

文章编号: 1007-4627(2003)02-0096-03

## 关于合成<sup>265</sup>Bh 实验的可行性分析\*

郭俊盛, 甘再国, 吴晓蕾, 范红梅, 秦 芝

(中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘 要:** 分析了目前关于超重核研究的现状, 结合现有的设备及条件, 在合成<sup>259</sup>Db 以后, 下一次实验的目标核初步确定为 107 号元素的新同位素<sup>265</sup>Bh. 描述了对 MG 转轮收集探测系统的实验检验结果. 实验中成功地观察和测量了<sup>24</sup>Mg+<sup>232</sup>Th 的产物<sup>252</sup>No 的母子体的  $\alpha$  衰变谱, 为下一步合成<sup>265</sup>Bh 完成了部分预实验工作. 另外, 也给出了下一个目标核的衰变特性的理论预言值, 同时也选择了产生该目标核的弹靶组合及反应道, 并对生成截面进行了粗略估计, 给出了该核的可观测性产额及可行性分析.

**关键词:** MG 转轮检验; <sup>265</sup>Bh 的合成; 可行性分析

**中图分类号:** O571.6 **文献标识码:** A

### 1 引言

近几年来, 围绕超重岛的合成和研究工作有了较大进展, 俄罗斯的 Dubna 实验室及德国的 GSI 实验室已经合成出了 112 号、114 号及 116 号元素, 并发表了关于这些研究工作的评述性文章<sup>[1,2]</sup>.

我们在该领域的研究工作尚属空白, 虽然前几年已经合成出了 105 号元素的新同位素<sup>259</sup>Db<sup>[3]</sup>, 但下一步的工作及目标核的选取仍受到各种条件和因素的限制. 例如, 弹靶材料的可用性, 目前由 HIRFL 的 SFC 引出的束流种类、能量及强度等, 还不能完全满足实验的要求. 另外, 靶材料的来源也是一大问题, 因为一般的靶材料对这类实验来说已经意义不大, 不能给出有价值的结果; 而对一些能够开展工作的特殊靶材料如<sup>248</sup>Cm 和<sup>249</sup>Cf 等, 国内无法得到, 国外即使可以找到, 价格也是极其昂贵. 此外, 在考虑设计实验的同时, 也必须考虑目标核的易观测性, 它是由产物的生成截面、半衰期、衰变类型以及所用实验设备的效率、灵敏度、稳定性及可靠性所决定的. 因此, 在大型的电磁谱仪及高效率高灵敏度的探测器阵列建成之前, 只能开展很有限的实验工作. 综上所述, 经过地毯式扫描调查, 目前所能做的工作只能局限在  $Z \leq 110$  号元素的未

知同位素的范围, 并且初步选择 107 号元素的未知核<sup>265</sup>Bh 作为下次实验的目标核.

### 2 MG 转轮收集探测系统的检验实验

这种用于母子核探测的装置称为 MG (Magic) 转轮系统或 ROMA (Rotating wheel multidetector apparatus) 系统, 它曾成功用于对  $100 < Z < 110$  核的探测研究<sup>[4-6]</sup>, 其基本工作原理是一个特殊的母子核步进模式被用来实现  $\alpha$ - $\alpha$  关联探测, 其装置图见甘再国等<sup>[7]</sup>的文章. 一个水平放置的轮子边缘上有数十个圆孔, 每隔一个圆孔上敷有极薄的塑料膜作为收集膜; 数对探测器面对面排列在轮子边缘的上下部分, 轮子的步进程序分为两个模式, 图中上部分是母核探测模式. 活性产物由毛细管喷出后收集在小圆孔的塑料膜上. 轮子每次前进两个孔的位置, 使得带有活性的塑料膜总是处在两个探测器之间被探测. 这种模式一直继续到一个给定能量范围的  $\alpha$  粒子在下面的探测器被观测到, 那么这时假定子核也已反冲进入了上部探测器的表面, 这时轮子的步进就变成了子核探测模式 (即单孔步进), 此时轮子的大孔 (空孔) 位置处在各对探测器之间, 两个探测器同时测量子核的衰变. 这种装置和测量方式

收稿日期: 2003-01-30; 修改日期: 2003-03-31

\* 基金项目: 国家重点基础研究发展规划基金资助项目 (G2000077400); 国家自然科学基金资助项目 (19905012, 10105010, 10275028); 中国科学院百人计划基金资助项目; 科技部重大项目前期研究专项基金资助项目 (2001CCB1200)

作者简介: 郭俊盛 (1938-), 男 (汉族), 河南开封人, 研究员, 博士生导师, 从事重离子核物理及核谱学研究.

不仅提高了探测效率, 而且大大降低了测量本底, 消除了来自收集源的偶然事件。

我们已经建立了一套 MG 转轮收集探测系统. 为了检验该系统的运行情况, 选取了已知核<sup>252</sup>No (102) 在 SFC 上进行了实验, 利用<sup>24</sup>Mg 束流轰击<sup>232</sup>Th 靶通过<sup>232</sup>Th(<sup>24</sup>Mg, xn) 反应产生 No 的同位素, 所用测量设备包括氦喷嘴靶室、短毛细管传输装置以及 MG 转轮收集探测系统. 实验中观测到的  $\alpha$  谱示于图 1. 从所测得的  $\alpha$  谱中可以清楚地看到<sup>252</sup>No(4n 蒸发产物)、<sup>253</sup>No(3n 蒸发产物) 的  $\alpha$  谱以及同它们的子核<sup>248</sup>Fm 和 <sup>249</sup>Fm 和孙子核<sup>244</sup>Cf 和<sup>245</sup>Cf 的关联谱. 这说明我们的 MG 转轮收集探测系统的工作正常. 因而该实验实际上也是为下一次合成超重新核素的预实验.

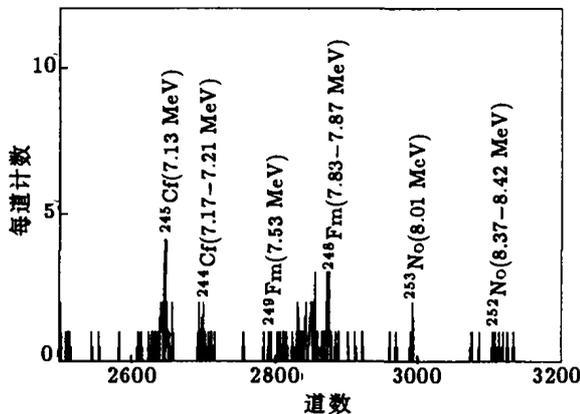


图 1 在<sup>24</sup>Mg + <sup>232</sup>Th 反应中观测到的  $\alpha$  衰变谱

### 3 合成下一个目标核<sup>265</sup>Bh(107) 的可行性估计

关于 107 号元素, 它的第一个同位素<sup>262</sup>Bh 是由 Münzenberg 等<sup>[8]</sup> 于 1981 年首次合成的, 他们利用<sup>54</sup>Cr 轰击<sup>209</sup>Bi 的冷融合反应, 先后合成了<sup>262</sup>Bh 和<sup>261</sup>Bh. 我们选取的目标核<sup>265</sup>Bh 至今仍处于未知状态. 因为该核的中子数  $N=158$ , 处在两个中子亚壳  $N=152$  (对  $Z=100$  附近) 和  $N=162$  (对  $Z=108$  附近) 之间的过渡区, 因此, 研究这一核素将对能级结构的研究具有重要意义.

#### 3.1 衰变特性的预言及生成截面的估计

<sup>265</sup>Bh 的衰变模式以  $\alpha$  衰变为主, 根据系统性估算, 它的  $\alpha$  衰变分支比  $\geq 50\%$ . 可能的衰变链为<sup>265</sup>Bh  $\xrightarrow{\alpha}$  <sup>261</sup>Db  $\xrightarrow{\alpha(1.8s)}$  <sup>257</sup>Lr  $\xrightarrow{\alpha(0.65s)}$  <sup>253</sup>Md...

其子核<sup>261</sup>Db 和孙子核<sup>257</sup>Lr 都是半衰期为秒量级, 并具有  $\alpha$  衰变特性的已知核, 这将对实验中指定和鉴别母核<sup>265</sup>Bh 十分有利. 另外, 根据 Möller 等<sup>[9]</sup> 及 Audi 等<sup>[10]</sup> 的理论, <sup>265</sup>Bh 的  $Q_\alpha$  预言值分别为 9.15 MeV 和 9.77 MeV. 它的半衰期的预言值为  $T_{1/2} = 15$  s<sup>[8]</sup>, 但根据系统性估算, 其半衰期应在 1—10 s 的范围.

这里, 拟选取<sup>26</sup>Mg + <sup>243</sup>Am 的热熔合反应来产生目标核. 对于<sup>26</sup>Mg + <sup>243</sup>Am  $\rightarrow$  <sup>269</sup>Bh\*  $\rightarrow$  <sup>265</sup>107 + 4n 的反应, 我们利用 Alice Code 及 Hivap 程序对其生成截面进行了估算, 在轰击能量为 140—150 MeV 情况下, 前者的结果为 1.8 nb, 后者的估算结果为 0.1 nb; 同时, 根据该核周围的已知核的实验截面值, 我们也系统性地估计了<sup>265</sup>Bh 的产生截面在 0.1—0.5 nb 的范围.

#### 3.2 对目标核<sup>265</sup>Bh 的总产额及可观测计数的估计

假定<sup>243</sup>Am 靶厚度为 1 mg/cm<sup>2</sup>, 即  $N_0 = 2.4 \times 10^{18}$  atoms/cm<sup>2</sup>, 生成截面  $\sigma = 0.1$  nb; 假定打在靶子上的<sup>26</sup>Mg<sup>+</sup> 束流强度为 1  $\mu$ A, 即  $I = 7.8 \times 10^{11}$  (<sup>26</sup>Mg ions)/s. 根据总产额  $Y_0 = N_0 \sigma I$ , 可得到<sup>265</sup>Bh 总产额为  $Y_0 = 0.67$  atoms/h.

若进一步考虑传输及探测效率等因素的影响, 那么可以假定最后从实验中可观测到的  $\alpha$  计数为

$$Y = Y_0 \eta \Omega \alpha,$$

这里  $\eta$  为氦喷嘴系统的传输效率, 我们设  $\eta \approx 70\%$ ;  $\Omega$  为探测器立体角, 假设为 50%;  $\alpha$  是  $\alpha$  衰变分支比, 此处设  $\alpha \approx 50\%$ .

最后可得到<sup>265</sup>Bh 的可观测到的  $\alpha$  计数  $Y = 0.12$  个  $\alpha$  decays/h.

利用所示的装置, 测量和建立未知母核与已知子核的  $\alpha$  衰变的关联关系, 从而指定和鉴别目标核 (母核). 假如我们在加速器上能按上述条件进行 100—150 h 的产生实验, 根据上述估计可能得到 10—20 个<sup>265</sup>Bh 的  $\alpha$  计数, 若再考虑其他许多不可估计的因素, 打上一个 50% 的保险系数, 也可得到 5—10 个计数, 这对于研究超重核的稀有事件应该是足够的了.

由于<sup>265</sup>Bh 的子核<sup>261</sup>Db 和孙子核<sup>257</sup>Lr 的半衰期和  $\alpha$  能量是已知的, 这对实验中建立母子核之间的关联关系, 从而指定和鉴别<sup>265</sup>Bh 核将十分有利.

例如,可以根据对目标核的  $\alpha$  能量的预言值,在母核探测模式时,设定  $\alpha$  粒子的能量范围(给定的能量窗)为 9.0—10.0 MeV,从而在子核探测模式时

探测<sup>261</sup>Db 的衰变.最后给出<sup>265</sup>Bh 的平均寿命和  $\alpha$  能量等.

### 参 考 文 献:

- [1] Hofmann S, Münzenberg G. The Discovery of the Heaviest Elements[J]. *Rev Mod Phys*, 2000, **72**, 733.
- [2] Oganessian Yu Ts. The Synthesis and Decay Properties of the Heaviest Element[J]. *Nucl Phys*, 2001, **A685**, 17c.
- [3] Gan Z G, Qin Z, Fan H M, *et al.* A New Alpha-particle-emitting Isotope <sup>259</sup>Db[J]. *Eur Phys J*, 2001, **A10**, 21.
- [4] Gregorich K E, Lane M R, Mohar M F, *et al.* First Confirmation of the Discovery of Element 106[J]. *Phys Rev Lett*, 1994, **72**, 1 423.
- [5] Türler A, Dressler R, Eichler B, *et al.* Decay Properties of <sup>265</sup>Sg ( $Z=106$ ) and <sup>266</sup>Sg ( $Z=106$ ) [J]. *Phys Rev*, 1998, **C57**, 1 648.
- [6] Lane M R, Gregorich K E, Lee D M, *et al.* Production Cross Sections of <sup>165</sup>Ha from the <sup>250</sup>Cf (<sup>15</sup>N, 4n) and <sup>243</sup>Am (<sup>22</sup>Ne, 4n) Reactions[J]. *Phys Rev*, 1998, **C58**, 3 413.
- [7] 甘再国,郭俊盛,秦芝等. MG 转轮收集探测系统的检验实验[J]. *原子核物理评论*, 2003, **20**(2), 99.
- [8] Münzenberg G, Hofmann S, Hessberger F P, *et al.* Identification of Element 107 by  $\alpha$  Correlation Chains[J]. *Z Phys*, 1981, **A300**, 107.
- [9] Möller P, Nix J R, Kratz K L. Nuclear Properties for Astrophysical and Radioactive-ion-beam Applications[J]. *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 1997, **66**(2), 318.
- [10] Audi G, Wapstra A H. The 1995 Update to the Atomic Mass Evaluation[J]. *Nucl Phys*, 1995, **A595**, 409.

## Consideration with Regard to Feasible Objective Nuclide in Next Experiment\*

GUO Jun-sheng, GAN Zai-guo, WU Xiao-lei, FAN Hong-mei, QIN Zhi

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

**Abstract:** The present status of investigation on the surperheavy nuclei are analyzed. After <sup>259</sup>Db synthesized, the next objective nuclide is determined to be <sup>265</sup>Bh, a new isotope of  $Z=107$  element, according to our existing available equipment and conditions.

The test result of the MG rotating wheel collection and detection system is described. The  $\alpha$ -decay spectra of mother-daughter of the product <sup>252</sup>No from <sup>24</sup>Mg + <sup>232</sup>Th reaction are observed and measured successfully in this test experiment. It is regarded as a preliminary and probatory experiment for synthesis of <sup>265</sup>Bh in next stage. The predicted decay properties for next objective nuclide are also given in this paper. And the projectile-target combination and reaction channel to produce this objective nuclide are selected. The production cross section for the objective nuclide is estimated roughly. The observable yields and the feasibility for producing this objective nuclide are calculated and discussed.

**Key words:** test of MG rotating wheel; synthesis of <sup>265</sup>Bh; analysis of feasibility

\* **Foundation item:** National Major State Basic Research Development Program (G2000077400); National Natural Science Foundation of China (19905012, 10105010, 10275082); One Hundred Talents Projects of Chinese Academy of Sciences; National Key Program for Basic Research, Ministry of Science and Technology(2001CCB01200)