

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

大学物理教程

上册

夏兆阳 主编

高等教育出版社

策划编辑	刘 伟
责任编辑	王文颖
封面设计	于文燕
责任绘图	吴文信
版式设计	马静如
责任校对	胡晓琪
责任印制	

内容简介

本书是全国教育科学“十五”国家规划课题“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”的子课题“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究成果,是针对应用型人才培养中基础课程教学的特点与要求编写的。

全书突出对学生的科学素质教育,突出时代性、应用性和普适性。在保留我国物理教材传统体系的基础上,加入20世纪新发展的物理学知识。全书语言表述准确、简洁明了,重点放在物理概念、基本规律、科学图像、认知过程、基本解析能力上。书中对习题的选择突出实践应用性,强调锻炼学生科学思维性。对于数学运算复杂及偏难的题目尽量不用或少用。本书有配套的带有习题解答的教师用书。

本书分上、下两册,上册包括力学、热学和波动,下册包括电磁场和量子物理。本书可作为高等学校工科各专业大学物理基础课程的教材,也可以供理科非物理类专业使用和社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理教程 上册 夏兆阳主编. —北京:高等教育出版社,2003.12

ISBN 7 - 04 - 012981 - 7

.大... 夏... 物理学 - 高等学校 - 教材 .O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 106733 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010 - 64054588
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800 - 810 - 0598
邮政编码	100011	网 址	http: www.hep.edu.cn
总 机	010 - 82028899		http: www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷			
开 本	787×960 1/16	版 次	年 月第1版
印 张	16.25	印 次	年 月第 次印刷
字 数	300 000	定 价	17.40 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

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求,探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系,全国高等学校教学研究中心(以下简称“教研中心”)在承担全国教育科学“十五”国家规划课题“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上,组织全国100余所培养应用型人才为主的高等院校,进行其子项目课题“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索,在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果,并在高等教育出版社的支持和配合下,推出了一批适应应用型人才培养需要的立体化教材,冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月,教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项,为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台,整体设计立项研究计划,明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现,组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组(亦为高校应用型人才培养立体化教材建设领导小组)。会后,教研中心组织了首批课题立项申报,有63所高校申报了近450项课题。2003年1月,在黑龙江工程学院进行了项目评审,经过课题领导小组严格把关,确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月,各子课题相继召开了工作会议,交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题,确定了项目分工,并全面开始研究工作。计划先集中力量,用两年时间形成有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告,并在研究报告基础上,同步组织建设反映应用型人才培养特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是,“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才培养探索与实践成果基础上,紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要,努力实践,大胆创新,采取边研究、边探索、边实践的方式,推进高校应用型人才培养工作,突出重点目标,并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础,作为体现教学内容和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。因此,在课题研究过程中,各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果,并和教学实际结合起来,认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革,组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师,编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案,以满足高等学校应用型人才的需要。

我们相信,随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入,特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施,具有示范性并适合应用型人才需要的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003年4月

序

在科学发展的历史长河中,物理学以奠基地位和擎柱作用屹立于自然学科之林,如果从牛顿时代算起,已有 300 多年的历史了。物理学并不因为其形成与发展的历史久而显得陈旧,相反,自 20 世纪以来,物理学的进展推动着其他学科的发展,并诱发出诸多交叉分支学科和新的技术领域,显现出物理学仍然具有推动人类社会进步和科学技术发展的巨大生命力。

教育的实践和人才培养规律都已证明,正是因为物理学有如此重要作用,所以在构建高等教育理工类专业的课程体系中,物理学所具有的基础课程地位,只能加强,不可动摇,不可替代。在教育发达的国家,高等教育的人文类和管理类等专业的课程“菜单”中,列入物理课程已不为鲜事。这就更加证明了培养新世纪所需要的人才,物理课程的教育有着特殊重要的作用。

物理课程的学习,不仅使受教育者获得必要的物理知识,而且还能从学习物理的过程中养成唯物辩证的思维方式,科学严谨的行为方法和勇于创新的探索精神。这些正是 21 世纪的专业人才应该具有的基本素质。

今天,当人类社会跨入到以信息科学技术为主要标志的时代,一方面,人们已经理性的感受到,由于物理学的发展促进了计算机技术、信息技术的诞生与飞速发展,从而加速信息化社会到来;另一方面,还必须认识到,由于物理学的自身发展和信息化社会对专业人才的新要求,我们必须对物理学的课程内容、课程体系和教学方法等方面进行改革与创新,以主动适应新世纪对高等教育培养人才的要求。全国高等学校教学研究中心将“面向应用型人才培养的‘大学物理’课程设计与教材建设的研究与实践”列入到“21 世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”项目中,是极为有意义的一件事。

由夏兆阳主编并偕同全国十余所大学教师合编的《大学物理教程》是该课题的一项研究成果。该书中不仅渗透了这些参编教师多年的教学经验,而且还在一定程度上反映出他们在物理教学改革方面的一些很好的创新思路。整套教材体现了一定的时代性、应用性和普适性等特点。全书除了保留有大学本科学生所必需的物理基本理论外,还适当地引入了 20 世纪特别是近二、三十年来新发展起来的一些物理学理论,如对称性、混沌过程、信息熵和耗散结构理论等。向学生介绍一些现代物理前沿知识,有利于学生开阔眼界,启迪思维。此外,对于物理知识在高新技术中的某些应用,如量子应用技术、纳米技术、激光技术等,结

合教学需要做了一些介绍,留有学习具体技术应用的“接口”。这不仅使物理课的教学更加接近于实际,而且有利于培养学生分析问题、解决问题的能力,理论联系实际的能力。该套教材内容在深度和广度上,符合国家教育部规定的有关大学物理教学的基本要求,例题和习题的选配得当,难易程度适中,对于一般院校的教学是适宜的,一般院校在数量上是我国高等院校的主体,因此,该教材具有较大的普适性。

作为高等教育教学改革和教材建设的一项成果,《大学物理教程》一书中难免有瑕疵之处,但是编者在这套“大学物理”教材所做的认真努力,改革探索,对于我国高等教育教材创新具有一定的启示作用。

杜祥琬

二〇〇三年九月

前 言

本书是经全国高等学校教学研究中心批准立项的“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题的研究成果。该课题是全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”的子课题。

本书的编写,旨在面向新时期应用型人才培养,面向一般普通高校非物理类专业使用的物理教材。该教材立足于时代性、应用性和普适性,并力图体现对大众教育中的科学素质教育。全书遵从基本物理学理论的系统性,保持教学体系的完整性,在国内最常用的物理教学体系主框架下,面向新世纪、面向未来。教材中除必要的物理学内容力学、热学、振动与波、波动光学、电磁学以及相对论、量子力学外,按相关知识系统还加入了20世纪新近发展起来的物理学知识,包括对称与守恒、混沌、信息熵、耗散结构理论等部分内容。引入这些内容,不只是开个窗口提供参阅材料,而是使学生通过了解新科学的基本原理,能够对非线性物理的精髓有初步的认识,从而突破经典物理的“理想化”模型,认识客观世界比较真实的物理图景,有助于学生初步建立科学的物质观、时空观、宇宙观,启发学生逐步形成辩证唯物主义方法论。

本教材在内容选取、编写方式、习题编配等方面,都期望能使学生从应试教育束缚中解脱出来,避免引导学生过于钻概念解难题的学习倾向,把教育目标的重点转移到有利于提高学生认识世界、面对社会、处理实际问题的能力上。全套教材,在保证达到1995年教育部颁布的普通高等学校工科本科大学物理课程教学基本要求的水平上,以拓展知识面、引入新内容、不追求难度为编写准则。

考虑到不同院校不同专业物理课程教学时数的差异,本书的部分内容采取了模块组合式,以便于不同学校可根据专业的具体情况,自行重组或取舍。

本书是由承担“应用型人才培养工科物理理论课教学内容和课程体系”子课题的北京联合大学、扬州大学、北华大学、长春工程学院、江汉大学、上海应用技术学院、泰山学院、平顶山工学院、攀枝花学院、淮海工学院、渝西学院、襄樊学院、闽江学院等十三所院校共同完成,夏兆阳为主编,并且还将出版与教材配套的习题解答和多媒体物理学电子教案,以供教师参考使用。

本书的编写,得到全国高等学校教学研究中心、高等教育出版社的大力支持,中国工程院副院长、中国物理学会副理事长杜祥琬院士,以及林中忖教授、张

丹海教授提出了许多有益的建议,沈乃敏老师做了认真审阅。在此我们一并表示衷心感谢。

本书第 1 章、第 2 章由姚淑娜编写;第 3 章对称与守恒部分、第 6 章、第 12 章、第 14 章由夏兆阳编写;第 4 章、第 5 章由张东编写;第 7 章、第 8 章由邱平编写;第 9 章由倪苏敏编写;第 10 章、第 11 章由王雪梅编写;第 13 章由兰荣林编写;第 3 章混沌部分、第 15 章由高兴茹编写;习题由母小云、孙会娟选编。由于编者水平有限,时间紧迫,书中会有不足疏漏之处,恳请批评指正。

编者

2003 年 9 月

目 录

绪论 物理学的地位与意义	1
--------------------	---

第一篇 力 学

第 1 章 质点力学	6
§ 1.1 参考系 质点	6
§ 1.2 描述质点运动的基本物理量	7
§ 1.3 圆周运动	12
§ 1.4 相对运动	16
§ 1.5 牛顿运动定律及其应用	18
§ 1.6 惯性系 力学相对性原理	24
§ 1.7 动量与冲量 动量定理	26
§ 1.8 质点系的动量定理 动量守恒定律	27
§ 1.9 碰撞	31
§ 1.10 功 功率	34
§ 1.11 保守力与非保守力 势能	36
§ 1.12 动能定理 功能原理 机械能守恒定律	40
习题	44
第 2 章 刚体的定轴转动	47
§ 2.1 刚体的运动	47
§ 2.2 转动定理	48
§ 2.3 力矩的功 转动的动能定理	54
§ 2.4 角动量 角动量守恒定律	57
§ 2.5 进动	60
习题	61
第 3 章 力学新进展	64
§ 3.1 对称性原理	64
§ 3.2 对称与守恒	67
§ 3.3 对称性的破缺	69
§ 3.4 混沌现象	71
§ 3.5 混沌现象举例	74
§ 3.6 由倍周期分岔通往混沌的道路	79

§ 3.7 混沌现象的特性、本质及应用	83
习题	89

第二篇 热 学

第 4 章 气体动理论	92
§ 4.1 气体分子动理论的基本观点和基本概念	92
§ 4.2 理想气体压强与温度的微观解释	96
§ 4.3 能量均分定理 理想气体的内能	99
§ 4.4 微观量的概率分布	103
§ 4.5 气体分子平均碰撞次数和平均自由程	109
习题	111
第 5 章 热力学基础	113
§ 5.1 热力学第一定律	113
§ 5.2 理想气体的等值过程	116
§ 5.3 绝热过程	121
§ 5.4 循环过程 卡诺循环	125
§ 5.5 热力学第二定律	130
习题	135
第 6 章 热学新进展 熵	138
§ 6.1 熵概念的产生	138
§ 6.2 熵增原理	141
§ 6.3 能‘质’的衰退	142
§ 6.4 熵与信息	144
§ 6.5 耗散结构理论	152
习题	157

第三篇 振动 波动 波动光学

第 7 章 振动	160
§ 7.1 简谐运动	160
§ 7.2 简谐运动中的振幅 周期 频率和相位	162
§ 7.3 旋转矢量	167
§ 7.4 简谐运动的能量	170
§ 7.5 简谐运动的合成	171
§ 7.6 阻尼振动 受迫振动 共振	175
习题	177
第 8 章 波动	180
§ 8.1 简谐波	180

§ 8.2	平面简谐波的波动方程	183
§ 8.3	波的能量 能流密度	187
§ 8.4	惠更斯原理 波的衍射	189
§ 8.5	波的叠加原理 波的干涉	191
§ 8.6	驻波	193
§ 8.7	声波 超声波 次声波	195
§ 8.8	多普勒效应	197
	习题	200
第 9 章	波动光学	204
§ 9.1	光源 光的相干性	204
§ 9.2	获得相干光的分波阵面方法	205
§ 9.3	光程和光程差	209
§ 9.4	获得相干光的分振幅方法(薄膜干涉)	211
§ 9.5	光的衍射	218
§ 9.6	衍射光栅	225
§ 9.7	X 射线的衍射 布拉格方程	227
§ 9.8	光的偏振	228
	习题	235
	上册习题答案	239

绪论

物理学是一门基础科学,是研究组成整个世界物质结构、相互作用和运动规律的科学。物理学的发展过程,就是人类对整个客观物质世界的认识过程,所以物理学是科学的世界观和方法论建立的基础。物理学的研究对象遍及整个世界,对于不同的运动形式具有不同的运动规律,当然就产生了不同的研究方法。按物理学发展到今天的历史过程,可分为经典物理学和现代物理学。经典物理学一般包括 20 世纪前就已发展相当成熟了的力学、热学、电磁学、光学;现代物理学,一般是指 20 世纪以来新近发展起来的相对论和量子论,以及力学、热学的新进展,如对称与守恒、混沌、熵与信息、耗散结构理论等现代物理学部分。物理学的基本概念和基本规律是自然科学中很多领域的基础,并且是工程技术发展的根源。

一、物理学在科学中的地位

物理学是一门基础学科。物理学的进展,刺激了数学的发展,带动了天文学、化学和生物学的发展。物理学对世界认识的每一进展还极大地影响了社会科学的发展,改变着整个人类的哲学思想和行为方式。

物理学发现的定性规律,最美妙的是用数学表达式定量地简洁表述出来,数学成为物理学不可缺少的工具。物理学的发展和需要,给数学研究开辟了广阔的天地。历史上许多著名科学家,如牛顿、欧拉、高斯等,对于物理和数学都做出了重大贡献。很多大数学家如彭加勒、克莱因、希尔伯特等,也都精通理论物理学。

物理学与天文学关系密不可分,从天文的观测得到了星球运动和引力的规律。物理学的发展给天文学的研究提供了重要的手段,如不断提高的天文望远镜等。随着物理学的发展,采集天文信息的波段,已从可见光频段扩展到无线电波、X 射线,以及采用现代物理学提供的各种宇宙探测手段。广义相对论的证据都是来自于天文观测,反过来在相对论指导下解决了大量天文学问题,并改变和发展了天文学的最根本的理论,直至建立了现代宇宙论的标准模型——大爆炸理论。

化学是研究物质组成、结构性质和变化规律的学科,但它的原子论和分子论为物理学中的气体运动论奠定了基础;而物理学中的量子理论、原子的电子壳层结构又从本质上说明了各种元素性质周期性变化的规律。量子力学的诞生导致量子化学的产生,物理学的发展推动了化学的发展。

物理学为生物学的研究也提供了大量实验手段,如电子显微镜、X 射线衍

射、核磁共振、扫描隧道显微镜等物理学熵及信息的研究成果,推动了生命科学的发展。正是20世纪40年代物理学家薛定谔开创了量子生物学,提出了遗传密码存储于非周期晶体的观点,并经生物学家长期努力确定了DNA(脱氧核糖核酸)的晶体结构,揭示了遗传密码的本质,并在近期完成了人体信息图谱的工作。这是20世纪生物学最大的突破。

二、物理学与技术的关系

物理学是一门科学。科学是宇宙客观存在的规律性的东西,它不为人们的认识而转移、变化。人类只能去认识它,揭示它,靠近它,而不可能妄图去创建它,改造它。科学一旦被人类所发现和认识,与在被发现和认识之前一样,是人类共有的财富,而不是部分人的财富或专利。

技术是科学指导下产生的改造世界的手段。这种手段是技术工作者和工程人员依照科学的基本原理和自己头脑中的设想,以及前人的经验创造出的方法手段。由此可见技术中包含着人的劳动和创造,是人的成果。一个新的科学发现在很短的时间内,就可能带动起一系列的技术成果。这些是属于发明者、革新者个人的成就,而其专利及所产生的财富部分属于发明者(工程技术人员)本人。科学和技术是完全两个不同领域的问题。

生产实践的需要使人们发展了技术,如18、19世纪蒸汽机等热机技术产生后,提高到理论上,建立了热力学;热力学作为物理科学进一步促进了热机技术的发展。现代的技术发展来源于或依赖于物理学理论,如法拉第发现的电磁感应和麦克斯韦确立的电磁场理论,产生了电机、电报、电视、雷达等,创建了现代电力工程与无线电技术。物理学是技术革命的根源,反过来高技术发展对物理学提出了新的要求和课题,同时也提供了研究的条件和手段。物理学的基础研究在现代高技术,如核能技术、超导技术、信息技术、激光技术、电子技术中起到突出的作用。一个新物理学规律的发现和成熟,在现代转化为技术的速度越来越快,范围越来越宽。这充分体现了科学对技术的指导作用。

三、物理学是科学的世界观和方法论的基础

物理思想就是人类面对物质世界的最根本的看法。每一个新的物理概念和物理规律的确立都是人类认识上的一次飞跃和对陈旧观念、意识的一次冲击,都是对陈旧传统观念束缚的突破。正确的科学世界观的确立,对于科学或对于物理学的发展都具有重要的意义。同样,一项物理学重大的科学发现往往也直接改变着人们的世界观。

物理学的新进展,改变着人们对世界的看法,对习俗、宗教、社会学、人文学也产生了重大的冲击。物理学对宇宙的产生发展的理论,改变着人们的宇宙观和

世界观,物理学信息熵的发展直接影响着社会科学、信息学的发展.物理学对时间、空间的进一步认识,自然会改变人们最基本的认识论,在哲学领域产生最深刻的改变.

物理学是一门实验科学,物理学的形成和发展过程充满了正确科学的认识论.很多物理学的假说来源于原有理论无法解释的实验,而进一步的实验又是对假说的验证和检验,同时理论对实验又有重要的指导作用.最终成为人们对客观世界、科学规律的正确认识,形成正确的物理学理论.

物理学理论的形成,是科学的思想与科学的方法论相结合的结果.学习物理学理论的同时,更应学习科学形成过程的方法论.了解一个物理学定律的发现和完善的过程,往往比物理学的结论更为重要,因为正是这样的过程充满了发现、揭示、归纳、总结的方法.这对于一个大学生素质的提高往往是更有价值的东西.

物理学的方法论有很多方面,而且针对不同的物理过程,也有所不同.其中包括逻辑分析方法、应用独立性原理的分解与合成的方法、由物理学最基本的原理推导出具体物理学科的规律的方法、物理模型、理想化模型、物理类比、物理规律由假说到定律的形成方法等等科学方法.在此不一一叙述,物理学的方法论的内容,将融会到物理学的具体内容之中.

编者

2003年8月

第一篇 力 学

力学是研究物体机械运动的规律及其应用的学科。自然界中的一切物质都处于永恒的运动之中，物质的运动形式多种多样，其中最简单最基本的运动是机械运动。机械运动是指一个物体相对另一个物体（或一个物体的某些部分相对于其他部分）位置的变化。例如地球绕太阳的转动、宇宙飞船的飞行、机器的运转等。

力学对现代工程技术具有重大的实用价值。设计房屋、桥梁，制造飞机、轮船，发射人造卫星、宇宙飞船，都要以力学原理为基础。此外，在较高级、复杂的运动形式中也含有机械运动。所以学习力学的基本原理对于研究物理学的其他内容以及自然科学的其他学科也具有重要意义。

本篇分为质点力学、刚体的定轴转动和力学新进展共三章内容。其中质点力学包括质点运动学和质点动力学。质点运动学研究质点位置随时间变化的规律，质点动力学研究引起这种变化的原因。刚体的运动比较复杂，作为基础知识在此只讨论刚体的定轴转动问题。力学新进展作为扩展内容，介绍对称性和混沌学的基本知识，这对开阔学生视野，培养科学思维和提高科学素质具有积极的意义。

第 1 章 质点力学

质点力学是研究质点的运动规律,其主要内容有四部分:

(1) 质点运动学,研究物体位置随时间的变化规律.主要讨论描述质点运动的基本物理量,即位置矢量、位移、速度、加速度等.并在此基础之上,研究一般直线运动和曲线运动的规律.

(2) 质点动力学,研究物体间的相互作用以及这种相互作用所引起的物体运动状态变化的规律.概括阐述牛顿运动定律的内容及对质点运动的简单应用.

(3) 动量与冲量,研究力对时间的积累作用.讨论动量、冲量等概念以及动量定理和动量守恒定律.

(4) 功与能,研究力对空间的积累作用.讨论功、动能和势能、保守力和非保守力等概念以及动能定理、功能原理、机械能守恒定律和能量守恒定律.

§ 1.1 参考系 质点

一、参考系

自然界中,所有的物体都在不停地运动着,绝对静止不动的物体是不存在的.要描述一个物体的运动情况,例如它在某时刻的位置以及位置随时间的变化,总要选取其他物体作为参考标准.被选作参考标准的物体或相对位置不变的物体组合称为参考系.不同的参考系对同一物体运动的描述是不同的.例如在匀速行驶的火车中,静坐的乘客相对于车厢的速度为零,而对于路边某一固定物体,乘客和火车一起做匀速运动,这就是运动描述的相对性.因此,在描述某一物体的运动状态时,必须指明是对哪个参考系而言.

参考系的选取是任意的,一般要根据问题的性质和研究的方便来选取.例如,研究物体在地面上的运动时,选取地面作为参考系最方便;而研究地球绕太阳的运动,则要选取太阳作为参考系.

为了定量地描述物体的位置及其变化,需要在参考系上确定一个坐标系,最常用的是直角坐标系.此外,根据需要,还可选用其他坐标系,例如球坐标系或柱坐标系等.