

面向 21 世纪中国核物理学的发展

许谨诚

(中国原子能科学研究院,北京 102413)

[摘要] 简要介绍了今后核物理前沿领域的主要科学问题,讨论了核物理对于我国国防和经济建设的作用,并对中国核物理研究发展的主要方向、基地建设等问题提出了具体建议。

[关键词] 核物理,前沿领域,发展建议

核物理是重要的基础学科之一,20世纪对政治、军事、经济和科学技术等方面的发展起过巨大的作用,它的发展受到了普遍的重视。新中国成立后,由于党和政府的高度重视,中国的核物理研究从无到有得到了飞速的发展,有了一定的规模,在国际核物理界占有一定的地位。

面向 21 世纪,国际核物理学科呈现蓬勃发展的势头。在世纪之交的十多年内,欧美和日本等发达国家投入成百亿美元建立一批高水平的加速器装置,瞄准重要的前沿领域,蕴酿着重大的突破^[1,2]。在今后一、二十年中,核物理学科将有快速的发展。我国应重视其发展,在这些前沿领域中占领一席之地。

1 面向 21 世纪新的挑战的核物理

国际上对于 21 世纪初核物理学的发展前沿已形成共识。我们结合我国的发展目标,从中选取一部分予以介绍。

1.1 极端条件下的核结构

原子核的结构性质强烈地依赖于核中的质子和中子数目、核角动量和温度。原子核所能容纳的核子数、角动量和温度均有一定的极限,(目前人们对核的认识还不能正确断言极限的数值,验证这些极限也是对核理论的重要检验)。接近这些极限的原子核即为处于极端条件下,它们的性质的研究是 21 世纪核物理的一个重要前沿。

理论预计在核中核子数稳定的极限内,稳定和

不稳定(发生放射性衰变)的核素有 6 000—8 000 个,而已被较仔细研究过的才有 400 多个,而且比较靠近稳定核区。现在的核结构理论,如壳层模型是建立在这个有限的知识的基础之上的。目前正在大力发展各种放射性核束装置,下个世纪通过利用大量的放射性核束做炮弹,可以对绝大多数远离稳定线的核素做深入仔细的探索,从而充分展现核结构的丰富多彩的性质,极大地推动核结构理论的发展。例如壳层模型的幻数将大为更新,将会发现多种奇特的核形状与密度分布以及新的衰变方式。有可能了却寻找超重元素岛的心愿。

对“冷”的原子核的高自旋态的研究是近 20 年来的热点,发现了超形变转动带、全同带等重要现象。在新的世纪中利用新建的多个高性能的晶体球探测器,可以仔细地研究“冷”的和“温”的(有较高激发能)各种核素的高自旋态,发现巨超形变等各种新的运动形式。此外,原子核提供了一个难得的量子混沌体系,从有序与混沌转换的新的视角来研究从转晕线到极限角动量之间整个范围内的束缚态。

中国核物理界在这个领域中有良好的基础和机遇,如能作为一个重点领域加以发展,定可跻身于国际先进行列。

1.2 原子核中的强子和夸克自由度

原子核由核子组成,核子之间通过交换介子来实现相互作用而结合在一起,这是 60 年代原子核的图像,理论家用核子自由度和唯象的有效核力来描述原子核,并取得较大的成功。到 90 年代人们认识

国家自然科学基金资助项目。

本文于 1999 年 6 月 8 日收到。

到原子核远非如此单纯。核子和其他强子均由夸克和胶子组成,在高能量或小的尺度上,强子——如各种介子和核子共振态、甚至夸克自由度均在一些原子核现象中表现出来。21世纪核物理研究的另一个富有挑战性的前沿领域是核中强子和夸克自由度的研究。这方面的任务首先是要更全面的揭示强子和夸克自由度在原子核现象中的表露。美国建成的CEBAF,日本要建的JHF为此提供了新的机会。第二,要发展和完善以量子强子动力学(QHD)为主要代表的理论在强子层次上对原子核性质的描述。第三,这个领域中最具挑战性的任务是从目前认识到的最基本的层次——夸克层次出发,从量子色动力学(QCD)出发来实现对原子核性质的描述,而这个过程将会推动QCD理论特别是非微扰QCD的发展。

另一方面,有证据表明,在核介质中的强子表现出一些与它单独存在时所不同的性质。因此原子核提供了一个极好的实验场地来更广泛的研究强子和夸克的性质,对粒子物理起到补充的作用。

正是在上述2个方面核物理与粒子物理发生了不少重要的交叉,这也是21世纪核物理研究的一个明显的新特点。

1.3 核-核碰撞和核物质的相变

人们对核-核碰撞过程的研究分2个方面。首先是研究碰撞过程的动力学,研究各种核反应的特征以及发生几率与碰撞体系的特征,如能量和组成核子数等的关系。另一方面,人们以中高能核-核碰撞为手段来加热原子核和改变它的密度,研究处于不同温度和密度下的核物质的性质-核物质的态方程,这已成为最近十多年来的热点。

理论预言在一定的温度和密度下($T < 10-20$ MeV, $\rho < 0.5\rho_0$)原子核可能发生“液-气相变”。虽然经过多年的实验和理论研究,但对此重要问题尚无定论。在新的世纪里还会深入进行。

量子色动力学(QCD)理论预言存在着第5种物质形态:夸克胶子等离子体(QGP),并且给出了在高温或高密度的核物质中QGP产生的条件。90年代对相对论性重离子碰撞的大量理论和实验研究表明,在超相对论性重离子碰撞时有可能达到QGP产生的条件。QGP的产生被认为是一个世纪性的突破。美国斥巨资建造的相对论性重离子对撞机(RHIC)预定于1999年建成,欧洲正在建造规模更大的LHC,都以此作为主要目标。理论和实验上的最富挑战性的问题是确定可靠的表明QGP存在的可

观察量——即所谓的Signature(标识)。迄今为止,理论上提出过不少的可观察量如 J/ψ 比、 K/π 比等等,在较低能区的实验也声明观察到所谓的异常,但其后的进一步的分析研究表明,这些可观察量很可能并不是明确无疑的标识,所谓的异常不用引入QGP的存在也可以得到合理的解释。不像建加速器和实验测量装置要巨额投资,中国的核物理学家在可观察量的选定和实验分析这个极重要的领域是大有用武之地的。

1.4 核天体物理学

作为核物理与天体物理相结合的一门重要的交叉学科,核天体物理是近年来天体物理中最活跃的领域之一。在21世纪由于放射性核束的应用,它将会有重大的发展,因此在欧美等国的发展规划中均占有重要的地位。

宇宙的大爆炸过程中原初核的合成,星体的演化以及星体中的核合成过程等均涉及核反应和核衰变。核天体物理的发展依赖于我们对于所涉及的原子核的核衰变和核反应的数据的正确掌握的程度。

核天体物理中有许多重大的疑难问题留待21世纪的研究去解决。例如大爆炸后几秒钟的宇宙中重子密度分布的不均匀程度和 $A \geq 9$ 的核素的原初合成的关系;太阳中微子失踪之谜;Orguevie陨石中 ^{22}Ne 丰度超常;星际介质中存在大量 ^{26}Al 的来源;爆发性核燃烧和超新星动力学; r 过程对核合成的作用以及 p 元素的起源等。这些问题涉及不稳定核素的核数据。天体物理的需求成为发展放射性核束装置的一个重要推动力。而回过头来,放射性核束的应用为以上一些重大问题的解决提供了可能性。

国内在核天体物理的理论工作方面有较好的工作。近年来由于2条放射性次级束流线的建立,实验工作发展很快。新的放射性核束装置的建立将为21世纪我国在这方面的发展提供良好的机遇。

2 中国核物理研究的重要作用

核物理研究对21世纪中国的国防建设、国民经济和科技发展将起到重要的作用。

(1)国防建设方面。在全面禁试和核材料禁产的新形势下,核武器的发展,核武库的安全和可靠性的保证,禁试、禁产的核查等都对核物理和核技术的发展提出了新的更高的要求。

航天用电子器件的抗辐照研究对保证卫星等航天器的正常工作,起着重要的作用。

(2)能源方面。国际上正在发展用强流加速器

驱动次临界反应堆的所谓“洁净裂变能源系统”,可以比现在的裂变反应堆更安全,更有效地利用裂变物质资源,并大大减轻放射性废物的负担。

利用射线处理燃煤烟气以降低对环境的污染在国际上已进入实用阶段。这对以煤为最主要能源的中国是很重要的。

(3)核技术的产业化在一些发达国家的经济中已占相当的地位。例如,核诊断医学在美国每年产值约 100 亿美元。离子注入半导体材料全球销售额每年 1 000 亿美元,辐照加工全球年产值超过 100 亿美元。

国内核技术产业化处于起步阶段,潜力很大。国内有 X-CT、SPECT 和 NMI 等核医学诊断设备 3 000—4 000 台,但全部进口。辐照加工行业年产值为 10 亿元人民币,所用的加速器和钴源大部分进口。核技术产业大多是高新技术产业,竞争力强,经济效益高。而且核技术产业有很大的辐射效应,它的产品是许多其他产品的关键性的材料和元器件。注重发展知识经济就不应忽视核技术的产业化。

(4)核物理通过各种核技术的应用,已经扩散、渗透到许多科学或学科,成为这些科学发展的不可或缺的技术手段。例如放射性同位素应用对于医学和生命科学,核技术分析和离子束加工对于材料科学,核分析对于地质学和环境科学等。进入 21 世纪,这些科学的进一步发展,提出了新的更高的要求,而核物理的发展正在开发出新的核技术。应该强调的是,发达国家的经验表明,对核技术的重视和需求程度与科技发展水平有很大的关系。随着我国科技水平的提高,科技创新要求的提高,对于各种核技术的需求会变得越来越迫切。

我们认为,国家有关部门对我国核物理和核技术的发展应有一个前瞻性的认识,并给以足够的重视,这是当前中国核物理和核技术发展首先要解决的问题。

3 建 议

3.1 规 划

由于历史原因,核物理的研究单位分属各个部门。各个部门和研究单位均制定过各自的“九五”规划等,但缺乏全国性的、统一协调的规划。部门或单位的规划往往可行性不强,存在重要的缺口和低水平的重复,而原国家科委拟定的发展纲要又失之过于简要。

我国 50 年代制定了“12 年科技发展规划”,是

一个成功的经验。目前一些发达国家如美国,对核物理的发展也制定 5 年一期的长期规划,此种经验值得我们借鉴。为了能够突出重点,合理布局,有效和合理地利用有限的资源,建议由国家科学技术部主持,会同有关部门,由中国科学院学部具体负责,组织国内核物理界,制定全国性的、统一的、各部门协调的今后 5—10 年的核物理发展规划。这个规划要有权威性和可操作性。

建议中国科学院学部或国家自然科学基金委员会支持,组织一个常设的软科学教研组,人员可以流动,研究中国核物理发展的战略、重点领域等问题,向有关部门提出咨询意见。

3.2 科研基地建设

经过几十年的建设和发展,我国的核物理科研基地有了一定的规模和水平,但是为了满足 21 世纪初发展的需要,应该结合国家科技创新基地的建设,有计划地对原有的研究基地予以调整和发展。

中国科学院近代物理所的兰州重离子加速器国家实验室,通过“九五”重大科学工程“冷却储存环”的建设,将发展成为国家级的核物理研究基地。

中国原子能科学研究院是我国最早建立的一个大型综合性的核科技研究中心,在国防、核能、核化工、核物理和加速器等方面具有综合性、多学科的优势,应该发展成国家级的科技创新基地。该院的快堆工程和先进研究堆已经立项建设。为了配套发展,继续发挥综合基地的优势,建议国家支持该院的“北京放射性核束装置”工程,“九·五”加紧预研工作,“十五”立项。该工程不仅能作为一个放射性核束装置,在低能放射性核束的产生及其相关的核物理研究方面进入国际前沿,还可在放射性同位素开发和生产,强中子源、核技术应用和加速器技术等方面发挥重要的作用。

建议国家支持中国科学院上海原子核所的同步辐射装置的建设。近年来该所在同位素生产和其他核技术方面发展较快。该装置建成后,应利用上海地区优越的经济地理优势,建成为以同步辐射为主,以发展核技术为特色的国家级研究中心。

在科研基地的建设中,除了大装置的建设费用外,要注意保证适度的配套实验设备的投入和实验室运转费用。

除以上的国家级中心之外,在目前重点高校的研究单位的基础上,通过调整,建立起几个地区性的和专业性的研究基地,以国家重点实验室或部门开放实验室的形式对其加强支持和管理。这些基地应

发挥其教育与科研相结合,与地区特点相结合或突出某些专业的特点。

3.3 核物理发展重点

(1)把发展与国家安全、能源技术有关的核物理的研究和开发工作放在首要位置。

确保完成与核数据有关的理论和实验的发展工作、核保障与核核查有关的核物理工作以及与空间科学有关的半导体器件的辐照效应的研究工作等。

建议国家尽早安排与开发加速器驱动的洁净裂变能源技术有关的科研项目。

(2)把发展放射性核束,开拓核物理研究的新领域作为我国核物理发展的一个重点方向。它是国际21世纪初的重要前沿领域之一,国际上正处于起步阶段。建立放射性核束装置所需的投入和技术要求,适合我国国情。我国应抓住这一有利时机,及时跟上,占据一席之地。

建议国家支持两个新装置的建立,在新装置建成以前,改进及充分利用现存的两条放射性核次级束流线,重点开展远离稳定线核的核结构,核天体物理的研究。

(3)中高能核物理是我国今后核物理研究的一重点方向。中高能核物理指的是相对论重离子碰撞和核内的强子和夸克自由度的研究。这是当前和今后一段时间内的国际前沿和热点。

我国在这一领域有一支相当规模的理论队伍,近年来在一些重要方向上已与国际先进水平相衔接,并积极参加国际交流与合作。近年来有几个单位的研究组还参加了国际上一些重要的实验组的合作。把这一方向作为发展重点之一,有利于发挥我们的良好基础,在这一领域做出较大的贡献,取得较高的国际地位。

建议一方面大力加强对有关理论工作的支持,另一方面筹措一定的经费,经过统一的组织和筹划,组织国内和在国外的优秀人才,选好1—2个有希望的课题,在高层次上参加国际的实验合作组。这种方法符合目前的国际通行的做法,有利于吸引和培养青年人才,有利于作出较大的贡献和分享应有的成果。

(4)选好核天体物理的若干重要研究课题,建议国家自然科学基金委员会以重大或重点课题的形式积极予以支持。

3.4 加强核技术应用的发展

(1)建议国家重视核技术产业化的工作。在核

工业部改制之后,目前国内缺乏一种组织形式来统筹核技术产业化的规划、布局和政策扶植等问题。形成了研究单位,甚至个人“各自为战”的局面,这是当前影响核技术产业化发展,不能形成规模的最主要因素。建议国家科技部予以解决。目前可先在现有的一些计划中适当加强对核技术产业化的支持。

(2)核技术中有一类是核物理的技术手段在其他学科的研究中的应用,如中子散射,各种核分析手段等,这类工作有重要的意义,但即使在发达国家,其自身也不能取得足够的经济效益来保持其生存和发展。这类工作一是需要国家的投入支持;二是其发展要结合和适应国内相关学科发展。因此建议:

(1)在相关科学或学科制定规划时,能明确提出对有关的核技术发展的要求。

(2)核物理界要密切与国内有关学科的联系和合作,重视学科的交叉以制定切实的规划。

在以上两方面,国家自然科学基金委员会有集中多个学科,重视学科交叉的优势,可以发挥重要的作用。

(3)在中国原子能科学研究院的先进研究堆旁建立中子散射国家重点实验室。

(4)国内各种核分析手段的设备和仪器建立较早,难以胜任未来有关学科发展的需求。对一些主要的核分析手段,建议各选择一个重点单位,更新设备,提高水平,建成全国开放的该核技术的中心实验室,实行共建、共用、共管。可以通过国家的重点实验室计划和国家自然科学基金委员会的重点项目来实现以上目标。

3.5 结合核物理和核技术应用发展的需要,部署好中小加速器的研制和加速器技术的发展工作。

致谢 本文是基于国家自然科学基金的软科学课题的成果,由作者执笔完成的。由于篇幅限制,课题组成员不能一一列出。在工作中得到了胡仁宇先生的热心指导和帮助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] DOE/NSF Nuclear Science Advisory Committee Nuclear Science: A Long Range Plan, USA, 1996.
- [2] Nuclear Physics in Europe: Highlights and Opportunities. NuPECC Report, 1997.

DEVELOPMENTAL TREND OF NUCLEAR PHYSICS RESEARCHS OF CHINA IN THE 21ST CENTURY

Xu Jincheng

(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413)

Abstract Nuclear Physics is an important fundamental branch of Physics. Entering the 21st Century, the research of nuclear physics on the world is developing vigorously, and significant breakthroughs in the forefront fields are anticipated in the near future. This briefly reviewed the main scientific problems of the various forefront fields, Discussed the important role of nuclear physics to the development of national defense and economy of China, and made some suggestion on the development of the nuclear physics reseach in China.

Key words nuclear physics, forefront field, development trend

·资料·信息·

1999 年度获国家自然科学基金面上项目 资助的前 20 所科研院所名单 (按资助金额排序)

单 位 名 称	项 数(项)	资 助 金 额(万元)
中国医学科学院	44	587.00
中国人民解放军军事医学科学院	30	410.00
中国科学院生态环境研究中心	20	284.50
中国科学院动物研究所	23	281.00
中国科学院物理研究所	18	275.00
中国科学院生物物理研究所	13	240.00
中国科学院广州地球化学研究所	14	239.00
中国科学院地质研究所	13	223.00
中国科学院地理研究所	13	221.00
中国科学院植物研究所	15	206.50
中国科学院大气物理研究所	12	203.50
中国科学院上海有机化学研究所	13	203.50
中国科学院地球物理研究所	11	201.00
中国科学院金属研究所	12	186.00
中国科学院长春应用化学研究所	12	172.00
中国原子能科学研究院	11	165.00
中国科学院化学研究所	12	159.00
中国科学院南京地质古生物研究所	10	158.00
中国科学院海洋研究所	11	156.50
中国地质科学院地质研究所	8	147.00

(综合计划局信息处 供稿)