



90年代物理学

提 要

〔美〕物理学评述委员会

科学出版社

90年代物理学

提 要

〔美〕物理学评述委员会

伍长征 李喜先 吴嘉达 译

陈开森 校

科学出版社

1992

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书是《90年代物理学》丛书的总的提要,由三部分组成。第一部分概述了近十年来物理学的进展,指明了各领域前沿之所在。第二部分叙述了物理学与其他科学和社会需要的关系,特别强调了应用。第三部分提出了保持美国物理学优势的一些必要条件,简述了物理学评述委员会的主要建议。

本书适合于与物理学有关的科技工作者、管理工作者和有关领导阅读。

Physics Survey Committee
Physics Through the 1990s
A SUMMARY
National Academy Press, 1986

90年代物理学

提 要

【美】物理学评述委员会

伍长征 李喜先 吴嘉达 译

陈开泰 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7月第一版 开本:850×1168 1/32

1992年7月第一次印刷 印张:7/8

平1—1100 插页:精2

印数: 精1—1400 字数:19000

ISBN 7-03-002791-4/O·519(平)

ISBN 7-03-002792-2/O·520(精)

定价: 平 装 1.40 元
纸面精装 3.10 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、分子和光物理学》(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，在此谨表谢意。

谢希德 周光召 章 综

引 言

本提要介绍了最近出版的物理学评述《90年代物理学》中的一些要点。评述的目的是为物理学的主要领域提供一个权威性的研究评估。为此，物理学评述委员会编写了6册关于物理学各个领域的综述和交叉渗透的两册综述《边缘科学和技术应用》和《总论》。这册简明的提要只不过是激励读者对这8册书中更为详细的论述发生兴趣。这些书提供的令人信服的资料表明，物理学是有生命力的和富有成果的学科。

本提要由三部分组成。第一部分概述了近10年来的进展，指明各领域的前沿所在。为简洁起见，在各个物理学领域中省略了重要的基础部分，只保留少数精采的部分。第二部分叙述了物理学与其他科学和社会需要的关系。这两部分具有很强的选择性，作为本提要的主调，对应用作了特别强调。第三部分提出了为保持物理学的优势应具备的一些必要条件，并简述了物理学评述委员会的主要建议。



1. 物理学的进展——一些要点

基本粒子物理学

基本粒子物理学研究物质和力的基本性质。基本粒子物理学探索物质的基本组成部分以及寻找支配物质行为的力。

过去的 100 多年中，物理学家发现物质能够被分解为分子和原子，原子由原子核和绕核运动的电子组成，原子核又由质子和中子组成。除电子之外，这些物质组分之中没有一种是简单的和基本的。

在过去的 20 年中，利用新一代的粒子加速器和运用崭新的理论思想，基本粒子物理学取得了惊人的进展。人们发现物质仅由两种基本粒子组成，一种叫做夸克，组成质子和中子，一种叫做轻子，如电子。同时已经证明作用在物质上的所有复杂的力可以归结为仅仅三种基本类型：引力、统一的电磁-弱力和强核力。

对物质和力的这一新的认识水平，使物理学家能够提出一些过去不可能提出的新的更深的问题。目前，我们仍不了解是什么决定着夸克和轻子的基本性质，诸如它们的重量和稳定性。此外，基本力之间的数学上的相似性提示着存在一种更基本的统一的可能性：可能所有的力是同一种基本力的不同表现形式；或许整个自然可归结为某种深刻的对称性。我们能找到这个基本力吗？我们能找到这一深刻的对称性吗？

要回答这些问题和进行这些问题以外的未知领域的实验，需要有采用新技术和新的理论思想的新型的能量更高的粒子加速器，根据这种高能量的粒子加速器的规模和经费，要求它们应是国家负责的，并且进行有效的国际合作以充分利用。

原子核物理学

原子核物理学家关心原子核的大小、组分以及在什么条件下分裂等许多方面。现在我们知道，曾经被认为是原子核最基本组分的质子和中子是由夸克构成的，但是迄今尚未观察到孤立的夸克。当今原子核物理学所面临的基本挑战之一是，在 高能粒子加速器帮助下，深入探索诱导的核碰撞中核内夸克的行为。计算结果预言，可能形成夸克胶子等离子体，这是一种具有极高密度的新的物质状态，它类似于在宇宙早期和在现在的超新星爆炸中可能存在的物质状态。这一激动人心的前沿领域可能导致人们不但对原子核而且对宇宙的演变有一个更为本质的认识。

在致力于对原子核的性质和使核子结合在一起的力的性质的研究中，核物理学家用电子、质子和原子核本身等高能粒子来轰击原子核。由此，可以了解关于原子核的激励方式以及原子核的电学和磁学性质等许多信息，正如下面要讨论的，这些性质对物理学在诸如医学、地质学等领域中的应用是十分重要的。原子核物理学也继续是深入了解自然界基本定律所需要的一个信息来源。

原子、分子物理学和光学

原子、分子物理学和光学中通行着十分相似的观点和许多共同的技术，以致于这三个学科自然地结合为一个领域。它们也具有同样的研究目的：了解原子和简单分子的结构；了解它们彼此之间以及它们和光之间如何相互作用。这个领域还为科学和技术的许多其他领域提供技术和装置。例如，它为环境工程和超精密计量学提供测量仪器。

一种新的装置叫粒子阱，它由一个特殊形状的电磁场构成，可用来捕获甚至是单个的电子或者离子，并且一次可将带电粒子约束起来达数月之久。利用这种粒子阱能够进行非常精密的测量。单个电子的实验已提供了一个检验近代量子理论最为精密的方法。它还 为研究分子之间的碰撞和反应提供了新的途径，将可用

来制造新一代的超精确原子钟。

原子钟以原子的一种内部运动形式作为钟摆来记时。因为同一种类的所有原子以相同的频率辐射，可以使原子钟十分准确。在 10 万年内准确到 1 秒的原子钟已得到广泛的应用。为了特殊的用途，原子钟的准确度已达到 1000 万年内只差 1 秒。原子钟对于分布在全球范围而需要精确同步信号的射电望远镜来说是必不可少的，对于精确的全球定位系统来说也是必不可少的。这种精确的定位系统使飞行员能以 10 米之内的精度计算他们的位置。

激光器是在原子、分子物理学和光学领域研制并使用的最为引人注目的器件。激光器让许多原子、分子同时在同一方向发光，它们产生的光束在颜色的纯度上比以往可能产生的高 100 万倍。在月球上可以看到地球上的功率仅为几瓦的激光。激光使原子、分子物理学和光学发生了根本的变化，并且在几乎每一个科学学科和医学、工业中得到了应用。这些应用包括大气分析、激光外科手术、光纤通讯、激光印刷、家用电子设备、激光辅助加工、新种类的原子和分子的制备和研究、相对论性理论的检验、聚合物和液晶的研究，以及生物物质的测量等。

本世纪 70 年代，物理学家知道了如何利用激光器产生脉宽仅为 10^{-12} 秒的光脉冲。现在，激光器产生的光脉冲脉宽更短，持续时间仅为几个飞秒 (10^{-15} 秒)。飞秒脉冲是如此之短，以致这个光脉冲的距离几乎不到人的头发直径的 1/100。飞秒激光可以用来拍摄瞬间的照片，甚至可用来拍摄化学反应中的分子的影片或者金属中的荷热电子的影片。这类影片使得人们有可能设计出更为有效的燃机和控制燃烧副产品。将来，新型的高速计算机可能采用短的光脉冲来传递信号，而不是由现在使用的较为缓慢的电子来传递信号。

等离子体和流体

了解流体怎样流动，对于认识范围广泛的诸如燃烧、血液流动、声波、空气动力学、板块构造学等等现象来说，是不可缺少

的。深入地了解等离子体意味着了解宇宙中的大多数物质：太阳、恒星、磁层、恒星风和星系，它们都由等离子体组成。建立如此复杂的非线性系统的模型需要使用尖端的诊断技术和高速计算机。

等离子体是一种高热气体，其中的许多原子已被解离，产生电子(带负电荷)和部分剥离的原子(带净正电荷)。对等离子体所进行的许多研究有一个根本性的理由，它们是可能在有朝一日供给大量能量的核聚变的燃料。理论上，等离子体可以被约束并加热到使它们的核熔聚在一起，同时释放出大量的能量。实践中，聚变很难实现和控制。然而，核聚变已经取得了重大的技术进展，实验室的聚变等离子体正开始进入氘等离子体能量得失相当的区域，也就是，以氘氘燃料混合物产生的聚变功率大致等于维持该等离子体温度所需的功率。

最近，物理学家发现等离子体可以用来提高带电粒子的能量。这种现象使得人们有希望用一种较小型的粒子加速器来替代常规的粒子加速器。用激光束照射等离子体，将产生伴随有强大电场的以接近光速传播的等离子体波。原则上，这些电场可以用来加速粒子。运用这一原理的加速器(称为拍波加速器)所产生的电场将比常规的加速器中的电场大1000倍。拍波加速器和传统的加速器比较，所产生的粒子的能量相同而体积却小得多。以这一原理为基础的实用的粒子加速器的研制工作可能在将来几年内进行。

聚变等离子体和拍波加速器的研究大大加快了对等离子体状态的了解。等离子体和流体是非常复杂的系统。技术上的进展取决于对非线性效应和湍流的根本了解。近来在理论、数学、计算机速度方面的突破导致了物理学家称为混沌理论的出现。离开烟蒂、夹杂在热空气中的烟雾开始是缓慢地上升，以后打旋成小的旋涡，小旋涡逐渐变大，然后又分裂成为新的小旋涡。小旋涡的分裂是混沌运动的一个例子；其他的例子是种群生物学，小行星的轨道形状和大气环流。物理学家正在运用高速计算机来模拟，这种混沌运动是如何开始的，又是如何演变的。

凝聚态物理学

物质具有四种状态——气态、等离子态、液态和固态。凝聚态物理学家研究后两种状态的性质。

过去，凝聚态物理学家把固体理想化为无限的有规则排列的原子列阵。在他们的模型中，固体完全是一整体，可以忽略它的表面。近 10 年来，凝聚态物理学家已把注意力转向更为真实和更为复杂的模型——很少有序或者无序的物质，具有新型排列的人工结构材料以及性质不同于块材料的表面。

凝聚态物理学家采用各种技术制备自然界中不存在的固体。一种技术是快速冷却液体，使其原子来不及占据它们正常的结晶顺序。这样形成的固体保持无定形状态，其结果之一是材料因没有相互滑动的晶面而变得更加坚固。

另一种技术是在清洁的表面上淀积上厚度仅为原子大小的薄层。实际上，这一薄层是二维材料。这样的材料具有独特的光学性质和电学性质，例如已被用来制作发光二极管。

第三种技术是交替淀积不同物质的二维薄层，即一层敷在另一层上面。这样的材料称为超晶格。通过改变薄层的材料和厚度，物理学家可以使超晶格满足特殊性质的要求，例如快速的或缓慢的导电性，随温度变化的导电性和可以控制的磁学性质。

新型材料和制备这些材料的新方法不但具有实质的科学意义，而且具有重要的技术应用。各种技术的发展不但取决于变更材料的强度和电学性质的能力，而且还取决于对发生在材料表面和材料间界面的行为的了解。例如，计算机芯片已经做得十分小，以致材料的表面起着主要的作用。又如，对于工业来说非常重要的一些化学反应，尤其是催化和氧化反应发生在表面上。在物理学的所有分支学科中，凝聚态物理学最直接地促进技术的发展，在本提要第二部分中所讨论的许多应用都来源于凝聚态物理学。

引力物理学、宇宙物理学和宇宙射线物理学

我们已经有了探视宇宙的新的眼睛，它们正在改变着我们对宇宙的意见。除了大倍数的地面光学和射电望远镜之外，现在正用轨道上的望远镜探测来自恒星、星系和宇宙边缘的红外线、紫外线、X射线和 γ 射线。宇宙射线为我们带来了诸如超新星爆炸这类高能过程的信息。

引力物理学家希望引力波将打开另一扇观察宇宙的窗口。爱因斯坦推断，如同运动着的带电粒子发射电磁波那样，运动着的有质量的物体发射引力波。这些波非常微弱，只有当物体的质量为太阳或行星的大小时，才能产生明显的引力波能量。例如，当地球绕太阳轨道运行时，地球的引力波辉光只有 200 瓦左右，相当于室内常用的灯泡发的光。但是，当一个庞大的星球坍缩时，它能辐射巨大的引力波闪光，其能量相当于太阳的质量。近来，实验室中试验性的棒形探测器在冷却到接近于绝对零度并悬挂在与周围的噪声几乎完全隔离的条件下，达到了很高的增益，其灵敏度接近于为黑洞的形成和聚结这类天体物理大变动所预言过的量级。到本世纪末或下世纪初，庞大的和灵敏度极高的干涉探测器或许将会出现。

宇宙学研究宇宙的起源和演变。50 年前，宇宙学家推理，宇宙在大爆炸中诞生。30 年之后，物理学家探测到该爆炸的余辉。现在大爆炸理论被普遍接受。10 年来，宇宙学家一直在试图把所有的宇宙行为综合为一个协调的图像。

很多复杂的问题有待于人们去问答。宇宙将会永远继续膨胀吗？或者它将减缓膨胀、缩小和最终坍缩？我们所看到的恒星和星系是否是构成宇宙的主要物质？或者大多数物质是不可见的，它们可能是由理论上存在的但尚未探测到的粒子组成的吗？宇宙中的恒星和星系最早是怎样和在什么时候形成的？怎样解释星系浩瀚的空旷和复杂的流脉？

在过去 10 年中，宇宙学家为了回答早期宇宙的问题，研究了

基本粒子物理学。例如，粒子物理学家的大统一理论可能会解释令人费解的宇宙中物质辐射比。粒子物理学家也已经假定了一些新的粒子，这些粒子可能导致星系的形成或者决定宇宙如何膨胀。由于这些粒子也可能组成看不见的物质，现在宇宙学家正在设计实验来找到它们。这样的发现将是物理学的一个里程碑。

2. 边缘科学和技术应用——物理学、 其他科学和社会

物理学是一切自然科学的基础。物理学研究的粒子和原子构成蛋白质、基因、器官、生物体、一切人造的和天然的物质、陆地、海洋和大气。在这个意义上,物理学构成了化学、生物学、材料科学和地球物理学的基础。物理学的基本概念和技术被应用到所有的自然科学。在这些学科和物理学之间的边缘领域中已经产生了新的学科,由此形成的科学整体已远远超过原来的各个学科的总和。边缘科学是未来10年最有希望和最有前途的科学领域之一。

下一个10年中另一个极有潜力的方面是技术,我们正处在第二次工业革命的中期。激光器、晶体管、半导体、磁带和计算机芯片已经极大地改变了我们的社会。这些技术和其他技术都取决于物理学的基本研究。例如,磁共振成像——一种观察体内的革命性的无损诊断技术,其原理就是由物理学家 E. Purcell 和 F. Bloch 在研究核和物质之间如何发生磁相互作用时发现的。W. Shockley、J. Bardeen 和 W. Brattain 通过研究不同条件下电流流过半导体的方式,发现了晶体管效应,为集成电路、微电子学和整个计算机革命开辟了道路。A. Schawlow 和 C. Townes 研究了光对分子和固体的作用,他们的发现导致了激光器的诞生。

物理学中一种新的思想的产生到它在技术中的应用之间的时间间隔正在变得越来越短。高速电子学、光通讯、先进的医疗设备和独特的防务系统都是在它们的基本原理被发现后的若干年内发展成熟的。技术和各门自然科学的未来都极大地依赖于与物理学有关的新的边缘科学和物理学本身的应用。

地球物理学

地球物理学诞生于地质学和物理学的结合,它研究陆地、海洋和大气的结构和动力学。物理学不仅提供了地球物理学的许多基本模型,而且为它提供了仪器设备。

海洋的环流、海洋和大气之间的相互作用、气象的模式和温室效应的模型都部分地属于二维和三维的湍流问题。湍流仍然是物理学中尚未解决的重要问题之一。但是,地球物理学家现在能够将他们的观察结果和必需的物理模型送交计算机模拟,以建立海洋和大气的真实模型。为研究这些问题,已专门建造了一些大型和高速的计算机。然而,这些问题的解答有待于还要大几个数量级的计算机的诞生。

20年前,山脉、地震带和火山的位置已被很好地绘制成图,但是未被充分理解。现在,地球物理学家知道地球的表面裂成几个刚性板块,相互间以每年1—10厘米的速率移动。地球板块悬浮在被叫做地幔的厚层稠密物质之上,并由于地幔的运动而移动。地幔在某些地方上升,形成可一直延伸到海洋中心的山脊,地幔在其他地方下沉,同时把陆地的边缘回拉入地幔。板块互相摩擦的地方发生地震,板块对撞或者板块交叠的地方形成山峰,地幔上升接近地表的地方,火山就爆发。物理学解释了支配这些运动的力,物理学还为描绘这些运动提供仪器。地震仪通过描绘地震的分布也描绘了板块的轮廓。列阵放置的地震仪和声波探测器能协调地工作,以给出海洋各层、整个海底(现在我们好容易才能零星地看到一小部分海底)、陆地的底层结构、地幔的循环和地球自身的横断面等立体结构轮廓。由适用于光学和凝聚态物理学的精密仪器所装备的人造卫星不仅能追踪大气的运动,而且也可追踪漂浮在地球表面上的大陆的漂移路径。

生物物理学

生物学终究要根据物理学的原理来研究极端复杂的生命过

程。物理学通过对无序系统的研究，通过应用统计学和使用灵敏的仪器，最终能够用它的基本原理来讨论这种复杂过程。生物学已把诸如X射线结晶技术、电子显微技术和多种光谱技术等如此完善地溶合于自己的研究工作之中，以致于人们常常遗忘这些技术起源于物理学。生物物理学研究的范围从分子到细胞、膜直至像大脑这样协同动作的多细胞系统。

生物学家现在可以应用高度灵敏的仪器来研究单个分子如何携带电信号通过神经细胞膜。这些信号是由带电原子，特别是钠、钾、氯和钙带电原子流动形成的电流。在神经细胞膜上有某种蛋白质分子，它可以使电流通过膜。蛋白质分子通过折叠成不同的构形来调节电流。生物学家现在想确切知道这种通道是如何打开的，以及它如何区别不同的原子。近来，物理学家已经研制了灵敏度足够高的仪器，它们能够测量通过单个通道分子的电流，这些电流的大小只有通过普通灯泡的电流的 10^{-12} 。

物理学原理还为诸如激素、抗体、变态反应素、病毒和细菌这类外部物质如何进入细胞的研究打下了基础。细胞表面是称为受体的蛋白质，特定的外部物质可以在细胞表面靠上并进入细胞。受体的结构决定了什么样的物质可以停靠，一旦物质靠上并与受体联结，受体就将这些物质输送到细胞膜的确切位置上，并在这些位置将物质送入细胞内部。现在的电光仪器使得研究人员能够观察受体联结物质、并沿着细胞膜运动到入口处的情形。

生物学研究的重要领域之一是大脑组织，大脑是一个神经网络，每一神经从周围的许多神经接受传入的信号，并将信号送往别的一些神经。为了研究神经中枢网络，生物物理学家采用了描述具有许多相互作用原子的系统的统计物理学模型。类似的模型描述恒量的大气、气体的凝聚和被称为自旋玻璃的具有随机磁取向的某些物质。在生物模型中，神经中枢网络显示了许多和我们大脑中存在的独特的特性相同的现象；网络有时失去并遗忘信息，有时则由于信息太多而达到饱和状态并发生错误。