

交叉科学及其发展趋势

李喜先*

(中国科学院政策局 北京 100864)

摘要 论述了交叉科学的起源演化、涵义、功能结构、形成机制和今后的发展趋势。重点谈到了中国科学院要大力发展的重大交叉科学领域。最后建议国家应重视交叉科学的研究和发展。

关键词 交叉科学, 发展趋势

在现代科学时期,交叉科学迅速兴起,其所涉及的学科约占整个科学系统的一半之多。交叉科学这一名称出现率越来越高,在科学系统和社会系统中已占有显赫的地位。

交叉科学之所以能迅速发展,既具有科学系统发展的内在原因,同时又是自身的形成机制所致。交叉科学的交叉跨度将不断增大,交叉方式、呈现形态将愈益复杂,因而将进一步加速科学的分化与综合。

为了适应交叉科学的发展,我国在科学发展战略、政策、管理等方面应有重大的变革。中国科学院知识创新工程正在加强重大交叉科学前沿的布署。

1 起源和演化

15—19世纪近代自然科学得到了比较全面的、系统的发展;19世纪中叶,社会科学形成;17世纪下半叶,交叉学科开始萌芽。1670年,法国科学家莱莫瑞(Lemery, N.)提出了植物化学和矿物化学。这表明,一些跨度小的交叉学科已经出现。这时,无论是自然科学还是社会科学,主要运用分解、分析方法,进行分类研究,并形成了比较庞大的学科系统。

19世纪末以后,科学在微观、中观和宏观层次上得到了充分、系统的发展。直到20世纪80年代,在中观层次上已发展成约5550门学科,其中非交叉学科约2969门,而交叉学科总量已达2581门,占全部学科的46.58%。这表明,在几千年积累起来的经典学科的基础上,交叉科学仅在100年左右所达到的学科数量就几乎占了学科总数的一半。

2 涵义

什么是交叉科学?尚无准确一致的定义。现在,我们趋向于用系统的理论、观点和方法给出交叉科学及交叉学科的定义。

* 中国科学院政策局研究员
收稿日期:2000年8月4日

交叉学科是由远缘的(非本学科内部的)理论簇之间发生非线性相互作用所构成的独立系统。因为,不同理论之间线性迭加不能形成新的理论;不同理论之间发生交叉、融合、渗透,实质上就是发生非线性相互作用,这样就能够形成不同于原理论的新理论。众多的新理论自成系统,就形成交叉学科。

交叉科学是在众多的不同学科之间、不同交叉学科之间发生非线性相互作用所构成的系统。按照交叉途径、形成的特点可分为:(1)边缘科学,即在两门专门学科的交界处生长起来的学科群;(2)横断科学,即在各门专门学科中对具有普遍性、共同性的问题进行研究而发展起来的学科群;(3)综合科学,即在通过多学科的理论和方法对同一客体进行研究产生的学科群。当交叉科学发展到高级阶段就成为综合科学。

3 结构和功能

交叉学科之间存在的相对稳定、有一定规则的联系方式之总和,称为交叉科学的结构。

结构与功能是同步术语,结构与功能是同时存在而不可分的两个部分。由科学的性质或性能对外部环境所引起的有益变化可以发挥出多种功能。交叉科学的性质对外部环境所引起的有益变化则可以发挥出多种特殊功能:(1)对科学系统的功能表现在,加强了各垂直分化或纵向分化的各专门学科之间的联系和相互作用,消除了各学科之间的脱节现象,使现代科学系统真正成为一个完整的统一整体,这包括自然科学、社会科学等门类科学内部亲缘相关、相邻学科之间及其外部远缘学科之间的联结和沟通,使各学科在横断面上的联系更趋全面和系统化;同时,还发挥着方法功能,这包括从某一学科中所得到的规律和理论作为方法用于其它学科,以利于比较、借鉴,如系统方法、数学方法等就具有普适性意义。因此,交叉科学中的思维方式、研究方式对整个科学系统的发展起着重大的作用。(2)对社会系统的功能表现在,有利于综合地解决社会和经济发展中的重大问题。

4 形成机制

在现代科学时期,交叉科学能得到迅速发展主要取决于科学系统自身发展产生的内在动力和现代社会与文化环境产生的外在影响。

整个科学系统发展的内在动力来自不同理论之间的冲突、理论与实验之间的冲突。对于交叉科学还必须具有发生在不同学科理论之间的跨学科的冲突。

交叉科学得以形成还与现代社会环境紧密相关。现代社会出现了一系列重大问题,必须发展多门学科、综合科学,才可能有效地解决。

交叉科学是现代文化的产物,因而与现代文化存在着必然的联系。可以说,现代文化背景对于交叉科学的形成和发展具有重大的作用。

5 发展趋势

交叉科学的兴起是整个科学系统发展到现阶段的必然产物,它源自现代社会系统的需求,更依赖于现代科学系统自身的结构和历史演化的趋势。

(1)交叉跨度将不断地增大。交叉科学呈现出的形态在不断地变化,如初步发生交叉的边缘科学的跨度较小,是一种低级的综合形式,主要发生在相邻学科的边界区域内;综合科学交

交叉的跨度大于边缘科学; 横断科学横跨各门学科, 综合、交叉程度高于综合科学, 对科学的分化与综合的促进作用最大。未来交叉科学的发展将朝着远距离、大跨度交叉方向发展, 如在宏观与微观、生命与非生命、存在与意识、大脑与智力之间的大跨度交叉; 在各门类科学, 如在自然科学、社会科学、人文科学等之间的全面的大跨度交叉。多层次和时空大跨度的交叉往往使科学发生革命性的变化。

(2) 交叉方式复杂化。交叉的方式将发展多元交叉、由移植为主转向多维多层次的深入交叉、从单向变为双向交叉、从单元到多元混合交叉等。

(3) 综合与分化并行和互补。现代科学的分化与综合是同时并行的, 分化是综合的前奏, 综合是分化的高潮。

未来交叉科学发展将进一步加速科学的分化与综合, 使高度的分化和高度的综合并存和互补。

6 中国科学院应大力发展重大交叉科学领域

人类认识自然和自我所面临的 4 大科学难题, 即宇宙的起源和演化、物质的基本结构、生命的起源与演化、智力的本质, 是长期性的重大科学研究方向。当代科学的学科结构重心正在转向生命科学, 相关的脑智 (brain and mind) 科学和信息科学也将得到迅速发展。我院具有多学科的优势, 更易于实行多学科交叉, 创立新型的交叉学科、交叉科学中心。

我院应重点围绕生命科学、脑智科学、信息科学和物质科学等进行多学科交叉, 大力发展大跨度的交叉学科, 以及发展超门类科学 (自然科学、社会科学、哲学、数学科学等) 的交叉科学。因此, 宜精选一批有深远影响的重大交叉科学难题, 研究目标应是重大科学发现, 包括选择能获得诺贝尔奖类型的研究。

6.1 理论生物物理与生物信息学

在 21 世纪的第一个春天, 人类将首次获得自身基因组的全部序列。这意味着人类遗传密码的破译进入全新的信息提取阶段。

为了适应国际上生命科学的高速发展, 在本领域应加强生物信息学研究, 包括对人类基因组的信息结构和遗传语言的分析; 功能基因组相关信息, 特别是大规模基因表达谱的分析; 从生物信息数据出发开展遗传密码起源和生物进化的研究; 生物大分子结构与动力学的凝聚态理论和模拟; 基因信息安全等基础研究。还应开展面向人类健康、育种、基因考古等的应用研究。为此, 利用生物医学数据库与服务系统这样的基础设施是必要的。本领域前沿还应加强生物大分子的单分子观测和功能研究, 包括 DNA 和蛋白质的单分子力学; 生物大分子室温超导体的性质; 生命系统中水的凝聚态理论等。

6.2 脑智 (brain and mind) 科学

人脑和智力的关系是心理学、认知科学、脑科学、信息科学以及人类科学中的一个最前沿、最富挑战性的重大交叉科学问题。

(1) 意识与脑。为揭示意识的本质, 需要研究有意识的认知过程、无意识的认知过程及不同意识状态的转化过程, 需要在行为和脑科学不同层次上进行系统研究, 包括脑的复杂性探索, 构建关于意识的脑模型和理论体系。

(2) 认知 (感知) 基本模块作图。当代认知科学的一个重大发现是“智力的模块性” (modu-

larity of mind)。人类的认知系统是由高度专门化、专施某种功能和相对独立可分离的模块组成的。为了理解智力和认知的本质,理解人类的复杂智力是如何由简单模块形成的,应当着手一项重大的认知科学基础建设,即建立认知(感知)功能模块作图。

为了开展上述各方面研究,要发展脑成像技术。

6.3 生命系统复杂性

(1) 生命体系中分子的识别和组装以及组装体的结构和功能研究。包括分子间弱相互作用的本质和分子识别,分子聚集体高级结构的形成、再造与修复,高级结构的分子聚集体中物质、能量和信息传输过程。

(2) 中医药作用机理研究。以此为切入口进一步探索生命体系中分子水平上的作用与调整机制。

(3) 光、电、磁等外场与生命系统的相互作用研究。包括利用量化手段研究相互作用过程的机制,建立数学模型,进而揭示生命系统的复杂性,为探索外场有效调控生命过程的可能性开辟新途径。

6.4 粒子宇宙学

(1) 暗物质研究。暴胀宇宙学和近年来天文观测告诉我们宇宙中 90% 以上是暗物质和暗能量。暗物质怎样探测? 成份是什么? 怎样产生?

(2) 反物质研究。宇宙中的物质与反物质的不对称性一直是粒子物理学家探讨的一个焦点。粒子物理的标准模型不足以提供宇宙中物质和反物质的不对称性。迫切需要建立新物理模型和新的 CP 破坏机制。

(3) 宇宙常数问题。近两年来,天文观测结果表明宇宙常数不等于零,并给出了宇宙中物质和能量分布的新认识。这对宇宙学和量子场论是严重的挑战。

(4) 中微子物理。近年, Super-k 等中微子振荡实验结果对粒子物理和宇宙学的研究有重要的影响,如构造非零质量中微子模型及其在宇宙核合成理论和天体物理中的应用。

本领域前沿的研究还包括暴胀机制和宇宙线物理等。

6.5 量子物理与信息

(1) 量子信息物理基础。研究量子信息相关的量子相干性、量子纠缠性和不可克隆性等问题;有关物理系统的量子态的制备和量子相干性的保持;各种量子测量问题和量子信息提取的物理机制。

(2) 量子通信与量子计算理论及方案。研究具有更高效率的纠错、避错和容错的量子编码方案;发展计算和通信的复杂性理论及量子信息论;探索新的量子网络密码方案、量子网络动力学和新量子算法。

(3) 量子信息载体和过程的物理实现。探索量子逻辑门及可规模化的量子逻辑网络;检验量子算法和量子编码等基本量子信息过程;实现量子信息的有效传输;对真实的量子系统演化进行模拟。

(4) 固体系统中量子态的制备和控制。探索适用于量子态制备和量子态控制的新材料新系统,为实现实用量子信息系统开拓新的途径。

6.6 纳米科技基础

(1) 纳米空间的化学反应过程、物质传输和能量转换机理。包括纳米空间限制对物质传

输、能量传递和化学反应的方向和速度的影响; 介孔组装体系纳米微腔中异质交互作用、微腔空间限域、界面耦合效应、表面效应、氧化还原、吸附脱附等基本物理化学问题; 无机/有机纳米复合体系中, 纳米基元与基体间的物理相互作用、化学耦联及分子自组织纳米相区形成的原理。

(2) 纳米尺度下各种性质的探测、表征及监测新方法。包括开发新型探针显微分析技术, 实现在纳米尺度上原位研究材料表面及纳米结构的电、力、磁、光学特性的探测; 纳米空间的化学反应过程、物理传输过程监测新方法。

(3) 纳米结构奇异特性的起因及机理。包括纳米范围内分子或原子排列的演变等与奇异物性的关系; 介观领域已建理论模型的普适性。

6.7 极端条件下的物质结构和性质

(1) 极低温物理。高温超导和重费米体系中强关联问题及其非微扰量子动力学、低维系统及非周期系统中的电子输运、介观尺度的量子行为、超导和超流宏观量子现象。

(2) 强磁场物理。强场对低维电子气的影响、高温超导体的临界相变、强场低温下的金属绝缘体转变、强场下原子高激发态特性。

(3) 高压物理。高压条件下的材料(包括化学)合成和生长、高压作为变量对物质性质的影响。

(4) 极端条件下波谱学测量。研究电子的关联运动和相位关联。

(5) 强激光场物理。研究超强、超短激光场与物质相互作用的新现象。

6.8 超门类交叉科学(自然科学与社会科学交叉)

(1) 战略研究。主要含国家宏观战略特别是“科教兴国”和“可持续发展战略”研究。

(2) 国情与公共政策研究。含人口、资源、环境、地区差异等研究, 就业、教育、收入分配、反贫困、计划生育政策等研究。

(3) 金融与管理科学研究。含金融电子化、金融风险防范、金融服务与金融竞争力等研究。

(4) 创新政策研究。含国家创新体系、我院知识创新工程实施中的政策、措施与评估研究, 科学创新、技术创新理论与政策研究, 科技人力资源研究, 创新体制、机制等研究。

此外还要积极进行科学、技术、经济与社会的内在本质及其相互作用研究, 复杂性问题、复杂的适应系统和复杂性科学研究, 国家安全预警与对策研究, 以及科学史学、科学哲学、科学社会学等研究。

7 我国要大力发展交叉科学

在中国科学发展中, 交叉科学显得相对滞后。在较长时期里, 自然科学、社会科学、人文科学等之间都存在着不可逾越的鸿沟, 而科学发展、社会进步、经济发展等都需要各门类科学、各门学科交叉、渗透和融合。

按科学系统发展的趋势, 我国交叉科学的发展尚存在很大的差距。交叉科学不能得到充分的发展, 虽有多种原因, 但主要是缺乏深入而全面的认识, 以致在科学发展战略思想、政策和管理上显得不力。多年来, 虽提倡交叉科学的发展, 但多停留在口头上, 成效不佳。这往往表现在: 许多交叉科学、交叉学科研究最终被支解, 科学家跨入交叉科学一步就伴随着风险, 如在争取经费、评定学术职称, 尤其是评选院士等方面处于不利地位; ④教育体制不利于培养交

交叉科学人才; ④国家各类科研计划仍多囿于传统学科, 不利于交叉科学的发展。

为了在中国科学中增强交叉科学的发展, 应有一系列重大的变革: 在科学发展战略布局中, 强调交叉科学与非交叉科学并重, 甚至为改变交叉科学落后状态更强调交叉科学的发展; ④在科学政策上, 应引导和鼓励从事交叉科学研究; ④在组织管理上, 应特别重视交叉科学的发展, 甚至在具体科研项目、课题中, 优先支持交叉科学; 营造有利于交叉科学发展的环境, 在科学共同体中形成一种学术氛围; 在新的科学发展时期, 重新思考中国科学院学部结构改革, 使之更具有科学性、合理性, 交叉科学应有重要的地位, 增选跨学部的院士, 以激励出更多的交叉科学家; 要培养能适应交叉科学发展的宏大的科学家队伍, 因为没有某一门专门学科的深入研究或仅只有本专门学科领域的研究, 都不能进行学科际研究或称之为交叉学科的研究, 为此, 大学生、研究生应实行跨学科教育。

中国近代科学主要从西方输入, 虽经几百年的发展已进入现代科学时期, 但仍然落后, 而交叉科学更是落后, 这绝不是一种孤立的社会现象。

中国科学长期落后有着认识根源、社会根源和历史根源, 而在深层次上应归咎于封建文化根源。因此, 要使中国科学特别是交叉科学快速发展, 必然要从社会环境和文化背景上进行反思, 以改变陈旧的观念、思维方式和价值观。

在中华大地上多么需要发展科学, 多么需要涌现出诺贝尔奖得主, 多么需要在单位人口中出现更多的科学家。过去, 中华民族出现过灿烂辉煌的科学、技术和文化; 未来, 仍存在着可能性。若要变成现实, 则需要巨大智力资源的开发, 最需要精神文化(主体上是科学与人文文化)的元创新(meta-creation)。

参考文献

- 1 李光, 任定成. 交叉科学导论, 长沙: 湖南人民出版社, 1989.
- 2 吴维民. 科学的整体化趋势, 重庆: 四川人民出版社, 1989.
- 3 Grishani J M. (ed.). Systems Research, Pergamon Press, 1984. 211—228.
- 4 苗东升. 系统科学精要, 北京: 中国人民大学出版, 1998.