

书刊评介

推荐《90 年代物理学》

李 喜 先

(中国科学院科技政策局)

美国国家研究委员会 (NRC) 第一次组织的物理学调查是由 George E. Pake 领导的委员会在 1966 年完成的。当时的调查报告仅有两卷。NRC 第二次组织的物理学调查是由 D. Allan Bromley 领导的小组在 1972 年完成的。当时的调查报告共有 4 卷。

从 1983 年开始, 由美国物理学调查委员会 (Physics Survey Committee), 美国物理学和天文学部 (Board on Physics and Astronomy), 美国物理科学、数学和资源委员会, NRC 又进行了物理学的调查, 经过 3 年时间, 共同编写了《90 年代物理学 (Physics Through the 1990s)》丛书。参加编写的有美国物理学调查委员会主席、Sandia 国家实验室 William F. Brinkman 等 200 多名著名物理学家, 对物理学进行了全面的、系统的、有权威性的综合评述。丛书长达 2036 页, 于 1986 年由美国国家科学院出版社出版。

丛书在美国学术界和政府部门产生了重大的影响: 期刊《科学 (Science)》发表了评论, 题目为《展望 90 年代物理学》(1986 年 4 月); 期刊《今日物理 (Physics Today)》发表了“庆祝物理学”一文(1986 年 4 月), 认为丛书是现代物理学新的调查报告, 是充满活力、具有创造性和富有成效的文献, 对制订重大研究计划产生了影响。

丛书对分支学科进行了合理的细分, 同时又有高度的综合和交叉, 使物理学成为一个有机的整体。这套丛书也可以说是美国物理学的发展纲目, 它与《美国数学的现在和未来》、《化学中的机会》等专著并列, 形成了数学、物理学和化学领域比较完整的学科发展战略布局。同时, 还有若干重要研究计划, 特别是制造超导超级对撞机, 译释人体遗传密码、全球变化研究和建立空间体系等巨型计划 (maga project) 的实施, 这对推动美国科学的发展具有重大的意义。

这套丛书对于我国物理学的发展具有重要的参考价值。我国物理学界十分重视。中国科学院数学部和复旦大学, 正在组织力量翻译, 使其能尽快与读者见面。

丛书除《提要》外, 包括《综述》、《基本粒子物理学》、《原子、分子和光物理学》、《凝聚态物理学》、《等离子体和流体》、《引力、宇宙学和宇宙物理学》、《科学交叉与技术应用》等 8 卷(后 7 卷均有相应的小组参加了编写)。

丛书强调了物理学在自然科学和社会发展中的地位和作用, 概括了近 20 年来物理学的进展, 指出了 90 年代物理学发展的方向。其中有 6 卷分别对若干个重点分支学科进行了完整的论述; 《科学交叉和技术应用》卷论述了物理学与其它学科的交叉, 强调交叉科学是未来科学中最具有光辉前景的研究领域之一。《综述》卷引用大量的数据, 分析了美国物理学在国际学术界的地位, 并提出了要保持美国物理学优势的建议。

现就丛书内容作简要的介绍。

一、物理学的地位和作用

丛书强调,物理学是研究自然界最基本特性的一门学科,因而是自然科学中最基本的学科。其研究范围:在空间尺度上,从粒子的亚核世界到整个宇宙;在时间尺度上,从小于 10^{-24} 秒的过程到宇宙年代。相对于其它自然科学来说,物理学又是一门中心学科 (central discipline),因为它研究的粒子和原子组成了蛋白质、基因、器官、活体、整个人造和天然的材料、固体地球、海洋和大气等。同时,物理学的理论概念和实验技术又广泛地为所有其它自然科学所采用。从这些意义上说,物理学又是化学、生物学、材料学和地球科学等基础学科的基础。

丛书概括论述了物理学对社会发展的巨大推动作用。在了解自然界基本现象的过程中,物理学创立了一系列理论并创造了强有力地观察自然界的实验工具,这就使人类拓宽了视野,产生了奇迹般的创造力,从而也深刻地改变着人类自己的自然观。早在 18—19 世纪,科学家刻苦地进行了电磁实验,为电磁理论打下了基础,并逐步深入到从波动到等离子体的电磁现象,这些成为现代工业动力网、通讯系统等得以建立的基础。本世纪 20 年代,量子力学的创立为描述物质的真实性提供了非常新的思想,引起了半导体、微电子、光通讯等新工业的产生,并影响了生物学、化学和许多其它科学。几十年前,还没有人认识到,宇宙学和天体物理学是天文学黄金时代的开端;也没有人认识到,射电天文学、X 射线天文学和 α 射线天文学和其它新技术的产生和发展会使我们得到崭新的宇宙图象。现在,又正是通过这种图象使我们能深入地了解宇宙的起源及其未来的演化,以及人类在自然界的地位。

丛书认为,物理学在美国今天所起的作用是复杂的。对自然界的好奇心和探索未知的渴望永远是人类智力发展的推动力。而物理学又通过与其它所有自然科学、技术和医学等的相互作用来广泛地影响社会的发展。许多先进技术的迅速发展都直接归功于物理学的基础研究。在未来的年代里,美国就是要通过技术来增强在世界上的竞争能力。

丛书指出,物理学已给社会带来强大的动力,使人类生活得更好;相反,也会用之于破坏人类的幸福。如何明智地利用这种动力已成为社会最急迫的任务。若要圆满地完成这种任务,将要求公众在基础科学方面受到良好的教育,更要求政治领导人能很好地了解科学带来的结局和对技术发展方向采取正确的决策。

二、保持物理学的优势

在《综述》卷中,全面地分析了美国物理学在世界上的地位。该卷强调,直到第二次世界大战时,物理学研究主要活跃在欧洲。但在战争结束之前,物理学中心已移向美国,从而使其处于世界领先的地位。近 10 年来,日本和联邦德国等国家已开始占有适当的地位。这样一来,美国要保持竞争的锋刃,就必须保持物理学的优势。

该卷还提出了一些重要建议:美国有增强教育,特别是在大学吸引有才能的学生并训练他们掌握前沿科学知识,支持有才华的年轻教师进入学术界;增加博士前奖学金,以扭转美国出生的学生数的下降趋势;要建造大型设备,使其在重要的物理学研究中起到核心作用;要充

分发挥物理学小组在许多分支学科研究中的主要作用,特别是培训科学家的重要作用;为了增强交叉学科研究,要在大学创立系际交叉学科研究中心,制定交叉学科研究计划和跨学科教育计划,并设立交叉学科研究基金。

最后,该卷提出,美国要增强经济上的竞争能力,必须制定有利于基础研究的政策,政府机构、工业界和基金团体要积极支持基础研究。

三、物理学的进展和前景

丛书中 6 卷详细论述了若干个重要分支学科的进展前景并指明了其前沿所在,构成了丛书的主体部分。

(一) 基本粒子物理学

基本粒子物理学是研究物质最终组成及其相互作用的学科。在过去 20 年里,已取得了惊人的进展。可以断言,当前变幻无穷、丰富多采的整个物质世界,是由少数几个在目前分辨率有限条件下无结构和不可分割的称为夸克和轻子的基本成分所构成的。我们已经发现了夸克、轻子和载力粒子三类粒子,其中轻子有 6 种,夸克 5 种,还预料有 t 夸克存在。以前已知光子传递电磁力,近来发现 W^\pm 和 Z^0 粒子传递弱作用力,带色荷的胶子传递强作用力,因而预想引力子传递引力。一些物理学家开始认为,夸克、轻子可能是由更基本的成分构成的,并预言 Higgs 粒子是新的基本标准粒子。

目前,物理学家已把作用在物质上复杂的力简化为三种基本力:引力、统一的电弱力和强核力。而且,由于在基本力之间数学上的相似性,暗示着可能存在着具有深远意义的统一性;或许所有的力都是同一基本力的不同表现形式,或许万物都可简化为某些深奥的对称性。人们正在努力检验粒子物理学中的标准模型理论,并将为提出超出标准模型的理论(如大统一理论、超对称理论、复合模型理论、超弦理论等)作种种努力。

(二) 核物理学

核物理学家要考虑到核的大小、成分和在何种条件下发生分离等许多问题。以前认为质子和中子是核的最终成分,现在已知道它们是由夸克组成的。可是,还未曾有人观察到一个孤立的夸克。核物理学面临的基本任务之一,是借助高能粒子加速器产生核碰撞来详细地探索核中夸克的行为。今天,核物理学已扩展到广阔的领域,包括强力和电弱力之间的相互作用,还涉及到从核力的微观尺度到大尺度的宇宙结构的物质世界的性质。核物理学最重要的任务是把核作为强相互作用粒子的多体系统来研究,这仍然是十分困难的问题。从量子色动力学最惊人的预言中得出,当核物质处在高温、高密度下,组成强子的夸克、反夸克、胶子将失禁而自由活动,核物质就过渡到夸克-胶子等离子体态。相对论性和新的超相对论性重离子加速器碰撞实验将用来探索这种过程,以及其它未预见到的各种奇异核物质态。

宇宙起源的大爆炸理论认为,宇宙在大爆炸的几微秒就存在着这种物质状态——夸克-胶子海或许在超新星爆发时和在中子星核心中存在着这一状态,这是地球上从未观测到的物质新形态。这一激动人心的前沿领域,不仅会导致对核而且也对宇宙演化更基本的了解,并产生了核天体物理学,从而跨越了核物理学、粒子物理学和天体物理学之间的界限,使微观世界与宏观世界的研究交织在一起。

现在,已经知道许多激发核的方式和它们的电磁性质。核物理学也仍然是深入了解自然界基本规律的信息源。

(三) 原子、分子和光 (AMO) 物理学

AMO 物理学有许多共同之处,以致三者自然地结合成为一个领域。它们也有一个共同目的,即了解原子和简单分子的结构,以及它们彼此之间和与光之间如何相互作用。这个领域的研究成果也为科学和技术的其它许多领域提供实验研究技术和装置,如为环境工程和超精密计量学提供仪器。

实验和理论上的进展,开创了 AMO 物理学的许多前沿领域:在原子物理学中,选了基本检测和高精度技术、多电子动力学和原子系统瞬态 3 个领域;在分子物理学中,选择了孤立分子物理学和分子碰撞物理学 2 个广阔的领域;在光物理学中,提出了新光源、先进的光谱学和量子光学 3 个领域。

粒子阱 (Particle trap) 是一种新的装置,由成形的电磁场构成,能捕集电荷——甚至单个电子或离子,并使每次约束可达数月之久。这种粒子阱能进行非常精确的测量。单个电子实验已为现代量子理论提供了最精确的检验方法之一。粒子阱也为研究分子间的碰撞和反应提供新的途径,并使新一代超精度原子钟有可能制造出来。这种原子钟能达到难以想像的精度,并在射电天文观测和全球定位系统等方面有着广泛的用途。

激光器是由原子、分子和光物理学所创造的最引人注目的装置。在各门科学和工业中,激光几乎都得到了应用。现在,已经知道如何产生持续几飞秒 (10^{-15} 秒) 的光脉冲。这种脉冲可用于高速摄影,甚至可用于制作分子在化学反应时或电子在金属中传热时的影片。将来,新型高速计算机可用光脉冲传输信号。

(四) 等离子体和流体物理学

研究流体流动,对于了解空气动力学、燃烧过程中的化学反应、生物循环系统中的血液流动、声波、板块构造学等都是十分重要的。流体物理学有 15 个分支学科,丛书选择了空气动力学、双流体动力学、导电流体流动、地球流体动力学和多相流体等 5 个主题领域。

对等离子体的洞察力,意味着了解宇宙中的绝大多数物质,如太阳、恒星、磁层、恒星风和星系都是由等离子体构成的。要模拟这样复杂的非线性系统,就需要利用先进的诊断技术和高速计算机。

在一般等离子体物理学中,着重于基本等离子体的概念和应用研究,如等离子体不稳定性和非线性效应、湍流和混沌等研究,以及在自由电子辐射源、X 射线激光、等离子体同位素分离、集团和激光驱动的加速器等方面的应用研究。近来,物理学家发现等离子体能用来增加荷电粒子的能量,即当激光束进入等离子体中时,等离子体波随着以接近光速传播的巨大电场而产生,被激发的等离子体波可加速粒子,使其达到超高能。基于这种原理制造的加速器,称为拍频波 (beat-wave) 加速器,它比传统的加速器小得多,却能同样地加速粒子,使之达到超高能。在未来若干年里,将会出现基于这种原理而研制出来的实用粒子加速器。

在聚变等离子体方面,许多问题都涉及到高温等离子体物理学的基础研究。在理论上,等离子体能被约束,并能加热到核共熔点,从而释放出巨大的能量。在实际上,聚变是难于实现和受到控制的。尽管如此,它还是带来显著的技术进步,就氘等离子体而论,实验室聚变等离子体正开始达到收支平衡条件的值域,即用氘氚燃料混合产生的聚变功率近似地等于要求维

持等离子体温度所需的功率。这些研究要达到的目的是,在等离子体中同时达到高温、高密度和长久的约束时间,即类似恒星中心的等离子体条件。对于磁约束聚变,要强调等离子体约束概念的更新,以及实验研究,如燃烧堆芯实验(burning-core experiment)。对于惯性约束聚变,要注意理论分析和数值模拟计算,以及了解复杂的物理过程。

在空间和天体等离子体物理学中,要研究 8 类基本问题: 磁场重联、湍流与磁场的相互作用、大尺度等离子体流的行为及其与磁场和重力场的相互作用、高能粒子加速过程、粒子约束和输运、无碰撞激波、等离子体束相互作用和电磁辐射的产生、中性气体与等离子体的集体相互作用。在 90 年代,要进一步探索太阳系等离子体,包括研究地球等离子体环境、行星磁层和日层。当空间飞行器“先锋号”“旅行者”脱离日层后,可直接探测到星际物质和银河宇宙线。

等离子体和流体是极其复杂的系统。近年来,由于在理论、数学和计算机速度方面的突破,导致了混沌理论的产生。离开烟咀而夹杂在热空气中的烟雾,开始平滑地上升,然后打旋转入小涡旋,再逐渐地变大,不久后就破裂变为新的小涡旋。涡旋的破裂就是混沌运动的一个例子。其它例子还有种群生物学、小行星轨道形状和大气环流。物理学家正在用高速计算机模拟混沌运动是如何开始和演变的。

(五) 凝聚态物理学

凝聚态物理学研究液态和固态的性质。

过去,凝聚态物理学家把固态物质理想化为无限的、有序的原子排列。近来,他们已把注意力转向更现实、更复杂的模型——几乎无序或无序的材料,新一类有序人工结构材料,以及性质不同于一块整体性质的表面。

凝聚态物理学家利用各种技术,创造自然界里不存在的固体。第一种技术是,将液体迅速地冷却,使其原子没有时间完成正常的晶化过程,这样造成的固体仍然是非晶体。因无彼此滑动的晶面,其结果之一是使这种材料得到增强。第二种技术是,在清洁的表面上沉积仅有原子尺寸厚的薄层。实际上,这一层是二维材料。这样的材料有着异常的光电性质,可用以制造发光二极管。第三种技术是,沉积不同物质的交替二维层,即一层敷在另一层上面,这种材料称为超晶格。通过改变材料和层厚,能改变超晶格以形成特殊的性质,如导电快慢,随温度改变导电率,或造成可控磁性等。

新材料和制造它们的新方法,不仅在科学上而且在技术应用上都有重要的意义。各种技术的发展,不仅取决于改变材料的强度和电性能,而且还依赖于有关材料表面和界面的知识。在工业上最重要的化学反应,特别是催化和氧化,就发生在材料的表面上。在物理学各分支学科中,凝聚态物理学最直接地刺激着技术的进步。

在 90 年代里,仍要研究非线性动力学、不稳定性和混沌等问题。特别重要的是,当我们知道仅有几个自由度系统的动力学已是惊人的复杂时,再要研究如何处理多自由度的实际系统的湍流和不稳定性则是更困难了。研究物质表面、界面和象非晶态固体这样的各种无序系统的理论和实验技术都是十分重要的。此外,还要考虑飞秒激光光谱学、自由电子激光、超热中子和同步辐射等的应用。

(六) 引力、宇宙学和宇宙线物理学

我们有新的手段观察宇宙,使人们不断地改变着对宇宙的认识。除了强有力的地面光学

和射电望远镜之外,现在还有在轨道上运行着的各种望远镜,能观测到来自恒星、星系和宇宙边缘的红外、紫外、X射线和 α 射线,而它们和宇宙线同时带来了如超新星爆发这类高能过程的信息。

引力物理学家希望通过引力波打开了解宇宙的又一个窗口。爱因斯坦曾推论,象运动着的荷电粒子会发出电磁波一样,运动着的质量会发出引力波。这种波极其微弱,仅当所包含的质量具有太阳和行星那样大时,才稍有明显的引力波能量发生。如地球绕着太阳作圆围运动时,其引力波的辉光仅约200W。然而,当巨大的恒星塌缩时,它辐射出引力波的巨大闪光,就具有等于一个太阳质量的能量。最近,在实验室里的实验棒检测器冷却到非常接近绝对零度,并悬挂在几乎与周围的噪声完全隔绝的状态下,使灵敏度增高,这样可接近预测象黑洞的形式和聚结这样的天体物理巨变的量程。在进入下个新世纪前,非常大、非常灵敏的干涉检测器将在空间运行。

宇宙学是将宇宙作为一个整体来研究。它主要研究宇宙的起源和演化等问题。50年前,宇宙学家推论,宇宙在大爆炸时开始形成;30年后,物理学家检测到了那一爆炸的余辉。现在,大爆炸理论已广泛地被接受了。近10年来,宇宙学家一直试图把宇宙在最大尺度上的行为综合成一幅协合的图形来。

宇宙将永久继续膨胀吗?或者会减慢、收缩和最后塌缩吗?我们看到的恒星和星系是构成宇宙中主要的物质吗?或者大多数物质是由不可见的、或许在理论上存在而没有检测到的粒子组成的吗?在宇宙中,恒星和星系何时和如何最先形成?为何引起星系巨大的空隙和复杂的纤维状?

近来,宇宙物理学家研究粒子物理学以回答早期宇宙的问题,如粒子物理学家提出的大统一理论可以解释令人费解的宇宙物质与辐射之比。粒子物理学家也假定了可催促星系形成的几种新粒子,或确定宇宙如何膨胀。因为,相同的粒子也可组成看不见的物质,现正在设计一种实验来发现它们。可以预计,这一发现将会是物理学史上一个新的里程碑。

四、科学交叉和技术应用

在丛书中,主要有《综述》、《科学交叉和技术应用》两卷论述物理学与其它自然科学的交叉,以及与技术应用和社会需求的关系。其中指出:源于物理学的概念和技术,遍及整个物质科学。而其它学科与物理交叉又兴起了许多新的学科,并正在形成一个有机的科学整体,从而远远超过其各个学科的线性总和;从物理学的新概念到技术应用之间的时间正在变得越来越短,如高速电子设备、光通讯等仅在其原理发现后的几年内就变得成熟起来了。在丛书其它卷中,主要论述了物理学各分支学科之间的交叉和渗透。

(一) 地球物理学

物理学与地质学的交叉产生了地球物理学。海洋环流、海气相互作用、温室效应的模型等在某种程度上都是二维、三维湍流问题。湍流仍然是物理学未解决的难题之一。然而,在地球物理学研究中,现在已有能力进行计算机模拟,从而建立了大气、海洋的实际模型。此外,利用先进的技术可以测量地球表面的板块运动。物理学就是从原理上解释这些运动和地球内部的热力学过程,以及提供一些研究方法。

(二) 生物物理学

生物学主要依赖物理学原理来研究极端复杂的生命现象。物理学通过其无序系统的研究、统计学的应用和先进仪器的观测等方式,最有利于研究生命的复杂性。在生物物理学研究中,已能利用许多技术进行深入的观测,如用高灵敏度仪器观测单个分子如何携带电信号、穿越神经细胞膜和通过单个通路分工的电流。物理学原理也为了解象激素、抗体、过敏症反应物、病毒和细菌等外来物质如何进入细胞的入口奠定了基础。

在未来的生物物理学中,生物聚合物分子物理学、分子生物学实验方法、膜生物物理学和细胞生理学、脑和神经生物物理学、理论生物学是十分活跃的研究主题。在分子和细胞水平上,应用微观理论和复杂系统理论是理论生物学发展的趋势。

(三) 材料科学和化学

有时,物理学与材料科学和化学所共有的研究内容和方法,竟难于区分,这犹如难于从物理化学家中区分化学物理学家一样。

理论物理学和计算物理学在材料科学研究中有着广泛的应用。物理学的新概念,如分维等重要概念在相变和微结构中有着重要的应用。此外,还要在分子水平上了解发生在材料表面和界面上的氧化、燃烧、附着、沉积、催化、腐蚀等物理和化学过程。

(四) 数学

数学始终是物理学的表达语言。数学和物理学这两个学科领域越来越深入地交织着。

云的运动、种群生长的起伏,大气运动,甚至蕨(类植物)的生长等,这些都是混沌图型演化的例子,而混沌的数学表示是极其重要的。对于粒子物理学和宇宙学来说,拓扑学也日益显得重要。

(五) 微电子学

物理学,特别是凝聚态物理学与微电子学、化学、材料科学一直交织在一起,以致使得每一学科的发展势必影响着其它学科的进展,如本来是为发展凝聚态物理学而研制的新仪器,很快就应用于微电子学中去了。

(六) 能(energy) 和环境

燃烧、裂变、聚变和太阳能都是基于物理学的原理和技术。能源(energy resources)的利用总是影响着环境,而物理学提供了减少这些影响的理论和监测环境变化的技术。人类要从根本上解决能源的供给,主要要依赖于物理学的进一步发展。

(七) 光信息技术

光学技术比电子学技术对社会有着更大的影响力。光学技术的潜力似乎是无限的。但是,物理学为光学技术的发展打下了良好的基础,如在光记录、光储存、光传输、光计算等方面的广泛应用。

(八) 医学

物理学与医学的结合已有良好的传统。实际上,伦琴第一次在医学学会会上作了关于发现X射线的正式报告。近若干年来,在医学中,利用物理学原理创造了许多崭新的医疗技术,如计算机辅助X射线断层术(CAT)、正电子发射X射线断层术(PET)、磁共振成像(MRI)等,这些使医学诊断手段发生了革命性的变化。