

^{208}Hg 鉴别*

张立 靳根明 赵进华 杨维凡 杨永峰 赵之正
郑纪文 孙秀荣 王积成 李宗伟 秦芝 郭光辉

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

1993年1月4日收到

摘 要

本文较详细地描述了新丰中子核素 ^{208}Hg 的鉴别及半衰期测定程序。 ^{208}Hg 的鉴别采用了二步离线化学分离:第一步是基于热色谱原理的高效、高选择性的Hg产物收集,第二步是周期性地提取生长起来的Tl。在提取的Tl样品中观察到半衰期约3min的2614.6keV γ 活性。该 γ 活性可归结为由 ^{208}Hg β^- 衰变而生长起来的 ^{208}Tl 的衰变 γ 。

关键词 丰中子核素,化学分离,核素鉴别, β^- 衰变, γ 活性。

1 引 言

重离子炮弹在丰中子靶核 ^{208}Pb 上引起的奇异转移反应是合成未知 ^{208}Hg 核的可能途径之一。可利用的反应机制包括耗散碰撞过程中的核子交换转移及炮弹与靶核间的直接双电荷交换过程。依据使用的弹核和能区的不同,预计 ^{208}Hg 的生成截面在 10^{-31} — 10^{-29} cm^2 范围。考虑到转移反应,特别是双电荷交换反应可以在入射道库仑位垒以上相当宽的能量范围内发生,本工作使用中能(30MeV/u) ^{12}C 轰击全阻止厚靶以提高期待核 ^{208}Hg 的产额。由于能量范围宽、产物种类极其繁多,至少要覆盖到十几种元素的上百个同位素,从中无疑义地指定出低截面的 ^{208}Hg 是很困难的。新丰中子同位素 ^{208}Hg 合成的消息已经报道^[1],这里给出鉴别程序的详细描写。

2 实验程序和数据获取

2.1 靶辐照

来自中国科学院近代物理研究所中能重离子加速器HIRFL的平均强度为25enA的30MeV/u ^{12}C 束轰击天然铅靶片,靶厚980mg/cm²,足以阻止入射的 ^{12}C 束。辐照持续

* 国家自然科学基金及中国科学院八·五重大项目基金资助。

3h.

2.2 Hg 元素产物的高效、高化学选择性收集

辐照后的铅靶片立即放入离线熔化铅靶实验装置中处理。有关熔化铅靶离线实验的详情已有报道^[2], 在此只能扼要说明。图1给出装置结构示意图。置辐照过的靶材料于靶炉的石墨盒内。待真空建立后即通入微量 He 气(纯度为 99.999%, 流量为 1~5ml/min)。石墨盒加热温度控制在 760~780°C。从靶中挥发出来的 Hg 产物被置于传输管尾端的收集器收集。收集器为填充了 Ag_2O 粉末的泡沫塑料片。由于使用了长 60cm 的传输管, 同时将一根紫铜液氮浴棒伸入真空室内导入冷量, 在传输管尾端形成一深冷点 (<10°C), 保证了除 Hg 而外包括 Po、Tl 在内的其它挥发性产物均凝结在管壁上。在传

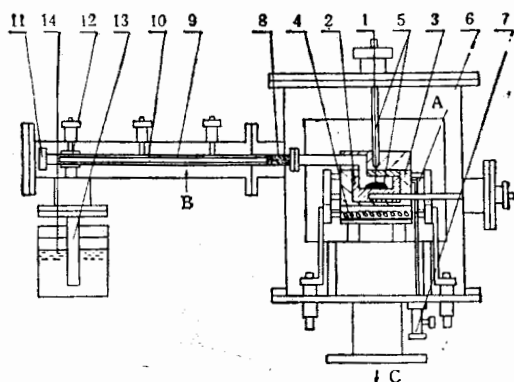


图1 离线熔化铅靶处理装置结构示意图

A:主真空室; B:侧真空室; C:接涡轮分子泵。
1.靶片 2.石墨盒 3.靶炉 4.钨丝螺旋加热器
5.测温热电偶 6.进气毛细管 7.气量控制针阀
8.石英纤维填料 9. Ta 箔内衬 10.传输管
11. Ag_2O 粉末收集器(填充到一薄的泡沫塑料片内)
12.冷却环 13.铜棒 14.液氮

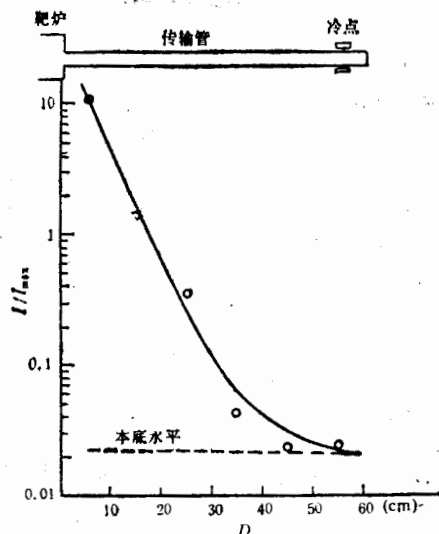


图2 同位素(^{200}Tl)示踪法得到的挥发性 Tl 元素产物沿传输管内壁的凝结和衰减

横坐标是测量点(指 Ta 箔内衬)距靶炉的距离。

输管内壁附一铝箔衬里便可观察到其它产物沿传输管指数式衰减的情况。图2是以 ^{200}Tl 为示踪同位素所得到的 Tl 元素沿传输管的衰减曲线。在 780°C 下, Pb、Bi 的挥发是很低的^[3], 它们更难到达收集端。在文献[2]的图 4b 中曾给出直接测量辐照过的铅片的 γ 谱与测量收集的 Hg 元素样品的 γ 谱的比较。直接 γ 谱中最明显的 Pb、Bi、Tl 等各同位素产物的衰变 γ 峰在收集的 Hg 元素样品 γ 谱内都消失了, 剩下的只是 Hg 自身及其 β^+ 衰变子体 Au 同位素的 γ 线。用 ^{203}Hg 示踪同位素标定, Hg 元素产物被这种 Ag_2O 收集器收集的效率可达 95% 以上^[2]。

2.3 直接分离的 Hg 样品 γ 谱分析结果

曾经试图通过直接分析收集到的 Hg 元素样品的时间序列 γ 谱来寻找可能生成的 ^{208}Hg , 结果失败了。其原因是 ^{208}Hg β^- 衰变子体 ^{208}Tl 的特征 γ 能量 2614.6keV 与 ^{192}Hg 的 β^+ 衰变生长起来的 ^{192}Au 的一条衰变 γ 能量完全相同, 而后者又明显地强^[4]。2614.6 keV γ 峰强度随时间的变化显示出几乎是典型的单一子体的生长-衰变趋势。在用 ^{192}Hg ($T_{1/2} = 4.9\text{h}$) $\xrightarrow{\beta^+}$ ^{192}Au ($T_{1/2} = 5.03\text{h}$) 这样一对母子体关系^[5,6]去拟合 2614.6keV γ 峰强度的生长-衰变时, 发现了开始的几个测量点与单纯子体生长规律不符, 且有明显的抬高。于是转而分析 2614.6keV γ 峰强度与 ^{192}Au 衰变 γ 的主峰 316.5keV 的强度比随时间的变化(二者在 ^{192}Au 衰变 γ 中的相对分支比分别是 0.65% 和 100%^[7])。结果发现从距辐照结束约 3h 开始向后, 这一比值基本上保持为一恒定值, 而在距辐照结束约 1h 测到的这一比值高出约 35%, 而在大约 2h 内, 这一比值逐渐下降而趋向上述恒定值。这意味着在收集的汞样品中, 2614.6keV γ 峰内除了 ^{192}Au 衰变 γ 外还有一个寿命大致在 0.5—1h 之间, 有可感知强度的未知成份。在测量到的全部 γ 谱中没观察到来自 Bi、Tl、Po 元素产物的 γ 峰, 即使是最容易测到的 $^{202,203,204}\text{Bi}$ 的最强 γ 也没出现^[4]。这就排除了这一未知成份是来自 ^{212}Bi α 衰变子体 ^{208}Tl 的可能性。

测量是在一大体积、低本底铅屏蔽室内进行的。使用了一台效率为 40% 的高纯锗探头, 能量分辨为 2.2keV。长时间的本底累计得出 2614.6keV 峰的本底水平为 0.83count/h。

2.4 周期性提取从 Hg 样品中生长起来的 Tl 元素, 观察到可指定为 ^{208}Hg β^- 衰变子体的 ^{208}Tl

尽管上述分析结果使我们看到了一点希望, 但还不能立即就对 ^{208}Hg 的生成做出指定。为了弄清这一较短寿命成份是否就是 ^{208}Hg 的 β^- 衰变产物 ^{208}Tl 的贡献, 采用了类似于“母牛”法的下述程序。首先将吸附在 Ag_2O 粉末中的 Hg 提取出来配制成“母液”。 ^{203}Hg 同位素示踪实验证明这一步的效率可达 90%, 但由于样品传送和化学流程占用了时间, 使本来微弱的产额又损失了很多。接下来便是周期性地从 Hg 溶液中提取生长起来的 Tl 元素产物, 待第一个提取出的 Tl 样品开始测量时距辐照结束时刻已有 90min。

考虑到可能的 ^{208}Tl 从母体 ^{208}Hg 的衰变中生长并达到平衡的时间约为其自身半衰期 3.05min 的 2.2 倍, 选定 7min 为 ^{208}Tl 的生长累计时间, 而后快速用一步流程将 Tl 提取出来, 提取出的样品立即做 γ 谱测量。如此多次循环, 从提取出的样品的 γ 峰强度可推知母体 ^{208}Hg 的衰变, 但为了证实 ^{208}Hg 的生成还必须确实证明从 Hg 溶液中生长起来的确实是 ^{208}Tl 。为此, 对样品的 γ 谱做多定标方式的数据获取。每个样品总计 7min 的数据获取时间, 分记为 4 个 2048 道 γ 谱, 每谱对应其中一个 105s 时间段。在近 2h 内对 9 个样品计得到 36 个 γ 谱。从 Hg 母液中分离 Tl 元素的效率高于 95%, 重复性好于 5%。

3 数据分析和结果

图 3 是两个 2614.6keV 附近的部分 γ 谱比较(见图注)。图 3(b) 中 2610、2614、2630

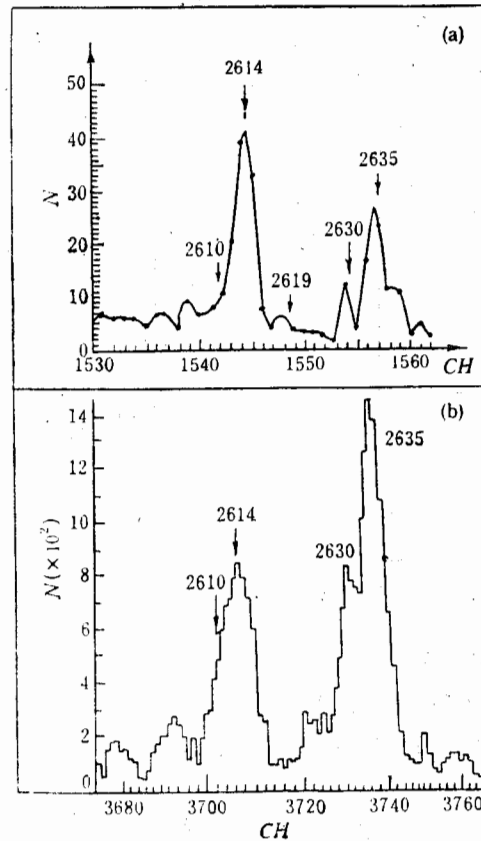


图 3 两种不同方式所测得的能量在 2614.6keV 附近部分 γ 谱比较

- (a) 用多定标法测量从 Hg 母液中周期性的提取的 9 个 Tl 样品所得 36 个 (2048 道) 累计 γ 谱。
 (b) 辐照结束后 5h, 直接测量收集到的 Hg 样品 γ 谱 (4096 道), 累计时间为 1h.

和 2635keV 几个峰可归结为 ^{192}Au 的衰变 γ , 它们的相对强度比基本上与相应的 ^{192}Au 衰变 γ 分支比^[7,8]相对应。在图 3(a)中, 2610、2630 和 2635keV 峰被大大压低, 而 2614keV γ 峰相对临近几个峰明显地抬高了。 γ 谱结果证明了在周期性从 Hg 产物生长起来的 Tl 样品中, 除混有 ^{192}Au 外, 还有另一可给出 2614.6keV 衰变 γ 的源存在。

如果对 9 组计 $4 \times 9 = 36$ 个按多定标方式获取的时间序列谱分别按对应的时间段分组累计, 也就是分别将对应于 0—105s、105—210s、210—315s 及 315—420s 4 个时间段中同一时间段的 γ 谱的 2614.6keV γ 峰强度相加, 并分别扣除来自 ^{192}Au 的贡献就得到如图 4 所给出的结果。根据各累计谱中 ^{192}Au 的主峰 316.5keV 的强度按比例(使用同一探头和相同几何条件下的测量值) 分别扣除包含在 4 个累计的 2614.6keV γ 峰强度中的 ^{192}Au 贡献。至此已观察到从 Hg 样品中生长起来的具有约 3min 半衰期和 2614.6keV 衰变 γ 的 Tl 元素链上的同位素, 唯一地可指定为从 ^{208}Hg β^- 衰变而生成的 ^{208}Tl , 从而无疑义地证明 ^{208}Hg 已经被合成, 并无疑义地被鉴别出来了。

从 Hg 产物溶液中提取出的 ^{208}Tl 的衰变 γ 强度应与提取时刻的 ^{208}Hg 的含量成比例。因此分别累计每个样品的 4 个谱, 并按照与上述同样的方法扣除 ^{192}Au 的贡献并做相

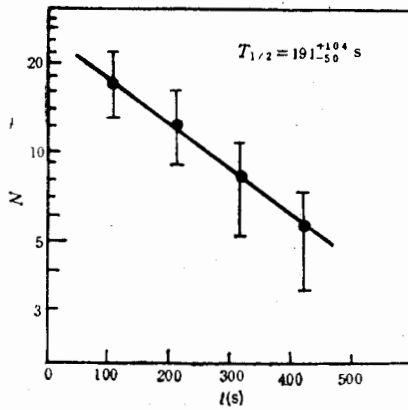


图4 来自 $^{208}\text{Hg}\beta^-$ 衰变生成的 ^{208}Tl 衰变曲线
实验点的误差只考虑了计数的统计误差。

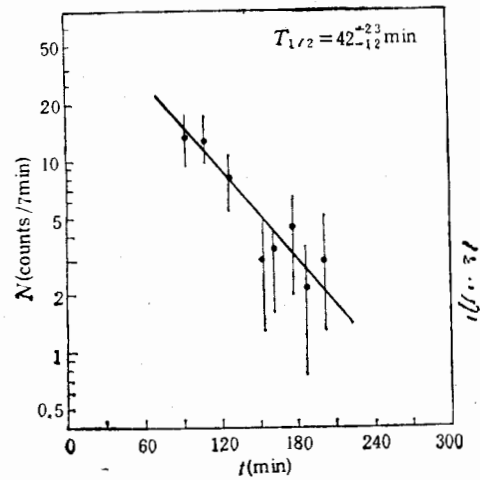


图5 未知丰中子核素 $^{208}\text{Hg}\beta^-$ 衰变曲线
时间轴 0 对应辐照结束时刻。实验点的误差只考虑了计数的统计误差。

对归一后,便得到 ^{208}Hg 的衰变曲线(见图5)。最小二乘法拟合给出 ^{208}Hg 的半衰期为 42_{-12}^{+23}min 。并推算出 ^{208}Hg 的平均生成截面,在入射的 ^{12}C 离子能量从 30MeV/u 至库仑位垒至 5MeV/u 能量范围的平均截面为 $1.1 \pm 0.5\mu\text{b}$ 。

4 小 结

新丰中子同位素已在兰州中能重离子加速器 HIRFL 上使用 30MeV/u 的 ^{12}C 束轰击厚天然 Pb 靶合成了。鉴别方法包括 Hg 元素的化学分离以及从 Hg 元素产物衰变而生长起来的 ^{208}Tl 的 γ 特征能量 2614.6keV 和 3min 半衰期的同时测定。测出的 ^{208}Hg 的半衰期 42min 比 ^{206}Hg 的 8.15min 长得多,显示出明显的壳效应的影响。由于现有的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^[9-11], ^{208}Hg 半衰期的测定无疑是对现有理论模型一个灵敏的检验。

作者感谢加速器全体运行人员的合作,以及罗亦孝、李文新教授对本工作给予的很大支持及有益讨论。

参 考 文 献

- [1] 张立等,高能物理与核物理,16(1992)767.
- [2] Zhao Jinhua, Zhang Li and Jin Genming, et al., *Chin. J. Nucl. Phys.*, 14 (1992) 267, 及其中的 References.
- [3] H. Bruchertseifer, T. Reetz, B. L. Zhuikof and I. I. Zvara, *Radiochimica Acta*, 26 (1979) 139.
- [4] V. Reus and W. Westmeier, *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 29 (1983) 1.
- [5] 卢希庭,原子核物理,原子能出版社,1982.
- [6] 戴光曦、刘国兴,核素图册,科学出版社重庆分社,1987.

- [7] Table of Isotopes—seventh edition, Edited by C. Michael Lederer and Virginia S. Shirley, John Wiley & Sons, INC, New York, Chichester. Brisbane. Toronto (1978) p. 1231—1234.
- [8] B. Nyman, A. Johansson, C. Bergman and G. Backstrom, *Nucl. Phys.*, **88** (1966) 63.
- [9] H. V. Klapdor, J. Mtzinger and T. Oda, *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, **31** (1984) 81.
- [10] K. Takahashi, M. Yamada and K. Kondoh, *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, **12**(1973) 101.
- [11] A. Staudt, E. Bender, K. Muto and H. V. Klapdor, *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, **44** (1990) 79.

Identification of ^{208}Hg

Zhang Li Jin Genming Zhao Jinhua Yang Weifan Yang Yongfeng
Zhao Zhizheng Zheng Jiwen Sun Xiurong Wang Jicheng
Li Zongwei Qin Zhi Guo Guanghui

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

Received on January 4, 1993

Abstract

This paper describes in detail the procedure used in identifying the new neutron-rich isotope ^{208}Hg and measuring its half-life. The identification included two-step chemical separations. The first step was the collection of Hg element products from the irradiated target with a high efficiency and good element selectivity, which was realized by means of an off-line melt Pb target device. The second step was to extract periodically the growing Tl element from the collected Hg sample. In the γ spectra of the extracted Tl samples a 2614.6keV γ activity with a half-life of 3min was observed, which may only be assigned to the daughter ^{208}Tl of ^{208}Hg β^- decay.

Key words Neutron-rich nuclei, Chemical separation, nuclide identification, β^- -decay, γ -activity