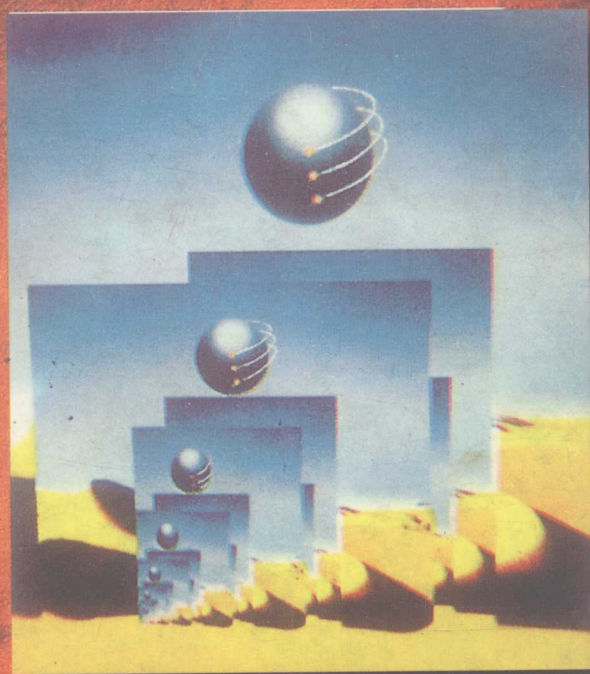


G DAI WU LI XUE JIN ZHAN

当代 物理学进展

魏凤文/王士平/申先甲



DANG DAI WU LI XUE JIN ZHAN

53.041

845



当代 物理学进展

魏凤文/王士平/申先甲

江西教育出版社

当代物理学进展

DANGDAI WULIXUE JINZHAN

魏凤文 王士平 申先甲

江西教育出版社出版、发行

(330003 江西省南昌市老贡院 8 号)

各地新华书店经销 江西印刷公司印刷

1997 年 8 月第 1 版 1997 年 8 月第 1 次印刷

开本: 850 × 1168 毫米 1/32 印张: 13.25

字数: 331 千 印数: 1—2000 册

ISBN 7 - 5392 - 2798 - 2/G · 2744 定价: 17.50 元

序 言

21 世纪的曙光,交织着人类对未来的希望,已经透射出东方的地平线。在向新世纪迈进的时候,回顾 20 世纪、特别是近几十年来物理学的发展轨迹,展望 21 世纪、特别是未来二三十年物理学的发展趋向,是十分有意义的。

20 世纪以来,以相对论与量子力学的创立为标志的现代物理学研究工作,从理论和实践两个方面,对人类认识和社会发展起到了难以估量的作用。物理学理论的发展,在三个层次上把人类对自然界的认识推进到了前所未有的深度和广度。在微观领域内,已经深入到基本粒子的亚核世界(10^{-15} 厘米),并建立起统一描述电磁、弱、强相互作用的标准模型,还引起了人们测量观、因果观的深刻变革。特别是量子力学的建立,为描述自然现象提供了一个全新的理论框架,并成为现代物理学乃至化学、生物学等学科的基础。在宇观领域内,研究的探针已达到 10^{28} 厘米的空间标度和 10^{17} 秒的宇宙纪元;广义相对论的理论预言,在巨大的时空尺度上得到了证实,引起了人们时空观、宇宙观的深刻变革。在宏观领域内,关于物质存在状态和运动形式的多样性、复杂性的探索,也取得了突破性的进展。凝聚态物理层出不穷、令人眼花缭乱的新成果和混沌现象奇特规律的惊人发现,给人类原有的知识体系以巨大的冲击,在动力学系统长期行为的确定性与随机性,决定性描述与概率性描述等方面,引起了认识上的深刻变革。

在实践方面,现代物理学的发展导致了原子能的释放和应

用,导致了半导体、光通讯等新兴工业的崛起,为激光技术、新材料研制、新能源开发开辟了新的技术途径,并推动了计算机革命的进展。现代物理学在推动能源科学、空间科学、材料科学、信息科学、环境科学、海洋科学的发展中起到了关键性的作用,成为 20 世纪下半叶以来蓬勃发展的现代科学技术革命的重要科学基础。现代物理学以新兴高技术群为中介向生产力的转化,极大地改变了人类的生产方式和生活方式,成为推动现代社会发展的重要杠杆。

50 年代以来的当代物理学已经发展成为一个相当庞大的学科群,包括了高能物理(粒子物理)、原子核物理、等离子体物理、凝聚态物理、原子分子物理、光物理、声学、计算物理和理论物理等主体学科以及难以数计的分支学科。物理学内部各个分支学科的渗透和交叉,物理学和化学、生物学、材料科学、天文学等其他学科的渗透和交叉,又产生了许多新的、富有生命力的边缘学科,形成了众多极有发展前途的科学前沿。当代物理学还呈现出高速发展的趋势,现代物理学中 90% 的知识是 1950 年以后取得的。其发展之快,分支之多,变化之大,已使人们很难及时作出全面的概括。当代物理学研究的综合性、深入性、复杂性、创新性和可应用性,都呈现出鲜明的时代特点。

物理学在 21 世纪发展的全景,人们无法作出全面的预测。只能根据我们目前的认识水平,根据当代物理学发展的状况和特点,对 21 世纪最初几十年的发展趋势作“豹斑之窥”。大体说来,在科学技术整体发展的推动下,物理学仍将加速地发展和分化,同时又会出现更多的渠道,增强各个分支之间的交叉和非线性作用,导致更为广泛和深刻的综合,朝着各个分支学科不断深入而整体领域综合交叉的整体化方向进展。物理学作为精密科学的典范,并以其探索视野的广阔性、研究层次的广谱性、理论适用的广泛性,在今后很长时期内仍将发挥其中心科学和基础

科学的作用。它也仍将不断地推出新思想、新原理和新方法,孕育出功能奇特、威力巨大的新技术,成为新技术和新兴产业部门的源泉和生长点。物理学与未来高新技术将更加紧密地发生融合,互相促进,协同发展,成为科学技术革命深入发展的主旋律;物理科学技术领域愈来愈频繁出现的突破性进展,将会更加吸引社会公众对物理学事业发展的热切关注。

物理学研究领域的研究,将继续朝着时空尺度的极端方向和复杂系统方向发展;向着更小尺度、更快时间、更强的相互作用、结构更为复杂的体系过渡。

粒子物理学中的“标准模型”理论,经受了相当成功的实验检验,被认为是迄今为止最有效的一个唯象理论,但是这个理论仍然存在着许多基本的疑难问题有待解决。诸如希格斯粒子的存在和本质,粒子质量的来源,夸克和轻子更深层次的特征标度,标准模型更深层次上的基本规律等,都是今后主要的研究领域。寻找超出标准模型的新理论,将成为高能物理近期探索的一个重要任务。

自1932年发现中子以来,原子核物理学取得了举世瞩目的长足进展。近几十年来,随着核探针能量和种类的增加,核物理学在新的自由度和新的层次上不断取得新成果。对非核子(特别是夸克)自由度、更高能量自由度、质子-中子比自由度、角动量自由度的研究,将是今后的一个重要方向。特别是80年代末出现的放射性核束,使核反应探针在核素图上从稳定核素发展到不稳定核素。远离稳定线的新核素,特别是滴线核以及超重核、奇特核的合成和研究,将会对原子核物理学的发展起到积极的推动作用。

以研究复杂多体系统为主的凝聚态物理学,是当代物理学中内容最丰富、应用最广泛的一门分支学科;也是当前物理学研究中最活跃、最能激发人的创造智力的研究领域。这一领域的

一系列发现,已经并正在对其他学科(包括化学、生物学、数学等)产生了重大影响;并通过它所诱发的高新技术进展,对人类生活产生了巨大影响。凝聚态物理前沿研究此起彼伏,发展迅速,使人目不暇接。它的发展大趋势将是现有分支领域强化研究,又不断开拓出新的领域,制备出更多更高性能的新材料,发现令人意想不到的新现象。超导电性物理、晶体学、磁学、表面物理、固态发光物理、液态物理、生命现象中的物理问题、极端条件下的物理等研究内容,成为当前凝聚态物理学广阔的前沿领域。其中低维凝聚态物理与以发现新的有序相、有序相的对称破缺、以及这些新相的物理性能为主要目标的研究工作,更是这一学科中最具活力的重要发展前沿。在今后十多年,可以期望凝聚态物理的研究取得新的重大发现和进展。

等离子体物理是物理学中一个年轻的分支学科。等离子体物理的研究已经成为人类认识宇宙、控制地球环境变化、以及最终解决能源问题的基础和保证,同时它还开辟了很多新技术与新应用的发展途径。热核聚变等离子体、空间等离子体、天体等离子体和技术与高技术等离子体的研究,愈来愈受到重视。

原子分子物理是微观世界的第一个层次,它的基础性强,应用面广,其发展直接或间接地推动了电子学和电子产业、光电子学和激光产业的诞生和发展,还形成了量子化学、分子反应动力学、分子生物学和分子天文学等一批交叉学科。原子分子激发态结构和动力学理论的研究,是当前原子分子物理学中最活跃的领域。这一学科的发展,在推动科学技术发展、社会进步和提高国防能力方面,将发挥重要作用。

光物理学是当代物理学发展中最活跃的领域之一。特别是在激光问世以来的三十多年里,光学的面貌发生了深刻的变化。激光物理、非线性光学、高分辨率光谱学、强光光学、量子光学等学科正日趋成熟,并孕育着光子学、超快光谱学和原子光学等新

的分支学科。可以预见,光物理的研究在 21 世纪将会有若干突破性的进展,并对生命科学、生物学、激光化学等领域的突破,以及光学、光电子、光通讯等高技术产业的发展,起到关键性的先导与推动作用。

在引力物理的研究领域,广义相对论仍然是对引力的最成功的描述。广义相对论所给出的关于时空结构的相对性的描述,不仅把物理几何与非欧几何相联系,而且把时空结构与物质运动彻底结合起来;不仅揭示了时间与空间的实在性,而且形成了时空与物质的完整性理论。总地看来,广义相对论的实验检验还远远落后于理论成果;只是在近二十多年来,由于射电和雷达天文学的技术进步和精确跟踪太阳系飞船能力的提高,检验引力理论的技术才有了出人意料的提高。关于引力波的存在,60 年代已得到理论上的肯定;对脉冲双星 PSR1913 + 16 运动的长期观测,已为人们提供了印象深刻的引力波存在的证据。人们期望,在最近十年二十年内,引力波可能被探测到。以广义相对论为基础的大爆炸宇宙模型,已经得到越来越多的观测上的支持,但仍然存在着一一些基本的困难。近年提出的暴胀宇宙学方案,不仅能在奇点问题、平直性问题、视界问题与唯一性等问题上克服大爆炸理论的困难,而且还由于它涉及到普朗克尺度的极早期宇宙图景,一个全新的量子引力理论不仅将由此诞生,而且人们所期望的四种基本相互作用的大统一,也将有可能在这一阶段相关的能量标度上变得明显。因而对极早期暴胀宇宙的量子引力理论的研究,越来越受到世人瞩目。

最后,在非线性动力学、非平衡统计和热力学、不稳定性(如湍流)、混沌等研究领域内,过去二三十年的探索已经提出了许多问题。在未来的几十年里,为寻求这些问题的答案所作的努力,一定会伴随着更多奇特的新现象的发现。

物理科学的诞生和发展,几乎与人类认识自然和利用自然

的历史共久远；未来物理学的发展，仍将与人类文明的进步共生同行，它永远是人类文化系统中最重要的子系统之一。在现代物理学的各个研究领域中，历来都有人作出发现已近尾声的预言，但这些预言无一不遭到历史的揶揄，每一个研究领域都不断涌现出激动人心的新发现。在过去的几十年里，每几个年头都有一些物理现象和方法的发现，它们是人们当初所未曾预料到的。可以断言，在今后的年代里，也一定会更加频繁地出现这些难以预料的新发现。以研究物质结构和运动在各个层次上的基本规律，提出新概念、建立新理论为目标的物理学理论研究，将始终处于整个自然科学发展的前沿；物理学中那些和应用技术密切结合的分支学科，将会有更多发展与突破的机会。

中国是世界上文明发达最早的国家之一，对人类文明和科学的发展作出过巨大的贡献。在物理学领域内，中国也曾以丰富的成果领先于世界一千多年。但是近代自然科学却没有出现在这个历史悠久的国度，中国现代自然科学仍然处在落后的地位。这一迟滞现象自有其深刻的社会根源、历史根源和认识根源。20世纪下半叶以来，中国的自然科学本应有高速发展的条件，但又因种种原因而失去良机。甚至在一段时期内，出现了一场反科学运动，使包括物理学在内的科学研究和科学教育横遭摧残。只是在最近十多年里，中国的现代物理学研究工作才努力向国际水平靠拢，取得了一系列可喜的成绩，缩小了与国际水平的差距。在本书中，我们特设专章对中国近现代物理学的发展作一个全面的概述，以便使我们更准确地了解我们的成就，估价我们的进步，认清我们的差距，确定我们的奋斗目标。中华民族是一个充满智慧的民族，中国科学的发展充满振兴的希望。只要我们及时抓住机遇，确立正确的科学发展战略思想，制定和认真执行推动科学发展的科技政策，正确处理好科学、技术与经济发展的关系，大力地、自觉地发展在未来最有意义的主要门类

的基础学科和在社会与经济发展中有重大意义的实用科学,勇于提出和解决重大科学问题和难题,大力发展科学教育事业,提高全民族的科学文化素质,我们就一定能够后来居上,成为世界科学技术和经济发展的中心之一。

目 录

序言

一、当代核物理学的进展	(1)
(一)核结构与核动力理论进展	(2)
1. 从独立粒子核壳层模型到原子核集体模型	(2)
2. 核结构与核动力学的新进展——IBM理论	(5)
(二)核内非核子自由度的研究	(8)
1. π 介子自由度	(8)
2. 夸克自由度	(10)
3. 高能轻子非弹性散射实验——EMC效应	(11)
(三)核物质新形态的探索	(15)
1. 重离子核物理	(16)
2. 相对论重离子物理研究	(19)
(1)探索夸克-胶子等离子体(QGP)	(19)
(2)格点规范场理论对相变条件的预言	(20)
3. 实验尝试	(22)
4. 奇异核	(24)
二、当代光学进展	(28)
(一)几何光学当代理论的建立与发展	(28)
1. 最小作用量原理与初期的几何光学	(28)
2. 经典光线光学的建立	(34)
3. 量子光线力学	(35)

(二)激光及相关光学学科的发展	(38)
1. 微波激射器与量子电子学的诞生	(38)
2. 向更短波长进发——激光器的问世	(41)
3. 肖洛及激光光谱学的大发展	(44)
(1)传统光谱学的建立与发展	(44)
(2)肖洛与激光光谱学	(49)
(三)量子光学研究	(54)
1. 从混沌光场到相干态光场	(54)
2. 压缩态研究	(57)
3. 腔量子电动力学	(59)
4. 超辐射研究	(60)
(四)信息光学的大发展	(62)
1. 从电子学到光子学	(62)
2. 光孤子与光孤子通信	(66)
(1)孤立子概念的建立	(66)
(2)光孤子理论	(68)
(3)光孤子通信	(70)
3. 全息光学的兴起	(72)
(1)从瑞利判据到全息术的发现	(73)
(2)从低谷中崛起的全息光学	(76)
(3)X激光全息术的兴起	(77)
(五)光本性的研究	(79)
1. 光辐射的量子假设	(79)
2. 波粒二象性与德布罗意的位相和谐定律	(83)
3. 对光本性的再认识——从泰勒实验到独立光束实验	(87)
4. 光子成串与反成串效应	(90)

三、极其活跃的物理学前沿领域——凝聚态物理学	(93)
------------------------------	------

(一)高临界温度超导研究	(94)
1. 高温氧化超导材料的发现与超导机制研究	(94)
2. 重费密子体系及其超导电性研究	(97)
(二)微结构物理的兴起	(98)
1. 纳米物理学的诞生	(98)
2. AB 与 AC 效应研究	(100)
3. 超微结构的量子效应研究	(104)
4. 纳米科学技术进展	(107)
(三)液晶物理学进展	(108)
1. 液晶的早期发现与研究	(108)
2. 德燃纳对液晶基础性研究的贡献	(110)
3. 液晶生物膜研究	(112)
(四)有机分子 C_{60} 研究	(117)
1. 从星际物质研究到 C_{60} 的发现	(117)
2. C_{60} 结构的确认	(120)

四、聚变物理与等离子体物理进展

(一)受控热核聚变研究	(123)
1. 早期核聚变研究与劳孙条件	(123)
2. 等离子体磁约束	(126)
(1)仿星器、磁镜	(126)
(2)托卡马克	(128)
3. 惯性约束系统进展	(130)
4. 当前聚变研究的前沿课题	(132)
(1)探索新的加热方式与机制	(132)
(2)改善等离子体的约束性能	(133)
(3)反常输运及涨落现象研究	(134)
(二)冷聚变研究	(136)

1. 冷聚变研究的高潮	(136)
2. 关于冷聚变的争论	(141)
3. 关于 μ 子催化冷聚变研究	(143)
五、天体物理学与宇宙学的进展	(146)
(一)天体物理学的进展	(146)
1. 行星研究的三部曲	(146)
2. 恒星层次的研究——天体物理学的建立	(149)
3. 玻尔的氢原子模型与天体物理学的进展	(150)
4. 恒星演化理论与核天体物理学的建立	(152)
5. 元素合成理论与天体核反应研究	(154)
6. 太阳中微子事件研究	(157)
7. 中子星的研究	(160)
8. 黑洞物理学的建立	(165)
9. 黑洞热力学与黑洞量子力学崛起	(170)
(二)引力研究	(173)
1. 牛顿引力思想的简短回顾	(173)
2. 平方反比定律的检验	(174)
3. 等价原理的研究	(175)
4. 引力常数的测定	(176)
5. G 值随时间变化的研究	(178)
(三)现代引力理论进展	(182)
1. 爱因斯坦前引力理论的回顾	(182)
2. 爱因斯坦建立新引力理论的最初尝试	(184)
3. 物理几何化	(186)
4. 引力场方程的提出	(188)
5. 引力波研究	(190)
6. 引力理论的进展	(195)

(1)引力与电磁场的统一性研究	(195)
(2)引力的“磁性”研究	(197)
(3)奇性与宇宙监督定理	(199)
(4)量子引力理论	(202)
(三)宇宙学的进展	(206)
1. 哈勃定律与膨胀的宇宙	(207)
2. 哈勃常数值修正的三次高潮	(209)
3. 多余天线温度的发现	(212)
4. 宇宙微波背景辐射的证实	(214)
5. 宇宙标准模型——大爆炸宇宙学的建立	(216)
6. 观测宇宙学的进展,暗物质困境	(219)
7. 非标准宇宙模型	(223)
8. 暴胀宇宙学问世	(228)
9. 宇宙学与粒子物理	(231)

六、非线性物理学与复杂性研究

(一)线性科学向非线性科学的转变	(234)
(二)复杂世界中的规整性的发现	(238)
1. 孤波和孤子的发现	(238)
2. 复杂系统相干结构的研究	(242)
(三)确定性系统中的混沌现象的研究	(244)
1. 古代“浑沌”思想和牛顿的决定论	(244)
2. 庞加莱关于三体问题的开创性研究	(247)
3. 伯克霍夫的工作与 KAM 定理	(252)
4. 洛仑兹关于气象预报的研究	(255)
5. “蝴蝶效应”和“斯梅尔马蹄”	(261)
6. “周期倍化分叉”的发现	(266)
7. 湍流研究和奇怪吸引子	(272)

8. 生理混沌的探索	(281)
(四)分形与分维研究	(285)
1. 分形与“无穷嵌套的自相似结构”	(285)
2. 分维概念的提出	(291)
(五)远离平衡态的自组织开放系统的研究	(292)
1. “时间之箭”的再发现	(292)
2. 从伯纳德花纹到化学振荡的发现	(303)
3. 耗散结构与自组织理论的提出	(306)
七、当代物理学在中国的发展	(312)
(一)20 世纪上半叶中国物理学家的成就	(312)
1. 力学	(312)
2. 相对论、引力论及宇宙论	(314)
3. 声学	(315)
4. 热学、热力学和统计物理学	(316)
5. 电磁学、无线电电子学和微波波谱学	(319)
6. 光学、应用光学和光谱学	(324)
7. 固体物理学(金属物理学、结晶物理学)	(327)
8. 原子分子物理学	(331)
9. 原子核物理学	(333)
10. 粒子物理学	(339)
(二)20 世纪下半叶中国的物理学研究	(342)
1. 力学	(344)
2. 声学	(351)
3. 统计物理学	(355)
4. 光学	(359)
5. 固体物理学	(363)
(1)固体理论	(363)

(2)晶体学	(365)
(3)非晶态物理和液晶理论	(369)
(4)内耗研究	(371)
(5)表面物理学	(372)
(6)半导体物理学	(374)
(7)电介质物理学	(376)
(8)低温物理学	(377)
(9)高压物理学	(382)
(10)磁性物理学	(384)
6. 相对论、引力理论和量子场论	(387)
7. 原子核物理学	(391)
8. 粒子物理学	(399)
 主要参考书目	 (405)