

RIBLL 的状态及开展的部分实验研究*

肖国青 詹文龙 郭忠言

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘 要 简要介绍了兰州放射性束流装置建成一年多来所开展的实验工作和现状, 并对取得的实验结果进行了讨论与分析.

关键词 放射性核束 新核素鉴别 核反应总截面 碎裂反应

分类号 O571.1

1 引言

在本世纪末的十几年中, 放射性核束物理的研究是随着放射性束流装置的建立而发展起来的. 在此期间共鉴别出了数百种新核素, 并发现了一些具有奇异结构的丰中子和丰质子核素, 它们的外层核子分布呈现出晕和皮的特征. 另外还观察到了几种新的核衰变方式. 可以预言, 放射性核束物理的研究也将是下个世纪核物理研究领域最为活跃的前沿课题. 放射性束流装置的建立极大地拓展了核物理实验研究的核区范围. 目前, 在实验上已经能够研究从 β 稳定线到轻质量区质子滴线和 $Z < 11$ 中子滴线的所有核素, 使可研究核素的数目扩大到了 2 000 多种, 为检验和发展核理论及模型提供了丰富的核数据库. 兰州放射性束流装置^[1] (RIBLL) 投入运行一年多来, 主要利用 $60 \text{ MeV/u } ^{18}\text{O}$ 、 $80 \text{ MeV/u } ^{20}\text{Ne}$ 、 $69 \text{ MeV/u } ^{36}\text{Ar}$ 、 $75 \text{ MeV/u } ^{12}\text{C}$ 和 $55 \text{ MeV/u } ^{40}\text{Ar}$ 束流进行了调束及物理实验, 获得了大量的有关次级束流的参数和实验数据. 经过初步的分析和研究, 得到了部分实验结果. 本文将简要介绍 RIBLL 目前所处的状态和进行的 3 个物理实验工作.

2 RIBLL 目前的状态

利用前面提到的 5 种初级束流进行的调

束实验, RIBLL 已经产生和鉴别出了 100 多种放射性核素. 图 1 显示了 $69 \text{ MeV/u } ^{36}\text{Ar} + \text{Be}$ 弹核碎裂反应产生的次级核素的 ΔE -TOF 双维谱. 从图中可以看出, 80 多种次级

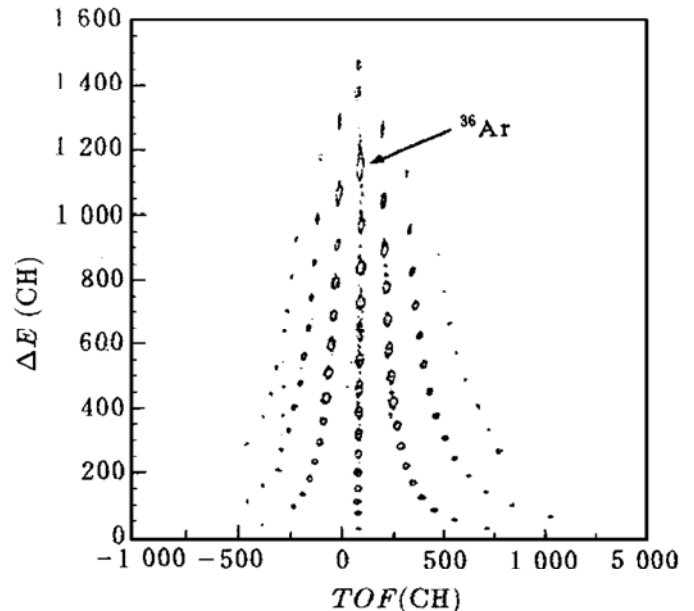


图 1 $69 \text{ MeV/u } ^{36}\text{Ar} + \text{Be}$ 反应产生的次级核素的 ΔE -TOF 双维谱

磁刚度按照最大限度地收集核素来设置, 并未加降能器.

核素被高分辨地鉴别出来了, 除了弹核碎裂机制产生的次级核素外, 还可以看到处于弹核附近的通过转移反应产生的核素. 使用 ^{12}C 、 ^{18}O 、 ^{20}Ne 、 ^{36}Ar 和 ^{40}Ar 5 种初级束流, RIBLL 能够产生和鉴别出 $Z = 18$ 以下的质子

* 收稿日期: 1999-06-03.

国家自然科学基金(项目号 100319675055)、国家重点基金(项目号 110219735010)、国家杰出青年基金(项目号 110919825115)和中国科学院九五重大项目共同资助.

滴线核和 $Z=9$ 以下的中子滴线核.

为了使 RIBLL 能够更好地满足放射性核束物理方面的研究工作, 迫切需要解决以下几个问题. (1) HIRFL 提供的初级束流强度在约 10^{10} pps 的基础上还需增强, 以便提高位于滴线附近的次级核素的强度; (2) 扩展初级束流的种类, 最好能够提供金属离子和较重的离子; (3) 逐步完善与 RIBLL 配套的实验探测装置, 特别是配置测量 β 、 γ 和中子的探测器. 目前, 正在研制的探测器有双维位置灵敏 PPAC、微道板飞行时间探测器、大面积光纤位置时间探测器、大面积双维位置灵敏电离室、 n - β - γ 符合测量装置、大立体角中子和带电粒子测量探测器、非拦截式初级束流强度测量探测器. 这些探测器的研制成功, 将会大大提高在 RIBLL 上开展放射性核束物理研究的水平.

3 实验及讨论

3.1 新核素的直接鉴别

尽管 RIBLL 比世界上几个现存的放射性束流装置晚建成十年左右, 但由于 RIBLL 所具有的大动量接收度、大立体角和高分辨能力等特点^[1], 使得利用 RIBLL 有可能发现在其它装置上尚未观测到的新核素. 在 $80 \text{ MeV/u } ^{20}\text{Ne}$ 的首次调束实验中, 我们在双维谱上发现了可能属于 ^{19}Na 核素的几个数据点. 而 ^{19}Na 是否是稳定核素一直存在着争议, 在放射性束流装置问世以前, 通过($p, ^6\text{He}$)和($^3\text{He}, ^8\text{Li}$)反应进行的一些实验^[2,3]表明, ^{19}Na 是质子衰变的非稳定核素. 后在 GANIL 的放射性束流装置 LISE 上观测到了可能是属于 ^{19}Na 的一个数据点, 表明 ^{19}Na 的寿命将会长达几十个毫微秒左右. 为了进一步确定 ^{19}Na 的寿命, 我们利用 ^{20}Ne 束流进行了第二轮实验, 实验中采用了 5 重符合飞行时间和望远镜联合测量的方法, 经过长达一个星期的实验测量, 最后得到了判定为 ^{19}Na 的计数共有 10 个左右, 并且根据粒子通

过 RIBLL 的第一和第二焦点的飞行时间和粒子数目的衰减, 初步确定出 ^{19}Na 的寿命为几十个毫微秒. 目前正在准备第三轮实验, 将在 RIBLL 的第一和第二焦点之间增加 2 个气体电离室, 以便能够测出 ^{19}Na 的衰变曲线, 并对其产生机制进行深入的研究. 由于质子滴线离 β 稳定线较近, 利用 RIBLL 在质子滴线区附近寻找新核素较为有利, 因此我们准备选用更重的丰质子炮弹. 而在中子滴线区寻找新核素的困难较大, 这主要是因为 GANIL 和 RIKEN 拥有极丰中子的同位素 ^{48}Ca , 远有利于我们目前所使用的 ^{40}Ar .

3.2 同位素链的核反应总截面测量

最近, Suzuki 等^[2,3]通过在中能区对 Na 和 Mg 同位素链的核作用截面的测量, 发现中子皮厚度随中子过剩的增加而增加. 这种沿同位素链的研究方法特别有利于晕核或皮核的寻找, 并且具有系统性, 减小了不同实验带来的测量误差. 由于在中能重离子碰撞中核子与核子相互作用对核物质表面的核子分布更加敏感, 上述效应将会更加明显. 我们利用由 4 个厚度分别为 150、150、700 和 2 000 μm 的全耗尽 Si 探测器组成的望远镜, 首次在中能区通过穿透法同时对 80 多种核素的核反应总截面进行了测量. 图 2 给出了用望远镜中第一片硅测得的碎裂产物的能损 ΔE_1 和总能量 E 的关联谱. 从图中可以看出, 各种同位素都能够被分辨开来. 在本次实验中, 将第一片硅既作为次级靶又作为探测器, 在第一和第二片硅测得的双维谱上加窗选择, 粒子在第一片硅中的反应截面可通过下式

$$\sigma = \frac{\ln \left| \frac{N_1}{N_2} \right|}{N_t} \quad (1)$$

计算得到, 式中 N_1 为第一片硅测得的入射粒子数, N_2 为第二片硅测得的未在第一片硅中参加反应的粒子数, N_t 为单位面积靶核的

数目. 用同样方法也可得到粒子在第二片硅中的反应截面. 更宽范围的激发曲线的测量需要通过改变粒子的能量或增加更多的薄硅片探测器来实现.

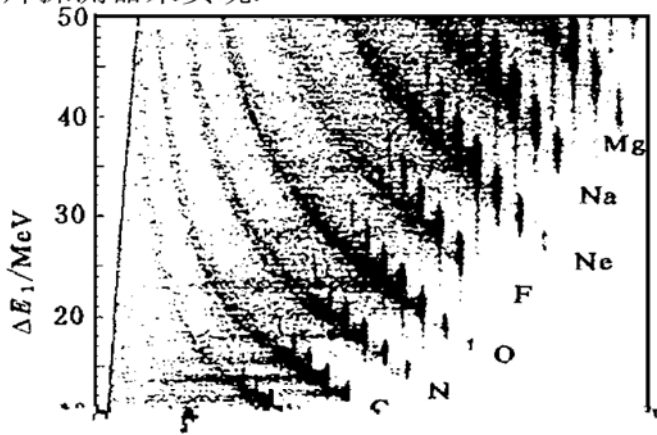


图 2 由 4 重硅望远镜探测器测得的 $69 \text{ MeV/u } ^{36}\text{Ar} + \text{Be}$ 反应碎裂产物的 ΔE_1 - E 关联谱

3.3 中子皮核的碎裂反应

具有中子皮结构的 ^8He 是目前所发现的同位旋最高的核素, 因此 ^8He 的结构研究特别引人关注. Warner 等^[6]在中能区研究了 $^4,6,8\text{He}$ 的碎裂反应, 并与 Tanihata 等在高能区测量的结果进行了比较, 发现 ^8He 的 4 个中子和 ^6He 的 2 个中子的去移截面与 ^4He 的反应截面近似相等且几乎与能量无关. 因而得出结论认为, 象 ^9Li 是 ^{11}Li 的内核一样,

^6He 和 ^8He 分别是由它们的内核 ^4He 外加 2 个和 4 个中子所组成的. 在 $60 \text{ MeV/u } ^{18}\text{O} + \text{Be}$ 调束实验中, 测量了能量为约 30 MeV/u 的 ^8He 与厚度为 $100 \mu\text{m}$ 的 CH 薄靶作用产生的碎裂反应出射产物, 发现 ^8He 可以分别碎裂成 ^6He 、 ^4He 和 ^3He . 由于 Warner 等在实验中测量到的碎裂产物的分辨较差, 所以没有观察到截面较低的碎裂产物 ^3He . ^3He 反应道的存在表明, ^8He 外层中的 4 个中子不仅是互相结对的, 它们还与内核 ^4He 的中子存在着一定的关联. 由此可以看出, ^8He 是一个适合进行多体研究和多体理论模型检验的非常好的体系, 因此有必要进一步细致地开展 ^8He 碎裂反应的实验研究.

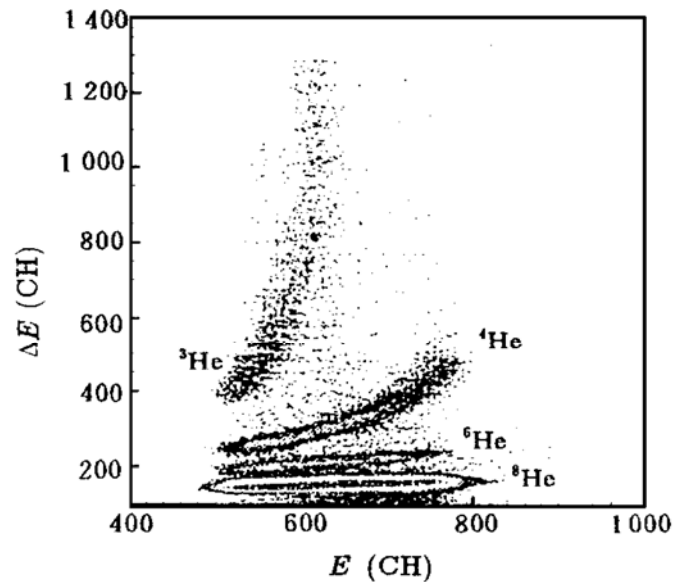


图 3 中子皮核 ^8He 在 CH 靶上产生碎裂反应后出射产物的能损和飞行时间双维谱

参 考 文 献

- 1 詹文龙, 郭忠言, 刘冠华等. 兰州放射性核束流线. 中国科学, 1999, 29: 77~ 84
- 2 Cerny J, Mendelson R A, Wozniak G J *et al.* New Nuclides ^{19}Na and ^{23}Al Observed via the $(p, ^6\text{He})$ Reaction. Phys Rev Lett, 1969, 22: 612~ 615
- 3 Benenson W, Guichard A, Kashy E *et al.* Mass Measurements of ^{19}Na and ^{23}Al Using the $(^3\text{He}, ^8\text{Li})$ Reaction. Phys Lett, 1975, 58B: 46~ 48
- 4 Suzuki T, Geissel H, Bochkarev O *et al.* Neutron Skin

of Na Isotopes Studied via Their Interaction Cross Sections. Phys Rev Lett, 1995, 75: 3 241~ 3 244

- 5 Suzuki T, Geissel H, Bochkarev O *et al.* Matter Radii of Na and Mg Isotopes. Nucl Phys, 1997, A616: 286c~ 292c
- 6 Warner R E, Patty R A, Voyles P M *et al.* Total Reaction and $2n$ -removal Cross Section of $20\sim 60 \text{ A MeV } ^4,6,8\text{He}$, $^6\sim 9,11\text{Li}$, and ^{10}Be on Si. Phys Rev, 1996, C54: 1 700~ 1 709

(下转第 158 页)

(上接第 147 页)

Status of RIBLL and Some New Experiments

Xiao Guoqing Zhan Wenlong Guo Zhongyan

(Institute of Modern Physics, the Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract The status of RIBLL and some new experiments performed since the first operation of RIBLL in 1997 are described. Some of the experimental results are introduced and discussed.

Key words radioactive nuclear beam identification of new nuclides total nuclear reaction cross-section break-up reaction

Classifying number 0571.4