



关于我院基础研究中长期 发展规划的战略思考*

中国科学院基础科学局中长期规划研究组

(北京 100864)

摘要 根据当代基础科学发展趋势、国家重大需求,结合我院基础科学研究的特点与任务,提出了我院基础研究中长期发展规划应关注的 14 个战略重点领域(方向)。

关键词 基础研究,规划,建议

党的“十六大”提出了制定我国中长期科技发展规划的任务。中国科学院作为国家自然科学和高新技术研究中心,在建设国家创新体系,进行知识创新工程试点的工作中,进一步明确了新时期的办院方针,提出了新时期的发展战略。在这样的形势下,我院开展了基础科学研究中长期科技发展规划的前期调研工作。调研工作的思路是:一方面将我国社会、经济发展以及国家安全对科学技术提出的重大需求与基础科学研究的发展趋势和规律相结合,遴选未来 5—15 年基础科学发展的战略重点;另一方面,对科学前沿问题,按照“有所为,有所不为”的方针,认真分析,做到精选重点。调研工作体现了以下三个特点:一是着重在国家需求和基础科学前沿两个坐标交叉点上遴选重点;二是精选对科学发展有重大意义的科学问题;三是特别关注对科学和技术进展具有巨大冲击力和带动力的研究方向。通过各个学科领域的专家、管理专家以及文献信息专家相结合进行研讨,初步提出了我院基础研究发展应关注的重点研究领域和方向。

一 当代基础科学发展的特点与趋势

当代基础科学的发展历程表明,数学和物质科学仍然是现代科学和技术的基础,生命科学与生物技术、信息科学与技术、环境科学与技术、材料科学与技术引导着现代科学技术的发展;学科及领域的交叉是产生新的重要科学前沿问题的一个主要来源;技术和科学的关系更加紧密;国际合作成为现

代科学发展必不可少的模式和条件。

基础科学具有以下发展趋势。对宇宙的起源、形成、演化问题的研究已经和粒子物理会合,成为理论物理、天文和高能粒子物理学家共同探索的领域,并形成空间天文、高能天体物理等学科。对生物和生命过程以及基于海量生命科学数据的研究,吸引着越来越多的物理学家(包括力学家)、化学家、数学家、系统科学家、信息科学家与生物学家,共同探索生命现象的本质、生命过程的规律和控制,并形成了物理生物、化学生物、生物信息、生物力学等新前沿学科。凝聚态物质科学深入到纳米尺度,其本征的量子规律不但使物理学家和化学家融合,而且和信息科学技术结合,使信息技术得以利用量子现象,并开创前途不可限量的量子信息学科;凝聚态物理又向低维、复杂体系深入,揭示了强关联电子体系的性质,全面谱写电子理论的新篇章,对未来技术影响深远;原子物理则转向重点探索超冷原子的量子相干行为,向凝聚态物质的研究靠近;微米尺度系统的力学问题也形成细观力学新方向。对各种复杂系统——多元素、多形态(包括生命物质)、多尺度、多层次的探索,形成了复杂系统科学研究,并促使数学家、系统科学家与相关领域专家的结合。人脑研究与认知、行为研究相结合,形成了脑智科学新前沿,其复杂性和与人类本身的密切相关性使得众多学科的专家投身其中,并不断推出先进的探测技术和仪器设备。极端物理条件下的研究已超

* 收稿日期:2004 年 2 月 29 日



越了传统的物理领域,成为化学、生物、材料、地学、空间等科学研究的新领域。新发现不断出现,扩展出许多新方向。数学、物理、化学、天文、力学各学科自身的发展也都产生出若干个意义重大的前沿方向和领域。与仪器设备,探测技术和计算机网络技术紧密结合的研究得到了快速发展。

二 我院基础科学研究的特点和任务

建国以来,我国基础科学研究取得了丰硕的成果,并培养造就了一大批人才,建设了一批基础科学研究基地。但是,与发达国家相比,仍然存在着基础研究经费投入相对较少、科学基础和积累相对薄弱,科学传统和历史相对短暂,大师级人物相对不足,基础科学研究的重点转移滞后于国际关注热点,基础研究的管理体制尚待进一步完善,对国际上最受重视的交叉领域布局不够等问题。在研究水平方面,从文献计量学角度来看,我国论文数量快速增加,总数已进入世界前列。但是,论文引用数落后,论文质量还不够高,说明我国的基础科学研究总体上仍处于数量扩张阶段,需要从数量提高过渡到质量有明显提升的阶段。

我院作为国家自然科学和战略高技术研究中心,经过知识创新工程试点的体制和机制的创新,在基础科学发展方面已经形成了自己的特色。比如,众多研究所和学科领域可形成综合优势,适于组织重大综合性科学问题研究;大科学研究的组织体制有利于大科学装置的工程建设、运行和科学研究;通过国家长期的支持和自身的努力,已经开始形成一支比较精干的优秀人才队伍,显现出一定的群体效应;按照新时期办院方针的要求,基础研究的布局逐渐体现出比较明确的导向性;院、所对基础研究的规划、布局和管理越来越有利于促进基础研究的发展;在前沿探索研究方面,我院与国际先进水平差距逐步缩小等。但也要清醒地看到,在许多方面仍存在一些问题。比如:由于体制、机制等原因,我院潜在的综合优势并未很好地发挥出来;在总体布局中,对新兴领域和方向支持力度不够,对交叉领域布局和支持强度偏低且较难落实;研究方向和人员更新、调整缺乏完善的机制上的保证;对

基础研究的管理工作有待进一步完善等。

针对这些问题,我院在体制、机制创新方面还要做更多的工作。根据我院的特点和新时期的办院方针的要求,我院基础科学研究的任务是开展具有重大目标导向的研究,包括下列几种类型:具有重大科学目标,需要人才集中、规模大、组织配套性强的研究工作,特别是需要学科交叉的研究工作;对国家重大需求做出关键性科学贡献的研究工作;需要依托大科学装置,或依托先进完善的大型科研平台的研究工作;需要经过长期的、系统的观测和积累的基础性工作;需要为上述各类研究提供先进前沿实验技术和装置的研究工作,包括设备的研制。这些都需要体现在发展战略之中。

三 我院基础研究中长期发展规划战略重点

根据基础科学的发展规律及趋势,面向国家战略需求和基础科学前沿,结合我院的实际情况,建议将以下 14 个领域(方向)作为我院基础研究中长期发展规划的战略重点。

1 纳米材料和纳米器件

纳米科技是一个多学科综合交叉的前沿领域,其科研成果将对 21 世纪社会、经济发展及国家安全产生重大的影响。纳米材料与纳米器件研究代表了纳米科技最重要的研究方向,从整体上看国际上仍处于较为初始的发展阶段。

战略重点:与纳米材料相关的关键技术问题;纳米结构的表征与测量;纳米空间尺度中的基本科学问题;纳米信息器件的设计与制备技术;纳米生物器件的设计、制备与应用;理论、建模与模拟;纳米器件制备与集成的关键方法与技术;仿生 MEMS (NEMS)。同时,要积极推动共享式的纳米加工平台与测量平台的建设。

2 新奇量子现象研究

对奇异物态和量子过程的研究仍是学科发展特别是交叉学科发展和高新技术形成的最根本的推动力之一。它将对提高我国科学竞争力和学术地位,以及高技术的创新能力具有非常重要的作用。

战略重点:关联电子金属及掺杂莫特绝缘体中的基本问题;人造小系统、周期系统及超分子系统



中的量子现象;自旋电子学中的量子行为;原子物理及 BEC 等凝聚现象中的一些基本物理问题,如原子中的量子混沌与半经典物理,精密原子频标等;量子霍尔效应及二维电子系统中的关键问题;量子通讯;量子计算;相干体系相互作用的量子信息过程及新型量子信息载体;联合极端条件下物质形态及其量子现象的探索;生物体中的重大物理问题及量子现象等。

3 理论生物物理、生物大分子结构、功能和

生物信息

生物学与物理学、化学、数学、计算机科学、信息科学和系统科学间的交叉与融合,将会推动学科群的发展,并成为自然科学中多学科交叉的有活力的、有影响的新领域。

战略重点:基因网络与系统生物学;非编码基因识别与分析方法;基因芯片和蛋白质组学数据的分析理论与方法;生物大分子折叠、相互作用和自组织机理;药物设计中的数学、物理学问题;生物大分子的单分子观测和功能研究;复杂疾病的基因机理分析;生物演化及群体遗传研究;理论生物学和生物信息学中的数学问题;高场强下的核磁共振波谱及成像技术;有关脑功能的生物物理学及神经信息学研究等。

4 脑与认知科学

智力是如何由物质产生的,是脑科学、心理学、认知科学、信息科学等多学科交叉的一个最富挑战性的重大前沿科学问题。脑和认知科学的突破,将对脑疾病与心智障碍的诊断、界定与防治;脑智能力的开发与提高;人工智能的设计、建立乃至控制等具有重大意义。

战略重点:神经元蛋白质组学及神经信息物质组学的研究;视觉不变性的脑机制;面孔识别的神经机制和基因调控;大脑对空间、非空间信息处理以及虚拟环境中的认知;学习/记忆的规律及其脑机制;语言认知和自动语言识别;意识、自我意识及其脑机制;情绪与心境障碍、精神疾病与老年性认知衰退的神经生物学机制;脑认知功能可塑性的机制及其应用;计算机视觉和嗅觉(人造视网膜及电

子鼻)和脑功能成像方法与技术等。同时,要积极推动脑和认知成像国家实验平台的建设。

5 复杂系统科学

主要研究复杂系统由微观层次上各子系统之间的相互作用所导致的宏观层次上的系统结构与行为。其研究成果最终将能解决各个复杂系统研究领域的一些疑难问题,给人类社会的发展带来重大而深远的影响。

建议选择部分来自自然界、工程技术、社会经济等领域的复杂系统,对复杂系统科学中的基本科学问题开展深入研究。发展战略重点有:统计物理与复杂网络系统;经济与金融系统;复杂工程系统,包括复杂电力系统、多个自主机器人复杂系统、复杂工业自动化系统、复杂交通与通信系统等;物质转化过程中复杂系统;灾害的预警与防范;中医药现代化问题;认知科学与人工智能;生命与生态复杂系统;量子相变与量子临界现象;复杂液体与复杂物质的亚稳态特性等。

6 具有特殊结构的新型功能材料

其研究目标是结合当今世界科技发展的潮流、我国资源优势及中国科学院的特色,瞄准对科学和技术发展具有巨大冲击力和带动力的重大材料科学问题,为我国的国家安全、信息、生命、能源、环境等方面提供基础功能材料。同时促进我国材料科学技术及相关学科群的发展。

战略重点:新型超导材料及掺杂过渡金属氧化物材料;自旋电子材料及新型磁性材料;新型半导体材料;光信息存储材料与激光功能材料;有机高分子功能材料;生物、医用与仿生材料;新型环保能源材料;玻色-爱因斯坦凝聚态物质;功能陶瓷及膜材料;无机-有机杂化材料;以及新材料设计、制备和表征新方法。

7 极端条件下的科学问题

现代科学的发展,使极端条件下的研究变得极为重要。历史上,极端条件下新现象、新发现已经导致了多项获得诺贝尔奖的成果。

建议发展的综合极端条件,包括:(1)超强激光(500—1 000TW),(2)超短脉冲激光(阿秒—飞秒),



(3)超高压条件(超过百万大气压), (4)极低温条件(最低可达 μK 到几百 μK 级温度)和(5)强磁场条件(40T的稳定磁场)五个部分。综合极端条件的建立可分步实现。利用这样的综合极端条件的实验装置可以为加速器物理、高能物理、引力物理、非线性场论、超高压物理、宇宙学、光致核反应、地学、正负电子对等离子体物理、超快X及 γ 射线物理、化学、生命科学、信息科学、先进制造业等众多学科和高技术提供创新性研究的实验平台。

建议在极端条件下开展以下科学和技术问题的研究:(1)新型材料和物质的发现和探索;(2)高温高压状态方程研究;(3)与超快现象研究相关的基础科学问题;(4)特殊条件下的生命物质研究;(5)极低温、强磁场和高压下的量子现象研究;(6)开展各种极端条件下的新规律、新现象的探索和应用研究。

8 粒子物理和宇宙学

宇宙学最新的进展——关于暗物质、暗能量的预测是极其激动人心的。研究和了解由物质和能量组成的整个宇宙,一直是人类共同的愿望。宇宙的起源、形成、演化问题,其发展已和粒子物理会合,成为理论物理、天文和高能粒子物理学家共同探索的领域,并形成空间天文、高能天体物理等学科。

战略重点:对称破缺机制和希格斯(Higgs)粒子,超对称理论;夸克和轻子“味物理”,统一场量子理论;CP破坏和物质-反物质不对称起源,暗物质和超高能宇宙线;宇宙常数和暗能量,暴涨场和暴胀模型;量子引力和早期宇宙的起源,超弦理论。

粒子物理和宇宙学领域的研究需要大量的实验进行验证。为此,需要大力加强基地和实验平台建设,比如高能加速器、大型天文望远镜、地面宇宙线观测站(例如羊八井观测基地和暗物质粒子探测实验),地下中微子和宇宙线实验装置(如长基线中微子实验),宇宙空间基地等,同时要扩大国际合作渠道,利用国际上的实验平台,开展合作研究。

9 环境科学技术中的物理、化学问题

环境科学技术中的物理、化学原理,涉及污染机理、检测、环境效应的确定和科学消减方法整个领域。没有物理、化学研究参与的环境科学很难解

决日益复杂和艰巨的环境难题。同时,新的环境污染负荷在数量和难修复、难消除特性方面的迅速增长,对物理、化学、技术原理研究提出更高的要求。

战略重点:环境污染机理研究,包括对持久性有毒污染物(PTS)形成、转化和降解机理研究,复合污染机理研究等;环境污染的检测原理与方法研究,包括环境光学监测技术、先进核分析技术、高分辨率的GC/MS技术等;有效控制和消减污染物的技术基础;环境系统学新理论、新方法,如建立环境负荷和负荷承载底线,为国家的环境危机和灾难建立中长期预警系统提供科学依据。

10 数学的应用问题

数学是对现实世界数与形的最简洁、高效、优美的描述。近年来,数学发展呈现各分支学科进一步融合、数学与其它学科的交叉更加深入,以及数学直接参与高技术发展的趋势;同时,高技术的发展也向数学提出了前所未有的挑战。数学的应用范围快速扩展,涌现出一系列边缘科学,如数学化学、生物数学、金融数学、数理语言学等。数学在当代科学的发展及高技术创新中发挥着重大作用。

战略重点为:核心数学;科学计算;概率统计;系统与控制科学;运筹学与系统管理;微分方程与数学物理;计算机数学等。

11 国家安全中的重大基础科学问题(略)

12 数学及自然科学中的纯科学前沿问题

根据新时期办院方针,对具有重大科学意义的科学前沿问题,将给予长期、持续、稳定的支持,战略重点如下:

(1)数学的前沿领域与问题。

现代数学空前广泛的应用,植根于纯数学领域(核心数学)的发展。因而,要重视核心数学前沿问题的研究,同时要特别重视数学各个分支相互交叉而产生的新理论与新方法的研究。具体包括:朗兰兹纲领研究;数学中的结构问题研究;路径积分和相变的数学理论等。

(2)天体的起源与演化。

天体的起源与演化一直是人类探索自然奥秘



面临的一大难题。当代天文学发展的最显著特点是观测手段的迅速发展和全波段研究的开拓。前沿问题包括:太阳系的起源和演化;恒星的形成和演化以及星系的形成和演化问题。

(3)对称性和自然力的统一。

自然界存在着强核力、电弱力和引力。建立统一描述自然力的统一场论是历代物理学家梦寐以求的理想。前沿课题包括:CP 不守恒的起源;CPT 不变性;大统一场论,超对称,超弦和膜理论;粒子质量的起源和弱电规范对称自发破缺 Higgs 机制问题;中微子质量以及混合问题等。

(4)核物质的形态及其特性。

目前核物理研究的重要任务是通过对各方面都处于极端情况下的原子核的研究,来确定显现的有效相互作用,从而为更深刻地认识核物质铺平道路,并且为深入了解基本相互作用,对称性破缺与恢复、天体演化过程等重大科学前沿问题提供重要信息。作为物质第四种状态的等离子体是宇宙物质存在的一种主要形态,但至今对于具有高能量密度等离子体的认识还相当有限。前沿课题包括:远离稳定线原子核的研究;强子产生及其在核物质中性质的变化研究;超重新元素合成和性质研究;高温高密度下核物质形态的研究。

(5)引力物理的研究。

现代引力理论还存在一些非常重大的理论问题有待解决;理论的许多重要预言还需要通过实验来证实。前沿课题包括:引力波、引力塌缩、数值广义相对论;等效原理和牛顿反平方定律的研究;量子引力(广义相对论的量子化理论)。

13 空间科学与空间技术中的基础科学问题

空间科学与空间技术对国防、国民经济建设、社会进步以及科学技术发展等领域有重大带动作用。虽然我国已经发射了实践、通讯、资源、气象、海洋等卫星系列,并进行过少量的科学搭载试验,但距世界先进水平还有很大的差距,至今还未发射过一颗真正意义上的空间科学卫星,形成了航天技术先进、空间科学落后的发展局面。

战略重点:日地空间天气的连锁变化物理过程的观测、研究和预报;宇宙的诞生、结构和演化、太阳活动对地球环境影响等空间天文领域;太阳系及行星起源和演化,地球与行星(主要是火星)的比较研究;地球各圈层相互作用、全球变化与人类活动作用监测与预测等空间地球科学领域;空间微重力环境下的物理、化学和生物特性;空间环境中的生物学效应、机理及空间生物技术的开发与应用等。

为保证该领域发展战略的实现,建议国家整体协调空间科学卫星的发展;逐步发射不同规模的空间科学系列卫星,并将其作为国家大型科技平台建设的主要组成部分;建立完善的科学卫星地面数据接收、测控系统,实现科学卫星运行的统一管理;建立我国和国际卫星数据库,实现数据共享,联合研究;同时要加强空间科学关键技术研究。

14 大科学装置建设与应用

20 世纪中叶以来,许多科学领域的发展,特别是前沿研究的突破,都离不开大科学装置。比如:象同步辐射这样的大型公共实验平台,对生命科学、材料科学、环境科学、地球科学等学科的许多前沿研究领域取得突破性进展起着决定性作用。

战略重点:(1)公用试验平台建设,包括:上海光源的建设和我国已有同步辐射光源的发展;散裂中子源;高增益短波长自由电子激光;基于 ERL 的第四代同步辐射光源;强磁场装置。(2)高能加速器和粒子物理及核物理实验装置,除即将建成的 BEPCII、兰州重离子加速器和重离子冷却储存环外,未来 15 年可考虑的项目有:超重新元素的合成装置;国家地下实验室建设与长基线中微子振荡实验;大型直线对撞机等项目的国际合作。(3)天文观测装置,除将于 2006 年建成的 LAMOST 外,可考虑的项目有:空间太阳望远镜 SST;500 米口径球面射电望远镜 FAST;空间硬 X 射线调制望远镜 HXMT。(4)战略性能源技术及其研究装置。包括:受控热核聚变试验装置;洁净核能关键技术研究。(5)公益基础设施:如定位授时系统。