



中国科学院第十次院士大会 学术报告汇编



中国科学院学部联合办公室

二〇〇〇·六·北京

各学部学术报告

综述性学术报告

学科发展战略报告

目 录

学科发展战略报告

1. 霍裕平	物理学学科发展战略	(12)
2. 谷超豪	数学学科发展战略	(18)
3. 陈建生	天文学科发展与优先领域	(36)
4. 王 夔	20 世纪化学的回顾与未来化学学科发展趋势	(50)
5. 洪德元	迎接生命科学世纪的挑战 ——生命科学发展战略调研报告(概要)	(56)
6. 孙 枢	地球科学:世纪之交的回顾与展望	(73)
7. 郑哲敏	技术科学和技术科学发展战略	(104)

各学部学术报告

限 表

●数学物理学部

期前将书还

1. 严加安	金融数学:历史与现状	(119)
2. 张涵信	以航空航天技术为背景的流体力学前沿问题	(125)
3. 王绶琯	“抚昔思今”看天文学与时间计量的交叉	(128)
4. 洪朝生	低温工程学的历史发展回顾与前景展望 ——我国低温工程发展问题的探讨	(133)
5. 贺贤土	斑图动力学和时空混沌	(137)
6. 沈学础	固体光谱——过去、现在和将来	(144)
7. 甘子钊	铜氧化物高温超导体的物理机理研究	(148)
8. 霍裕平	复杂系统、统计规律和对称破缺	(152)
9. 张焕乔	晕核与超重核	(157)
10. 于 禄	低掺杂高温超导体的输运和弛豫性质	(161)
11. 欧阳钟灿	生物膜与 DNA 分子的弹性力学和统计处理	(162)

●化学部

1. 黄乃正	呋喃在有机合成上之应用	(166)
2. 佟振合	微反应器控制的化学反应的选择性	(167)

3. 周其凤	液晶高分子研究回顾与展望.....	(171)
4. 吴新涛	过渡金属硫化学的回顾与前瞻.....	(177)
5. 李静海	化学工程中复杂系统的多尺度模拟及离散化仿真.....	(182)
6. 姚守拙	质量传感研究中的局限与开拓.....	(193)

●生物学部

1. 孔祥复	功能基因组学研究及展望.....	(198)
2. 周俊	植物化学发展的主要趋势.....	(201)
3. 张春霆	生物信息学的现状与展望.....	(207)
4. 张启发	水稻杂种优势的遗传和分子生物学基础的研究进展.....	(212)
5. 刘以训	哺乳动物排卵的新见解.....	(217)

●地学部

1. 陈运泰	统筹规划、共建共享“数字地球” ——中国“数字地球”发展战略.....	(224)
2. 谢学锦	化学定时炸弹与可持续发展 ——早日制定治理延缓性地球化学灾害的长期战略.....	(233)
3. 叶笃正	刘纪远 关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策.....	(238)
4. 吴新智	人类起源研究新进展.....	(246)
5. 丁抗	地球科学前沿——深海热液实地研究.....	(251)

综述性学术报告

1. 路甬祥	关于新世纪科学教育的几点思考.....	(259)
2. 安芷生	西部开发中值得注意的几个问题.....	(265)
3. 曾毅	艾滋病的流行趋势、研究进展及遏制策略.....	(271)
4. 郝柏林	生物信息学 ——跨越数理、计算和生命科学的发展前沿.....	(278)
5. 陈凯先	药物分子设计的发展.....	(289)

中国科学院第十次院士大会学术活动指南.....	(303)
印制说明.....	(308)

物理学学科发展战略

数理学部物理学学科发展战略研究组

一、20 世纪物理学的主要进展

(一)基本认识了在相当大的尺度范围内,物质存在形式和基本运动规律。

* 相对论:

狭义相对论:给出了经典力学完整的框架;建立了能量和质量的直接联系: $E=mc^2$;

广义相对论:将物质存在、引力与时空结构完整地联系在一起,给出了天体尺度物质的运动规律,并得到相应的实验证实。但是用广义相对论及量子场论讨论宇宙尺度(百亿光年)基本过程的试图,目前尚未能完全成功。

相对论根本改变了人们的时空观。

* 量子力学:将在经典物理中完全对立的“粒子性”与“波动”结合,统一地描述微观粒子的行为,给出原子、分子及相应尺度物质的运动规律(在相互作用及外场作用下),系统地解释和描述原子、分子主要的性质与过程。对有量子力学的一些基本认识论方面的问题,如对波函数的理解、测量等,目前也已有所进展。

* 量子统计:描述了微观量子特性在宏观体系的宏观性质中的反映;对强关联系统目前尚没有有效的描述方法。

* 量子场论:将量子力学与狭义相对论结合,讨论“场”这样的无穷自由度系统,进而将“场”、“粒子”与“相互作用”这三个过去认为完全不同的概念结合

起来,讨论亚原子粒子的结构、性质及作用。

首先是量子电动力学,其中光子是电磁场的量子,而电磁相互作用则是带电粒子发射、吸收或交换(虚)光子过程。利用重整化的微扰计算方法,量子电动力学成功地讨论了与电磁相互作用有关的过程。

利用规范场理论,弱作用(粒子间交换 W 及 Z 粒子)与电磁作用可以统一描述。

标准模型除包括弱、电统一理论外,还将强相互作用认定为夸克之间交换胶子(量子色动力学),质子、中子等强子都是由夸克(通过强作用)结合而成。标准模型也是可重正化量子场,能够基本解释目前所有有关弱、电和强相互作用的实验结果。但有关诸多粒子质量的来由,强作用与弱、电相互作用理论真正的统一等基本问题,还有待于在更高能区的研究结果,例如,能否发现新的标量场或 Higgs 子。

20 世纪物理学解决了在很大时空尺度(从原子、分子到天体尺度)范围内物质的存在形式和基本运动的规律(当然,在这个尺度范围内对物质各种具体的存在形式,它们的特性及具体的运动和变化规律还必须作更深入的研究),极大丰富了,可以说是更新了,人们对客观世界原来比较直观的认识。但是,对客观世界的认识还是很不完全的,还可以而且应该进入更深的层次问题:

(1)在标准模型中,中微子、电子和夸克粒子质量来源以及强作用与弱、电作用统一描述等更深层次的问题的讨论,都有待于在更高能区的研究结果,如是否存在 Higgs 子或相应的玻色场。

目前,广义相对论与量子场论还不相容,建立统一的量子引力理论遇到了基本困难。引力场与强、电、弱作用共同起作用的能区将更高得多;

(2)从“大爆炸”的观点看,目前宇宙的存在形式和运动是与大爆炸早期情况有关,广义相对论与量子场论结合还不能完全说明这些基本过程,因而也就

不能解释在可见宇宙尺度(百亿光年)物质的存在形式和变化。

在这些方面的努力将可能导致人们去认识更为基本的规律,而已有的理论(如标准模型和相对论)只是它在一定尺度范围内的近似,或称之为在一定尺度范围内的“有效理论”。

(二)人们对物理学各重要的领域,都从实验和理论方面开展了深入的研究,对相当多分支学科中的主要基本规律(在一定尺度范围内)有了相当的认识。从这种意义上讲,这些分支学科的基础已经基本建立(在计算技术高度发展的今日,也可以认为是“基本成熟”),形成了远大于物理学科规模的相应用学科,如无线电物理、光学、半导体物理、磁学等等。

* 理论物理:前面提到的对基本规律认识的进展,可以认为都是廿世纪理论物理的成就,而那些有待解决的问题也正是理论物理应追求的目标。此外,对复杂系统运动规律的研究(指如何由构成“复杂系统”的简单子系统的运动规律理解系统整体的运动规律)也是理论物理的重要方面。统计物理,特别是非平衡态统计,则是这方面研究得比较多的一个方向。在很多领域都提出的“强关联体系”,实质上也是一类典型的“复杂系统”问题。20世纪中对某些类型的复杂系统开展了很多研究,但除平衡态统计物理外,人们对这些系统基本规律的了解还很不够。对复杂系统的理论研究将愈来愈受到重视。

* 粒子物理:基子技术的发展,20世纪内加速器加速粒子的能量从几个MeV增加到100GeV以上。人们系统地研究了 this 能区存在的粒子、它们的性质、衰变和相互作用,并在此基础上逐步建立了标准模型,概括(而不是统一)描述了已发现的一些基本粒子以及它们之间主要的三种(强、电磁、弱)相互作用。正在努力(在更高能区)解决的是,粒子质量谱的规律和起源、检测Higgs子的存在、统一描述强、电磁和弱相互作用等更深层次的问题。

* 核物理:如果将发现中子(年)看成是起始的年代,核物理在其后的十几

年中就由一门纯基础学科发展成倍受重视的应用学科。目前对稳定和近稳定原子核(中子、质子数差不大)低能态的性质、结构、谱及核反应都作了相当深入和全面的研究。基于应用方面强烈的需求,中、低能核物理研究正更进一步深化与“精细化”。由于重核接近于强耦合多体系统,人们对其结构了解还很不夠,新核素的探求是这方面研究的一个重要方面。高能核物理面对的是强子多体系或夸克胶子多体系,因而已与粒子物理相接。在此领域,应该存在大量新的现象,很多重要问题有待于研究解决。相应的实验与理论研究工作,以及与之相联系的原子核结构更为完全的图象的探求,将继续成为核物理学科发展的热点。

* 原子和分子物理:量子量子力学及现代测试技术(包括激光技术)的发展,人们对原子或小分子基态、低激发态、态间过程及原子分子间的相互作用都作了比较深入的研究,有了基本的了解,并在此基础上发展了量子化学,建立了化学及反应动力学的微观基础。对单个原子、分子的分离、观察和控制的手段已正在迅速发展。由于物质主要的存在形态(固、液、气体及等离子体)都是由原子、分子及离子构成,原子、分子物理也成为很多物理学科(如固体物理)的重要基础。除根据实际需求对具体原子或小分子作更深入的研究外,人们对原子、分子的高激发态、离化态的结构,对复杂大分子及其相互作用等的研究将更加重视。

* 无线电物理:对电磁波(射频波、微波)在不同条件下、不同类型介质中传播所作的大量具体分析和计算,奠定了多类现代技术(如雷达、无线电及微波通讯等)的基础。电磁波与各种形态物质相互作用,一直是一些相应学科的重要研究内容。

* 光学:在所有粒子当中,光的波动-粒子二重性表现最为明显。经典光学主要刻划了光波的传播过程,是发展各种传统光学应用的基础。量子电动力学

给出了光子过程及光子与各种粒子相互作用近乎精确的描述。激光的发现将光学带入一个新的发展阶段,不论从光的强度、亮度、传播模式、相干性、光子统计性质以及超短光脉冲等,都不是传统方式产生的光所能比拟的。基于激光及相关过程发展起来的“激光技术”,深深地进入了现代技术和现代科学的很多方面,如光通讯、数据光存储、激光核聚变……。在激光及相关的各种过程中,光的波动、粒子二重性同时表现,通常用量子光学方法比较简单和具体地加以描述。随着现代光通讯技术、光电子技术、光子集成技术的快速发展,量子光学将受到进一步重视。激光与各类物质的相互作用也将是有关各领域的重要研究方向。

* 固体物理:

固体力学:用计算机对各种材料(包括复合材料)、各种复杂位形的弹性过程(静态和动态)的分析已成为现代结构与机械设计的基础,虚拟工程的发展已经提上日程;对固体材料塑性形变、断裂和破坏过程(包括缺陷、裂纹等及其相互作用),以及它们微观结构基础的研究将受到更大的重视。

晶体:在过去几十年中,对晶体的结构、低激发能态(晶格振动声子谱及电子激发的能带结构等)以及其与晶体主要性质的关系、对晶体中杂质、缺陷和位错等都进行了非常深入的研究;对各种晶体材料性能的认识,构成传统固体物理的基本内容;在此基础上发展的晶体“材料设计”及材料制备过程的控制也已很有成效。由研究各种晶体材料结构、性能(特别是电子过程)、以及缺陷、杂质、表面影响而发展、建立的一些分支学科,如半导体物理、磁学等等,都已成为物理学非常重要的部分,对现代技术的发展,以及一系列重大技术领域和产业部门的建立起了决定性的作用,并将继续产生重大的影响。同时正在开展对一些新型晶体材料(都具有重要应用背景)从制备、结构、性质到开拓应用的系统研究工作。

非晶、纳米、高分子等固体材料,都有极重要的应用背景,已经开展了大量的研究工作(特别是针对各种具体材料的研究),总结了一些重要的规律。但由于这些材料远比晶体复杂,得到的规律多少还带有一定程度的经验性与统计性,远不能与对晶体材料的认识相比(特别是微观与宏观层次的联系)。对这些材料而言,还不能开展真正意义下的“材料设计”。

薄膜及多层膜结构:由于镀膜技术的发展,以及现代光电子和微电子器件进一步微型化的趋势,近几十年来薄膜已成为一类非常重要的人造固体材料,对膜的研究也已成为固体物理的一个重要的组成部分。由此也发展了讨论零维(量子点)、一维(量子线)及二维(薄膜和超晶格)固体性质的“低维固体物理”。研制具有特定性状、满足特定要求的膜(包括多层膜),并进而全面研究它的结构、性能与直接开拓应用的工作,将会受到更大的重视。

固体结构分析手段(方法、技术与设备)的发展,不仅使固体物理学的研究深入到原子层次,也对分子生物学和蛋白质工程的开创起了关键的作用。微观结构以及对原子分子的直接观测手段已经有了很大的发展(如SPM等),将对物理研究和技术发展起愈来愈大的作用。

固体物理在传统上被划分为以下重要的具体领域:

- (1)金属物理
- (2)半导体物理
- (3)磁学
- (4)电介质物理
- (5)超导物理

* 流体物理:20世纪后半叶,流体物理开始成为物理学的一个愈来愈重要的分枝学科。除去航天、航空及很多实际应用对子气体或流体动力学所提出的要求外,技术的发展也要求人们愈来愈多地面对各种非简单流体(如非平衡

介质,湍流,多相流,软物质等),而且发现这些对象比固体还要复杂,有可能构成对现代物理学的一种挑战。

流体及气体动力学:气体动力学,特别是应用大型计算机的计算气体动力学,已经被公认为现代航空和航天技术的基础。流体动力学还支撑着很多学科和应用技术(如水力、船舶、射流技术等)的发展。高速发展的计算技术(包括硬件和软件),为今后流体动力学解决很多复杂的流体问题提供了新的契机。

非经典介质和非平衡介质流:

湍流:虽有众多科学家前后历经整个世纪的努力,对湍流本质及特性仍未能得到一个基本完整的理解。湍流可能本身就是高度复杂的系统(看成是无穷多相互作用和转化的涡旋组成),也可以认为是多自由度的高度非线性体系(大量自由度不稳定后充分非线性发展),因而用简单的“混沌”过程也是不一定能概括的。“标度律”描述了涨落中的“无序”部分,因而有可能作为讨论某些宏观特性的基础。但是很多重大应用(如天气预报、热交换、水流等)迫切要求知道的是涨落分布的全面情况(特别是大的局部有序运动)及变化规律,以及相应宏观平均参数的特性。从实验和理论两方而共同研究湍流,这将是相当一段时期内物理学研究的重要课题之一。

流体的结构及特性:从某种意义上讲,流体是比固体更为复杂的“凝聚态”。研究流体的结构,并由之分析流体的性质及其运动和变化规律,要比固体研究晚得多,直至最近几十年才受到重视,且主要是一些有重要应用价值的材料(如液晶)。研究对象主要有“非理想流体”,以及近来经常提到的“软物质”,如非理想液体、颗粒物质、膜等。大多数这类物质也都是强关联体系,对它们的研究将是凝聚态物理愈来愈重要的内容之一。

* 等离子体物理:等离子体实际就是“电磁流体”,其行为远较流体复杂。现代等离子体物理起始于五十年代受控热核聚变研究(在地面产生高温等离

子体)及人造地球卫星上天(空间等离子体观测),主要研究高温等离子体。八十年代以来,由于技术发展的需求(如等离子体刻蚀),低温等离子体的物理研究才受到重视。

等离子体基本运动规律及与电磁场相互作用:自四十年代以来,对简单等离子体的基本运动规律有了比较深入的了解,推动了不同受控热核聚变途径的发展。计算技术的快速发展,使得用数值模拟方法研究等离子体特性,及数值模拟等离子体的实验研究开始成为可能。

等离子体的非线性过程与湍态:等离子体是非线性现象最为丰富的强色散介质,现代等离子体物理的特征就是强调研究非线性行为。例如,等离子体内磁能到热能的转化就是撕裂模非线性发展的磁重联过程。20世纪下半叶对等离子体各种非线性过程的研究也推动了非线性数学的发展,今后也将是非线性科学以及等离子体物理研究的主要内容。人们需要研究的大多数等离子体都处于湍态(大量自由度非线性演化及相互作用)。由于存在电磁作用及处于局部非平衡态,等离子体湍态远较流体湍态复杂,因而尽管在受控热核聚变研究推动下人们对等离子体湍流作了相当大规模的研究,对其规律和行为还不能说有基本的了解,更不用说控制其行为了。等离子体湍流也将是下世纪物理学应该研究的重大课题之一。

天体等离子体:

* 天体物理:

(三)在20世纪中,特别在二次大战中及其后,物理学迅速地深入各应用领域,为现代技术的形成和发展奠定了基础,因而受到社会各方面高度的重视。只列几个影响整个社会的方面:

* 量子对电磁场和电磁波的研究和认识(经典电动力学),无线电通讯和广播从根本上改变了人类远距离传输、交换信息的状态。其后又从声音文字

(广播)发展到影像(电视)传送;从无线电传送发展到微波传送,到光纤传送,到卫星中继等等,将整个地球各部分联系成为一个整体。基于电磁波的发射、传播和接收的各种雷达技术的发展,使得人们具有了实时远距离探测的有力手段。

* 核物理学家对原子核性质、结构、能谱和核反应(特别是重核裂变反应及轻核聚变反应)的研究奠定了核能利用的基础。首先是利用不可控核能制造核武器(利用裂变能的原子弹及利用聚变能的氢弹),从而根本改变了人类战争面貌和军事对峙的状态。和平利用核能始于原子能电站的建立。这是可控的裂变核能。目前裂变核能已成为人类最重要的能源之一。可以预计,受控热核聚变能将在 21 世纪前半叶实现,并将逐渐成为人类主要的“最终能源”,将从根本上改善地球上的环境和资源状况。

* 20 世纪下半叶以计算机为中心的数值信息技术的发展,已经开始将人类带入了一个全新的时代,尽管如此称呼这个时代以及时代的特征等都还属争论的问题。至今为止,数值信息技术的主要基础还是微电子技术,它起源于:

(1)对半导体晶体材料(硅、砷化镓等)中电子过程,包括能带结构、杂质、缺陷态、元激发以及相互作用过程的深入研究和精确控制。

(2)运用各种同质、异质结构等能带剪裁手段和微细加工方法(光刻等),在最细线条为微米量级的各种器件(如结、双极晶体管、MOS 器件、HEMT 和 HBT 等)中实现对载流子输运过程的精细控制。

这两方面构成历史上半导体物理研究的主要内容。

* 激光技术:自五十年代发现激光以来,随着对固体、气体以及近期半导体激光研究的深入,激光应用扩展到军用、检测、精确测量、加工、医用、信息通讯等各个领域,成为现代技术的重要组成部分。半导体激光技术更推动了整个光集成技术、光电子技术、光通讯技术的发展,有可能成为未来数值信息技术

的重要基础。

* 新的结构材料、功能材料的涌现,极大地改变了很多技术领域的面貌。固体物理已成为现代材料科学和现代技术的重要基础。

现代技术也为物理学提供了大量极为有力的研究工具(包括制备特殊的研究对象和人工构型系统、高分辨检测技术、数据实时采集处理、计算及数值模拟等),也可以说,现代技术从根本上改变了物理研究的面貌。有很多研究工作的进展基本上取决于相应工程的实施与技术问题的解决。

下世纪新技术的发展,要求物理学各学科对各种涉及的具体物体、材料、过程、现象等作更深入和细致的研究(其中有些远比过去研究过的对象复杂);要求研制出更适于各种应用的新材料,开发出在一些特定环境下新的过程。这些研究将有可能导致新学科的形成。

(四)在 20 世纪中,物理学深深地进入其它学科,不但形成了一系列交叉学科,而且奠定了很多主要学科的重要基础。

* 化学物理:分子物理与量子化学;微观反应动力学的研究;现代物理实验方法与探测技术,例如结构分析技术、激光技术、磁共振技术等。

* 生物物理:DNA 结构测定,DNA、RNA 及蛋白质之间结构和信息的联系等,都构成分子生物学的基础;生物膜与生物膜结构;神经系统与脑的研究,生物信息处理过程;现代物理探测技术用于生物学研究。

* 地球物理:地球内各个部分、地壳及地表、大气圈层的基本性质及运动规律,相互的耦合及受天体过程的影响。

* 天体物理:空间物理;太阳系,包括太阳内基本过程、各行星的特性与状态,及太阳系的形成过程;星系;宇宙学。

二、21 世纪物理学的展望

基于 20 世纪物理学的进展,在未几十年内,物理学在自然科学发展中的地位显然会与 20 世纪有所不同,物理学的“面貌”也会有很大变化。

可以认为,物理学研究,从总体来说,进入了新的、更深的层次(不论从对粒子和场的认识,对宇宙的认识,还是对复杂行为的研究以及对生命过程的探索等等),要探索的将是更为基础、更为广泛的规律,很有可能将再一次更新人们对客观世界的基本认识。19 世纪牛顿力学建立后,对自然界描述穷尽的呼声也很高,当时却很少人预感到对新领域、新层次(如对原子层次、对光的研究)的研究导致三十年后相对论和量子力学等全新的观念的确立。五十年代激光发明前,尽管“受激发射”的概念已早为人知,却很少有人能预见到几年后激光的发现会给现代物理学以及现代技术带来如此巨大的变化。更不用说在三、四十年代开始研究半导体时,人们根本不会想到当今已经无所不在的数字信息技术。因此,作为研究客观世界物质基本属性的基础科学,物理学将仍然会充满了新的机遇与挑战。

20 世纪物理学建立了现代技术的重要基础,而在 21 世纪物理学对技术发展仍然将起着基础支撑作用,社会和公众将因物理学对技术持续发展的重要性而重新重视之。实际上,由于社会经济和技术持续发展的需求,人们已经将一些,而且进一步将更多,新的更为复杂的研究对象提到物理学家面前。在现代技术的支撑下,物理学与社会的联系将更为直接、更为简捷。其它学科从自身发展出发,对物理学将提出更为迫切和更高的要求,特别是在一些重要过程的物理基础方面。21 世纪将是人类了解生命奥秘、认识人类自身的决定性阶段,物理学家将会是研究的主要参加者,在很多方面还将起一定的主导作用。