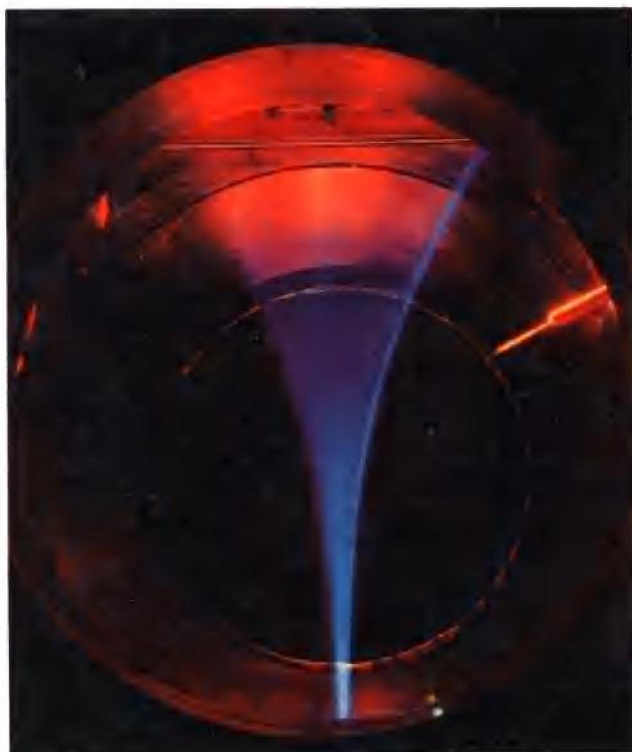


90年代物理学



等离子体和流体

〔美〕等离子体和流体物理学专门小组

科学出版社

1702458

90年代物理学
等离子体和流体

〔美〕等离子体和流体物理学专门小组

霍裕平等译

JY1165116



科学出版社

1996

(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,本书为其中之一。

本书概述了等离子体和流体物理学在近10年内所取得的主要研究成果及当前最活跃的前沿领域,并指出了未来10年内的研究方向。全书共分五章,第1章是引言及实施概要,第2到第5章分别对流体物理学、普通等离子体物理学、聚变等离子体的约束和加热、空间和天体等离子体作了评述。

本书可供从事等离子体和流体物理学研究和教学的人员、研究生、大学生参考,也可供科技管理干部使用。

Panel on the Physics of Plasmas and Fluids

Physics Through the 1990s

PLASMAS AND FLUIDS

National Academy Press, 1986

90年代物理学

等离子体和流体

〔美〕等离子体和流体物理学专门小组

霍裕平等译

责任编辑 巴建芬

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

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

*

1996年3月第一版 开本: 850×1168 1/32

1996年3月第一次印刷 印张: 8 1/2 插页: 2

印数: 1—900 字数: 217 000

ISBN 7-03-004686-2/O·805

定价: 20.00 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 Fluids)。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它学科、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,在此谨表谢意。

谢希德 周光召 章 综

前 言

本书概述了等离子体物理学与流体物理学在近期内所取得的主要研究成果以及当前最活跃的前沿领域，同时也指出了在未来10年内有可能取得重大进展的若干研究方向。

本书等离子体物理学部分由三个主要方面组成：普通等离子体物理学；聚变等离子体的约束和加热；空间和天体等离子体。虽然流体物理学的研究范围非常宽阔和分散（从生物流体动力学到船舶及飞机原理以及地球流体动力学），我们还是将其统一作为一个课题来叙述。由经遴选出的，具有广泛科学背景以及较深专业造诣的专家们组成四个小组，分别综述上述四个方面。一个执行委员会负责本书全面的协调与校核，从而形成一个完整的评述。执委会还负责写出一个摘要。在整个评述过程中，我们尽可能地考虑近年来一些主要的顾问委员会的工作结果。其中有磁约束聚变顾问委员会的，有空间科学委员会的以及天文评述委员会的。

本书的结构如下：第1章是引言及实施概要，其主要内容是：a) 主要的看法和建议；b) 近10年来的主要研究成就以及在今后研究中应该强调的领域；c) 简述当前的研究经费和人力水平，以及参与的主要机构。第2到第5章由各小组的报告组成，包括流体物理学(第2章)，普通等离子体物理学(第3章)，聚变等离子体的约束和加热(第4章)，空间及天体等离子体(第5章)。

评述的一个重要结论是：等离子体物理学与流体物理学都是已经得到充分发展的、十分宽广的物理学子学科。我们建议在今后的有关物理学的评述中，等离子体与流体物理学应分别成册。

在这里，我们要向各小组的成员表示感谢，感谢他们努力地工作并作出了重要贡献。我们还要对那些审查过本报告并提出非常有价值的改进建议的专家表示感谢，他们之中有：S. Colgate, J.

Deutch, H. Feshbach, G. Field, W. Fowler, E. Frieman, H. Furth, H. Griem, R. Gross, D. Kerst, H. Liepmann, J. Ostriker, E. Parker, D. Pines, M. Rosenbluth, A. Shapiro, J. Smagorinsky 和 E. Stone.

目 录

1 引言与综述	1
一般的结论及建议	1
结论	1
建议	2
引言	3
等离子体物理学的发展过程	3
等离子体的分类	6
流体物理学	8
主要的结论与建议	9
普通等离子体物理学	9
聚变等离子体的约束和加热	10
惯性约束	12
空间和天体等离子体	13
流体物理学	14
近期的成就及未来的研究方向	16
普通等离子体物理学	16
聚变等离子体的约束和加热	18
空间和天体等离子体	23
流体物理学	25
经费及人力资源	28
参与机构	29
普通等离子体物理学	30
等离子体约束和加热	30
空间和天体等离子体	31
流体物理学	31
2 流体物理学	32
引言与概述	32

流体物理学的重要成就和研究课题.....	34
最近的重要成就	34
重要的研究课题	36
看法与建议.....	37
主要的看法	37
主要的建议	39
政府的支持、人力和大学里的研究工作	40
流体物理学研究的分支、选择的课题领域和技术学科的 详细综述.....	43
流体物理学分支	43
主要研究领域	68
技术学科	77
3 普通等离子体物理学	83
普通等离子体物理学的研究领域与目标.....	83
强流电子束、离子束和光子束	85
低阻抗、数核瓦装置的发展	85
强流离子束	86
高能、强流装置的发展	86
Z 箍缩 X 射线源	87
在气体及等离子体中带电粒子束的传播	87
今后 10 年的期望与建议	88
集体加速器.....	89
空间电荷加速器	89
波加速器	90
电子环加速器	90
集体聚焦加速器	91
激光驱动加速器.....	91
拍波加速器	92
反自由电子激光加速器	92
光栅加速器	93
高梯度结构	93
反契伦科夫加速器	93

电子回旋辐射加速器	93
尚存在问题的领域	93
关于今后 10 年的建议	94
相干、自由电子辐射源	94
电磁波与等离子体的相互作用	98
电磁波被等离子体散射和吸收	98
同位素分离	101
等离子体中的非线性现象	103
哈密顿系统中的混沌	103
孤立子及其有关的现象	104
强朗缪尔湍流	105
参量不稳定性	105
磁重联	106
湍流弛豫到无力态	106
10 年来的其他重大进展	107
磁约束等离子体理论的进展	108
磁通几何和坐标系	108
单粒子轨道	108
库仑碰撞过程	109
宏观平衡	109
宏观不稳定性——理想磁流体力学	110
宏观不稳定性——电阻磁流体力学	110
微观(动力学)不稳定性和湍流输运	110
总结	111
等离子体中(或与其有关)的原子物理学	111
近期成果	112
有待探索的问题	113
建议	113
培训	114
经费水平	115
建议的经费水平	115
等离子体诊断	115

激光散射	117
微波干涉	117
光谱诊断方法	117
电荷交换	118
中子和 α 粒子	118
黑体及等离子体-壁的相互作用	119
重离子诊断	119
时间分辨等离子体行为	119
集体涨落引起的散射	120
数据采集及有关设备	120
紧迫的需求	121
强耦合等离子体物理学	122
历史	123
近期的进展	125
今后 10 年的展望	126
非中性等离子体	127
4 聚变等离子体的约束和加热	130
聚变等离子体研究的现状和目标	130
引言	130
聚变过程	132
磁约束	136
惯性约束	139
托克马克和仿星器磁约束系统	140
引言	140
主要进展	144
当前研究的前沿	152
未来进展的展望	155
磁镜系统	156
引言	156
主要进展——串级镜	157
当前研究的前沿	159
今后磁镜约束进展的展望	166

ELMO 皱褶环	167
引言	167
主要的进展	169
当前研究的前沿	170
未来进展的展望	171
反场箍缩	171
引言	171
主要的进展	174
当前研究的前沿	175
未来进展的展望	176
紧凑环	177
引言	177
主要的进展	179
当前研究的前沿	182
未来进展的展望	183
等离子体加热	184
引言	184
射频加热	185
射频电流驱动	192
中性束加热	196
惯性约束聚变系统	201
引言	201
主要的进展	204
当前研究的前沿	207
未来进展的展望	213
先进聚变的应用	214
美国聚变等离子体研究的经费开支	216
基本的研究结果和建议	218
磁约束	218
惯性约束	219
致谢	220

5 空间和天体等离子体	221
主要结论.....	221
主要建议.....	221
引言.....	222
实验室、空间和天体等离子体研究之间的关系	223
空间和天体等离子体物理学的定义	223
实验室和空间等离子体物理学之间的关系	224
空间和天体等离子体研究之间的关系	224
统一的物理问题	231
过去 10 年的空间和天体等离子体物理学	232
问题 3: 大尺度等离子体流的行为	232
问题 1: 重联	235
问题 2: 湍流与磁场的相互作用	236
问题 4: 高能粒子加速	236
问题 5: 粒子约束和输运	237
问题 6: 无碰撞激波	237
问题 7: 束-等离子体相互作用和电磁辐射的产生	238
问题 8: 等离子体和中性气体之间的相互作用	239
今后 10 年的空间和天体等离子体物理学	239
空间和天体等离子体研究的影响.....	240
空间和地面测量与观察的作用.....	242
太阳系等离子体物理学	242
天体等离子体物理学	243
太阳附近的当地测量	244
结论	245
实验室和主动空间实验的作用.....	245
实验室实验	245
主动空间实验	246
理论的作用.....	247
空间等离子体理论	247
理论天体物理	248

数值模型和模拟的作用.....	248
为什么定量模型是基本的	248
未来 10 年的系统模型和过程模拟	251
对高级专用计算计划的建议	253
等离子体物理学在大学课程中的作用.....	255
空间等离子体物理学	255
天体等离子体物理学	256
普通等离子体物理学	256
后记	258

1 引言与综述

一般的结论及建议

结 论

对于等离子体物理与流体物理,执委会有下述的一般看法:

- 过去 10 年中,在各小组总结的每一个领域内,人们的基本认识都有了极大的提高。

- 尽管绝大多数等离子体及流体物理的研究都是由应用(如防御、聚变、空间、通讯及大气模拟)所推动,但相应的基础物理研究始终是生机勃勃地发展着,并占据着人类知识探索的最前沿。

- 所有的过程,当体系能量高于基态 1 电子伏每原子时,都属于等离子体物理现象。等离子体物理学主要讨论带电粒子之间及带电粒子与电磁场之间的非线性集体相互作用,它将电磁学、流体物理、统计物理和原子物理的概念综合为一个统一的体系。

- 聚变和空间研究是等离子体物理最重要的两方面应用,它们有力地推动了等离子体物理学科的进展。等离子体物理的其它应用包括新型粒子加速器、相干辐射源、同位素分离和天体物理。

- 在近 25 年内,在实验室中研究热等离子体及研究空间等离子体的技术都有了很大的进展。由此,等离子体物理已成为一门充分发展的学科。

- 在 70 年代充分发展起来的相干和湍流非线性等离子体物理是非常重要的。诸如孤立子和混沌(stochasticity)等在等离子体物理中发展起来的非线性概念和数学方法,在其它物理领域中都有着重要应用。

- 由于上述理论成就,以及精确等离子体诊断学和数据采集

技术的迅速发展,在实验室中,等离子体研究取得了许多重大的技术成果,其中包括:托克马克中射频驱动电流的演示、等离子体孤立子和空穴子的观测、磁瓣以及诸如自由电子激光器、回旋管和X射线激光器等新的相干辐射源的研制。

- 理论、数值模拟和准确测量的结合,使空间等离子体物理研究与10年前相比,有了技术上的革新。其结果是,空间等离子体研究已成为等离子体基础研究的实验场所及主要的推动力。

- 流体物理的概念及研究技术,广泛应用于等离子体物理、大气科学、海洋学、固体地球物理学、天体物理、生物、医学等学科的研究中,此外,还可用于激光物理、燃烧及污染控制、运输、防御系统等方面。

- 在过去10年内,对湍流的理解和控制能力都有了突出的进展。由有序流(层流)向无序流的过渡成为检验近年来非线性力学突破性进展的主要场所。

- 由于使用了大型数字计算机去求解以前不可能求解的理论问题,并可对大量数据进行分析和修正,流体物理和等离子体物理研究的有效性得到了根本的改进。

建 议

除了以下各章中综述的一些特殊建议外,小组还作如下一般性的建议:

- 为了推进我们对聚变及空间等离子体的了解,并能在今后保持和进一步扩展美国在等离子体物理研究中的优势,我们建议联邦政府执行本报告和在这里列出的其它报告所提出的有关的进一步研究规划。

- 为了进一步推进流体物理研究的进展,我们建议国家开展下列两方面的研究:一是发展和使用本报告下面将提出的瞬时多点流设备;二是扩大那些能使用大型计算机及实验流体物理设备的研究计划。

- 考虑到过去 10 年中等离子体物理及流体物理的重大进展，我们建议联邦政府承诺对这些领域的不直接以应用为目标的基础研究给予新的支持。充分高水平的基础研究将为今后科学和新技术的发展建立一个稳固的基础。

此外，小组对科学界作如下建议：

- 鉴于等离子体物理及流体物理的理论水平和实验技术的精确性不断提高，应用日益广泛，我们强烈建议将高水平的等离子体物理与流体物理课程列为大学物理教学中的必修部分。

引 言

等离子体物理学的发展过程

早在 19 世纪，随着电学的产生，就已经观察到今日被公认为等离子体效应的现象。1830 年，法拉第 (M. Faraday) 为了研究电流引起的化学变化，发现了静电放电。在放电中出现的非寻常结构的辉光，展示了物质的一种新的存在形式。但是，在 1895 年汤姆森 (J. J. Thomson) 发现电子及稍后玻尔 (N. Bohr)、卢瑟福 (E. Rutherford) 等人建立物质的原子理论以前，对等离子体真正进行研究是不可能的。到 20 世纪上半叶，电磁学、流体物理、统计物理和原子物理都已发展得比较成熟，综合这些学科的概念和方法，用以研究带电粒子彼此之间及其与电磁场之间的非线性集体作用，这就是等离子体物理学的基本内容。也可以说，20 世纪物理学的主要成就之一，就是明确了“等离子体是物质的第四物理态”。

整个 20 世纪中，等离子体研究在实验室、在空间和星际中都是并行发展的。1920 年，朗缪尔 (I. Langmuir) 在实验室中发现了等离子体的集体振荡，而布莱特 (G. Breit) 和吐夫 (M. Tuve) 也首次实现了从电离层反射射频波。但等离子体物理基础的建立则是在 1930—1950 之间，几乎可以说是对电离层、太阳