



面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

大学物理 拓展与应用

严燕来 叶庆好 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容简介

本书是高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划的研究成果,是“面向 21 世纪课程教材”。书中涵盖了现有工科教材中较薄弱、较不成熟的部分,即基础物理向近代和应用的拓展部分。全书包括天体运动与大爆炸;振动、波与非线性;熵概念的深化与自然观;电磁场理论与同步辐射;介质物理与传感器;光学与信息光学;光量子基础与激光;固体量子基础与新材料;中华古科技瑰宝中的物理等 9 个专题及 19 个教学实验。本书既可与大学物理的主体教材配套使用,在多学时的教学计划中完成,也可作为大学物理的后续课程教材。与本书配套的多媒体电子教案将与本书同时出版。

本书可供高等院校工科各专业使用,也可供其他专业选用和社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理拓展与应用/严燕来,叶庆好主编. —北京:
高等教育出版社,2002.12
面向 21 世纪课程教材
ISBN 7-04-011579-4

I.大... II.①严...②叶... III.物理学-高等学
校-教学参考资料 IV.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 081904 号

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号
邮政编码 100009
传 真 010-64014048

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 北京中科印刷有限公司

开 本 787×960 1/16
印 张 29.75
字 数 560 000
插 页 2

版 次 2002 年 12 月第 1 版
印 次 2002 年 12 月第 1 次印刷
定 价 31.50 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

序

20 世纪 90 年代中期是我国基础物理课程教学改革和现代化进入快速发展的阶段. 这个时期, 一批创新的、改革力度较大的基础物理课程教材成功推出. 这些教材以当代科学技术的发展和物理学的前沿为基础, 审视了传统物理教材的体系、内容和内含的教学思想、教学方法等各个方面, 努力探索基础物理课程教学体系的改革, 更新了必须更新的教学内容, 根据各级各类高等学校的需要在教材中留接口、开窗口, 积极引导学生浏览物理学的前沿成果, 为学生深入了解物理学在科学技术和工程技术中的应用作了很好的铺垫. 基础物理教材建设进入蓬勃发展的时期.

作为面向工科学生的教学改革, 除了继续突破传统体系的局限外, 如何将现代物理前沿和当代高新技术成果转化为基础物理教学资源, 并在低年级课程教学中应用成为深化改革的一个重要任务. 此前, 许多优秀的物理教材已经在这方面进行了探索和实践. 但是, 把这个课题作为一个整体的研究课题, 并在教学实践中推行, 却为数寥寥.

由上海交通大学牵头, 同济大学、华东理工大学、中国科技大学主持, 东南大学、浙江大学参加的项目组勇敢地承担起这个任务. 他们按照“重点高等学校工科物理课程教学改革指南”的“在必修的工科大学物理课之外再开设一些后续的选修课, 开设与高新技术相关的课内或课外系列讲座, 组成大学物理系列课程”的要求, 从“提高性知识”和“扩展性知识”两个方面, 根据从经典到前沿, 从物理到技术的过渡思路, 选择了 12 个方面的内容——作为“提高性知识”的有量子、凝聚态、非线性、熵与信息、激光技术、超导、传感器、扫描隧穿显微镜, 作为“扩展性知识”的有分形与混沌、大爆炸、介观物理、同步辐射等——进行了“普通物理化”和教学设计的研究.

他们总结了这些研究成果, 组成 9 个专题, 编写成本书的专题篇. 9 个专题包括: 天体运动与大爆炸, 振动、波与非线性, 熵概念的深化与自然观, 介观物理与光电器件, 电磁场理论与同步辐射, 光学与信息光学, 光量子基础与激光, 固体量子基础与新材料以及中华古科技瑰宝中的物理等. 有意思的是这些专题名称中的“与”字别有匠心, 按作者自己的说法: “各专题中的‘与’表达了从经典到前沿, 从物理到技术的过渡, 表明所选专题和已学基础的衔接关系; 而‘与’后面的前沿或应用则为所选专题的内容.” 一个“与”字, 恰如一座桥梁, 将基础物理与前沿、应用进行了沟通.

在项目研究和教材的编写中,作者充分考虑到计算机手段的应用和动手实验的需要,按照一体化设计、立体化教材的原则,进行综合方案设计,因此,本书除“专题篇”外,还有“拓展与应用教学实验篇”,还有“《大学物理拓展与应用》专题讲座多媒体教案”。讲座力图作到“籍助数学,重在说理”。多媒体教案则提倡“说”物理,信息量大、图文并茂、有声有色。实验追求与讲座直接呼应,在拓展与应用层面上进行科学实验方法的培养。

在此需要特别提到的是《大学物理拓展与应用》专题讲座多媒体教案,它与《大学物理拓展与应用》文字教材相配套,面向学生,进行全程多媒体教学。其思想有创新性,其实践有超前性,教学效果明显,作为一种教学资源建设的方向值得提倡。

《大学物理拓展与应用》组织了熟悉各个专题方向研究并有丰富教学经验的学者,进行精心研究和编写,有的专题就是作者自己的研究成果在教学上的再现,如严燕来教授编写的“中华古科技瑰宝中的物理”专题。因此,教材编写底气厚重,逻辑严谨,把握准确,内容选材适应性强,叙述展开节奏感好,正因为如此,它的教学效果也顺理成章。

《大学物理拓展与应用》是一个优秀的项目成果,同时也是一本颇具水平和新意的教材,我想它的出版一定会在基础物理教学界引起热烈的反响。

赵凯华

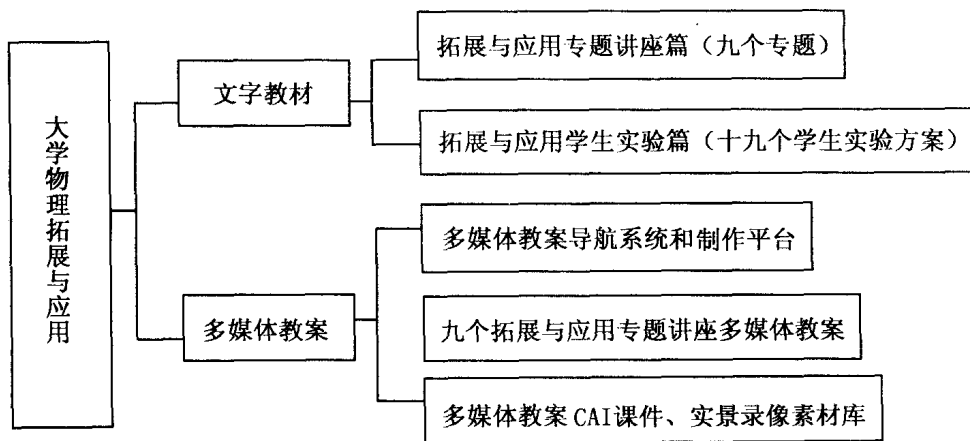
2002年12月

前言

本书是教育部“面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”理工科项目：“面向 21 世纪工科物理教学内容和课程体系改革的研究与实践”的成果之一，由上海交通大学、同济大学、华东理工大学、中国科技大学、东南大学、浙江大学组成的项目组合作编写。

“项目投入，资源共享”，是教育部倡导面向 21 世纪教改项目的初衷。项目组集中了六所重点大学工科物理教学的精干力量，致力于推出一本易教易学的教材。本教材涵盖的是基础物理向近代和应用拓展的部分，包括以下教学资源：与普通物理传统内容相衔接的若干个拓展与应用专题的文字教材；与教材中专题讲座配套的多媒体教案，其中有随着授课思路层层深入的电子教案，有项目组创意制作的 CAI 课件、现场拍摄的实景录像等汇总的素材库；此外，作为理论和实验一体化的尝试，还有与专题相呼应的拓展与应用类学生实验。

本套教材具体构成如下：



具体地，我们选择如下九个专题：天体运动与大爆炸，振动、波与非线性，熵概念的深化与自然观，介质物理与光电器件，电磁场理论与同步辐射，光学与信息光学，光量子基础与激光，固体量子基础与新材料以及中华古科技瑰宝中的物理等，作为经典物理向高新技术和物理前沿过渡的突破口。上述专题名中的“与”大致表达了从经典到前沿，从物理到技术的过渡，“与”之前为专题所涉及的大学物理基础，与通常力、热、电、光、近代的教学次序相一致；“与”后面则是所选的拓展与应用的专题内容。

拓展与应用的专题讲座皆从理论体系方框图开始,展现简要的物理基础,迅即进入专题的拓展与应用话题.讲前沿、讲技术,着重讲物理内涵,有来龙去脉,让学生了解其中的物理过程.必要的、较为复杂的数学推导用小字表达,以求有完整的思路,但不要求学生用相同的数学方法解类似的物理问题,即“藉助数学,重在说理”.所配套的多媒体专题讲座教案则提倡“说”物理,运用多媒体手段说得动画化、故事化,说得图文并茂,有声有色,说得信息量大,节奏快,力求说出学生的兴趣来.

拓展与应用学生实验篇提供了项目组研制、开设的拓展与应用类物理教学实验的方案.讲座与实验之间有些直接呼应,例如扫描隧穿显微镜(可以让学生听过相关讲座后亲眼“看一看”原子)、激光系列实验、熵的测量、信息光学等;有些相对独立,但有联系.有的研制学校已经搭建好实验设备,可以提供产品仪器,有的是待开发的实验方案.但是不管哪一类,感兴趣的学校可以设法搭建,或作为高年级的课程设计题材.

本教材可以和大学物理主体教材配套使用,可在多学时大学物理教学计划内完成,也可以作为工科大学物理的后续课程,至于何时后续,可以是二年级学完物理后选修或必修,但也可把边界条件放开,不局限于“热炒”的本届学生.我们期待着所提供的这一套素材能方便教师开设“大学物理拓展与应用”选修课,吸引工科各专业的本科生和渴望了解更多物理的硕士生学习!

至于本套教材的使用,对学生而言,教案是第一性的:“拓展与应用”作为学生的选修课程或课外讲座,首先是以多媒体教案的形式与学生见面的,教材只是辅助的参考资料,是讲座后学生继续深入自学的参考书;对教师而言,教材是第一性的:教材的内容注重底气,兼有培训教师的功能,使讲授者掌握教案的背景材料,与教案的设计者取得共识,便于讲授者理解教案的思路、把握教案的节奏.

本书九大专题由南片六校项目组分工承担,各具特色.

中国科技大学戚伯云编写的两个专题“天体运动与大爆炸”和“电磁场理论与同步辐射”均与大学物理的已学知识衔接紧密,前者由对天体观测和运动的讨论顺理成章地过渡到热门的前沿领域——大爆炸与宇宙起源,后者则循序渐进地由加速器拓展到同步辐射技术,并从合肥的同步辐射实例出发,让学生“接触”同步辐射的应用及其逐代发展.

华东理工大学卢民强编写的“熵概念的深化与自然观”专题中,以新的体系引入熵后,剖析了熵和信息、熵与基因的关系,使我们能以信息时代、基因时代的眼光来看待熵这个重要的物理概念.基于对熵定律的认识,对地球与太阳系等大自然环境所作的物理分析来说明人类应当珍惜爱护地球——宇宙中几乎是唯一适合人类生存、居住的自然环境.我们把这样的自然观称之为以熵定律为基础,以地球为中心的自然观.

同济大学张继昌编写的“介质物理与光电器件”重点介绍了“光学传感器”技术,包括光敏传感器和光纤传感器.在光敏传感器部分,编者首先将pn结的基本原理(内建电场和光生电势)简要介绍给学生,然后从演示实验出发,提出问题,例如用一个pn结如何为活动的光点定位;如何用pn结测定入射光的颜色等,并将科研成果融入教材,提高学生对物理在技术创新中作用的认识.

浙江大学吴泽华编写的“激光基本原理与应用”在工科物理已简要介绍激光原理的基础上,进一步阐明光谱线的加宽机制、激光模式等,为新型激光器的机理和最新应用作了必要的铺垫,随后直接介绍在科学研究中具有极大潜在应用前景的自由电子激光器、最近20年间发展起来的,可对超快现象进行瞬息研究的飞秒激光器、半导体激光器等.至于新近发展的激光应用,例如二元光学技术、激光冷却技术等,均作CAI动画演示,给出定性的物理过程.

东南大学陈小凤编写的“固体量子基础与新材料”内容难度较高、覆盖面大,在教学内容现代化与现代内容教学化方面作了有益的探索.将凝聚态物理的有关内容和超导、纳米、材料科学中的新成就融入教材,同时避免繁冗的数学演算,不纠缠于工艺过程,突出基本物理概念,运用定性与半定量的研究方法,用普通物理的语言阐明能带理论、超导、纳米科学等.

上海交通大学负责三个专题,其中严燕来编写的“中华古科技瑰宝中的物理”专题是将多年的教学研究成果融入教材.专题介绍了交大物理系古科技研究室所作的相关实验与研究,拓展了乐律学、磁学、材料力学、量子交换作用等方面的基础知识,并用以解释铜镜“透光”、鱼洗喷水、编钟变音的物理机理,使之成为不可多得的物理应用题材和演示教具.交大负责的第二个专题是“振动、波与非线性”,其中张海燕编写的“振动和波的非线性行为”从机械振动和波引出非线性性的基本概念和性质,以及非线性系统从非混沌态到混沌态的演化过程,以实例描述了振动和波的非线性效应和应用前景;朱卡编写的“非线性光学效应”描述了强光下光与物质相互作用的各种非线性行为,揭示出由于非线性的存在,使物理世界的图景大为改观.高景编写的“光学信息处理简介”在普通物理中光的衍射的基础上,引入了光学信息处理的基本概念与方法,帮助学生加深对光的传播和衍射过程的理解.同时对光学信息处理的一些基本实验作了较为深入的分析,解释了空间滤波、 θ 调制、假彩色编码、图像的加减、特征识别等基本应用的物理原理,让学生了解光学信息处理方法.

这是一项由六校合作完成的项目,由衷地感谢同济大学顾牡、华东理工大学戴坚舟、中国科技大学霍剑青、东南大学叶善专、浙江大学吴泽华所负责的项目组全体教师的通力合作,各校在教师力量配置上注重发挥自己的专业强项、教学强项的力量,九大专题纵向分工,优势互补.本套教材在编写过程中凝聚着众多教师的努力,除了上述9位教授分工编写9个“拓展与应用”专题外,上海交通大

学柴康敏、黄健,同济大学吴於人,华东理工大学钟菊花,东南大学王震、寇朝霞,浙江大学周丽英、黄健等老师在插图、动画、录像和多媒体教案制作上做了的大量出色的工作。上海交通大学叶庆好对拓展与应用教学实验方案进行统稿,华东理工大学张兆奎对实验部分进行前期统稿;上海交通大学柴康敏设计出多媒体教案导航系统和写作平台。此外,对上海交通大学胡盘新、孔令达、梁华翰、徐海光、庞乾骏等对本项目的指导和支持,并对陈钧元为本教材所做的精美插图深表谢意。

近代与技术专题的取材面很广,尤其高新技术题材更是取之不尽,应该说,这是一项长线研究课题,所选的九大专题只是其中的初期研究。此种以文字教材和多媒体教案(光盘)配套出版的教材,是项目组的一种尝试,多媒体教案是开放式的,期待着使用的教师日后将自己的创意、风格写入教案,更企盼对文字教材和多媒体教案提出宝贵的修改意见。并恳请读者对教材中的疏误之处批评指正。

严燕来
于上海交通大学
2002年5月

责任编辑	胡凯飞
封面设计	张楠
责任绘图	陈钧元
版式设计	史新薇
责任校对	陈荣
责任印制	宋克学

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》。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。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。

现公布举报电话及通讯地址:

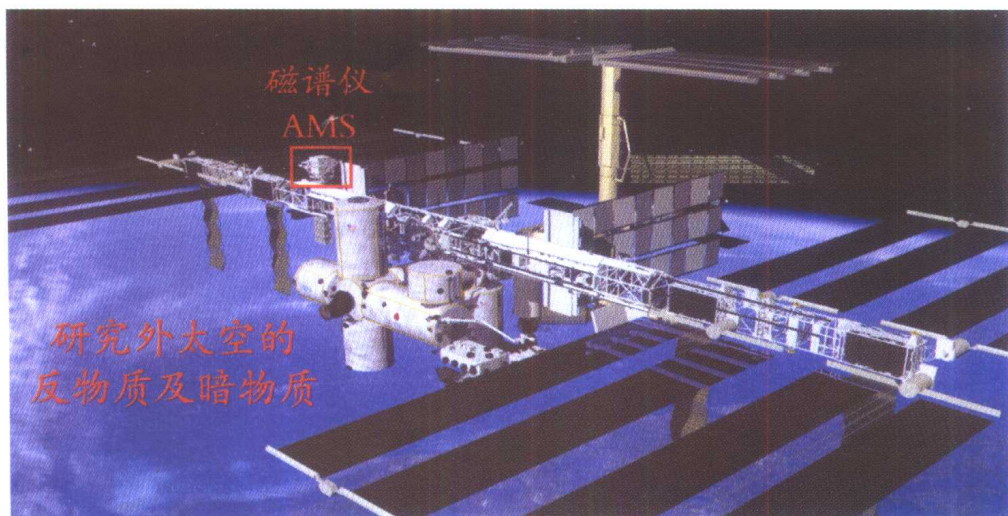
电 话:(010) 84043279 13801081108

传 真:(010) 64033424

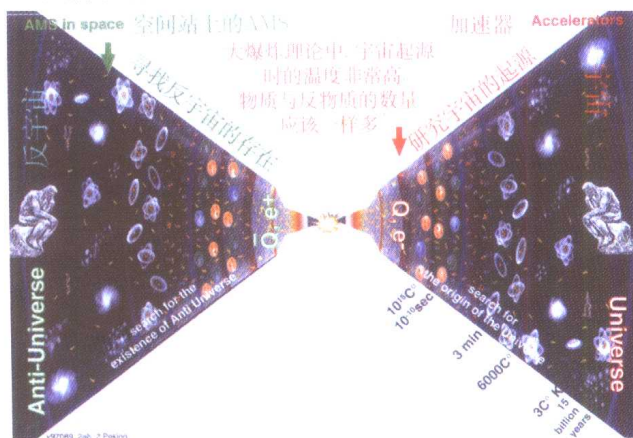
E-mail:dd@hep.com.cn

地 址:北京市东城区沙滩后街 55 号

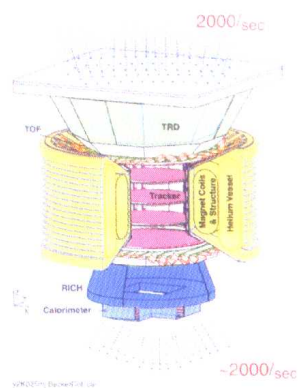
邮 编:100009



彩图 1 阿尔法磁谱仪将于 2005 年登上国际空间站并发射升空的宏伟效果图



彩图 2 诺贝尔奖得主丁肇中教授领导的新一轮科学探索工程——寻找宇宙中的反物质,探索宇宙中暗物质的来源(丁肇中教授于 2002 年 9 月 17 日为上海交通大学学生做“我所经历的实验物理”报告,并欣然赠本组图以饕读者)



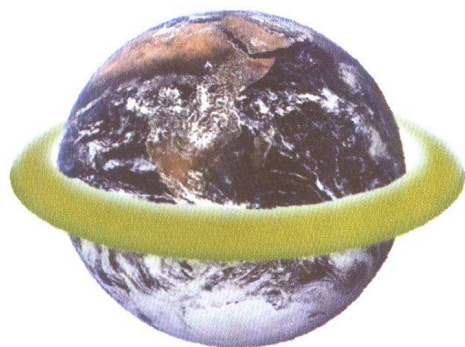
彩图 3 阿尔法磁谱仪 (AMS) 示意图



彩图 4 欧洲核子中心(CERN)的大型正负电子对撞机(LEP),同步加速器大环的周长为 27 km,能量高达 70 TeV

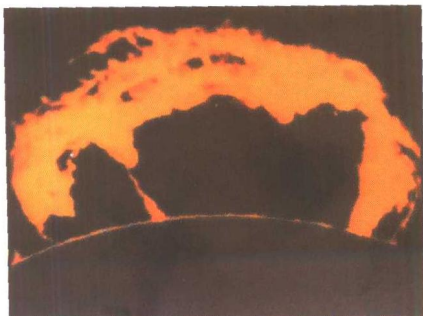


彩图 5 蚂蚁举起的微型齿轮

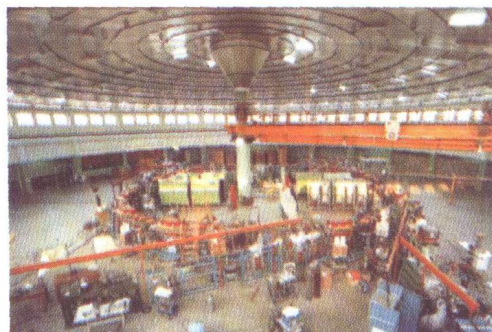


磁场	2 T
半径	8 000 km
费用	$\$170 \times 10^9$
电子束能量	5 000 TeV
质能中心能量	3 TeV
构造时间	40 年

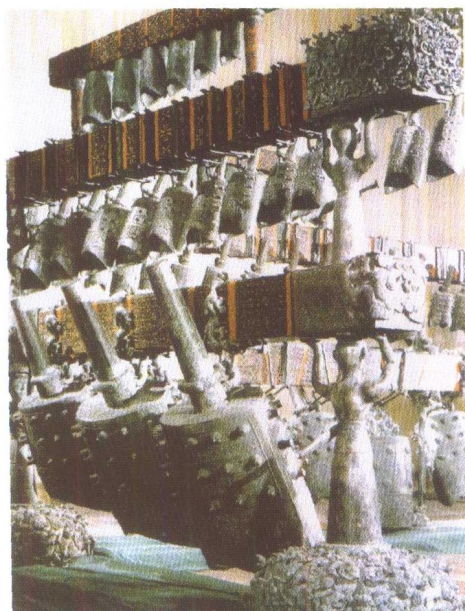
彩图 7 费米的梦加速器:诺贝尔物理奖获得者费米曾在 1954 年提出环绕地球建一台加速器的设想



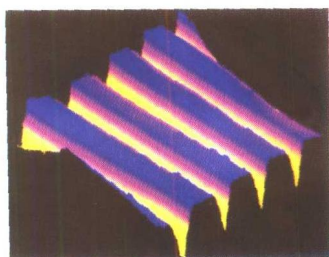
彩图 9 当恒星内部的核反应导致向外的热膨胀压强和引力导致向内的收缩压强达到平衡时,恒星就处于相对稳定的状态,图中为太阳的核反应热火球,现时太阳就处在这种相对稳定状态,是太阳的中年时期



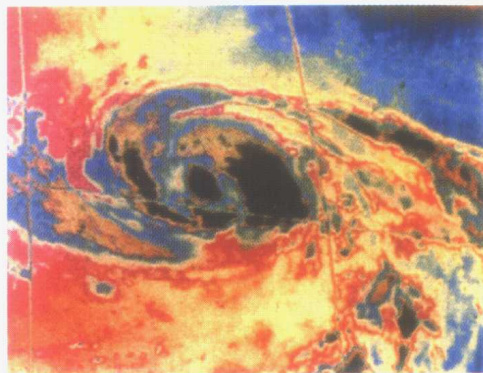
彩图 6 合肥中国科技大学 800 MeV 电子储存环



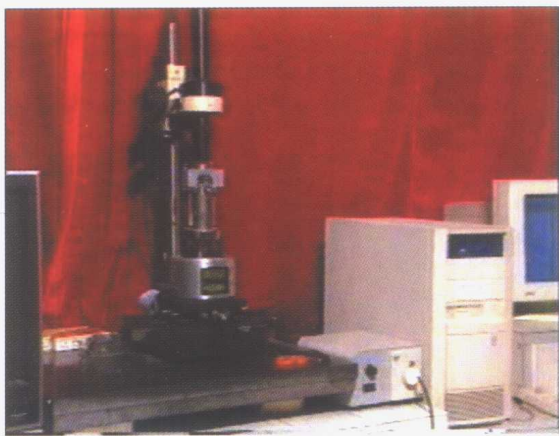
彩图 8 古人在 2400 年前编钟上的另一原创设计——在曾侯乙三层典雅钟架上,编钟钟枚的形状、大小、有无均随编钟音高作有规律的变化



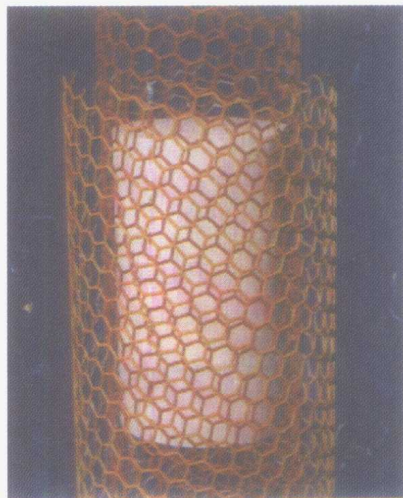
彩图 10 CD-ROM 金属母盘轨迹 STM 图像(间距 1.6 mm)



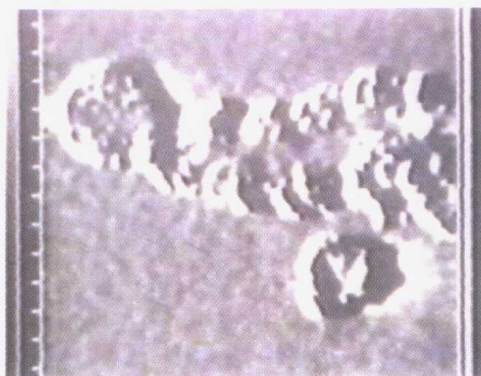
彩图 11 经过彩色编码处理后的卫星云图比未经处理的更能反映出某些细节



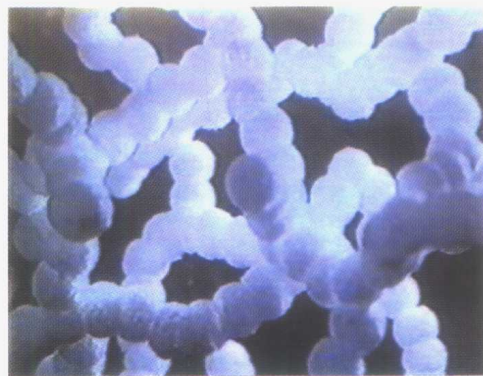
彩图 12 东南大学吴健雄实验室正在工作的扫描隧穿显微镜 (STM)



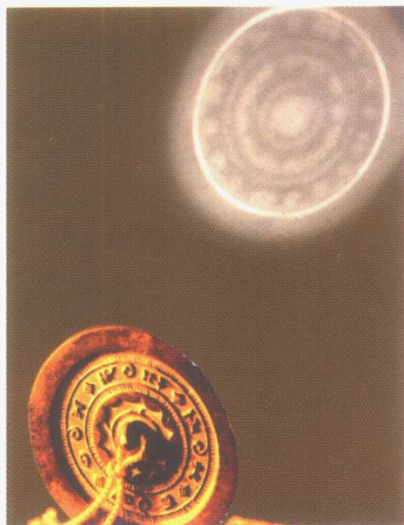
彩图 13 袖中乾坤——碳纳米管中嵌套铅



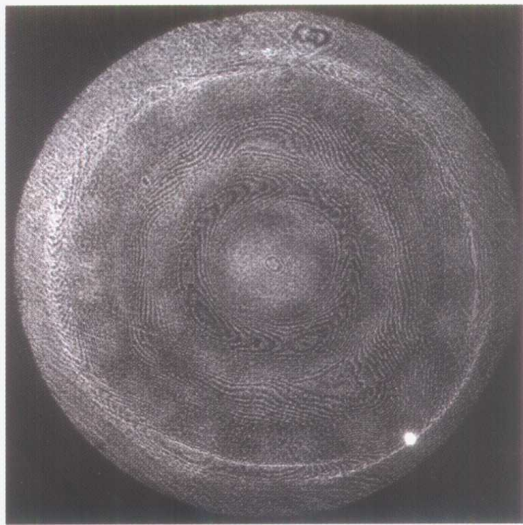
彩图 14 STM 拍摄的第一张 DNA 图片



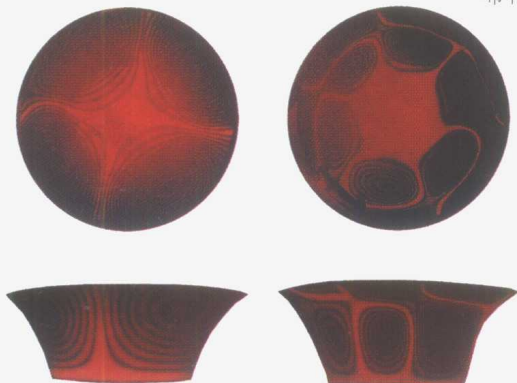
彩图 15 二氧化硅纳米颗粒



彩图 16 上海交通大学采用铸磨法复制的西汉“透光镜”,其“透光”效果可与传世珍品媲美



彩图 17 上海交通大学古科技研究室采用激光干涉手段拍摄的铜镜表面牛顿环干涉照片将铜镜表面曲率分布信息叠加在反射图像的“透光”效果之上,使曲率分布和“透光”的明暗效果一一对应起来



彩图 18 上海交通大学古科技研究室采用激光干涉手段拍摄的鱼洗四峰与六峰的自激振荡振型



彩图 19 鱼洗喷水高达 72 cm



彩图 20 我国西南交通大学研制的世界上第一辆载人高温超导磁悬浮列车,2001年2月11日,“高温超导磁悬浮实验车”通过国家“863”计划项目验收,拥有我国自主知识产权

目 录

拓展与应用专题讲座篇

专题一 天体运动与大爆炸	3
第一讲 天体的运动	4
§ 1 天文学的研究方法	4
§ 2 宇宙的层次	8
§ 3 控制天体运动的主要相互作用——万有引力	12
§ 4 逃逸速度和黑洞	16
§ 5 宇宙膨胀动力学	19
§ 6 广义相对论——引力的一般理论	21
第二讲 宇宙大爆炸模型	25
§ 1 哈勃定律和宇宙膨胀	25
§ 2 宇宙大爆炸模型	28
§ 3 支持宇宙大爆炸模型的观测依据	32
§ 4 宇宙大爆炸模型所面临的挑战	36
专题二 振动、波与非线性	41
第一讲 振动和波的非线性行为	42
§ 1 非线性基础	42
§ 2 非线性系统与混沌	49
§ 3 非线性波	57
第二讲 非线性光学效应	62
§ 1 非线性光学相互作用	62
§ 2 非线性光学的最新研究进展	71
专题三 熵概念的深化与自然观	75
第一讲 熵的概念与热力学、统计分布	77
§ 1 从量子论角度引入熵	77
§ 2 从熵的概念俯视热力学	83
§ 3 从熵引出三种统计分布	91
第二讲 熵与自然观	94

§ 1 熵与能量	94
§ 2 熵与信息	97
§ 3 宇宙 照耀我们的太阳	102
§ 4 地球系统——地球生物圈假设与人类的自然观	105
专题四 介质物理与光电器件	113
第一讲 光敏传感器	115
§ 1 半导体材料的光敏特性	115
§ 2 基于 pn 结的光敏传感器	117
§ 3 基于 MOS 光敏器件的 CCD 阵列式传感器	125
§ 4 热释电红外传感器	127
第二讲 光纤传感器	130
§ 1 光纤的结构和传光原理	130
§ 2 光纤传感器的应用	133
专题五 电磁场理论与同步辐射	141
专题讲座 加速器与同步辐射	142
§ 1 加速器	142
§ 2 同步辐射及其应用	149
专题六 光学与信息光学	172
专题讲座 光学信息处理简介	173
§ 1 傅里叶变换与夫琅禾费衍射	173
§ 2 阿贝原理和空间滤波	185
专题七 光量子基础与激光	190
专题讲座 激光的基本原理和应用	191
§ 1 激光原理概述	191
§ 2 激光的产生和激光器	198
§ 3 激光的应用	213
专题八 固体量子基础与新材料	222
第一讲 固体的电导	224
§ 1 金属导电的经典理论	224
§ 2 费米电子气	226
§ 3 固体的能带	232
§ 4 能带的填充与导电性	238
§ 5 电子导电与空穴导电	243
第二讲 凝聚态物质	247
§ 1 奇妙的晶体	247
§ 2 走进无序世界——非晶态	252
§ 3 通往准晶之路	256

§ 4 液晶	261
§ 5 低维体系	266
第三讲 纳米与超导	274
§ 1 纳米科学技术	274
§ 2 超导物理基础	287
专题九 中华古科技瑰宝中的物理	300
第一讲 揭开西汉古铜镜“透光”的奥秘	301
第二讲 揭开鱼洗喷水之谜	310
第三讲 古编钟的乐钟性质和变音编钟揭秘	319
§ 1 古编钟的乐钟性质	319
§ 2 变音编钟的变音机理揭秘	326

拓展与应用教学实验篇

实验一 扫描隧穿显微镜	341
实验二 熵的测定	351
实验三 低温 pn 结特性与高温超导体转变温度 T_c 的测量	354
实验四 电阻应变式传感器灵敏度特性研究	360
实验五 光电二极管特性的研究	368
实验六 电涡流传感器及其应用	373
实验七 压电传感器特性研究	379
实验八 传感器应用器件制作	390
实验九 铁电薄膜的制备和铁电性的测量	396
实验十 磁性薄膜层间交换耦合的研究	401
实验十一 驻极体的制作及测试	407
实验十二 氦氖激光器的模式分析	410
实验十三 氦氖激光高斯光束和发散角测量	417
实验十四 利用脉冲激光测定光速	422
实验十五 傅里叶光学的空间频谱与空间滤波	425
实验十六 θ 调制法空间假彩色编码及卷积定理的光学模拟	431
实验十七 验证快速电子的动量与动能的相对论关系	438
实验十八 真空的获得与测量	446
实验十九 真空镀膜	454