

HIRFL 上合成的第一个新核素—— $^{208}\text{Hg}^*$

张立 新根明 赵进华 杨维凡

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 本文简述在中科院近物所 HIRFL 上发现的第一个新核素 ^{208}Hg 的合成和鉴别. 兼论利用 HIRFL 提供的中能重离子束开展远离 β 稳定线核素合成和衰变研究的优势、困难以及拟采用的物理和技术路线.

关键词 新核素, 熔化靶, 鉴别.

重核区新丰中子核素 ^{208}Hg 是在中国科学院近代物理所 HIRFL 实验装置上合成和鉴别出来的第一个新核素^[1~2]. 它与上海原子核所合成的 ^{202}Pt 和近物所利用快中子合成的 ^{185}Hf 并列为我国首批合成的三个新核素. 三个新核素的相继合成实现了我国在新核素合成上零的突破, 得到了科学界高度评价, 被评为一九九二年全国十大科技成就之一. ^{208}Hg 的合成标志着 HIRFL 已开始作为我国开展远离 β 稳定线核素研究的重要设备投入运行.

如何利用 HIRFL 所能提供的中能重离子束开展新核素的合成及衰变研究, 我们已有一些专门文章论及^[3], 在此仅以 ^{208}Hg 为例, 说明使用中能重离子束开展这一研究的优势及我们选择的物理和技术路线.

1 第一目标核 ^{208}Hg 的选定

选定 ^{208}Hg 为我们的第一目标核是与在 HIRFL 上开展远离核研究的总的物理指导思想相关. 我们没有沿袭以法国 GANIL 为代表的主流路线, 即在类弹产物中生成和鉴别新核素, 而是着力去开辟从类靶余核中搜索新核素的新方向^[3]. 基于对大量中能重离子在重靶上引起的反应中靶余核产物分布的研究, 我们论证了使用中能重离子引起的反应, 可以在 $Z > 170$ 以上的重质量区丰中子一侧合成新的远离 β 稳定线核素(见参考文献 4 的图 2). 严格地说就是以丰中子的中能重离子, 如 ^{18}O 、 ^{40}Ar 、

^{86}Kr 等束流轰击重核区中子含量富集的靶, ^{208}Pb 、 ^{232}Th 、 ^{238}U , 在靶原子序数以下的类靶产物中合成新的丰中子远离核. ^{208}Pb 是被选定的第一个靶, 而 ^{208}Hg 即是我们的第一个要合成的新核素.

现有几种预言未知核半衰期的理论对 ^{208}Hg 半衰期的预言值相差甚殊^[4~6], 实验测定 ^{208}Hg 的半衰期可以对各种理论模型给出灵敏的检验. ^{208}Hg 核的 β 衰变 γ 谱学研究可以扩展它的子核 ^{208}Tl 的能级知识. 因此, ^{208}Hg 是远离核研究中较为有价值的期待核之一.

2 ^{208}Hg 的生成

^{208}Hg 合成的困难在于可利用的反应机制十分缺乏且反应截面非常低. ^{208}Hg ($Z=80, N=128$) 与可做为靶核的 ^{208}Pb ($Z=82, N=126$) 相比, 减少了 2 个质子多出了 2 个中子. 无论是高能质子引起的靶核散裂反应还是快中子引起的 $(n, 2p)$ 反应都不可能生成 ^{208}Hg . 若利用更重的靶, 如 ^{232}Th (原子序数 $Z=90$) 或 ^{232}U ($Z=92$) 的高能质子散裂反应, 则由于距靶核太远, 几乎是不可能的.

中能重离子束流的优势在于: (1) 束流种类多, 便于实现多种投弹-靶组合. (2) 轰击离子的单核能和总能量高, 开放的反应道远比低能下丰富, 特别是某些高阈能的反应机制可以打开, 如直接电荷交换反应. (3) 射程长, 以 ^{12}C 束在为例, 单核能 50MeV/u 的 ^{12}C 束在铅靶

* 国家自然科学基金委和中科院“8.5”重大项目资助课题

内的平均射程约 1700mg/cm². 如果利用的反应过程能在从中能到入射道库仑位垒以上很宽的能量范围内进行, 就可使用厚靶. 与低能重离子情况下只能用 1~2mg/cm² 的靶相比, 在同样的束流强度下可利用的反应截面可以约低 3 个量级. ²⁰⁸Hg 的合成利用的是奇异的多核子转移与直接电荷交换两种反应机制. 预计, 从 ¹²C 束能量 5MeV/u 以上, 这两种反应机制截面之和一直随轰击能量增加而上升^[3], 这就有可能利用厚靶, 使以极低截面生成的 ²⁰⁸Hg 达到可做鉴别测量的产额.

本实验中, 我们将 980mg/cm² 的天然靶片放在 SSC 器的出口, 以能量为 30MeV/u, 平均流强 25nA 的 ¹²C 束轰击 980mg/cm² 的天然铅靶. 靶辐照 3 小时, 测量结果表明得到的 ²⁰⁸Hg 总产额约为 1×10⁵ 个原子.

3 ²⁰⁸Hg 产物的释放、收集和鉴别

使用厚靶导致的一个困难, 就是反应过程中生成的类靶产物全部被阻止在靶内. 基于热色谱工作原理, 我们研制了一套独具特色的溶化铅靶离线实验装置^[7]. 利用这套装置我们以高达 (95~98)% 的效率和足够好的化学选择性, 实现了 Hg 元素产物的释放和收集. 在测量收集样品的 γ 谱中, 未发现任何来自 Tl、Po、Pb 和 Bi 几种挥发性元素产物的 γ 活性. 我们曾做过直接测量辐照过的 Pb 片与收集到的 Hg 元素产物样品的实验, 并对两个同一能段的部分 γ 谱进行对比. 结果可明显地看出, 直接测量 γ 谱中最强的 ²⁰⁴Bi、²⁰⁴Pb 和 ¹⁹⁸Tl 对应的 γ 线在收集样品谱中均消失了, 这就排除了可能来自 ²¹²Bi 的干扰.

通过观察收集的 Hg 元素样品中 ²⁰⁸Hg β^- 衰变的子体 ²⁰⁸Tl 来达到对 ²⁰⁸Hg 的确认. 为此, 引入核化学中的“母牛法”. 具体做法是以 7 分钟为一周期, 从 Hg 元素产物溶液中萃取出 Hg 的丰中子同位素产物经 β^- 衰变生成的 Tl, 并在 7 分钟的测量时间内按 4×10⁵ s 记录下 4 个连续的 γ 谱, 如此往复共记录下 9 个样品的 36 个 γ 谱. 图 1 中给出 36 个 γ 谱的和

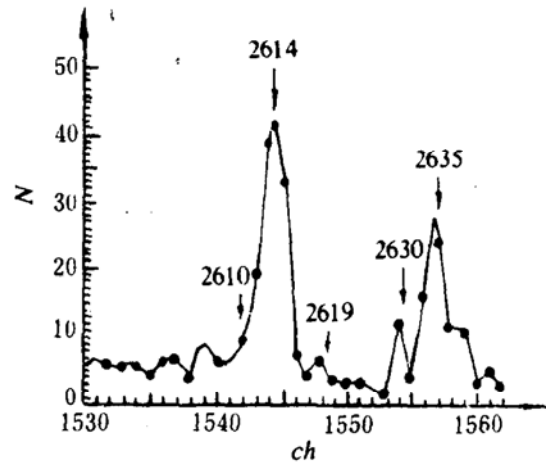


图 1 在 2164.6keV γ 能量附近的 36 个样品 γ 谱的和谱

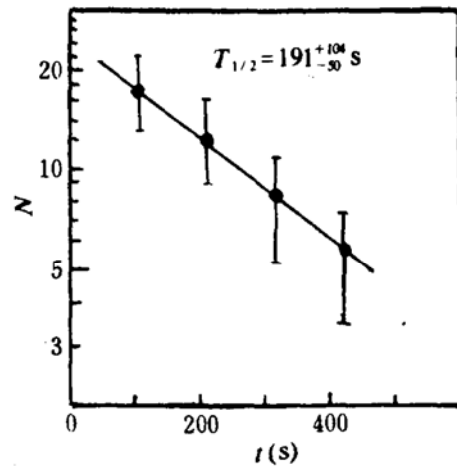


图 2 ²⁰⁸Hg β^- 衰变子体 ²⁰⁸Tl 的衰变曲线

谱对应於 ²⁰⁸Tl 衰变 γ 主峰 2614.6keV 附近的 γ 谱. 可以看出, 最强峰即为 2614.6keV γ 峰. 将 36 个 γ 谱按对应的 105s 时间段分为四组, 将 2164.6keV γ 活性分别加起来, 并扣除本底和来自干扰核素的贡献后即得到如图 2 所示的 2614.6keV γ 活性的时间衰减曲线, 用最小二乘法拟合得到 2614.6keV γ 活性半衰期为 191±10⁵s, 恰好与已知的 ²⁰⁸Tl 半衰期 185s 相符. 至此, 我们从元素分离、衰变 γ 能量和半衰期的同时测量, 确认了从 Hg 元素产物中生长起来的 ²⁰⁸Tl, 由母子体衰变关系可推知 ²⁰⁸Hg 已生成.

采用母牛法后大大压低了长寿命干扰核素¹⁹²Au($T_{1/2}=5.03\text{h}$)的贡献。¹⁹²Au来源于¹⁹²Hg的 β^+ 衰变,它有一条很弱分支比(0.64%)的衰变 γ 恰与2164.6keV能量相同.由于在Tl萃取快化学一步流程中Au没有完全被排除,因此在得到的2614.6keV γ 活性中有来自¹⁹²Au贡献,但这个贡献未足以影响对²⁰⁸Tl的确认.在第一个105s的累计数中,¹⁹²Au的干扰只占1/6.测量是在一个大体积低本底铅室中进行的,6小时的本底累积在2614.6keV能量位置只记录下5个计数,因此测量环境的本底也几乎可以忽略.

从Hg元素产物溶液中萃取出的²⁰⁸Tl的活性应随它的母体²⁰⁸Hg的衰减而减弱.分别将每个样品的四个105s时间序列 γ 谱中2614.6keV γ 活性相加,同时扣除本底和¹⁹²Au干扰的贡献,并做相对归一后,便得到如图3所示的²⁰⁸Hg的 β^- 衰变曲线,最小二乘法拟合后得到²⁰⁸Hg的半衰期为 $42 \pm 2^{+3}_{-12}$ min.

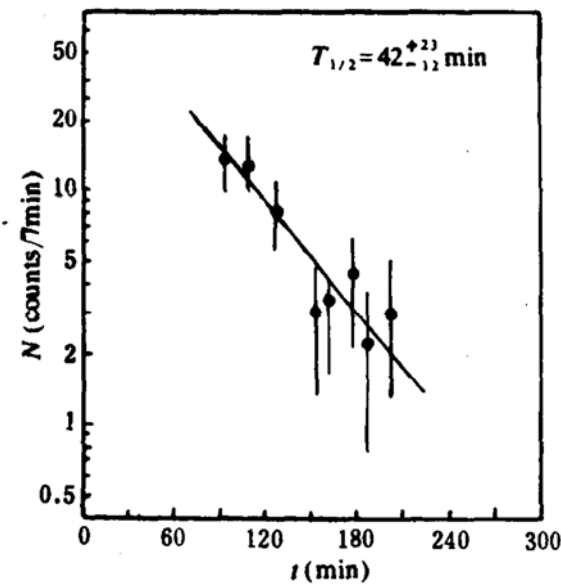


图 3 新丰中子核素²⁰⁸Hg衰减曲线
 $t=0$ 是靶辐照结束时间

4 讨 论

表 1 给出了测量的²⁰⁸Hg半衰期与理论预言值的比较.可以看出,测量值比粗糙理论模

型^[4]预言的长得多,但也没有 V. Klapdor^[5]等微观理论预言的29000s那么长.

表 1 新丰中子同位素²⁰⁸Hg测定的半衰期与理论预言值的比较

| 理论模型 | 作者(日期) | 预言的半寿命值 | 实验测量值 |
|-----------|---|---------------------------|-----------------|
| 粗糙理论 | K. Takahashi (1973) ^[4] | 40 s | 42 min (本工作) |
| 微观理论 | V. Klapdor et al. (1984) ^[5] | 8.05 h | |
| 准粒子随机相移近似 | A. Staudt et al (1990) ^[6] | 77 s* 145 s* 239 s* | |

* 取决于计算中所使用的质量

一个有趣的事实是,测得的²⁰⁸Hg半衰期比Hg元素链上距稳定同位素更近的偶核²⁰⁶Hg($T_{1/2}=8.15\text{min}$)要长得多.由于²⁰⁸Hg是偶核,基态自旋为零而它的子体²⁰⁸Tl是奇奇核,基态自旋 5^+ .现已知²⁰⁸Tl低位态能级没有较高自旋态^[8],因此²⁰⁸Hg β 衰变半衰期较长是与它的衰变子体低位态结构相联系的.

推算出从30MeV/u至5MeV/u这段入射能量范围,对670mg/cm²有效靶厚,¹²C轰击²⁰⁸Pb靶生成²⁰⁸Hg的平均截面为 $1.1 \pm 0.2 \mu\text{b}$.如果考虑到¹²C束对生成丰中子新核素是非常不利的,则这一截面值比预期的要高得多.可能的反应机制包括奇异的多核子转移、深部非弹碰撞重余核的蒸发剩余及直接的双电荷交换.对十几MeV/u以上能区直接双电荷交换的贡献可以成为很重要的部分.

5 展 望

²⁰⁸Hg的发现是在HIRFL上新核素合成研究的可喜开端,但距所期望的目标来说,它只能是一个小小的起步.近期我们已发展了新的熔化靶装置,它可以在更短的时间内实现对辐照过的靶进行处理.与快速卸靶装置相配合,可以在辐照结束后25~30min之内完成

(下转 25 页)

Two - proton Interferometry and Time - space Evolution in Heavy Ion Reactions

Xi Hongfei Zhan Wenlong Zhu Yongtai Guo Zhongyan

(*Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou 730000*)

Abstract The results of the two - proton interferometry from experiment of $46.7\text{MeV/u }^{12}\text{C} + ^{58}\text{Ni}, ^{115}\text{In}, ^{197}\text{Au}$ are discussed in this paper. Influences of nuclear force, coulomb force and fermi statistics on correlation function are investigated. It was found from experiment that the emission source radius increase with increasing of the target nuclei size, and decrease with increasing of the sum energy of the two correlated protons, reflecting the high energy protons come from early stage of the reaction.

Key Words two - proton interferometry, correlation function.

(上接 21 页)

产物的分离. 另一套可实现熔靶在线短寿命测量的跑兔系统也已加工完毕. 随着 HIRFL 上可提供束流品类的增加, 中能丰中子 ^{18}O 束将会成为可利用的. 我们将尝试合成新的丰中子新核素. 同时开展对已合成核素 ^{208}Hg 的 β^- 衰变 γ 谱的研究.

参 考 文 献

1 张立等. 高能物理与核物理, 1992, 16 : 767

2 Zhang Li, et al. Nucl. Phys, 1993, A553 : 489c~492c

3 张立, 核物理动态, 1991, 8(4) : 7

4 Takahashi K, et al. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 1973, 12 : 101

5 Klapdor H V, et al. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 1984, 31 : 81

6 Staudt A, et al. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 1990, 44 : 76

7 赵进华等. Chin. J. Nucl. Phys., 1992, 14 : 267

8 Yenong E K, et al. Phys Rev, 1964, 135 : B44

^{208}Hg —— The First New Nuclide Synthesized at HIRFL

Zhang Li Jin Genming Zhao Jinhua Yan Weifen

(*Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou 730000*)

Abstract The synthesis and identification of the first discovered new nuclide ^{208}Hg on HIRFL (Heavy Ion Research Facility of Lanzhou) were described. In this paper the superiorities, difficulties as well as the physical and technical line about the synthesis and decay study for the nuclides far from β -stability line to be made at HIRFL were discussed.

Key Words new nuclide, melt target, identification.