用能力培养为核心重构实验课程内容和实验教学过程，使应用型工科教育思想和办学理念得以落实、落细、落小。

在近几年的教学改革中，编者所在的教学团队一直致力于应用型专业的大学物理实验教学，每一位老师既讲授大学物理理论课，也承担大学物理实验课的教学，尽可能在有限的学时内培养学生基本的实验素质，训练学生的实验技能，提高学生的动手能力和自我学习能力，实现理工科专业人才培养的目标，输送契合行业发展的工程技术人才。

实验教学需要理论和实践的长期积淀。本书主编从事大学物理教学实践 30 多年，近十年在承担电子信息类专业课程教学任务的同时，负责并参与多个应用型本科学科专业的建设工作。

大学物理实验课程面向理工科各专业，在课程总学时日益缩减的大背景下，我们解构原有的学科知识体系，按照行动体系重构了应用型实验课程。本书没有按照传统的力学、热学、电磁学、光学及近代物理的科目来分章节，也没有以基础性实验、设计性实验、综合性实验来划分模块，而是关注实验教学的整个工作过程，将多个实验项目用共同特征的脉络构成相对完整的单元，倾力打造实验内容和教学过程。全书共分九章，前三章为基础知识与理论，后第四章至第八章为核心实验项目，第九章为总结。其中数据分析与不确定度评定基础知识整套采用清华大学朱鹤年教授的理论，感谢朱教授不辞辛苦多年开班讲习“新概念物理实验测量”，奉献出科学严谨的理论和方便实用的方法。

本书在编写过程中，得到了原教育部实验教学指导委员会副主任、中国科学技术大学霍剑青教授和原华中科技大学李元杰教授的指导和帮助，同时也借鉴了重庆科技学院大学

物理实验教学中心和南方科技大学物理实验教学中心的经验，更得到了成都工业学院电子工程学院院长李可为先生的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

实验教学是一项集体事业，编者有幸带领一支高素质的团队，本书凝聚了团队的智慧和劳动，同时本书也吸引了六年来应用型本科教学实践的经验，并经过多次修订而形成。本书编写及相关分工如下：鲜承伟老师编撰了实验 1、2 的初稿及校对了实验 11、12，潘雪博士编撰了实验 3、4 的初稿及校对了实验 9、10，周波博士编撰了实验 5 的初稿及校对了实验 1、6，赖祥军博士编撰了实验 6 的初稿及校对了实验 2、7，曹玲玲博士编撰了实验 7 的初稿及校对了实验 3、8，孙大明博士编撰了实验 8 的初稿及校对了实验 4、5，王治钜博士编撰了实验 9 初稿及完成了实验图片的制作。其余部分由黄立平编写并执笔统稿，鲜承伟和潘雪两位老师再审校对。

应用型本科大学物理实验教学改革刚刚起步，新工科的教育教学理论和实践尚在探索中，限于编者水平，书中肯定有不少观点有待商榷、有待检验，不妥之处，恳请读者和同行批评指正，以便改进和提高。

黄立平
2019 年 5 月



CONTENTS
目 录

第一章 应用型大学物理实验课程的建设	001
第一节 物理学与人类文明的关系	001
第二节 大学物理实验课程的任务和要求	006
第三节 新工科大学物理实验课程的建设	011
第四节 大学物理实验课程的教学模式与流程	022
第五节 科学素养需从人格和思维层面培养	036
第二章 大学物理实验教学平台概述	041
第一节 大学物理教学平台简介	041
第二节 大学物理虚拟仿真实验	046
第三节 实验预习自动评判系统	050
第三章 测量的不确定度与数据处理	062
第一节 测量与误差	062
第二节 直接测量随机误差的估算	069
第三节 仪器误差	072
第四节 有效数字	075
第五节 直接测量结果的不确定度评定	078
第六节 间接测量结果的不确定度合成	082
第七节 数据处理的常用方法	085
第八节 Excel 在大学物理实验中的应用	091
第四章 动力学综合设计性实验	093
第一节 实验 1 磁悬浮动力学实验	093
第二节 实验 2 碰撞设计性实验	106
第三节 DHSY 型磁悬浮动力学实验仪	110
第四节 实验 3 单摆基础性实验	114
第五节 实验 4 单摆设计性实验	118
第六节 实验 5 单摆研究性实验	124

第五章 振动与波动实验	143
第一节 实验 6 示波器的基本使用.....	143
第二节 实验 7 弦振动基础性实验.....	147
第三节 实验 8 弦振动综合性实验.....	152
第四节 实验 9 声速的测量实验.....	158
第六章 测量电阻实验	161
第一节 实验 10 伏安法测量电阻实验.....	161
第二节 实验 11 惠斯通电桥测量电阻.....	167
第三节 实验 12 双臂电桥测量低值电阻.....	175
第四节 实验 13 用伏安法测量低值电阻设计性实验.....	188
第七章 温度传感器综合与设计性实验	189
第一节 温度传感器及 DH-SJ5 实验装置.....	189
第二节 实验 14 冷却法测量金属的比热容.....	198
第三节 实验 15 温度传感器设计性实验.....	207
第八章 光学基础与综合性实验	215
第一节 光学基本仪器及常用光源.....	216
第二节 实验 16 分光计的调整与使用.....	222
第三节 实验 17 光学衍射实验.....	231
第四节 实验 18 偏振光的观察与研究.....	234
第五节 实验 19 透镜焦距测量的设计性实验.....	237
第六节 实验 20 用牛顿环装置测量平凸镜的曲率半径.....	240
第九章 怎么做, 怎么做得更好	245
参考文献	253

应用型大学物理实验课程的建设

第一节 物理学与人类文明的关系

物理学是研究物质、能量和物质间的相互作用的学科，是关于自然界最基本形态的学科。它研究宇宙间物质存在的各种基本形式、内部结构以及相互作用，研究它们的性质、运动和转换，从而认识这些结构的组元及其整体的运动和转换的基本规律。

一、物理学与科学技术之间的关系

物理规律具有最大的普适性，物理学是自然科学中的基础学科。

1999年3月召开的第23届国际纯粹与应用物理联合会(IUPAP)代表大会通过的决议指出：

物理学是一项国际事业，它对人类未来的进步起着关键的作用。对物理学教育的支持和研究，对所有国家来说都是重要的，理由如下。

(1) 学习和研究物理学是一项激动人心的智力探险活动，它鼓舞着年轻人，并扩展着我们关于大自然知识的疆界。

(2) 物理学发展着未来进步所需的基本知识，而技术进步将持续驱动着世界经济发动机的运转。

(3) 物理学为科学进步和技术的发明应用提供了训练有素的人才。

(4) 物理学在培养化学家、工程师、计算机科学家及其他物理科学和生物医学科学工作者的教育中，是一个重要的组成部分。

(5) 物理学扩展和提高我们对其他学科的理解，诸如空间科学、信息科学、地球科学、农业科学、化学、生物学、环境科学及天文学和宇宙学等，这些学科对世界上所有民族都是至关重要的。

(6) 物理学提供了应用于医学的新设备和新技术所需的基本知识，如计算机层析术(CT)、磁共振成像、正电子发射层析术、超声波成像和激光手术等，改善了人们生活的质量。

物理学是技术发展的主要源泉，三次产业革命(蒸汽机、电气化、信息化)均来自物理学或与物理学紧密相关。

第一次产业革命以1774年蒸汽机的发明为标志，主要由纺织机改革引起的动力需求产

生了近代的**纺织业和机械制造业**，使得人类进入到利用机器延伸和发展人类体力劳动的时代。其科学技术的**理论基础**是伽利略自由落体定律、开普勒行星运动三大定律和牛顿在《自然哲学和数学原理》中建立的完整力学体系。

第二次产业革命是以 1875 年发电机应用为工业标志的**电气化**，实现了生产方式的电气化。其**理论基础**是 1820 年的电磁现象（电动机原理），1831 年的电磁感应定律（发电机原理）和 1840 年的电磁波理论。

第三次产业革命是以 1946 年发明的计算机为标志的新信息技术革命，其核心是以微电子技术为基础的**电子信息技术**，实现了生产方式的自动化，并向信息化、智能化方向发展，包括新材料、新能源、生物工程、海洋工程、航空航天技术和电子信息技术等。其**理论基础**是量子力学和相对论。

二、物理学认识框架对自然科学世界图景的影响

物理学不仅是整个自然科学和现代工业技术的基础，也是人类认识真实世界的起点和描述自然界的方法，不同时期的人们生活在当时物理学认识框架形成的自然科学世界图景里，采用当时的物理学工作语言、概念和物理图像来描绘世界并用于工作和生活，特别是近代，物理学所带来的应用技术已经前所未有地改变着人类的生活方式。

1. 物理学三种认识框架的变迁

物理学的认识框架主要是指空间、时间以及把空间、时间与万物运动联系在一起的数学关系。所有的框架都是在一定的历史范畴下出现的，它所承载的也是在当时历史条件下人类所认识的主要事物。亚里士多德、牛顿、爱因斯坦都在自己所属的时代建立了各自的框架，把当时人们关心的大部分问题放入了他们的框架。

亚里士多德把空间描绘得像一座堂皇的古建筑，在那里可以容纳各种不同类型的物，并按照当时人们所能理解的方式描述了这些物的运动。在亚里士多德框架中对可见事物的那些具体安排，随着时代的进步都被改变了。但是到现在，科学家们仍采用亚里士多德提出的三段式逻辑规则，即公理—逻辑演绎—逻辑结果。

随着人类认识的扩展，框架内的格子被装得越来越满，渐渐的，人们发现很多新的东西装在这个框架里实在不合适，于是有人试图寻找新的框架来包容新的事物。要推翻一个旧的物理世界框架，真正困难的是建立一个可以代替它的框架，因为这涉及的面实在太广，要改变认识理念非同寻常。第二个物理学框架经过伽利略等人的努力，最后由牛顿在 17 世纪完成。牛顿的物理世界的框架简洁又精确，时间、空间、物（用质量表示）这三个量，用万有引力、运动定律和一套微积分运算，竟然把从亚里士多德时代起一直说不清楚的宇宙图景用一些公式精确地计算了出来。

近代物理学的认识框架是相对论时空框架，爱因斯坦把时间和空间简单地用光速 C 联系在一起，推翻了 17 世纪以来把经典力学当作全部物理学甚至是全部自然科学最终基础的那种僵化观念。

经历了这样三个阶段的发展，近代科学经历实验化、数学化后，基本上具备了预测的能力。现代科学以一种实验的方式，通过对世界进行数学还原的处理，实现了对个体和自然事物的控制和掌握。

2. 自然科学世界图景与人类文明

物理世界的三大时空框架与数学上的三个大的发展阶段相关联，并和人类文明的三个历史时期相对应。可以说，不同的认识框架产生了不同的描述逻辑语言和计算方式，而这些语言和数学又进一步丰富自身并影响着不同阶段的人类文明。

在不同时期，亚里士多德、托勒密、欧几里得和哥白尼都用同样的初等数学语言来讨论宇宙的构造。在那个时空框架里，物的结构都是在空间上建立起来的，时间在数学上还是不连续的数列，万物的图画都是静止的，或者是不连续的，这样的自然科学图景称为静态的或准静态的，由此导致的人类文明也有相似的特征。那个时期人类的社会形态也限制了人们对自然认识图景的更新。

用力和速度构成世界图景的最基本要素，以变量和函数来表达概念及规律，使牛顿的世界图景动了起来。牛顿定律把以前认为截然不同的地面运动规律和天体运动规律概括在一个严密的理论里，使人类第一次意识到天体运动是有规律可循的，自然是认识的。这是人类从神学思想中解脱出来，树立科学世界观的开端，其历史意义巨大。牛顿图景采用经典数学逻辑进行分析推理，其最大进步是对时间的处理，时间不再是一个个不连续点，而成了实数轴上连续变化的变量。正是这种时空框架和数理逻辑体系，使得人类开始拥有了预测的能力和改变自然的技术力量。由此人们的生存方式因技术而改变，人类的文明也随着理念的改变而变化。

牛顿图景是工业社会的象征，其机械自然观中理性的思维方法，至今仍在广阔领域内发挥着巨大作用。牛顿时代的科学家们认为任何物理量都是时间的连续函数，这种函数关系就像瞬时速度那样简单，但他们把宇宙万物僵化成像箭一样占有固定不变的空间大小和形状的“物质”，是对物的僵化，这是导致牛顿物理世界和工业文明僵化的根源。经典物理曾经的辉煌成就，使得牛顿的物理学框架持续不断地影响着人们，直到现在许多人头脑里对自然的认识仍是这个僵化的视窗，甚至大部分人意识不到由这个僵化科学产生的哲学理念对现代人类文明的负面影响。现代地球环境的恶化、落实可持续发展观所面临的困局也许正是这种僵化延伸的后果。

3. 构建自治和谐的知识体系是现代人自我强大的根基

作为现代的大学生，应充分认识现代物理基础理论对从事技术和管理工作的意义，应确信严格的物理逻辑推理和实验技能的训练是成为工程师不可缺少的，应清晰理解现代科学的认识图景是构建自治和谐知识体系和世界观的基石，拥有知行合一的底蕴为自我生命的提升提供了扎实的基础，也是面对未来挑战的能力。

造成所谓知识无用、高分低能的因素之一是由于所学知识没有形成一个有机的“大厦”。虽然头脑里装了很多的东西，但却好似倒塌后的砖瓦碎片堆积在那里，这些杂乱无章的知识，既没有一个大的框架支撑它们，也没有气血供养形成活生生的整体，产生不了新的事物，又何来创新？就像四大发明，在历史的背景下被缩成了个案，戈壁滩上孤零零地耸立着四个石碑——造纸术、印刷术、指南针、火药，周围没有茂密森林形成相互联系的学科体系，其下没有支撑它们成长的绿草茵茵的丰厚底蕴。

知识要变得有创造力，就需要建构认知的框架，牢固扎根在普适性很广、很强的公理体系之上，再将框架作为骨骼，把那些知识化为机体中的细胞，以逻辑推理和数理演算连

接它们，构建成脉络清晰、输运顺畅的“大厦”。然后，“大厦”中被选择的知识又能够在实践情境中恰当地按照事物运转的序列植入工作过程中，用过程性知识将那些陈述性知识链接起来，生成和集成“为完成一件工作任务并获得工作成果而进行的一个完整的工作程序”，实现完整的思维过程的训练。就像计算机那样，需要哪个资料按照其编号就能够快速准确地找到，各个部分相互协作，能够生长出新的细胞，能够发现新的知识，也能够产生新的技术。

但是如前面所述，目前大部分人还无法建构一个合理的、现代的自然科学世界图景代替经典的认识框架，观念中仍摆脱不开牛顿的认识框架。自然科学各种旧的、新的理念充斥在人们的脑海中，大多数人面前的自然科学世界图景是不完整、不自洽的。这种不和谐、不完整的体现在现代人类的文化中，紧张、变动、浮躁是两种自然科学世界图景之间过渡中的景象。

三、科学、技术和工程的相互关系

1. 科学、技术、工程

科学的核心是科学发现，技术的核心是技术发明，工程的核心是工程建设。

(1) 科学重在发现，奠定创新基础

科学是关于自然界、人类社会和人自身的规律的事实、原理、方法和观念的知识体系以及创建这个知识体系的社会活动。科学的任务是发现规律，提出理论，认识世界，解释世界。唯有系统全面地认识世界，才能应用知识去寻找方法、发明产品。因此，科学在创新过程中处于基础性地位。

(2) 技术重在发明，推动产业革新

技术是根据生产实践或科学原理而发展成的各种工艺操作方法和技能，以及相应的材料、设备、工艺流程等。技术的任务是发展或开发出新的方法、手段、措施或途径。

技术是一种变革世界的的能力。古代技术主要来自生产实践，现代技术则更多的是根据一定的科学原理，为达到一定的应用目的，所发展和开发出来的方法和手段。技术，包括材料技术、产品技术、设计技术、工艺技术、生产工序技术以及手工技术等。技术体现为三种形态：物质形态（如工具、设备等），知识形态（如图纸、资料、图书等，也可以说是信息形态），人才形态（科学家、工程师、技术员、技术工人等技术人才）。显然，人才是技术的核心，有了人才就可以创造出物质形态和知识形态的技术。

(3) 工程重在建造，改变世界面貌

英国机械工程师学会理事长 Andrew Ives 在 2006 国际机械工程教育大会上明确提出：“工程是为了一种明确的目的，对具有技术内容的事物进行构思、设计、制作、建立、运作、维持、循环或引退的过程及其过程所需的知识”。

美国工程教育协会(ASEE) 将工程定义为一种运用科学和数学原理、经验、判断和常识来造福人类的艺术，一种通过生产技术产品或系统以满足具体需要的过程。

工程研究的目的是任务不是获得新知识，而是获得新的人工物，是要将人们头脑中的观念形态的东西转化为现实，并以物的形式呈现出来，其核心在于观念的物化。在工程实践中，工程活动在主体头脑中的关于新的人工物的图景是清晰、明确的，它通过计划、设计以图纸和模型的形式预先显现在人们的观念中。

虽然技术开发具有明确的目的，但所开发的技术在未来的应用却不是唯一的。一项通用技术开发出来以后，除了一开始具有相对确定的应用领域之外，还可以迅速转移到其他应用领域中去，如原子能技术的开发直接目的是制造原子弹，但后来主要被应用于核能发电。

2. 科学、技术、工程的相互关系

科学、技术、工程是三个不同的对象，有本质的区别，然而科学、技术、工程三者之间又有着紧密的联系，见下表 1-1。

表 1-1 科学、技术、工程的相互关系一览表

比较的依据		科学	技术	工程
相互区别	研究的目的是任务	认识世界，揭示自然界的客观规律，解决自然界“是什么”“为什么”的问题	改造世界，实现对自然物和自然力的利用；解决自然界“做什么”“怎么做”的问题	改造世界，将头脑中的观念形态的东西转化为现实，以物的形态呈现出来
	研究的过程和方法	追求精确的数据和完备的理论，从认识的经验水平上升到理论水平；主要运用实验、归纳、演绎、假说等方法	追求比较确定的应用目标。利用科学理论解决实际问题，认识由理论向实践转化；多用预测、设计、试验、修正等方法	工程目标的选择、工程方案的设计和工程项目的实施等，其实现过程为综合集成
	成果性质和评价标准	知识形态的理论或知识体系，具有公共性或共享性；评价是非正误，以真理为准绳	科学知识和生产经验的物化形态，发明、专利、诀窍、图纸、样品或样机，具有商品性；评价利弊得失，以功利为尺度	遵循“目标—计划—实施—监控—反馈—修正”路线评价成败，工程达不到预期目标就意味着失败
	研究取向和价值观念	好奇取向，与社会现实联系相对较弱；价值中立	任务取向，与社会现实关系密切；处处渗透，时时体现价值	用好与坏、善与恶评价，在各方利益间权衡
	研究规范	普遍性、公有性、无私性、创造性和有条理的怀疑主义	以获取经济和物质利益为目的；保密和专利	团结、协作，团队精神
相互联系	学科体系	基础科学—技术科学—工程技术		
	研究过程	基础研究→应用研究→开发研究		
	一体化	科学—技术—生产		
	生产力	潜在的、知识形态的生产力→现实的、直接的、物质的生产力		
	认识过程	从实践到理论，第一次飞跃→从理论回到实践中去，第二次飞跃		
	重要关系	三者都是人与自然关系的中介，在历史进程中融合发展，并与社会相互作用		
其他	科学技术化，技术科学化，技术工程化，工程技术化；三者的整体化、社会化、国际化			

四、技术与技能

在中文的语境中技术一词，一是指“人类在利用自然和改造自然的过程中积累起来并在生产劳动中体现出来的经验和知识，也泛指其他操作方面的技巧”，二是指“技术装备”。而关于技能，则常被称为“掌握和运用专门技术的能力”，也被称为技艺、才能。

所以，技术包括两个组分：一是基于人的技术，可称为具身的技术，表现为技能；二是基于物的技术，可称为去身的技术。即技能是与人有关的技术，是技术的一部分。

技能层次的研究显示，技能自身也具有层次递进的关系，涵盖新手、高级初学者、胜任、精通、专长、大师、实践智慧七个阶段。

技能中有大量无意识的或尚未经过反思的个人经验，既难以通过语言、文字和符号等进行逻辑说明，也难以通过正规形式在社会中传递，在实践活动中，往往以所谓的“默会知识”方式存在，技师“所知道的”远比他们能说的要多。而且相对于这种默会知识，精确知识的发现离不开默会知识，思维以及科学本身是由远远超越动物智力范围的默会知识指导的。默会知识实际上支配了人类的全部认识活动，是人类获得显性知识的向导。

在大学教育中显性知识得到了成功地传授，而行为和观察以及科学研究中的技艺还处于无法编码和不可言述的阶段，这种默会知识的习得是按照不可言传的实践方式进行的。

深刻理解技术和技能之间随动、伴生、互动的关系，充分认识技术与技能的本质，进而明晰实验学习的特点，更好地体会大学物理实验课程的教学模式和实验教学过程的系统化方式以及本教程的运用方法，自觉培养工程技术人员应具备的创新能力和跨界整合能力。

五、物理实验在物理学发展中的重要作用

物理学的发展是人类进步的推动力之一，物理学的研究内容极其广泛，涉及的时间从宇宙的诞生到无尽的未来，涵盖人们认识范围的尺度，小到 10^{-19}m ，大到 100 亿光年或 10^{26}m ，相差 10^{45} 数量级。实验物理和理论物理是构成物理学研究的两大支柱，实验物理在推动物理学发展过程中有着明显的重要作用，两者密切相关、相辅相成、互相促进，形象地说恰如鸟之双翼、人之双足，不可或缺。物理学正是靠着实验物理和理论物理两大分支的相互配合、相互激励、相互促进，相辅相成地探索前进。

物理学是自然科学的基础，实验物理则是物理学的基础。当实验上有新的发展或者实验方法有改进、测量精度有提高的时候，每个物理理论都要重新接受验证、检验或修正，使得物理学所探索的各种现象的领域不断地精确和扩大。

(1) 诺贝尔物理学奖从 1901 年第一次授奖至今已有百余年的历史，获奖者中因实验物理学方面的伟大发现或发明而获奖的占三分之二以上，由此可见实验物理在物理学发展中的重要地位。

(2) 物理规律的建立过程体现出了实验物理的重要性。1924 年法国人德布罗意提出实物粒子具有波动性的伟大假设，这个大胆而美妙的假说就像一道光照亮了最难解开的物理学之谜。但是要被人们接受，还得通过实验的结果来验证。1927 年美国科学家戴维孙和革末通过电子在晶体上的衍射实验证明了德布罗意波，从而打开了量子物理的大门。

历史事实雄辩地说明了实验结果在物理学概念的提出、理论规律的确立及被公认的过程中所占据的重要地位和所起的关键作用。

可以毫不夸张地说，没有实验物理就没有物理学的发展。正是由于实验手段的不断进步、仪器精度的不断提高、实验设计思想的巧妙创新等，才使得人类在认识自然界的历程中不断探索、发现，进而攀登上更高的高峰。

第二节 大学物理实验课程的任务和要求

第四次工业革命的主要特征是技术的融合，消除物理世界、数字世界和生物世界之间的界限，而物理技术、数字技术和生物技术是此次工业革命的三大支撑技术。物理学不仅是工程技术的基础，也是在培养创新人才、现代工程师过程中不可被其他学科所替代的一门学科。作为一名工程应用型技术人员，其物理基础的厚薄影响到他在工作中的适应性、创造性和后劲。

大学物理实验课是高等学校理工科类专业对学生进行科学实验基本训练的必修基础课程，是本科生接受系统实验方法和实验技能训练的开端。

教育部物理基础课程教学指导分委员会在 2010 年颁布了《理工科类大学物理课程教学基本要求》和《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(以下简称《基本要求》)，确定了我国高等学校理工科类专业中“大学物理”和“大学物理实验”课程的地位、作用和任务。

《基本要求》中指出,大学物理实验课覆盖面广,具有丰富的实验思想、方法、手段,同时能提供综合性很强的基本实验技能训练,是培养学生科学实验能力、提高科学素质的重要平台。它在培养学生严谨的治学态度、活跃的创新意识、理论联系实际和适应科技发展的综合能力等方面具有其他实践类课程不可替代的作用。

一、大学物理实验课程的任务和要求

1. 大学物理实验课程的具体任务

(1) 培养学生的基本科学实验技能,提高学生的科学实验基本素质,使学生初步掌握实验科学思想和方法。训练和培养学生的科学思维和创新意识,使学生掌握实验研究的基本方法,提高学生的分析能力和创新能力。

(2) 提高学生的科学素养,培养学生理论联系实际和实事求是的科学作风,认真严谨的科学态度,积极主动的探索精神,遵守纪律、团结协作、爱护公共财产的优良品德。

2. 教学内容的基本要求

大学物理实验应包括普通物理实验(力学、热学、电磁学、光学实验)和近代物理实验,具体的教学内容和基本要求如下:

(1) 掌握测量误差的基本知识,具有正确处理实验数据的基本能力。

掌握测量误差与不确定度的基本概念,能逐步学会用不确定度对直接测量和间接测量的结果进行评估。

掌握处理实验数据的一些常用方法,包括列表法、作图法和最小二乘法等。随着计算机及其应用技术的普及,应包括用计算机通用软件处理实验数据的基本方法。

(2) 掌握基本物理量的测量方法。

例如,长度、质量、时间、热量、温度、湿度、压强、压力、电流、电压、电阻、磁感应强度、发光强度、折射率、电子电荷、普朗克常量、里德堡常量等常用物理量及物性参数的测量,注意加强数字化测量技术和计算技术在物理实验教学中的应用。

(3) 了解常用的物理实验方法,并逐步学会使用。

例如,比较法、转换法、放大法、模拟法、补偿法、平衡法和干涉法、衍射法等方法,以及在近代科学研究和工程技术中广泛应用的其他方法。

(4) 掌握实验室常用仪器的性能,并能够正确使用。

例如,长度测量仪器、计时仪器、测温仪器、变阻器、电表、交/直流电桥、通用示波器、低频信号发生器、分光仪、光谱仪、常用电源和光源等常用仪器。

(5) 掌握常用的实验操作技术。

例如,零位调整、水平/铅直调整、光路的共轴调整、消视差调整、逐次逼近调整、根据给定的电路图正确接线、简单的电路故障检查与排除,以及在近代科学研究与工程技术中广泛应用的仪器的正确调节。

(6) 适当介绍物理实验史料和物理实验在现代科学技术中的应用知识。

3. 能力培养的基本要求

(1) 独立实验的能力——能够通过阅读实验教材、查询有关资料和思考问题,掌握实验原理及方法,做好实验前的准备;正确使用仪器及辅助设备,独立完成实验内容,撰写合格的实验报告;培养独立实验的能力,逐步形成自主实验的基本能力。

(2) 分析与研究的能力——能够融合实验原理、设计思想、实验方法及相关的理论知识对实验结果进行分析、判断、归纳与综合。掌握通过实验进行物理现象和物理规律研究的基本方法，具有初步的分析与研究的能力。

(3) 理论联系实际的能力——能够在实验中发现、分析问题并学习解决问题的科学方法，逐步提高综合运用所学知识和技能解决实际问题的能力。

(4) 创新能力——能够完成符合规范要求的设计性、综合性内容的实验，进行初步的具有研究性或创意性内容的实验，激发学生学习主动性，逐步培养创新能力。

4. 分层次教学的基本要求

上述教学要求，可通过开设一定数量的基础性实验、综合性实验、设计性或研究性实验来实现。这三类实验教学层次的学时比例大致分别为 60%、30%、10%。

(1) 基础性实验：主要学习基本物理量的测量、基本实验仪器的使用、基本实验技能和基本测量方法、测量的不确定度及数据处理的理论与方法等，可涉及力学、热学、电磁学、光学、近代物理等各个领域的内容。

(2) 综合性实验：指在同一个实验中涉及力学、热学、电磁学、光学、近代物理等多个知识领域，综合应用多种方法和技术的实验。此类实验的目的是巩固学生在基础性实验阶段的学习成果，开阔学生的眼界和思路，提高学生对实验方法和实验技术的综合运用能力。

(3) 设计性和研究性实验：根据给定的实验题目、要求和实验条件，由学生自己设计方案并基本独立完成全过程的实验。研究性实验：组织若干个围绕基础物理实验的课题，由学生以个体或团队的形式，以科研方式进行的实验。

二、大学物理实验的基本测量方法

物理实验由三个基本部分构成，即在实验室里人为再现自然界的物理现象、寻找物理规律和对物理量进行测量。因此，物理实验与物理测量有着紧密的联系，在任何物理实验中几乎都含有测量物理量的内容。测量的最终目的是获得物理量的精确值，物理实验的最终目标是探索物理规律，测量不能替代物理实验，而物理实验中必须有测量。

在物理实验中，把具有共性的测量方法叫作物理实验中的测量方法。

一切描述物质状态和运动的物理量都可以从几个最基本的物理量中导出，而这些基本物理量的定量描述只有通过测量才能得到。将待测的物理量直接或间接地与作为基准的同类物理量进行比较，得到比值的过程叫作测量。

物理实验方法与物理实验中的测量方法之间是有联系和区别的。所谓物理实验方法，是指依据一定的物理现象、物理规律和物理原理，设置特定的实验条件，观察相关物理现象和物理量的变化，研究物理量之间关系的手段。而测量方法是指对物理实验中的某个物理量的具体测定方法，即如何根据要求，在给定的实验条件下，尽可能地减小测量误差，使获得的测量值更为精确的方法。可以看出物理实验方法是一个较大范畴中的概念，而物理实验的测量方法则是上述这一大范畴下二级范畴中的概念。任何物理实验都离不开物理量的定量测量，所以实验方法和测量方法两者之间相辅相成、相互依存。

测量的精确度与测量方法和手段密切相关。同一种物理量，在量值的不同范围采用的测量方法不同，比如高值电阻、中值电阻、低值电阻的阻值测量就需要不同的仪器并采用不同的测量方法获得。即使在同一范围内，精确度的要求不同也可以有多种测量方法，选

用何种方法取决于待测物理量在哪个范围以及实验对测量精确度的要求。

随着人类对物质世界更深入地了解, 待测物理量的内容越来越广泛、精度要求越来越高, 随着科学技术的发展, 测量方法和手段也越来越丰富、越来越先进。

1. 比较法

比较法就是将被测物理量与标准量进行比较而得到测量值的方法。它是物理测量中最普遍、最基本、最常用的测量方法。

(1) 直接比较测量法: 把待测物理量 X 与已知的同类物理量或标准量 S 直接比较, 直接读数得到测量数据。这种比较通常要借助仪器或标准量具, 例如用米尺测量长度。

(2) 间接比较测量法: 当一些物理量难以用直接比较法测量时, 可以利用物理量之间的函数关系将待测物理量与同类标准量进行间接比较而测量出。比如温度计、电表等, 借助一些中间量或将被测物理量进行某种变换, 来间接实现比较测量。例如, 用李萨如图形测量交流电信号频率就是先将被测信号和标准信号同时输入示波器并转换为特殊的图形后, 再由标准信号的频率换算出被测信号的频率。

2. 放大法

在测量中有时由于被测物理量太小, 用给定的某种仪器进行测量会造成很大的误差, 甚至无法被实验者或仪器直接感知和反映, 此时可以借助一些方法将待测量放大后再进行测量。放大被测量物理量所用的原理和方法便称为放大法。

(1) 累积放大法: 在被测物理量能够简单重叠的条件下, 将它展延若干倍后再进行测量的方法。比如, 在转动惯量的测量中, 用微秒计测量三线摆的周期时, 不是测一次扭转周期的时间, 而是测出连续 50 次扭转的摆动时间; 单摆测量重力加速度的摆动时间也如此。

(2) 机械放大法: 利用机械部件之间的几何关系, 使标准单位量在测量过程中得到放大的方法。分光计上的角游标以及螺旋测微计都是用这种方法进行精密测量的典型例子。

(3) 电学信号放大法: 在电磁类实验中, 微小的电流或电压常需要用电子仪器将被测信号加以放大后再测量。由于电信号的放大很容易实现, 因而这种方法应用相当广泛。

(4) 光学放大法: 一是被测物通过光学仪器形成放大的像, 便于观察判断。例如, 常用的测微目镜、读数显微镜等, 这些仪器在观察中只起放大视角作用, 并非把实际物体尺度加以变化, 所以并不增加误差。因而许多仪器都在最后的读数装置上加一个视角放大设备以提高该仪器的测量精度。二是通过测量放大后的物理量, 间接测得本身极小的物理量。光杠杆就是一种常见的光学放大系统, 它可测量长度的微小变化。

3. 平衡法

平衡态是物理学中的一个重要概念。在平衡态下, 许多复杂的物理现象可以用较简单的形式加以描述, 一些复杂的物理关系亦可以变得十分简明, 实验会保持原始条件, 观察会有较高的分辨率和灵敏度, 从而容易实现定性和定量的物理分析。

所谓平衡态, 其本质就是各物理量之间的差异逐步减小到零的状态。判断测量系统是否已达到平衡态, 可以通过“零示法”测量来实现, 即在测量中, 不是研究被测物理量本身, 而是让它与一个已知物理量或相对参考量进行比较, 通过检测并使这个差值为“0”, 再用已知量或相对参考量描述待测物理量。利用平衡态测量被测物理量的方法就称为平衡

法。例如，利用惠斯通电桥测量电阻就是平衡法的典型例子。

4. 补偿法

补偿法也是物理实验中常用的测量方法之一。所谓补偿指的是某一系统若受某种作用产生 A 效应，受另一种同类作用产生 B 效应，如果由于 B 效应的存在而使 A 效应显示不出来，就叫作 B 效应对 A 效应进行补偿。利用补偿的概念来进行测量的方法叫作补偿法。补偿法往往要与平衡法、比较法结合使用，大多用在补偿法测量和补偿法校正这两个方面。

把标准值 S 选择或调节到与待测物理量 X 值相等，用于抵消（或补偿）待测物理量的作用，使系统处于补偿状态，此时的测量系统，待测物理量 X 与标准值 S 具有确定的关系，这种测量方法称为补偿法。

5. 转换法

许多物理量，由于属性关系无法用仪器直接测量，或者即使能够进行测量，测量起来也很不方便且准确性差，为此常将这些物理量转换成其他能方便、准确测量的物理量来进行测量，之后再反求待测量，这种测量方法叫作转换法。

(1) 参量转换测量法：利用各种参量间的变换及其变化的相互关系，把不可测的量转换成可测的量。

在设计和安排实验时，当预先估计不能达到要求时，常常另辟蹊径，把一些不可测量的物理量转换成可测量的物理量。有时某些物理量虽然可以测定，但很难精确测量，或所需要的条件苛刻或所需要的测量仪器复杂、昂贵等，如果换个途径，事情就变得简单多了，于是我们可以在一定范围内找到那些易于测量的量，绕开不易测量的量，实行变量代换。比如，利用阿基米德原理测量不规则物体的体积或密度。

(2) 能量转换测量法：利用换能器（如传感器）将一种形式的能量转换为另一种形式的能量来进行测量的方法，一般来说是将非电学物理量转换成电学量。

6. 模拟法

模拟法是以相似性原理为基础，从模型实验开始发展起来的，研究物质或事物物理属性或变化规律的实验方法。

在模拟法描绘静电场实验中，就是用稳恒电流场的等势线来模拟静电场的等势线，这是因为电磁场理论指出，静电场和稳恒电流场具有相同的数学方程式。而我们知道，直接对静电场进行测量是十分困难的，因为任何测量仪器的引入都将明显地改变静电场的原有状态。

7. 干涉法

应用相干波干涉时所遵循的物理规律，进行有关物理量测量的方法称为干涉法。利用干涉法可进行物体的长度、薄膜的厚度、微小的位移与角度、光波波长、透镜的曲率半径、气体或液体的折射率等物理量的精确测量，并可检验某些光学元件的质量等。

三、大学物理实验在创新型人才培养中的作用

从科学发展的进程看，人的科学素质有三个主要方面：求知欲望；科学思维和创造能力；严谨的科学作风和坚忍不拔的精神。

人类自从有思想以来，就想认识客观世界，这就是人的求知欲望。科学的形成和发展