

# 放射性核束物理与核天体物理<sup>\*</sup>

关键词 放射性核束物理, 核天体物理

## 1 首席科学家

**沈文庆** 中国科学院院士, 中国科学院上海分院院长, 上海原子核研究所研究员。1967 年毕业于清华大学工程物理系, 后在中国科学院近代物理研究所工作, 1991 年调入上海原子核研究所。

长期从事原子核物理领域的研究工作, 在低能和中能重离子核反应实验和放射性核束物理研究方面做出了创新性的工作: 在近代物理研究所与合作者一起在 73MeV 以下的  $^{12}\text{C} + ^{209}\text{Bi}$  发射粒子研究中, 证实低能核反应中有大质量转移反应引起的  $\alpha$  粒子发射; 研究证实轻系统存在深部非弹性散射, 并有非完全深部非弹性散射的反应机制; 20 世纪 80 年代在德国重离子研究中心用软件修正方法获得当时国际上最佳的质量与电荷分布, 测到 4 个新核素; 提出了适用于低能和中能的核反应截面参数化公式; 发展了用 BUU 方程计算反应截面的新方法, 指出了轻丰中子核的中子分布弥散度增加的原因, 等等。曾获国家自然科学奖二等奖 1 项、三等奖 2 项, 中国科学院自然科学奖特等奖、一等奖各 1 项, 二等奖 3 项; 在国内外杂志上发表论文 100 余篇, 被 SCI 引用 200 多次。

## 2 科学内涵及意义

近十几年来, 世界各大核物理实验室的实验表明, 在极端同位旋条件下, 核的基本结构发生了引人注目的改变。诸如晕核的实验发现、巨晕核的理论预言及适用于远离  $\beta$  稳定线核的结构模型和反应机制的研究, 对未来核科学的研究和应用具有指导作用。50 年前建立的壳模型, 就预言了超重岛的

存在, 元素种类的增加, 将对人类的生存可能会产生不可估量的影响。放射性核束种类多, 可能会对合成超重核素和其它新核素提供最有利的条件。而对高速转动核的性质、形态及其和同位旋自由度关系的研究也将大大促进核结构理论的发展。核天体物理就是核科学和天文学交叉产生的一门新的学科, 它用人工核反应方法, 测量天体演化中涉及的关键数据, 并输入到网络计算, 使人们能深入认识天体演化规律。实际核素从轻到重逐渐形成的路径往往通过远离稳定线区域, 因此放射性核束是研究核天体物理的必要条件。该项目计划利用兰州近代物理研究所的放射性束流线 RIBLL、北京原子能研究院的放射性束流线 GIRAFFE 等关键设备, 取得一些物理成果, 努力合成 1—2 个超重新核素, 找到 2—3 个新晕核并探索是否存在巨晕核, 希望在远离  $\beta$  稳定线核结构和反应研究中取得突破, 发现新的超形变或巨超形变带以及测量 4—5 个关键的天体核反应, 使我国在核科学的某些方面取得国际公认的成就。总体上希望在中能和高能过渡区使我国在世界核物理研究中占有一席之地。

## 3 研究进展及创新点

该项目的发展态势良好, 紧紧围绕项目的总体思路和研究工作重点, 展开了一系列实验和理论研究; 吸引年轻科研人员, 形成了一支高水平的科研队伍, 为核物理的进一步发展培养了人才; 根据研究任务的发展需要, 积极研制新的探测设备, 为今后核物理的发展奠定了物质和技术基础。多项成果指标超过预期, 到目前为止, 该项目组共发表 SCI 论文 220 余篇, 其中在国际重要期刊发表 88 篇。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2002 年 7 月 17 日

图 2(见彩插二,下同)为一般放射性束物理实验的过程及探测器布局示意图。两年来,该项目取得了一批高水平的研究成果:新核素,特别是重的新核素的合成和研究取得了突破,例如成功地合成和研究了 105 号元素的一个新核素 $^{299}\text{Db}$ ,如图 3 所示。该项成果被评为 2001 年中国基础科学研究十大新闻之一。另外还观测到重核基态  $\beta^-$  缓发裂变( $^{230}\text{Ac}$ ),确定了重要滴线核 $^{25}\text{P}$ 的存在。目前,正在积极准备合成和研究其它超重新核素。利用 HIRFL-RIBLL 提供的放射性束流测量相互作用截面,发现了一批可能具有晕结构的原子核,提出 $^{23}\text{Al}$ 和 $^{27}\text{P}$ 存在质子晕结构的实验证据,如图 4 所示。相关项目“重离子核反应的集体效应和奇异核产生及其性质研究”获 2001 年度国家自然科学奖二等奖。利用 HF-13 提供的稳定核束研究一些处于激发态的稳定核结构,指出如 $^{12}\text{B}$ 、 $^{13}\text{C}$ 等核的第一激发态也可能具有中子晕结构,而 $^6\text{Li}$ 的第二激发态具有质子中子晕,见图 5。在理论上对一系列原子核的结构性质进行了深入细致的研究,并指出在原子核中不仅存在单(双)中(质)子晕结构,也可能存在集团晕结构,预言在 Ca、Ni、Zr 等较重原子核的一些极丰中子同位素中存在巨晕结构,计算的预言见图 6。利用我国现有条件,从理论和实验两个方面较深入地开展了对核反应的同位旋效应这一热点课题的研究,取得了重要成果,已在 *Physics Review Letter* 上发表。项目对核的高自旋态的研究积累了大量实验数据,在实验数据的分析中将对三轴超形变、磁转动带、旋称反转、八级形变、集体转动带等物理问题开展深入研究。同时在项目执行中进一步完善了 RIBLL 终端的大散射室  $8 \times 49$  单元阵列带电粒子和中子探测器的建设,对其中  $3 \times 49$  单元进行了在束调试,测试了时间分辨和位置分辨性能,为将来的研究工作提供了强有力的工具,见图 7。与项目有关的其它探测设施和实验装置也有较大改进。

项目的执行大大推动了我国核物理研究的国

际合作和交流,如以国际上著名的放射性束物理研究的先驱者之一日本核物理学家 Tanihata 为首的科学家小组与该项目组的科研人员合作,2001 年 5 月和 11 月在兰州近代物理研究所利用 HIRFL-RIBLL 提供的放射性束进行了两次大型实验,并取得了初步的结果,这种实质性的大型国际核物理合作实验在中国进行还是第一次。兰州 HIRFL 加速器提供的高品质放射性束流和 RIBLL 的特别束线结构引起了日本同行的极大兴趣。日本科学家小组对此次合作实验的顺利进行给予了高度评价。该项目组的科研人员作为主要申请者提出的两项在国际核物理大型装置上开展实验的申请已被日本 RIKEN 的加速器装置委员会批准,另有多项国际合作实验计划正在世界上各大核物理实验室实施或申请之中。这些国际合作和交流的实施使我国核物理界的实验和理论研究受到国际同行的关注,其影响力稳步增加,这也标志着我国核物理研究在世界上占有一席之地。

2002 年 6 月 16—17 日科技部基础司组织专家在上海对该项目进行了中期评估,科技部领导出席了评估会,包括 7 位院士的 15 位专家参加了评估。专家组对项目和各课题进行了认真的讨论和评估,肯定了所取得的成果,同时提出了建议和希望。专家组认为在首席科学家有效的组织与协调下,项目执行过程中各课题组有较好合作,理论和实验紧密结合,通过项目的执行,巩固和加强了我国的核物理研究队伍,提高了他们在核科学大型装置上开展有重要物理意义研究工作的能力,该项目在未来的研究中非常有可能做出更好的成绩。同时希望在总的物理目标下,进行合理的调整,充分利用兰州和北京的大科学工程装置和实验设备,进一步努力,加强在晕核研究、合成超重新核素和重要的核天体反应等方面的研究。

(相关图片请见彩插二)

国家重点基础研究发展规划项目

# 放射性核束物理与核天体物理



首席科学家沈文庆院士

图 1



多单元阵列探测器

图 7

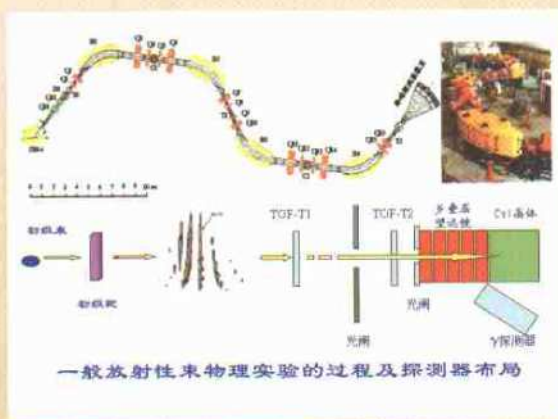


图 2

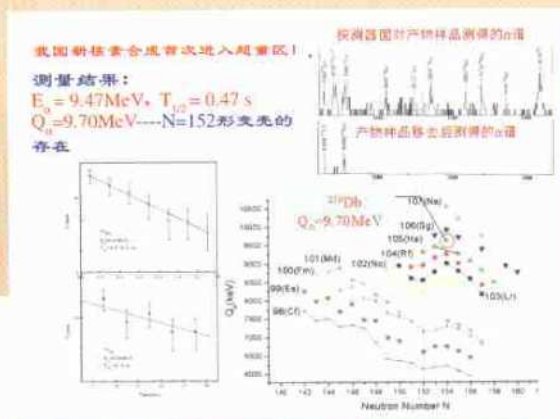


图 3

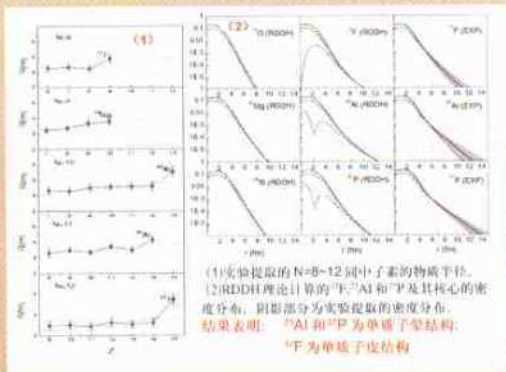


图 4

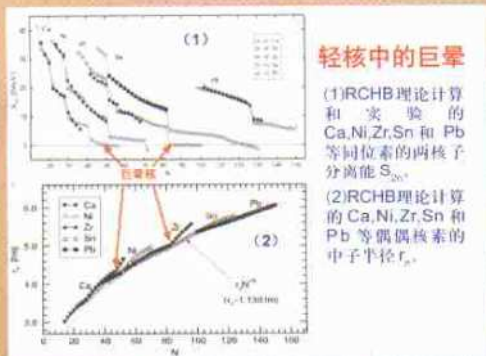


图 6

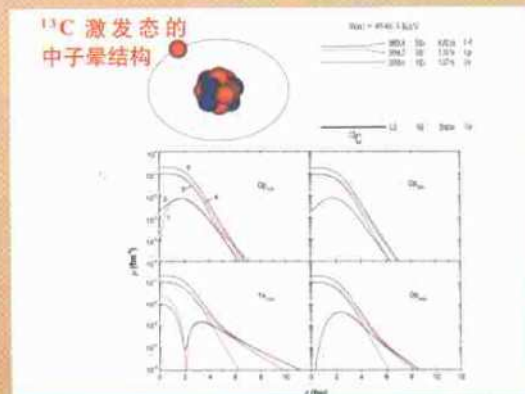


图 5

(详细内容请见本期 353 页)