

* 学科发展 *

21 世纪重要学科领域发展趋势展望

路甬祥*

(中国科学院 北京 100864)

摘要 文章结合我国实际论述了 21 世纪重要学科领域发展趋势。

关键词 21 世纪, 学科领域, 发展趋势

研究科学技术的时代特征与发展趋势, 有利于把握世界科技发展的态势。从总体上看, 未来科技发展将呈现以下主要特征: (1) 科学技术发展和转化速度, 将更为迅速, 规模更为宏大; (2) 科学技术发展, 不仅继续向微观深入, 而且走向宏观系统, 走向复杂和综合; (3) 科技发展更加社会化、国际化; (4) 科技发展的社会影响将空前广泛, 愈加深刻。当今, 科学技术发展迅猛, 不确定因素很多, 以致难于对未来科技的突破作出准确预测。下面我仅从科技发展的大趋势, 并联系我国实际, 对 21 世纪某些重要的学科领域的发展做一些展望。

1 数学科学与系统科学

(1) 数学科学是研究数量关系与空间形式和寻求最简单、最适用的表现模式的科学。21 世纪数学科学仍将是整个科学(自然科学、社会科学、认知科学等)的基础和方法, 数学科学的应用已经突破传统领域, 正向人类一切知识门类和活动领域渗透。数学科学核心领域的拓展, 数学的广泛应用以及与前沿科学的交叉, 计算机技术与数学的相互影响将形成数学未来发展的三大方面。

高维、多变量、非线性、大范围、随机和离散型结构等数学问题将受到更多的关注, 可能形成纯粹数学新的发展势头, 将继续成为数学发展的基础和核心。而几乎所有的纯粹数学各个分支都将发展其应用, 物质科学(Physical Science)、生命科学、经济与社会科学、地球科学和生态环境科学、认知与脑科学、信息科学等领域的许多挑战性命题将刺激应用数学的发展, 数学科学在工程技术、生产过程、医疗诊断等应用中的数值计算、数值模拟、数值统计、数学分析与处理及图形变换等将达到新的水平。数学方法作为一种普遍适用的科学方法, 继续与各学科交叉结合, 为各学科的发展作出贡献, 尤其是数学科学与计算机科学的相互作用将推动科学计算、计算机应用科学的发展, 计算方法的研究和科学可视化, 计算机符号运算与机器证明将取得新

* 中国科学院院长, 中国科学院院士, 中国工程院院士
收稿日期: 1998 年 1 月 15 日

的进展。

数学科学是一门依靠科学家高度抽象思维、创造性智慧和严谨逻辑的科学。需要进一步提高我国数学科学教育基础,完善公正有效的人才选拔机制,建立稳定的研究工作和良好的学术氛围,便捷的信息和国际交流合作条件,并合理地选择重点领域和方向。21世纪我国成为数学科学大国是完全可能的。

(2) 系统科学广泛存在于自然、社会、人体和思维之中。以系统的观点研究现实世界以形成系统的认识论、方法论和科学思维,这就是系统科学的任务。系统科学在21世纪将会有重大的进展,将改变科学世界的图景,革新传统的科学认识论和方法论,引起科学思维方式的革命。

信息论、运筹学、控制论和60—70年代兴起的突变论、耗散结构论、协同论、超循环论、微分动力体系、混沌学等为系统科学的发展提供了理论基础,然而,系统科学理论框架的构建尚未真正完成。

系统科学本来研究的重点是巨系统。其中,一类是简单巨系统,它们的组分虽然数量庞大,但种类不多,较少中间层次,相互关系简单。21世纪初有可能依靠集合论、协同论、耗散结构论并结合动力学的确定性描述、概率论的不确定性描述,和信息论、运筹学与控制论对这类系统建立定量的甚至形式化的描述,建立起简单巨系统的组织理论,及系统建构、控制、优化的一般性理论。另一类是复杂巨系统如生态系统、人体系统、脑与神经系统、社会和经济系统、地理与环境系统等,其特点不仅组分巨大而且种类繁多,并有许多层次交叉重叠,相互关系也极为复杂,有物质的、精神的和社会的各种因素,描述和归纳极其困难。目前尚无类似协同论那样的理论可以借鉴,也还没有从微观到宏观的规范性处理方法。必须在认识论和方法学上有新的创造和突破,才可能建立起复杂巨系统科学的框架。然而未来生命科学、脑和认知科学、生态与环境、全球经济和社会等重大课题正期待着系统科学的发展和突破。

2 物质科学

研究物质基本结构、运动规律、相互作用及其变化的科学,也可称为物质科学。物理、化学属基础物质科学,材料科学属于物质应用科学,它不仅研究材料的结构和性能,也包括制备和应用。

21世纪物质科学将向更微观尺度,多种相互作用,更极端物理条件和超快变化过程及更复杂的体系进军;从有序结构到无序结构,从无机到有机,从无生命体系到有生命体系,物质科学与生命科学的交叉和结合将是学科的前沿;介于微观和宏观之间的表面、团簇、纳米物质,和介于晶态同非晶态之间的准晶物质研究将成为新的热点;将从平衡态的研究发展到非平衡态的研究,从均衡过程发展到不均衡过程,从相互作用的随机性到可控性和选择性发展;计算机技术将渗透到物质科学的各个领域和从探测、分析、设计到制备过程的各个阶段,并发展出新的学科分支;物质科学基础研究的突破将为材料科技、信息科技、能源科技、生命科技的发展提供新的物质技术基础;与环境相关的物质科学研究,诸如绿色反应、绿色工艺、绿色材料、可再生技术等越来越受到人们的重视;研究物质科学的仪器和装备向越来越高的时间、空间和组份分辨率,形成特殊条件和综合多功能发展;以物质科学新的成果创造的高技术不仅将为物质科学本身,也将为其他学科的研究和发展提供崭新的手段,甚至形成新的交叉学科。

3 天文学与空间科学

(1) 21 世纪中叶以来,由于射电天文、空间天文和多光谱天文观测技术的发展,天文学进入了一个利用物理理论来解释天文现象,利用天文观察来验证和发展物理理论的新时代。如大爆炸宇宙学、黑洞物理、引力透镜物理将成为天文学和物理学(引力论)紧密结合的范例。

21 世纪天文学家最感兴趣的科学问题将是研究宇宙中的基本粒子的性状、相互作用和起源,如太阳中微子差缺问题,元素的起源,天体中分子的形成和生命的起源,以及行星系统、恒星、星系以至整个宇宙的起源、演化和归宿等,力图描绘宇宙演化的整体图景。其意义已经超越了天文学本身,而涉及物质科学、生命科学和哲学的一些最基本的科学问题。

天文研究手段已进入了全波段时代,到下世纪初全球将建成不下 10 台口径“8—15 米级”的天文望远镜,量子效率不低于 80% 的 CCD 将普遍使用,大多数望远镜将配有多光纤光谱仪。中国也将建成天体物理中心,使用由我国科学家自己设计的大天区多光纤巡天望远镜(LAMOST)。射电天文也将从厘米波段拓展到毫米和亚毫米波段,光学/红外天文技术在追求更大集光能力和更高角分辨率上将会取得新的突破性进展。利用空间技术跨越大气层,发展空间天文探索,是天文学发展另一特点。哈勃空间望远镜、ROSAT 巡天、超级红外天文卫星 SIRTf、天体测量卫星,中国的空间太阳磁场望远镜,以及以探测宇宙反物质为目标的空间谱仪 AMS 等的运行,将形成空间天文非常活跃的时代。

(2) 空间科学系指利用空间飞行器研究宇宙间的物理、化学、生命现象和物质运动现象的一门综合性科学。

浩瀚的空间存在极其复杂的自然现象和在地球上难以获得的极端物理条件(如超低温、微重力、强辐射、高位、超真空等),蕴藏着丰富的新的资源(如月球上的 ^3He 、钛铁矿等),将成为人类研究与开发的新疆域。跨越大气层,从人造卫星和空间站上观察宇宙,已形成天文学新的分支——空间天文学。

利用遥感技术和地面台站网络的配合,获取全球性、动态的统一图像,有可能系统地、整体地研究地球动力系统和生态环境的变化,形成了空间地球科学。

利用近地空间飞行器上的微重力环境,进行微重力流体物理、生命科学、材料科学和工艺的研究也具有重要的科学意义和应用价值。

加强对太阳的观察和日地科学研究对于近地空间环境,进一步深化对太阳地球系统的相互作用也具有重要意义。

美、俄、欧、日已经联合建立了规模浩大的空间站,下一步目标将是在月球上建立实验站,并登上火星。空间科学的发展不仅反映国家的综合实力,而且也集中地体现了人类的探索精神和科技水平。中国作为空间技术大国之一,应选好重点目标,争取进入空间科学和空间技术应用的先行行列。

4 地球科学与环境科学

地球科学研究的对象是人类繁衍生存的地球,这是一个自然和人类活动交织,并受地外星球,尤其是太阳活动影响的复杂体系。地球科学与资源、环境、生态、灾害的关系密切。由于自然力的作用和人类的大规模活动,造成森林过度砍伐,水土流失,土地荒漠化,河流湖泊严重污

染,温室气体过度排放,酸雨频发,臭氧层破坏,全球气候变暖,生态失衡,物种灭绝,地球上的生态和环境变得愈来愈脆弱和严峻。环境科学愈来愈受到人们的重视。

地球科学与环境科学都是交叉性、综合性学科,既有全球性、整体性、又有局域性特点。因而既有全球性的一般规律,又有局域性的特殊问题。

21 世纪的地球科学将进一步拓展和深化对气圈、水圈、生物圈、岩石圈各自演化规律及相互作用过程的认识,并综合物理、化学、生物学的相互作用,以及自然过程和社会发展相互作用的研究,发展自己的学科体系和内涵;从定性、静态的描述转向以演化过程为目的、精确的动力学分析;对日地空间、地球深部、高层大气、海洋和极地的研究仍将是重要和活跃的领域;遥感(RS)、地理信息系统(GIS)、全球定位系统(GPS)等空间技术和现代信息技术将成为地球和环境科学新的手段,并建立起灾害与环境的科学监测与预报体系;继续从物质科学、生命科学、数学科学和计算机科学的交叉中吸取新的方法,发展新的前沿领域;人们对气候系统动力学、环境和生态动力学、地球内部的流体动力学、成矿理论和板块漂移学说将有新的认识;人们将开创自然和生态系统这一复杂巨系统的自组织理论和自然控制论的研究,并将实现人与自然的协调,实现人类社会的可持续发展成为地球科学和环境科学的最根本目标。中国的经济和社会发展对地球科学和环境科学提出了不断发展的迫切需求,有着自身的特色和优势,中国完全有可能成为地球科学与环境科学的强国。

5 生命科学与生物技术

20 世纪 50 年代 DNA 双螺旋结构的发现,以及随后遗传信息传递“中心法则”的确立和 DNA 重组技术的问世,使人类开始从分子水平上了解生物遗传发育等行为,对生命活动规律的认识发生了质的飞跃。以生命科学成就为基础,以解决人类面临的人口、健康、食物、环境等重大问题为目标的生命工程技术及产业应运而生,并迅速发展。

21 世纪生命科学将成为最为活跃的学科,可能取得一系列重大的突破,并可能发展成为新的科学革命;生物工程产业将成为最重要的新兴产业。

当前,个别基因的分离、扩增、重组以及体细胞克隆技术都已实现,某些蛋白质的结构和功能已经探明。对细胞膜内外物质和信息传递的部分机制、微生物光合作用的机制已有所了解。

科技界已从单个基因的测序转到有计划、大规模地对人类、水稻、玉米等重要生物体的全基因组图谱进行测序和诠释。美国的人类基因组计划投资 30 亿美元,组织 2 000 多名科学家,拟用 15 年时间搞清人类 10 万 DNA 中 30 亿个核苷酸碱基对的全部序列,目前进展顺利,有可能提前完成。中国科学院国家基因研究中心已在国际上首次得到水稻全部基因的物理图谱,将组织全基因组测序图谱。随着水稻等重要农作物的基因组计划的成功及基因工程技术的深入研究,将引发农业新的绿色革命,从根本上解决人类面临的粮食问题。

人类和一些重要动物基因组计划的完成,将有益于人类的健康。许多危害人类的疾病,如心血管病、癌症、肝炎、爱滋病、糖尿病以及许多遗传性疾病将得到防治;人类的衰老过程可能得以延缓;进一步解开生物体遗传发育的调控机制,将使作物产量、质量和抗逆性得以优化;提供生物制药和培育可供移植的器官的转基因动物将形成新的产业。脑科学和神经分子生物学的进展不仅有助于脑的保健与开发、脑及神经医学的发展,而且还将对心理学与认知科学带来新的突破。

6 信息科学

21 世纪将是信息的时代。信息科技将成为最活跃、与人们生活最密切相关的科技领域。

信息既非物质,也非能量,但它是构成我们世界的基本要素之一,是人类社会创造的知识总和。信息资源与物质、能量资源有一个很大的不同特点,就是它可以被重复使用,可被同时共享,在使用过程中不仅可以不减少,有时还可产生新的增量。信息科学技术是研究信息的生产、采集、存贮、变换、传递、处理过程及广泛利用的新兴科技领域。以 1946 年第一台计算机诞生及 50 年代集成电路的发明为发端和支柱,近年又得到信息压缩和网络化技术的推动,并以凝聚态物理、材料科学、微细加工技术以及现代数学科学、计算机科学、信息论、控制论、人工智能,甚至人文、社会科学和艺术为基础,不足半个世纪,信息科学技术以它广泛的影响和巨大的生命力,风靡全球,成为科技发展史上业绩最辉煌,发展最迅疾,对人类影响最广泛和深刻的科技领域。

当代计算机是建立在微电子学基础上的。纳米科技的发展将可能使计算机建立在更微观集成、更高速的基础之上。如果把当前计算机芯片的大小比作一幅巨幅的风景画,那么将来以原子和分子器件制作的计算机就如这幅画中的单座建筑物。可以预期,随着微电子、光电子技术及纳电子学的进步,地理信息系统(GIS)、遥感(RS)和全球定位系统(GPS)、宽频带高速数字综合网络、信息压缩与高速传输、人工智能、平行处理、分布系统、多媒体技术和虚拟现实技术等信息科技前沿的进展,以及软件的开放化、标准化、工程化和智能化,将给 21 世纪的生产过程、流通过程、消费和生活方式以及经济、社会和国家安全带来难以估量的变化。人类将全面进入信息时代。信息产业无疑将成为未来全球经济中最宏大、最具活力的产业。信息将成为知识经济社会中最重要的资源和竞争要素。

7 能源科学

能源是国民经济持续发展的基础,能源与资源环境的关系也最为密切。我国是世界上能源消费增长最快的国家,也是 SO_2 、 NO_x 、 CO_2 排放的大国,环境压力越来越大。我国的能源结构和能源资源的空间分布又很不理想。煤是我国主要的化石能源,油气探明可利用储量只够用 50—60 年,核能资源储量也很有限。我国单位国民产值的能耗约为中等收入国家的 2.5 倍。解决我国能源问题的出路在于依靠科技、优化结构、提高效率、控制污染。主要方向有:

(1) 洁净煤技术是世界许多国家共同关注的技术。为此,1986 年以来,美国已投资 60 多亿美元。要发展先进的选煤技术、高效的燃烧器、循环流化床技术、煤气化联合循环发电技术、煤的气化与液化技术、煤的成型和添加燃烧技术以及电、热、气化学品联供流程等。

(2) 油气是十分宝贵的化石资源,充分运用新的地质学成矿理论和物探层析技术,拓展我国油气储量,开发高效采油新技术。

(3) 发展清洁安全的核能技术,提高铀资源的利用效率,如发展快中子堆,研究加速器驱动新反应堆的可能。

(4) 开发水力资源,因地制宜地发展太阳能、风能、地热、潮汐、生物质能等可再生能源新技术,提高转化效率和并网水平。

(5) 研究和高效能量传输、贮存、分配和调控技术,提高电网运行效率,发展多种形

式的终端用户节能技术,提高工作机效率等。

(6) 发展高容量、高密度、高寿命、环境友善的高性能电池、燃料电池技术,跟踪研究磁约束及惯性约束可控聚合反应等。

8 认知科学与脑科学

认知科学是研究人类认知和智力发展的本质和规律的科学。

认知科学与人的感觉、神经和脑的活动有关,从这一点上看它们都是物质运动的一种特殊形式,另一方面它们同人与自然和社会的信息交流有关,心理与认知过程又是一个社会化的过程。因此,认知科学是自然科学、社会科学、思维科学的交叉。

人脑有 10^{11} 个多自由度的神经元,相互通过 10^{15} 个突触相连接,分布在两毫米厚的大脑皮层上,人脑又通过神经细胞与全身相连接,接受感觉信息和决策、传递调控指令。人的感知、记忆、意识、感情、理智、智力是如何产生与发展的,这不但具有重大的科学价值、应用意义,也具有重大的哲学意义。因此这正是唯心主义和唯物主义争论的焦点。

认知科学和脑的研究可能是多途径和跨学科的,不仅将继续在认知计算理论方面探索脑的思维机理和方法,并通过对于语言文字和图像的理解和生成的研究探索人类的认知规律;另一方面,核磁共振脑成像技术(FMRI)、正电子发射断层成像技术(PET)、高分辨率脑电技术(EEG)等各种脑认知成像设备的出现,成为脑科学实验研究的新的手段,并通过神经细胞生物学将脑研究推向分子水平。

认知科学可能成为 21 世纪带头的科学,继生命科学之后,可能发展成为新学科崛起的高峰,以至成为新的科学革命的中心。这不仅在于它是异常困难的科学问题,而且还在于它的突破,将对人类智力的开发、脑医学和其他学科领域(如心理学、信息科学、教育学以及生物电子学)的发展带来巨大的影响。也可能产生在社会、思维和物质之间关系的新的科学哲学和超越牛顿时代以来的崭新科学方法和数学方法。