

文章编号: 1007-4627(2005)04-0351-03

## 核物理发展现状分析和建议\*

邹冰松

(兰州重离子加速器国家实验室原子核理论中心, 甘肃 兰州 730000)

(中国科学院高能物理研究所, 北京 100039)

**摘要:** 对国内外核物理发展现状、前沿进行了简要分析和概括, 对我国核物理发展优先资助领域提出了自己的一些看法和建议。

**关键词:** 核子结构; 核结构; 高温高密核物质

**中图分类号:** O572.34 **文献标识码:** A

核物理是 20 世纪发展起来的研究核物质微观结构的前沿学科。传统的核物理主要基于核子自由度研究原子核的结构、性质及其相互作用, 包括核反应、放射性、新核素和新元素的合成等。但随着人们对物质微观世界认识的深入, 夸克和胶子的发现、强相互作用量子色动力学(QCD)理论的建立, 当今核物理的研究领域已经大大扩展。研究最小的核物质系统(核子及其激发态、多夸克态与双重子态等)的内部夸克-胶子结构和实验室可产生的最大的高温高密核物质系统(高能重离子碰撞)的夸克-胶子结构成为两个新的核物理前沿领域, 和极端条件(高速旋转、超级变形、反常中质比、高温、高密)下核结构的研究一起并列为当前核物理基础研究的 3 个最主要的前沿领域。这些研究对了解宇宙起源、天体演化的微观物理、粒子物理标准模型在核物理中的检验、核技术应用等具有重要意义。

核子物理、极端条件下核结构和高温高密核物质物理这 3 个核物理基础研究前沿领域要解决的关键性问题可粗略地归纳为以下 3 个基本问题:

(1) 夸克和胶子是如何构成核子的?

核子是体现强相互作用理论 QCD 3 种颜色合成无色及其非阿贝尔特性的最简单的体系, 但目前仍不能用 QCD 理论定量地描述核子的内部夸克-胶子结构, 甚至连核子内部的有效自由度到底是什么

都还不清楚。核子结构的经典图像是由 3 个夸克组成, 但越来越多的实验迹象表明核子内部含有显著的多夸克成分, 胶子成分也对核子自旋极化等问题有贡献<sup>[1, 2]</sup>。各种理论模型预言的很多核子激发态尚未找到, 寻找“失踪”的重子激发态是当前国际中高能核物理研究的一个热点<sup>[3]</sup>。此外, 如何在夸克层次上描述核子间的相互作用, 是否存在多夸克态、双重子态, 核内核子的夸克-胶子结构与自由核子有何不同等, 都对了解强相互作用至关重要。

(2) 如何统一地描述各种原子核(包括极端条件下的原子核)的内部结构?

经典的核结构壳模型和集体运动模型成功地解释了自然界中观测到的稳定原子核的结构, 但高速旋转、超级变形、反常中质比、超重、掺杂超子等极端条件下不稳定原子核出现了很多新的现象和新的结构, 如何在一个统一的理论框架下定量地描述所有原子核的内部结构是当前核结构物理学家面临的一个新的挑战。此外, 原子核内非核子自由度(多夸克态、核子激发态、介子)的贡献有多大, 也是一个很值得探讨的问题。

(3) 高温、高密条件下核物质的性质如何变化?

在通常的核物质中夸克和胶子是囚禁在核子中的, 但 QCD 理论预言当核物质温度或密度达到足够高时, 核物质就会转化成夸克-胶子等离子体, 而

收稿日期: 2005 - 08 - 22

\* 基金项目: 国家杰出青年科学基金资助项目(10225525); 国家自然科学基金资助项目(10435080); 中国科学院知识创新方向性项目(KJXCXZ-SW-No2)

作者简介: 邹冰松(1964-), 男(汉族), 湖南湘潭人, 研究员, 博士生导师, 从事中高能核物理和强子物理研究;

E-mail: zoubs@mail.ihep.ac.cn

不再是由一个个核子组成了。寻找这种崭新的 QCD 物质形态是核物理研究的一个热点。由于夸克-胶子等离子体也被认为是宇宙诞生百万分之一秒时的物质形态, 研究其性质对探索宇宙演化也有很重要的意义。同时, 研究强子物质的液相、气相、夸克胶子高密色超导相等等, 也都是十分有意义的前沿领域。

以上 3 个前沿领域是近年来国际核物理竞争最激烈、投资最多的 3 个方向<sup>[4-6]</sup>。美国近年来投资建造的超过 1 亿美元的大型核物理实验设施为: 主要针对核子物理的电子束流装置 CEBAF(1995)、针对高温核物质的高能重离子对撞机 RICH(1999) 和正要兴建的针对极端条件下核结构的放射性核束流装置 RIA; 然后, 就是 CEBAF 的改进升级, RICH 的改进升级。欧洲目前针对核子物理的大型实验设施主要有采用电子束流的 HERA(德国 DESY)、采用  $\mu$  介子束流的 COMPASS(西欧核子中心) 和采用质子束流的 COSY(德国 Juelich), 针对高温核物质的有正在兴建的大型强子对撞机 LHC(西欧核子中心)、针对极端条件下核结构的主要大型放射性核束流装置有 ISOLDE(西欧核子中心) 和 SPIRAL(法国 GANIL)。目前即将在德国 GSI 兴建的大型核实验设施 FAIR 则是针对强子物理(反质子束流实验)、极端条件下核结构(放射性核束流) 和高密度核物质性质(重离子束流) 3 个方面。日本主要有针对强子物理的 JPARC 和针对极端条件下核结构的 RIKEN 放射性核束流装置。2003 年美国在上述 3 个前沿领域的资助费分别为强子结构 700 万、核结构 600 万、高温高密核物质 500 万美元<sup>[5]</sup>。

核物理研究除了上述 3 个主要的基础研究的前沿领域外, 还有一些应用研究前沿领域, 如核天体物理、粒子物理标准模型在核物理中的检验、核技术应用等<sup>[6]</sup>。

我国核物理研究目前的主要方面与上述 3 个国际前沿领域是一致的, 其中极端条件下核结构研究领域的研究队伍实力最为雄厚。中国原子能科学研究院于 1994 年建成了我国第一条低能放射性束流线(GIRAFFE), 兰州重离子加速器国家实验室于 1997 年建成了具有国际先进水平和特殊结构的放射性束流线(RIBLL), 为我国开展极端条件下核结构研究和核天体物理研究奠定了实验基础。我国核

物理学家基于这些实验设施做出了一些出色的工作, 为我国核物理的发展做出了重要贡献。在十五期间, 沈文庆院士领导了基于这些实验设施的“放射性核束物理与核天体物理”973 项目, 国家基金委支持了这方面的 4 个重点项目, 卓有成效。在核子物理方向, 理论方面在中国科学院高能物理研究所、北京大学、南京大学等单位都有较好的基础; 在实验方面中国科学院高能物理研究所从 1998 年开始通过北京正负电子对撞机 J/ $\Psi$  衰变实验数据研究核子激发态, 开辟了核子物理研究的一个新途径, 受到国际关注。在高温高密核物质方向, 我国实验方面目前主要是中国科学院上海应用物理研究所、中国科学技术大学、华中师范大学等单位参与国际合作; 理论方面在清华大学、华中师范大学、北京大学等单位有较好的基础。在十五期间, 国家基金委在核子物理和高温高密核物质方面分别支持了 0.5 和 1.5 个重点项目。

今年, 我国投资 3 亿人民币的兰州重离子加速器冷却储存环(HIRFL-CSR) 装置即将建成投入运行, 其重离子束流实验可用于高密度核物质的研究, 其高能质子束流实验可用于核子激发态、超子激发态、多夸克态、双重子态、超核、重子相互作用等核子物理方面的研究, 为我国在这两方面的研究提供了在今后 10 年内都属于国际一流的加速器条件, 理论和实验相结合有可能取得重大研究成果, 明显属于在十一五期间应优先发展方向和基金应优先资助的领域。同时, 由于这两方面的实验在我国才刚刚起步, 经验不足, 开展国际一流研究必须的高精度强子谱仪尚在研制, CSR 上强子物理研究谱仪模拟系统急需建立, 直接相关的理论研究也还不够, 因此, 又属于应予加强资助的弱势领域。

另外, 正在兴建的北京正负电子对撞机升级改造工程和北京串列加速器升级工程将分别为我国强子物理(包括核子物理) 和极端条件下的核结构研究提供更好的实验条件, 应加强相应的理论物理研究, 特别是对实验数据的理论分析, 从中寻找新物理、新理论的能力、实验与理论相结合提出与新物理、新理论相关的新的实验方案的能力需要加强。

值得注意的两个发展方向是, 继传统的强子探针(质子、介子) 和电子探针之后, 目前, 国际上已经开始采用最先进的同步辐射装置(日本的 Spring8 和欧洲的 ESRF) 产生的高能实光子探针( $\gamma$ ) 和弱相

互作用探针(中微子)研究强子和核结构。我国计划建造的上海第三代同步辐射光源和中国科学院高能物理研究所酝酿的长基线中微子实验装置为这两方面的研究提供了可能。中国科学院物理研究所激光强场物理取得了一些突破性进展,已可导致核反应,激光物理和核物理交叉有可能形成新增长点,值得探讨。我国这些方面的理论研究还很薄弱,需要加强。

此外,我国计划发展的散裂中子源、强流质子加速器等大型实验装置都与核物理直接相关,急需培养相关的核物理后备力量。

随着我国经济实力的增强,各个大型核科学工程相继建立,这为我国核物理取得突破性发展提供了良好机遇,但也将面临核物理后备力量严重不足的困难。十一五期间应加大对核物理领域的基金资助规模,特别是应加大培养聘用研究生、博士后等人员的经费支出。对正在兴建和计划兴建的大型核

科学工程,可以考虑选派定向研究生去国际上相关的实验室攻读相关的博士学位,签订合同,学成回国工作。比如,兰州高能质子束流物理实验方面才刚刚起步,缺乏经验,可以有目的地选派一些相关人员去德国 Juelich COSY 通过合作学习相关方面的内容,尽快派遣定向研究生。同时,加强双边学术交流,请一些国际专家来华讲学指导。

对于一些国际上最先进的、我国尚不能自行开展的大型实验,应有选择地积极开展国际合作,比如,高温核物质方面的 RICH 和 LHC 超高能重离子对撞实验,强子物理方面的 FAIR PANDA 反核子物理实验、CEBAF 电子束流实验等。

本文基于本人提交国家基金委的关于核物理优先资助领域的建议书,听取了沈彭年、许甫荣和季向东等教授的意见,参考了美国 DOE/NSF 核科学顾问委员会的一些报告<sup>[4-6]</sup>。由于水平有限,有不妥之处,欢迎核物理同行批评指正。

#### 参 考 文 献:

- [1] Garvey G T, Peng J C. Prog Part Nucl Phys. 2001, **47**: 203, 及其所引文献.
- [2] Zou B S, Riska D O. Phys Rev Lett, 2005, **95**: 072001, 及其所引文献.
- [3] Zou B S. Nucl Phys Rev, 2003, **20**: 167, 及其所引文献.
- [4] Lesko K, Jacak B, de Jager K, *et al.* The Nuclear Physics Scientific Horizon : Projects for Next Twenty Years. Report of the Ad-hoc Facilities Subcommittee of the Nuclear Science Advisory Committee, 2003.
- [5] Carlson J, Casten R, Holstein B, *et al.* A Vision for Nuclear Theory. Report of the NSAC Subcommittee on Nuclear Theory, USA, 2003.
- [6] The DOE/NSF Nuclear Science Advisory committee of USA. Overview of Opportunities in Nuclear Sciences. A Long Range Plan for the Next Decade, 2002.

## Brief Review on Frontiers of Nuclear Physics and Some Suggestions to NSFC\*

ZOU Bing-song

(Center of Theoretical Nuclear Physics, National Laboratory of Heavy Ion Accelerator of Lanzhou, Lanzhou 730000, China)

(Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** A brief review is given on the frontiers of nuclear physics research. Some personal opinions and suggestions to the NSFC on the fields to have priority for support are presented.

**Key words:** nucleonic structure; nuclear structure; high density and high temperature nuclear matter

\* **Foundation item:** National Natural Science Foundation of China for Distinguished Young Scholar (10225525); National Natural Science Foundation of China (10435080); Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences (KJCXZ-SW-No2)