

学术引领系列



国家科学思想库

“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国学科发展战略

核物理与等离子体物理 ——学科前沿及发展战略 (下册：等离子体物理卷)

核物理与等离子体物理发展战略研究编写组



科学出版社



国家科学思想库

“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国学科发展战略

核物理与等离子体物理 ——学科前沿及发展战略

(下册: 等离子体物理卷)



核物理与等离子体物理发展战略研究编写组

科学出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

核物理与等离子体物理：学科前沿及发展战略/核物理与等离子体物理发展战略研究编写组编. —北京：科学出版社，2017.5

ISBN 978-7-03-051621-3

I. ①核… II. ①核… III. ①核物理学-学科发展-中国 ②等离子体物理学-学科发展-中国 IV. ①O57-12 ②O53-12

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第018941号

责任编辑：钱俊 周涵 / 责任校对：王瑞 贾伟娟

责任印制：张伟 / 封面设计：陈敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年5月第一版 开本：720×1000 B5

2017年5月第一次印刷 印张：39 1/4 插页：6

字数：792 000

定价：268.00元（上、下册）

（如有印装质量问题，我社负责调换）

中国学科发展战略

指 导 组

组 长：白春礼

副组长：李静海 秦大河

成 员：王恩哥 朱道本 傅伯杰

陈宜瑜 李树深 杨 卫

工 作 组

组 长：李 婷

副组长：王敬泽

成 员：钱莹洁 马新勇 薛 淮

冯 霞 林宏侠 王振宇

赵剑峰

“核物理与等离子体物理发展战略研究”

主要成员名单

组 长:

王乃彦 院 士 中国原子能科学研究院

成 员:

詹文龙 院 士 中国科学院

陈佳洱 院 士 北京大学

张焕乔 院 士 中国原子能科学研究院

张 杰 院 士 上海交通大学

魏宝文 院 士 中国科学院近代物理研究所

贺贤土 院 士 北京应用物理与计算数学研究所

沈文庆 院 士 中国科学院上海应用物理研究所

徐至展 院 士 中国科学院上海光学精密机械研究所

张维岩 院 士 中国工程物理研究院

李建刚 院 士 中国科学院等离子体物理研究所

马余刚 研究员 中国科学院上海应用物理研究所

柳卫平 研究员 中国原子能科学研究院

李儒新 研究员 中国科学院上海光学精密机械研究所

赵红卫 研究员 中国科学院近代物理研究所

庄鹏飞 教 授 清华大学物理系

任中洲 教 授 南京大学物理学院

叶沿林 教 授 北京大学物理学院

王新年	教授	华中师范大学物理系
肖国青	研究员	中国科学院近代物理研究所
刘永	研究员	核工业西南物理研究院
万宝年	研究员	中国科学院等离子体物理研究所
朱少平	研究员	北京应用物理与计算数学研究所
何建华	研究员	中国科学院上海应用物理研究所
邹冰松	研究员	中国科学院理论物理研究所
徐瑚珊	研究员	中国科学院近代物理研究所
蒲钊	研究员	国家自然科学基金委员会

项目秘书:

郭冰	研究员	中国原子能科学研究院
高洁雯	业务主管	中国科学院学部工作局
彭晴晴	高级业务主管	中国科学院学部工作局

执 笔 人

上册：核物理卷

第 1 章 执笔：邹冰松 肖国青 朱世琳 赵 强 陈旭荣 曹 须
徐瑚珊 谢聚军 张鹏鸣

审稿：王 凡 沈彭年

第 2 章 执笔：马余刚 庄鹏飞 王新年

审稿：萨本豪 黄焕中

第 3 章 执笔：叶沿林 任中洲 周小红 刘 忠 许甫荣 孟 杰
赵玉民 方德清 周善贵 林承键 庞丹阳

审稿：张焕乔 马中玉

第 4 章 执笔：柳卫平 张玉虎 郭 冰 白希祥 何建军 唐晓东

审稿：陈永寿 孟 杰

第 5 章 执笔：赵红卫 柳卫平 叶沿林 周小红 颜学庆 马余刚
沈百飞

审稿：郭之虞 唐晓东

第 6 章 执笔：何建华 王宇钢 王志光 刘蕴韬 韩松柏 熊忠华
王芳卫

审稿：陈东风 朱升云

第 7 章 执笔：徐瑚珊 蔡翔舟 王志光 杨 磊 秦 芝 何 源
顾 龙 骆 鹏 周志伟 胡正国 彭子龙 詹文龙

审稿：夏海鸿 张东辉

第8章 执笔: 葛智刚 续瑞瑞 吴海成 阮锡超 刘 萍 舒能川
刘世龙 王文明 黄小龙 申庆彪 陈国长 王 猛
颜 君 黄永胜
审稿: 周祖英 李祝霞

下册: 等离子体物理卷

第1章 执笔: 朱少平 蔡洪波 吴思忠 李纪伟 范征锋 郝 亮
丁 宁 邹士阳 颜 君 朱健强 郑万国
审稿: 丁永坤 裴文兵

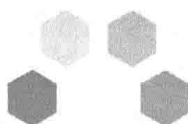
第2章 执笔: 李建刚 刘 永
审稿: 王 龙 胡希伟

第3章 执笔: 万宝年 孙 玄 王晓钢
审稿: 马志为 马锦秀

第4章 执笔: 李儒新 沈百飞
审稿: 陈 民 吴 健

第5章 执笔: 王晓钢
审稿: 濮祖荫 陆全明

第6章 执笔: 童洪辉 王友年
审稿: 张 菁 赵 青



总 序

九层之台，起于累土^①

白春礼

近代科学诞生以来，科学的光辉引领和促进了人类文明的进步，在人类不断深化对自然和社会认识的过程中，形成了以学科为重要标志的、丰富的科学知识体系。学科不但是科学知识的基本单元，同时也是科学活动的基本单元：每一学科都有其特定的问题域、研究方法、学术传统乃至学术共同体，都有其独特的历史发展轨迹；学科内和学科间的思想互动，为科学创新提供了原动力。因此，发展科技，必须研究并把握学科内部运作及其与社会相互作用的机制及规律。

中国科学院学部作为我国自然科学的最高学术机构和国家在科学技术方面的最高咨询机构，历来十分重视研究学科发展战略。2009年4月与国家自然科学基金委员会联合启动了“2011~2020年我国学科发展战略研究”19个专题咨询研究，并组建了总体报告研究组。在此工作基础上，为持续深入开展有关研究，学部于2010年底，在一些特定的领域和方向上重点部署了学科发展战略研究项目，研究成果现以“中国学科发展战略”丛书形式系列出版，供大家交流讨论，希望起到引导之效。

根据学科发展战略研究总体研究工作成果，我们特别注意到学科发展的以下几方面的特征和趋势。

一是学科发展已越出单一学科的范围，呈现出集群化发展的态势，

^① 题注：李耳《老子》第64章：“合抱之木，生于毫末；九层之台，起于累土；千里之行，始于足下。”

呈现出多学科互动共同导致学科分化整合的机制。学科间交叉和融合、重点突破和“整体统一”，成为许多相关学科得以实现集群式发展的重要方式，一些学科边界更加模糊。

二是学科发展体现了一定的周期性，一般要经历源头创新期、创新密集区、完善与扩散期，并在科学革命性突破的基础上螺旋上升式发展，进入新一轮发展周期。根据不同阶段的学科发展特点，实现学科均衡与协调发展成为了学科整体发展的必然要求。

三是学科发展的驱动因素、研究方式和表征方式发生了相应的变化。学科的发展以好奇心牵引下的问题驱动为主，逐渐向社会需求牵引下的问题驱动转变；计算成为了理论、实验之外的第三种研究方式；基于动态模拟和图像显示等信息技术，为各学科纯粹的抽象数学语言提供了更加生动、直观的辅助表征手段。

四是科学方法和工具的突破与学科发展互相促进作用更加显著。技术科学的进步为激发新现象并揭示物质多尺度、极端条件下的本质和规律提供了积极有效手段。同时，学科的进步也为技术科学的发展和催生战略新兴产业奠定了重要基础。

五是文化、制度成为了促进学科发展的重要前提。崇尚科学精神的文化环境、避免过多行政干预和利益博弈的制度建设、追求可持续发展的目标和思想，将不仅极大促进传统学科和当代新兴学科的快速发展，而且也为人材成长并进而促进学科创新提供了必要条件。

我国学科体系系由西方移植而来，学科制度的跨文化移植及其在中国文化中的本土化进程，延续已达百年之久，至今仍未结束。

鸦片战争之后，代数学、微积分、三角学、概率论、解析几何、力学、声学、光学、电学、化学、生物学和工程科学等的近代科学知识被介绍到中国，其中有些知识成为一些学堂和书院的教学内容。1904年清政府颁布“癸卯学制”，该学制将科学技术分为格致科(自然科学)、农业科、工艺科和医术科，各科又分为诸多学科。1905年清朝废除科举，此后中国传统学科体系逐步被来自西方的新学科体系取代。

民国时期现代教育发展较快，科学社团与科研机构纷纷创建，现代

学科体系的框架基础成型，一些重要学科实现了制度化。大学引进欧美的通才教育模式，培育各学科的人才。1912年詹天佑发起成立中华工程师会，该会后来与类似团体合为中国工程师学会。1914年留学美国的学者创办中国科学社。1922年中国地质学会成立，此后，生理、地理、气象、天文、植物、动物、物理、化学、机械、水利、统计、航空、药学、医学、农学、数学等学科的学会相继创建。这些学会及其创办的《科学》《工程》等期刊加速了现代学科体系在中国的构建和本土化。1928年国民政府创建中央研究院，这标志着现代科学技术研究在中国的制度化。中央研究院主要开展数学、天文学与气象学、物理学、化学、地质与地理学、生物科学、人类学与考古学、社会科学、工程科学、农林学、医学等学科的研究，将现代学科在中国的建设提升到了研究层次。

中华人民共和国建立之后，学科建设进入了一个新阶段，逐步形成了比较完整的体系。1949年11月新中国组建了中国科学院，建设以学科为基础的各类研究所。1952年，教育部对全国高等学校进行院系调整，推行苏联式的专业教育模式，学科体系不断细化。1956年，国家制定《十二年科学技术发展远景规划纲要》，该规划包括57项任务和12个重点项目。规划制定过程中形成的“以任务带学科”的理念主导了以后全国科技发展的模式。1978年召开全国科学大会之后，科学技术事业从国防动力向经济动力的转变，推进了科学技术转化为生产力的进程。

科技规划和“任务带学科”模式都加速了我国科研的尖端研究，有力带动了核技术、航天技术、电子学、半导体、计算技术、自动化等前沿学科建设与新方向的开辟，填补了学科和领域的空白，不断奠定工业化建设与国防建设的科学技术基础。不过，这种模式在某些时期或多或少地弱化了学科的基础建设、前瞻发展与创新活力。比如，发展尖端技术的任务直接带动了计算机技术的兴起与计算机的研制，但科研力量长期跟着任务走，而对学科建设着力不够，已成为制约我国计算机科学技术发展的“短板”。面对建设创新型国家的历史使命，我国亟待夯实学科基础，为科学技术的持续发展与创新能力的提升而开辟知识源泉。

反思现代科学学科制度在我国移植与本土化的进程，应该看到，20 世纪上半叶，由于西方列强和日本入侵，再加上频繁的内战，科学与救亡结下了不解之缘，新中国建立以来，更是长期面临着经济建设和国家安全的紧迫任务。中国科学家、政治家、思想家乃至一般民众均不得不以实用的心态考虑科学及学科发展问题，我国科学体制缺乏应有的学科独立发展空间和学术自主意识。改革开放以来，中国取得了卓越的经济建设成就，今天我们可以也应该静下心来思考“任务”与学科的相互关系，重审学科发展战略。

现代科学不仅表现为其最终成果的科学知识，还包括这些知识背后的科学方法、科学思想和科学精神，以及让科学得以运行的科学体制、科学家的行为规范和科学价值观。相对于我国的传统文化，现代科学是一个“陌生的”“移植的”东西。尽管西方科学传入我国已有一百多年的历史，但我们更多地还是关注器物层面，强调科学之实用价值，而较少触及科学的文化层面，未能有效而普遍地触及到整个科学文化的移植和本土化问题。中国传统文化以及当今的社会文化仍在深刻地影响着中国科学的灵魂。可以说，迄 20 世纪结束，我国移植了现代科学及其学科体制，却在很大程度上拒斥与之相关的科学文化及相应制度安排。

科学是一项探索真理的事业，学科发展也有其内在的目标，即探求真理的目标。在科技政策制定过程中，以外在的目标替代学科发展的内在目标，或是只看到外在目标而未能看到内在目标，均是不适当的。现代科学制度化进程的含义就在于：探索真理对于人类发展来说是必要的和有至上价值的，因而现代社会和国家须为探索真理的事业和人们提供制度性的支持和保护，须为之提供稳定的经费支持，更须为之提供基本的学术自由。

20 世纪以来，科学与国家的目的不可分割地联系在一起，科学事业的发展不可避免地要接受来自政府的直接或间接的支持、监督或干预，但这并不意味着，从此便不再谈科学自主和自由。事实上，在现当代条件下，在制定国家科技政策时充分考虑“任务”和学科的平衡，不但是最大限度实现学术自由、提升科学创造活力的有效路径，同时也是

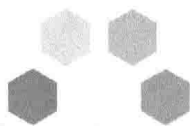
让科学服务于国家和社会需要的最有效的做法。这里存在着这样一种辩证法：科学技术系统只有在具有高度创造活力的情形下，才能在创新型国家建设过程中发挥最大作用。

在全社会范围内创造一种允许失败、自由探讨的科研氛围；尊重学科发展的内在规律，让科研人员充分发挥自己的创造潜能；充分尊重科学家的个人自由，不以“任务”作为学科发展的目标，让科学共同体自主地来决定学科的发展方向。这样做的结果往往比事先规划要更加激动人心。比如，19世纪末德国化学学科的发展史就充分说明了这一点。从内部条件上讲，首先是由于洪堡兄弟所创办的新型大学模式，主张教与学的自由、教学与研究相结合，使得自由创新成为德国的主流学术生态。从外部环境来看，德国是一个后发国家，不像英、法等国拥有大量的海外殖民地，只有依赖技术创新弥补资源的稀缺。在强大爱国热情的感召下，德国化学家的创新激情迸发，与市场开发相结合，在染料工业、化学制药工业方面进步神速，十余年间便领先于世界。

中国科学院作为国家科技事业“火车头”，有责任提升我国原始创新能力，有责任解决关系国家全局和长远发展的基础性、前瞻性、战略性重大科技问题，有责任引领中国科学走自主创新之路。中国科学院学部汇聚了我国优秀科学家的代表，更要责无旁贷地承担起引领中国科技进步和创新的重任，系统、深入地对自然科学各学科进行前瞻性战略研究。这一研究工作，旨在系统梳理世界自然科学各学科的发展历程，总结各学科的发展规律和内在逻辑，前瞻各学科中长期发展趋势，从而提炼出学科前沿的重大科学问题，提出学科发展的新概念和新思路。开展学科发展战略研究，也要面向我国现代化建设的长远战略需求，系统分析科技创新对人类社会发展 and 我国现代化进程的影响，注重新技术、新方法和新手段研究，提炼出符合中国发展需求的新问题和重大战略方向。开展学科发展战略研究，还要从支撑学科发展的软、硬件环境和建设国家创新体系的整体要求出发，重点关注学科政策、重点领域、人才培养、经费投入、基础平台、管理体制等核心要素，为学科的均衡、持续、健康发展出谋划策。

2010年,在中国科学院各学部常委会的领导下,各学部依托国内高水平科研教育等单位,积极酝酿和组建了以院士为主体、众多专家参与的学科发展战略研究组。经过各研究组的深入调查和广泛研讨,形成了“中国学科发展战略”丛书,纳入“国家科学思想库-学术引领系列”陆续出版。学部诚挚感谢为学科发展战略研究付出心血的院士、专家们!

按照学部“十二五”工作规划部署,学科发展战略研究将持续开展,希望学科发展战略系列研究报告持续关注前沿,不断推陈出新,引导广大科学家与中国科学院学部一起,把握世界科学发展动态,夯实中国科学发展的基础,共同推动中国科学早日实现创新跨越!



序

中国科学院根据中国科技发展战略布置各学部按专业研究学科前沿及发展战略，在面临我国由大国走向强国的背景下，核物理与等离子体物理作为现代物理学的重要组成部分，其发展战略尤为重要。本书分析学科构成、前沿布局，同时用一定的笔墨描述了我国的学科基础和发展愿景。目前，我国在这个学科处于国际同行的第二方阵，有个别方向的突破成为国际同行的范例，列入新发展规划的研究也显现一定的先机。

本战略研究考虑到核与等离子体在物质层次相交，涉及共同的新兴交叉前沿，如高能量密度物质（核、原子），在能源和国家安全领域应用和研究有机衔接，因此形成一个战略研究报告，本书包括核物理与等离子体物理两卷。

上册核物理卷，共八章。前五章为强子、核物质、核结构、核天体物理及大科学研究装置，其中，首次根据国际划分方法把强子物理列入核物理学科。后三章为核技术与应用及学科交叉，根据我国能源发展重点把先进核裂变能突出为第七章。

下册等离子体物理卷，分为六章。根据学科重大需求，前两章为惯性聚变和磁约束聚变及大型研究装置，第三章为基础等离子体物理，后三章为等离子体技术与应用及学科交叉，其中第四章突出了强场激光等离子体。

从战略层面较全面、详实地描述和分析了核物理及等离子体物理领域发展的动态和趋势，并给出我国发展战略的建议，这是本书的特点，也是 30 多位老中青一线科研骨干的智慧和辛勤工作的结果；书中列举的一批现有和建议未来建设的研究装置可以看出该学科的发展轨迹，要

切忌“重硬轻软”“存在就是合理”，未来大型研究装置的建设和选择还需要进一步优化，更需要注重错位发展和提升国际竞争力。

本书的出版特别要感谢王乃彦院士，他欣然接受担任中国科学院数理学部核物理与等离子体物理学科发展战略研究组组长，以他广博的知识和丰富的阅历，高效地召集 30 多位老中青专家共同研讨，兢兢业业完成这本书。

詹文龙

时任中国科学院数理学部主任



前 言

受中国科学院数学物理学部的委托,本书从核物理与等离子体物理中长期发展趋势方面提炼科学发展的重大科学问题,结合我国学科发展和国家需求,提出在今后一段时间内(到2030年左右)我国核物理与等离子体物理发展战略的建议;按照学部要求,结合我国科学家在核物理和等离子体领域中的主要贡献和有影响的重要工作,从而分析和判断我国科学界在本学科中的地位 and 影响,为进一步提升我国科技界在该领域中的创新能力提供参考和借鉴。

原子核作为物质结构的一个重要层次,核物理在原子物理、核物理和粒子物理中起着承上启下的作用,是物理学中的一个重要的组成部分。原子核物理研究的问题以强相互作用为主,也涉及弱相互作用和电磁相互作用。自然界的基本对称性之一——弱相互作用宇称不守恒的实验验证,就是20世纪50年代最先在原子核的 β 衰变中确认的。原子核物理在21世纪展现了两个重要的发展方向,同时也是21世纪物理学发展的重要前沿。

(1) 强相互作用理论和标准模型的探索与发展。探索和发展强相互作用理论及检验和发展标准模型是21世纪物理学的前沿,是核物理和粒子物理的共同目标。核物理在这项研究中起着重要和不可替代的作用,这方面的主要领域有相对论重离子碰撞、高能连续束电子和核的相互作用以及高能强子和核的相互作用。

(2) 通过对远离稳定线新核素的研究,检验和发展稳定区建立的核理论,探索新的双幻核、合成宇宙元素的新路径、单粒子能级、剩余相互作用及多体关联,发现新的超形变,探索新的放射性衰变,检验标准