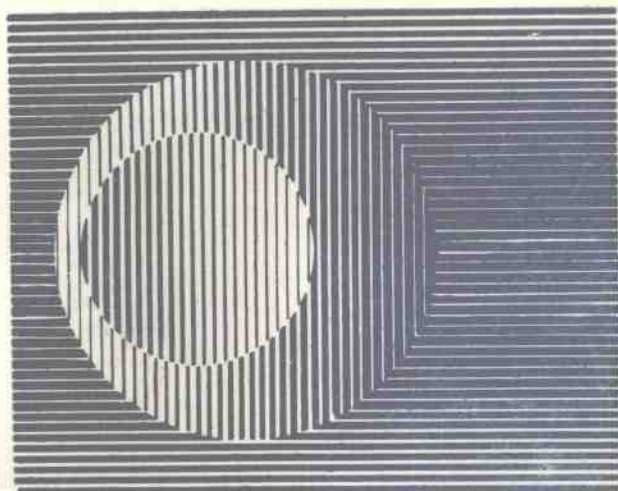


跨世纪学科 与技术

—物理学与交叉学科—

韦群 李纪武 袁德荣 徐吉华 等编



中国建筑工程出版社

跨世纪学科与技术

——物理学与交叉学科

韦 群 李纪武 袁德荣 徐吉华等编

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

本书以物理学为主线,介绍了与物理学密切相关、互为促进的耗散结构、混沌学、模糊数学和分形;介绍了物理学向纵深发展及横向外延所引发的新学科、新技术,如量子光学、介观物理、粒子天体物理、化学物理、生物物理、扫描隧道显微镜、激光技术、微电子技术、生物技术和纳米科学技术等。这些新学科、新技术均是近期发展起来的、跨世纪的科学技术。

本书可作为大专院校有关专业的补充教材或教学参考用书,亦可供中学理科教师、科技工作者参考。

跨世纪学科与技术
——物理学与交叉学科

韦 群 李纪武 袁德荣 徐吉华等编

*

中国建筑工业出版社出版、发行
北京市顺义县燕华印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 11 字数: 294 千字

1994 年 2 月第一版 1994 年 2 月第一次印刷

印数: 1—3,060 册 定价: 8.80 元

ISBN7—112—02207—X/0·3

(7227)

序 一

科学最初分化为生命科学和物理科学，前者研究有生命的东西，后者研究无生命的东西。生命科学又进一步分化为动物学、植物学等，物理科学则分化为天文学、物理学、化学等。但是，物理学不仅仅是物理科学的一部分，它研究的是物质和能量的基本规律，构成了各种现象的基础，是每一学科的根基。今日的物理学有如昔日的自然哲学，它无所不包。大部分当代的新学科，如天体物理学、物理化学、生物物理学、地球物理学、生态与环境科学、材料科学、计算物理学、微电子学、光电子学、光学信息处理等等，都是在物理学和其他学科的交叉点上兴起的。物理学与其它学科杂交，受惠往往是双向的。物理学中的新发现激励着有关学科新方向的研究；反过来，其它学科中的新问题向物理学家们提出了意义深远的挑战。最终受惠的是社会，是人类生活质量的改善和提高。

科学解决理论问题，技术解决实际问题，二者是有区别的，但从来关系就十分密切。回顾以解决动力机械为主导的第一次工业革命，物理学和技术的关系已有两种模式。热机的发明和使用提供了第一种模式。17 世纪末叶发明了巴本锅和蒸汽泵；18 世纪末瓦特完善了蒸汽机，使之真正成为动力，其后蒸汽机被应用于纺织、轮船、火车；那时的热机效率只有 5—8%。1824 年卡诺提出他的著名定理，为提高热机效率提供了理论依据，到 20 世纪蒸汽机效率达到 15%，内燃机达到 40%，燃气涡轮机达到 50%。19 世纪中叶确立了能量守恒定律和热力学第一、二定律。这里的模式是技术向物理提出了问题，促使物理发展了理论，反过来提高了技术，即技术→物理→技术。电气化的进程提供了第二种模式。从

1785 年建立库仑定律，中间经过伏打、奥斯特、安培等人的努力，直到 1831 年法拉第发明电磁感应定律，基本上没有应用的研究。此后半个多世纪，各种交、直流发电机、电动机和电报机的研究应运而生，蓬勃地发展起来了。有了 1862 年麦克斯韦电磁理论的建立和 1888 年赫兹的电磁波实验，才导致了马可尼和波波夫无线电的发明。当然，电气化反过来大大促进了物理学的发展。这里的模式是物理→技术→物理。本世纪以来，物理学和现代高技术（如电子、原子能、激光和信息技术）的发展几乎全都是沿着第二种模式进行的，而且相互促进和转化的进程愈来愈自觉，愈来愈快。从现在的趋势看，没有基础学科的突破，就不可能有下一代新技术的产生。

处在当今这样一个时代，相形之下，我们的物理教育实在是太落后了。现在大家在广泛地议论，如何使我们的课程现代化。由于物理学课程原有的体系过份成熟，以及学时紧张，和其它一些社会的原因，不能期望改革在短期内明显奏效。目前在各类院校增设一些选修课，编写一些补充教材和教学参考读物，是很有意义的尝试。湖北大学韦群等几位老师编写的这本《跨世纪学科与技术——物理学与交叉学科》，和他们开设的《科技时代》系列讲座，在这方面做了很好的开端。我郑重向广大师生和社会上的读者推荐此书，相信你们是会从中得到裨益的。

赵凯华

1993 年 9 月

序 二

《跨世纪学科与技术——物理学与交叉学科》一书以物理学为主线，介绍了一些具有跨世纪意义的新学科、新技术，使读者可以清晰地认识到，本世纪 50 年代以后，现代科学在不断分化的基础上，又高度综合，产生了诸多新兴交叉学科。现代科学的综合化，也表现在科学技术形成的理论体系，成为产生新技术的重要渠道，并作为对生产起着革命化影响的基本环节。科学、技术、生产三者愈来愈成为一个统一的整体，这正是未来科学技术发展的趋势。所以，从这一角度看，本书具有较高的实用价值和认识价值。

参与本书编写工作的同志都是我校年富力强，思维敏锐的教师。近几年，他们对交叉学科的教学、科研进行了尝试和探索，在校内外举办过多次讲座，并开设了选修课，受到师生们的普遍欢迎。本书便是他们几年心血的结晶。

面对现代科学技术的迅速发展，教育应该不断丰富和更新自己的内容，采取全面的，多学科或跨学科的新方法，使教育面向现代化。可以说，《跨世纪学科与技术——物理学与交叉学科》一书，就是这教育改革涌动浪潮中，一朵飞动着的绚丽的浪花。

湖北大学 范际燕

1993 年 9 月 1 日

目 录

序一	
序二	
导论	1

第一篇 新学科

第一章 耗散结构	11
1-1 与耗散结构理论有关的若干概念	11
1-2 几个有趣的实验	18
1-3 关于耗散结构现象的理论描述	21
第二章 混沌学	31
2-1 混沌现象	31
2-2 费根鲍姆普适常数	34
2-3 奇异吸引子	36
2-4 分形几何	37
2-5 混沌学的启示	40
第三章 分形与分维	43
3-1 分形——一个包罗万象的新概念	43
3-2 分维——分形的量化特征	47
3-3 有规分形与无规分形	54
3-4 相变与临界现象	58
3-5 材料的韧性与断裂韧性	60
第四章 模糊数学	64
4-1 异军突起的模糊数学	64
4-2 模糊集合、模糊关系与模糊变换	68

4-3	模糊控制与人工智能	80
第五章	介观物理学——物理学的一个新分支	88
5-1	AB 效应	88
5-2	固体材料中的 AB 效应	90
5-3	介观系统的输运性质	95
第六章	量子光学	98
6-1	量子光学的研究对象及学科特点	98
6-2	HBT 实验和光场的相干性	99
6-3	光场的非经典效应——光场量子特性的反映	104
6-4	量子光学与高新技术的密切联系	106
6-5	量子光学的新近发展	108
第七章	粒子天体物理	113
7-1	粒子物理和宇宙学	113
7-2	粒子物理与恒星物理	125
7-3	高能天体物理与粒子物理	129
第八章	现代生物物理学	133
8-1	现代生物物理学的主要任务	133
8-2	分子生物物理学	137
8-3	遗传密码与蛋白质合成	143
8-4	生物控制论	149
第九章	化学物理——一门蓬勃发展中的交叉学科	157
9-1	化学物理研究领域及学科特点	157
9-2	量子化学的丰硕成果	159
9-3	分子反应动力学	165
9-4	固体表面结构及其催化作用	168
9-5	功能材料	171

第二篇 新技术

第十章	激光技术	179
10-1	激光的产生	179
10-2	激光的特性	188
10-3	激光的应用	191

10-4 非线性光学	198
第十一章 红外技术	204
11-1 红外技术的发展史	204
11-2 热辐射的基本规律	207
11-3 红外辐射源与红外探测器	209
11-4 红外光学系统	212
11-5 红外系统	213
11-6 红外技术的应用	215
第十二章 微电子技术及新一代计算机	218
12-1 迅猛发展的微电子技术	218
12-2 向智能化发展的新一代计算机——第五代 电子计算机	221
12-3 第六代计算机——神经系统电脑	228
第十三章 扫描隧道显微镜——第三代显微镜	236
13-1 为什么要研制 STM	236
13-2 STM 的主要特点	238
13-3 STM 的工作原理	239
13-4 STM 的应用	245
第十四章 纳米科学技术——一门崭露头角的新科技	251
14-1 全新的纳米科学技术	251
14-2 扫描隧道显微镜 (STM) 创造的奇迹	252
14-3 纳米科学技术 (Nano ST) 引发的科技新领域	254
第十五章 液晶	271
15-1 什么是液晶	271
15-2 液晶的类别	273
15-3 液晶连续体的形变	276
15-4 在外部电场和磁场中的液晶取向	278
15-5 液晶的光学特性	283
15-6 液晶的应用	289
第十六章 超导	296
16-1 超导电性的基本现象	297
16-2 超导电性的唯象理论	301

16-3	超导电性的微观理论 (BCS 理论)	307
16-4	超导电技术	311
16-5	高 T_c 氧化物超导体	315
第十七章 物理学与当代生物技术		321
17-1	物理学与生物学的关系	321
17-2	什么是当代生物技术	322
17-3	当代生物技术的主要应用方面	325
17-4	生物传感技术和生物集成电路块	336
后记		341

导 论

物理学与新技术、新学科、新思维

物理学是研究物质运动普遍规律和物质基本结构的科学，是自然科学中最基本的学科之一。物理学一直在科学、技术乃至科学思维的发展中发挥着极其重要的作用，对人类的文明产生了巨大的影响。今天，我们人类同时进入三个时代——原子能时代、太空时代与计算机时代，物理学的功绩不可低估。我们拟从新技术、新学科、新思维三方面，论述物理学在它们的创建和发展中所起的作用和影响。

物理学是新学科的先导

物理学这门古老而又生机勃勃的科学，在其发展进程中历经好几个时期，其中最为引人注目的要数 19 世纪末和 20 世纪初的现代物理学革命。由于电子、X 射线和天然放射性现象的发现及其诱发的大批新发现，突破了经典物理学的框架，从根本上冲击着陈旧的科学概念和自然观。现代物理学革命的序幕拉开了。在这场革命风暴中，相对论和量子力学诞生了。它们构成现代物理学理论的两大基础理论，把物理学从经典物理学阶段推进到现代物理学阶段。这场重大革命是物理学的一次质的飞跃。其研究的范围迅速扩大，由宏观低速伸向微观高速领域；其研究的内容不断深入，由牛顿、麦克斯韦建立的宇宙的力学图象和电磁图象深入到宇宙的新的物理图像——量子论、相对论的图像，物理学已经成为研究宇宙间物质的基本组元、它们之间的基本相互作用和它们的基本运动规律的学科。

随着一些新现象的发现，一些新概念的产生以及一些物理概念含义的重新发掘，物理学向纵深发展，新分支学科应运而生。例如，用量子力学和相对论来研究原子核现象，建立了原子核物理学；将量子力学、相对论与电磁理论统一起来，形成了量子电动力学（后发展为量子场论）；量子力学和统计物理学相结合，出现了量子统计物理学，等等。又如本世纪 60 年代由于激光的问世，使光学物理发生了深刻的变化，出现了新的光学现象和新的物理概念，从而形成现代光学物理。而相干性（不同于传统的相干性）、非线性和量子性则构成现代光学物理发展的基本特征。非线性光学、量子光学便是现代光学物理的重要分支和发展方向。另外，现代物理学作为带头学科主动联系其他分支，横向拓广，使物理学渗透到整个自然科学。物理学的基本概念、基本理论，基本实验手段和精密的测试方法，已经成为其他自然科学的重要概念的基础和重要的实验手段。由此加速了自然科学内部的互相融合，展现了综合化趋势，使众多的交叉学科蜂涌出现。用物理学的理论与方法移植去研究另一学科，就会诞生一门交叉学科。例如，用量子力学的方法探讨化学问题，就形成了量子化学；量子力学与生物学交叉，产生量子生物学，它是应用量子力学原理从电子水平上研究生命现象的科学。诸如此类新兴学科还有天体物理学、射电天文学、化学物理学、生物物理学、大气物理学、地球物理学、海洋物理学，等等。不仅如此，物理学还与社会科学相互联系，相互渗透，形成新兴汇流型学科。例如，热力学第二定律中的“熵”的概念的应用已经越来越广泛，熵理论早已超出物理学范围，在其他自然科学和社会科学的许多领域得到广泛应用。生命科学中有“生物熵”，生命过程中熵往往是减少的，薛定谔有一句名言，即生命“赖负熵为生”。在系统科学的信息论中有“信息熵”，熵成为信息论这门新学科的先导。信息与负熵相当，信息的失去为负熵的增加所补偿，因而使系统的熵减少。熵的概念也已引进经济学领域。又如，把“阈”的概念引入感觉、知觉范畴，发展了认知科学（即思维学）。再如，把“场”的概念应用于

分析人的行为，创造出群体动力学。从上述物理学自身发展的内在逻辑及它与新学科的关系，可以看出现代科学的发展趋势：一方面，科学在继续分化，新的学科和分支不断出现；另一方面，科学在分化基础上又进行高度综合，各门学科之间的界限日益模糊，涌现一大批交叉学科，形成一个具有整体作用和功能的大科学网络结构。物理学在现代科学既高度分化，又高度综合，日趋整体化的发展中扮演着极其重要的角色。难怪有人把 20 世纪看作物理世纪，把物理学看作本世纪的科学先驱。这种评价是再恰当不过的了。

物理学革命孕育着新技术

科学是人类对自然的认识，技术是这种认识基础上的再创造。物理学这门科学在发展中不断赋予自身以新的特点，使物理学与技术之间关系发生相应改变，形成新的互动机制和发展格局。纵观世界科技史上三次大的技术革命便可说明这一点。

第一次技术革命发生于 18 世纪 60 年代，以蒸汽机的应用为其主要标志。这次技术革命围绕改进已有的蒸汽机，并提高其效率而展开。瓦特通过大量实验研究，改进蒸汽机，提高了效率，为蒸汽机的普遍运用奠定了基础。继续不断提高蒸汽机的效率成为科学研究的重要课题。效率的提高有没有限度？卡诺对此问题进行了理论研究，找出提高热机效率的方向和限度。这正是热力学第二定律的萌芽。在这次技术革命中已经表露出物理学与技术的相互依赖性。

第二次技术革命开始于 19 世纪 70 年代，以电力技术的广泛应用为其重要标志。这次技术革命围绕找寻新的能量转换形式和新的动力来源而展开。麦克斯韦于 1860~1865 年创立的电磁理论，为电力技术的产生提供了重要的理论基础，为这次技术革命作了科学准备。物理学与技术的互动机制已经显露出来。一方面物理学在电力、热机和通讯等领域发挥出对技术的指导作用；另一方面技术的进步又推动物理学理论的发展，终于导致了后来的

电子和放射性的重大发现。

第三次技术革命发生于 20 世纪 50 年代。第二次世界大战以后，由于原子能、电子计算机和空间技术的出现和应用，导致新材料技术、微电子技术、激光技术、生物技术、空间技术、海洋技术、新能源技术等迅速崛起，形成了以电子计算机为核心的新高技术群，掀起了一场新技术革命的浪潮，有人称它为“第三次浪潮”。在不到一代人的时间内，人类同时进入了原子能时代，太空时代与计算机时代。其影响之广，意义之大是以往任何一次技术革命都无法比拟的。

技术革命与物理学的关系比以往更密切，这可以从三个方面来看：

一、这场技术革命的科学背景是以物理学革命为先导的，化学、生物学、天文学和地学在理论上取得决定性突破的科学革命。从这一背景可以看出，是物理学革命引发了技术革命。

二、物理学已开始全方位渗透技术领域，成为推动技术进步的主导力量。物理学成果直接导致新兴技术产生，物理学研究的方法和手段也越来越普遍地转变为技术的方法和手段。从高能物理这个侧面来看，粒子加速器的应用，就是一个例子。能将质子加速到 100keV —— 1MeV 的范德格喇夫粒加速器，是为探测原子核结构和亚核粒子的结构而发展起来的基础研究的工具。但今天，这种加速器却直接在工业部门运转，仅在半导体工业就有一千多台在使用。它们将杂质原子注入到半导体微电路器件中，精密地改变半导体的电学性质。电子加速器又是一个突出的例子。人们在电子同步加速器上发现同步辐射。这是一种方向性强、高辐射强度、高亮度、具有广阔平滑连续谱等优异性能，可以与激光媲美的光源。同步辐射，这一物理成果已直接应用在工业上，发展 X 射线光刻技术，电子加速器也成为基础研究和应用研究的兼用装置。北京正负电子对撞机 (BEPC) 能提供从紫外线到 X 射线和硬 X 射线 ($1200\text{\AA}$ — $0.5\text{\AA}$) 波段的同步辐射，目前该实验区已建成三个光束线前端区，五条光束线和相应的八个实验站，以提供

应用研究，这些正是科学的物化。

三、物理学的革命导致现代科学的分化和综合，也引起技术领域的同步分化和综合，从而形成目前六大高新技术群：材料技术、信息技术、生物技术、空间技术、海洋技术和能源技术。高新技术群是科学知识与技术的高度密集和综合运用，所以它们与物理学之间的互动机制比以往更强烈。就拿能源技术来说吧，为解决人类对能源的长期需要，就得开源节流，而能源技术便是关于能量的开发和利用的科学技术。它主要研究的是各种能源的开发、生产、转换、传输、分配、储存以及综合、合理利用的理论、技术和能源政策等等。能源技术的发展涉及到物理学、化学、生物学、天文学、地学等基础科学以及现代电力技术、电子技术、半导体技术、生物工程、海洋工程等新兴技术。因此，它是一个综合性的技术科学领域（群）。当前要开发的能源种类很多，其中最理想和最有前途的新能源要算核能，它包括裂变核能和聚变核能。而原子核物理和高能物理为核能的开发、利用提供了最直接和最基本的理论基础和方法。本世纪 50 年代前后，发达国家开始利用裂变核能发电，兴建不少核电站，核能在世界总能源中的比例逐年提高。然而裂变核能的利用存在一个关键问题，那就是铀 238 废料的利用。这一新问题的提出，又促使物理学家去研究和发展原子反应堆的新技术——快中子增殖反应堆，以解决核废料的利用。应该说，利用聚变核能价值更高，但这却是一个长期而艰巨的过程。当前受控热核聚变实验还未实现“得失相当”。不过 1991 年 11 月 8 日和 9 日欧洲联合托卡马克（JET）进行了三次放电实验。在受控热核聚变研究史上，它是首次在托卡马克型聚变装置进行充氖和氙的放电实验，证明了人类开发以氖、氙为燃料的受控热核聚变能源的方向是正确的，使人们看到了实现受控热核聚变的曙光，因而轰动了全世界。热核聚变的控制装置有两类，即磁约束和惯性约束，现在它们的研究工作都有新的进展。等离子体物理学正是在解决受控热核聚变问题的激励下，于 50 年代发展起来的。而新技术又不断为它的研究提供各种新式实验仪器和技术设

备，使其得以长足进展。

物理学增进新思维发展

本世纪以来，系统科学的兴起是 20 世纪科学发展的重大事件之一。现在我们从系统科学产生的思想渊源及历史背景，可以具体看到物理学的关键作用。系统科学是一种具有元科学、横断科学性的科学群，以系统及其机理为研究对象。它包括一般系统论、信息论、控制论、耗散结构理论、协同学等基础理论，以及系统动力学，灰色系统理论，决策分析等应用学科。统计和进化思想是本世纪科学思想的两大支柱。研究由大量元素组成的具有大量自由度的复杂体系，它呈现出复杂的随机运动，对此必须借助于统计物理。统计概率现象是复杂系统本身所具有的普遍规律，统计和概率既是系统科学的基本思想，也是它的重要数学工具。用克劳修斯的熵增原理、达尔文的生物进化论和历史唯物主义，分别研究无机界、有机界和人类社会的演化规律，肯定了客观世界都是以系统的形式运动和进化的，具有不同程度的合目的性的表现。这为以后系统自组织理论的发展奠定了重要的基础。本世纪 60 和 70 年代，在深入认识客观世界深层的系统机理，揭示复杂系统运动的内在规律性中，系统科学理论取得了突破性进展，它研究的重点转入自组织理论和系统进化论，形成各具特色的系统理论流派，其中最具代表性和应用价值最高的要数以物理学为背景的理论流派。物理学革命使物理学从宇宙的经典图景过渡到现代图景。其特征不仅表现在产生了一些新的概念，发现新的现象，而且表现在新的物理学思维方法的出现，以及物理学方法论原理的深刻变化。60 年代出现的激光是一种在远离平衡态条件下的典型的宏观有序结构，它随同在生物学和化学方面的实验，激发起人们对丰富多彩的非线性平衡态问题的研究。物理学直接演化、发展而形成了系统科学中这一重要的理论流派，其中耗散结构理论便是一个典型代表。该理论的创始人普里戈金为了探求复杂系统中结构稳定性产生的机理，他抓住了热力学中被忽视的不可逆问

题，把注意力从平衡态转向非平衡态，他领导布鲁塞尔学派经过几十年的深入研究，终于揭示出事物的非线性平衡态过程的规律，从而使人们认识到物理、化学系统与生物、社会系统一样，也可以实现从无序向有序、从低级向高级的演化，即存在自组织现象。当然这需要一定的条件，就是形成耗散结构的条件。人们认识上的这种转变具有重要的科学和哲学意义。由此可见，系统科学理论的新发展和新理论的产生是本世纪科学、技术和管理各个领域发生深刻变革的必然结果。反过来，系统科学的新理论提出了一系列新观点、新方法，这些新颖的科学思想和理论，又被自然科学、社会科学所吸收、促使这些学科向纵深、交叉和综合方向发展。众所周知，牛顿力学 300 年来，已经历了相对论力学向宏观高速运动、量子力学向微观粒子运动方面的两次突破。当前由于对混沌问题的研究，揭示出了**决定论与随机论之间、牛顿力学与统计力学之间没有不可逾越的界线**，不仅大量粒子系统要用统计力学，即使两个自由度的保守力学系统也得用统计力学。混沌问题的研究将带来对牛顿力学的“第三次突破”。

综上所述，物理学恰似一根红线贯穿在新技术、新学科、新思维之中，它们彼此紧密联系，互相作用，相得益彰。物理学这门重要的自然科学，在长达 200 多年的历史时期内，始终站在科学发展的前列，推动技术的进步和创新，对社会和经济的发展产生极大的影响。这在科学发展的历史上是绝无仅有的。

《跨世纪学科与技术——物理学与交叉科学》这本书正是依照“物理学与新技术、新学科、新思维”的思想脉络编写而成的。当然有的新学科并非源于物理学，然而它们与物理学并肩发展，相互影响，相互促进；也有的与物理学互相融合，产生交叉效应，形成交叉学科。书中介绍的耗散结构、混沌学、分形与分维、模糊数学等系统科学理论所提出的学术思想和研究方法，正在影响和改变人们观察周围世界的思维方式，推动哲学的变革。而我们未将其另辟为“新思维”一篇，却是考虑到，它们发展迅速，几乎渗透到各个领域，并成为正处于发展之中的“非线性科学”这门