

90年代物理学



总论

〔美〕物理学评述委员会

科学出版社

90年代物理学

总 论

〔美〕物理学评述委员会

伍长征 吴嘉达 译

叶 令 马中骥 校

科学出版社

1992

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

《90 年代物理学》是美国物理学评述委员会等单位组织许多科学家编写的一套调查报告。本书是其中之一。

本书概括地叙述了 70 和 80 年代物理学及与之有关的交叉学科所取得的重大进展,对美国物理学在世界科学界的地位、物理人才培养和大型设备在研究中的作用等作了详细的分析,预测了 90 年代物理学各学科的前沿课题及发展方向。

Physics Survey Committee
Physics Through the 1990s
AN OVERVIEW
National Academy Press, 1986

90 年代物理学

总 论

〔美〕物理学评述委员会

伍长征 吴嘉达 译

叶 令 马中骥 校

责任编辑 张邦固

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1992 年 4 月第 一 版 开本: 850×1168 1/32
1992 年 4 月第一次印刷 印张: 5 3/4
印数: 平 1—2 200 插页: 精 2
册 1—800 字数: 144 000

ISBN 7-03-002694-2/O·505 (平)

ISBN 7-03-002695-0/O·506 (精)

平 装 6.00 元
定价: 纸面精装 8.20 元

中译本前言

《90年代物理学》(Physics Through the 1990s)是由美国全国研究理事会(National Research Council)组织,物理学评述委员会(Physics Survey Committee)所写的调查报告.全书共9册,其中6册分别阐述物理学的6个基本领域,即:《原子、分子物理学和光学》(Atomic, Molecular, and Optical Physics),《凝聚态物理学》(Condensed-Matter Physics),《基本粒子物理学》(Elementary-Particle Physics),《引力、宇宙学和宇宙射线物理学》(Gravitation, Cosmology, and Cosmic-Ray Physics),《原子核物理学》(Nuclear Physics)以及《等离子体和流体》(Plasmas and Fluid).另有3册分别是《总论》(An Overview)、《提要》(A Summary)、《交叉学科和技术应用》(Scientific Interfaces and Technological Applications).

美国全国研究理事会共组织过三次物理学方面的调查.前两次分别于1966年和1972年完成.这次从1983年初开始,组织了近150位物理学家,耗资70万美元,于1986年4月出版本书.

这套书详尽地叙述了1985年前的十几年中物理学和与物理学有关的交叉学科所取得的重大进展以及物理学对其他学科、社会发展和人类进步的影响.本书还对美国物理学在世界上的地位、物理人才的培养和现代大型设备在物理学研究中的作用等作了详细的分析,并预测了20世纪90年代物理学的前沿课题及发展方向.

这套书的内容深入浅出,有一定的权威性,相信它将有助于我国物理学工作者了解当代物理学的重大进展、前沿课题及发展趋势.同时,本书对地球物理、生物物理、材料科学、化学、数学、微电子学、能源与环境科学、光信息技术、国防和医学等与物理有关的

交叉学科的研究和教学人员也有很大的参考价值。此外，对负责制定科技政策的各级政府领导和科研管理部门了解物理学的现状和发展，制定学科发展规划和基金指南等，也有一定的帮助。中国科学院数学部和复旦大学共同组织翻译了此书，将陆续出版。我们坚信，本书的出版将有助于推动我国物理学的发展。

在本书的翻译出版工作中，得到了科学出版社、复旦大学出版社、复旦大学物理系、中国科学院物理研究所、高能物理研究所和等离子体研究所等单位的大力支持，在此仅表谢意。

谢希德 周光召 章 综

序 言

《90年代物理学》是一套9册的物理学评述，它用大量材料证明，自从上一套这样的评述完成以来，10年中物理学取得了非凡的成就。本评述也估计了今后10年的机会，并且陈述了为实现这些机会必须克服的障碍。

正如这几册评述所描述的，物理学的范围之广阔、形式之多样，确实是十分惊人的。物理学考察的现象包容从亚原子到宇宙的巨大范围。它涉及到关于宇宙起源和物质结构的基本问题，实际上这些问题应用于人类的一切努力之中。物理学的进展以新的思想、新的仪器、新的技术和新的应用触及了几乎每一学科和工业技术的各个方面。

我们关于时空性质和物质基本结构单元的总的图象正在发生根本的变化。揭示新事物的步伐逐年加快，物理学的成果和成就已经超出了10年前物理学家最为乐观的估计。

以物理学为基础所发展的新的成像技术在医学上拓展了一个新的时代。它甚至无需接触病人就可以非常准确、细致地描绘出人体的生理功能。固体物理学的新技术使人们可以在原子尺度上制作半导体器件，有希望导致新一代高速器件的诞生，为将来制造体积更小、速度更快、价格更低的计算机奠定了基础。

在某种意义上说，不幸的是物理学这些独特的进步可能发生在—一个预算紧缩时期，这会在许多方面影响国家的科学事业。但是这一事件的巧合并不会降低本套评述的价值。即使在困难时期，也必须作出关于科学规划方向的决定；更何况预算问题终究会被解决的。总之，那些指导我们科学研究计划的人总是需要清楚地了解科学领域的状态的。

我将这一册《总论》作为物理学的科学成就和研究机遇的总体

描述推荐给你们。本册的结论和建议值得那些与物理学以及物理学在教育界、工业界、联邦政府的应用有关的决策者认真考虑。《总论》的内容本身也令人神往，使我们对未来几十年取得更为惊人的成就充满期望。

国家科学研究委员会主席

F. 普雷斯

前 言

物理学评述委员会把物理学主要领域的研究评估工作作为自己的使命。评估的目的是回顾自上一次评述以来的进展，并强调研究的机会。构成物理学评述的9册书表明，这是一项具有相当规模的工作。除这册《总论》，这套评述还包括《提要》、《原子、分子物理学和光学》、《凝聚态物理学》、《基本粒子物理学》、《引力、宇宙学和宇宙射线物理学》、《原子核物理学》、《等离子体和流体》和《交叉学科和技术应用》等。这几册评述用大量材料证明了，物理学事业是有活力的、有创造性的和富有成果的。

在评估工作的过程中，出现了以下一些关键性问题：物理学中哪些领域在过去的10年进展最大？培养下一代物理学家的问题是什么？物理学是否将继续提供我们的社会所需要的受过科学和技术训练的人才？美国在世界物理学界中的地位如何？我们的科学资助系统是否仍然在小型和大型的项目上支持杰出的研究？这些问题在这一册《总论》中阐述。

物理学评述委员会主席

W.F. 布林克曼

目 录

中译本前言	i
序言	iii
前言	v
提要	1
背景	1
物理学和国家	2
大学和小组研究	3
大型实验装置和重点计划	3
支持物理学研究	3
人才	4
美国物理学界的国际地位	4
1 物理学和社会	5
2 物理学进展	10
引言	10
基本粒子物理学	10
原子核物理学	11
凝聚态物理学	11
原子、分子物理学和光学	12
等离子体物理学	12
宇宙学、引力和宇宙射线	13
边缘领域和应用	13
物理学的统一性	15
粒子物理学的进展	16
作为基本粒子的夸克和轻子	16
自然界力的统一	19
原子核物理学的进展	20

凝聚态物理学的进展·····	22
表面、界面和人造结构材料 ·····	23
相变和无序系统 ·····	25
原子、分子物理学和光学的进展 ·····	26
等离子体和流体物理学的进展·····	29
等离子体物理学的进展 ·····	29
聚变 ·····	30
空间等离子体 ·····	31
流体物理学 ·····	31
引力、宇宙学和宇宙射线物理学的进展·····	33
引力物理学 ·····	33
宇宙学 ·····	34
宇宙射线物理学 ·····	36
边缘领域和应用·····	36
边缘领域的研究活动 ·····	36
化学(36) 生物物理学(37) 地球物理学(37) 材料科学(38)	
应用·····	39
能源和环境(39) 医学(39) 国家安全(40) 工业(40)	
3 保持优势 ·····	41
投资过程 ·····	42
培养下一代物理学家 ·····	43
初等和中等教育 ·····	43
大学教育 ·····	44
研究生阶段的教育 ·····	44
小组研究·····	46
大型实验装置和重点计划·····	50
基本粒子物理学 ·····	54
超导超级对撞机(55) 扩大现有加速器的容量(56) 支持现有的和扩建的实验装置(57)	
原子核物理学 ·····	57
连续电子束加速器装置(58) 相对论性核碰撞机(58) 扩建现有的实验装置(58)	

凝聚态物理学	59
同步辐射装置(59) 中子实验装置(60) 强磁场(61)	
等离子体物理学	61
磁聚变研究(61) 惯性聚变研究(62)	
空间和天体物理等离子体	63
引力、宇宙学和宇宙射线物理学	63
引力辐射的探索(64) 相对论性迴转仪实验(64) 生气勃勃 的天体物理学的空间计划(64) 长期的宇宙射线实验(65) 宇 宙射线的地面观察(65) 中微子天文学(65)	
人才和优势	65
有关保持优势的政策问题	66
工业和专门机构在基础研究中的作用	67
国际通信和交流的自由	67
计算技术和数据库	68
计算机	68
数据库	69
补充材料 1 物理学的国际状况：美国在世界物理学界的地位	70
美国和国外的科学研究经费	71
总的趋势	71
物理学各专业领域中的趋势	73
美国在基础物理学研究中的地位	76
国际竞争和合作	81
物理学界更加国际化	81
规模和费用	81
避免重复	82
保持最前沿领域的广度和深度	83
科学家信息自由流通	83
美国对外国物理学家的培养	84
小结	87
补充材料 2 物理学家的培养和供给	89
造就受过训练的年轻物理学家——历史综述	90

入学人数和学位数量: 长期下降.....	93
美国学生和外国学生的比例	93
妇女和少数民族	94
物理学各分支领域入学人数下降	96
物理学学位获得者的留用和流动状况.....	96
老化的物理学界.....	98
变化着的就业结构.....	100
预测.....	102
需求预测	103
教育界(103) 需求情况——大学(105) 需求情况——四年	
制学院(106) 需求情况——工业和其他非教育部门(107)	
供给预测	109
物理学博士的培养数量(110) 物理学博士的供给: 1981—2001	
年(112)	
供求之间的平衡	112
结论.....	113
补充材料 3 物理学的组织和对物理学的支持	116
物理学研究机构的多样性.....	116
重点实验装置和国家实验室	116
大学研究	118
工业研究	119
研究机构的互补作用.....	119
对物理学研究的资助.....	120
组织和决策.....	137
名词缩写.....	140
物理学术语汇编.....	146
索引.....	162

提 要

背景

物理学研究环绕着广泛的基本知识和对于紧迫的社会问题的技术应用。这类研究在设立的许多不同的研究机构中进行，包括国家实验室、政府实验室、工业研究中心和大学。试图只用一本书来描述这些工作的整个研究范围和描述物理学在国家舞台上所担当的许多角色是困难的。因此，物理学评述的主体部分由评述委员会各专题小组提供的一系列报告来介绍，物理学的每一个主要分支领域各有一个报告，交叉学科和技术应用有一个报告。这7册报告加上本册《总论》构成了《90年代物理学》这套物理学评述的整体。每一分册的标题是

- 总论
- 原子、分子物理学和光学
- 凝聚态物理学
- 基本粒子物理学
- 引力、宇宙学和宇宙射线物理学
- 原子核物理学
- 等离子体和流体
- 交叉学科和技术应用

本册《总论》概括了各专题小组的研究结果，论述了广泛的与物理学有关的问题。第一章讨论了物理学在社会中的作用。第二章介绍了每一个分支领域进展的要点和机会。第三章叙述了未来的要求和建议采取的行动。此外，还有三个跨越单个领域问题的补充材料，即物理学的国际状况、物理学家的培养和供给以及物理学的组织和支持。

物理学和国家

我们是物理学上最激动人心的时代之一的见证人；在每一个领域中都获得了重大的进展。在粒子物理学中，电磁力理论和弱力理论已经统一成一种理论，能够协调一致地解释电磁现象和放射性衰变现象。由统一理论预言的具有弱相互作用的粒子已经被观察到。通过高能粒子加速器产生的大量亚核粒子现在可以由一小族被称为夸克和轻子的基本粒子来描述。称为胶子的粒子开始用来解释把夸克结合在一起的力。在核物理学中，经过几十年对核系统的研究工作，在成功地揭示了组成原子核的粒子（称为核子）的行为之后，我们现在有可能造成一种全新的物质状态，在这个状态中核子自身的组分（夸克和胶子）形成等离子体。

在等离子体和流体物理学中，磁约束等离子体的密度和温度已经可以接近于发生聚变反应所需要的条件，在聚变反应中核的融合伴随着能量的释放。这些条件也可以使用激光来实现，物理学家已经利用激光把靶丸压缩到密度高于它们的液态密度的许多倍。对流体和等离子体的研究导致了在了解湍流和混沌方面的重大进展。激光给原子、分子物理学和光学领域带来的革命仍在继续，光谱的精确度已大大提高，同时也发现了新的原子和分子种类。

在凝聚态物理学中，为探索相变（物质状态的变化，如液态到固态）的性质发展起来的技术有助于解释无序系统。已经用人工方法形成了自然界中不曾存在的物质状态，发现了诸如量子霍尔效应这种意想不到的现象。在宇宙学和引力学中，新的观察技术正在改变我们对宇宙的研究。宇宙学和基本粒子物理学、凝聚态物理学的结合产生了一幅关于宇宙的起源和演变的新的图象。实验引力物理学正在作为一门新兴学科出现。

总体上看，物理学的这些发现是我们时代最重大成就的一部分。物理学的作用远远不只是满足人类了解自然的愿望，因为物理学是一门核心学科，它为所有其他的自然科学、技术和医学提供

理论原理和实验技术。物理学是发展能源、改善环境、国家安全这类国家规划的重要组成部分。物理学的发现已经产生了微电子学和光技术等完整的工业部门。由于能帮助国家保持技术的领先地位,物理学构成我们的经济的一个推动力。

大学和小组研究

整个物理学界都十分关心健全国家的大学研究机构,它们担负着培养下一代物理学家的任务。从90年代初期开始,物理系教师的退休人数将逐年增加。为满足教员更替的需要,应该采取措施保证大学有能力不断吸引优秀合格的年轻物理学家到学校来工作。这种需要在由小组所进行的科学研究领域中尤为迫切,这种小组对新一代物理学家的培养有着特别重大的贡献。为了增加学校里科学研究的吸引力,必须指出,大学研究实验室为获得近代设备和研究小组为获得资助方面存在困难。所申请的资助仅仅是国家全部研究和发展经费的一小部分。为了使我们的大学保持物理学的优胜地位和培养最高水平的研究生,必须增加对大学基础研究的资助,以确保它能够在物理学最前沿竞争。

大型实验装置和重点计划

物理学中大型国家实验装置和重点计划对于最前沿的研究是至关重要的。为了协助国会和投资机构筹划这些实验装置和制定计划,每一相应分支领域的专题小组的报告详细地陈述了问题的优先次序,论证了所提议的实验装置和计划,说明了建议的形成过程。在《总论》的第三章中概括了这些结论以及对物理学的优先位置的简单讨论。

支持物理学研究

美国总的研究和发展资金中约有 2.5% 用于资助物理学基础研究和确保国家技术领域在未来保持领先地位的所有物理学科。与总的研究和发展资金相比,用于基础研究的部分不大,国家财力

完全能够担负得了—一个旺盛的物理学研究事业。

人才

10 多年来，物理学博士的培养数量保持稳定。然而，我国出生学生的比例稳步增长，今天约有 40% 的入学研究生来自国外。在工业部门找到工作的年轻物理学家日益增多，大约三分之一的新的博士离开了物理学研究。目前，物理学科学人才的供求之间是平衡的，但是这种平衡是不稳定的，随着我国出生的科学家职业模式的变化或者大型计划的产生，这个平衡就可能被破坏。但是，从 90 年代开始，全国范围内大学和学院中教员退休率将开始增长，我们可以预料到大学里研究岗位上将缺少合格的人选，这种短缺不仅对大学和研究生院的教育质量，而且对大学基础研究的质量将会带来最严重的后果。此外，作为物理学家训练的多数现在正从事于应用和工程研究，对技术日益重视的美国经济会需要更多的物理学毕业生。

在美国的大多数学科中，男性科学家的数量减少了，但是女性科学家人数的增加填补了这一缺额。不过，女性物理学家的数量仍然很少，应该采取措施来实现这个尚未开发的人才资源的潜力。

美国物理学界的国际地位

美国在物理学研究中处于世界领先地位已有 40 年，但是这种状况正在迅速变化。在过去 10 年中，西欧和日本已经完全从第二次世界大战的创伤中恢复过来，并且已经在科学舞台上再次担任了积极的角色。在许多我们以前明显领先的领域，这些国家现在具备有足够的竞争能力。从整体上来说，这些国家在物理学领域的重新出现有益于科学，但是美国能够和必须保持竞争的优势。如果没有这个优势，保持我们经济良好状况的一个关键性的因素将会失去。

1 物理学和社会

物理学是关于自然界最基本形态的科学。物理学领域包容的尺度从基本粒子的亚核世界到整个宇宙，包容的时间从小于 10^{-21} s 到宇宙的年龄。研究包容如此宽广范围的现象，发明为观察自然界提供更为有效的实验工具，创立使我们能够解释已经观察到的现象的理论，这些就是物理学的目标和成就。在深化我们对自然界的观察中，物理学深刻地影响了我们人类的见解，因为物理学的根本假设——即自然界是有规律的，并且人类的智慧能够认识这个规律——渗入到近代思想之中。通过发明新技术和促进相邻学科的发展，物理学使我们的日常生活发生了巨大变化，使得我们的活动相当舒适和自由，这些都使我们难以理解，仅仅在一个世纪以前，即使在技术发达的国家中，为了确保温饱，大多数人花费了他们大部分的精力。

物理学对现代社会的形态产生了极大的影响。为认识基本现象所进行的探索扩大了整个自然界的视野，导致了非凡的发明。这条探索的途径是无法预测的，但是沿着这条途径物理学的历史提供了许多实例。举其中之一例，从 18 世纪和 19 世纪开始，Cavendish、Franklin、Ampere 和 Faraday 等科学家对电学和磁学现象进行了煞费苦心的实验。他们的观察为麦克斯韦的电磁理论奠定了基础。麦克斯韦发现，光是人们熟知的电力和磁力的自然体现。发现光和日常生活中的力之间的联系是近代思想的一大成就。麦克斯韦的工作使我们得以深刻地认识从波到等离子体的电磁现象，并且解答了从空气为什么是透明的到辐射能量传输如何决定太阳和星体平衡等一系列问题。电磁理论为无线电、电视和雷达的发明奠定了基础，并使建立庞大的工业电力网络和现代通讯系统成为可能。事实上，在近代生活中很难找到和麦克斯韦发