

中能重离子反应近靶丰中子产物的生成截面放化研究

杨维凡 赵之正 李宗伟 谢秀君 孙秀荣
牟万统 秦 芝 胡志强 杨永峰 张 立
(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘 要 用放射化学和 γ 谱学技术测量 47MeV/u ^{12}C 同 ^{135}Cs 、 ^{209}Bi 和 ^{197}Au 反应近靶产物的平均截面,得到了低靶产物碘、汞、金和铂的同位素产额分布曲线.发现靶核每减少一个质子其近靶产物最可几质量与靶核之差为 4~5 个质量单位.靶核(^{135}Cs 和 ^{197}Au)削裂 2 个质子的产物 ^{131}I 和 $^{195\text{m}}\text{Ir}$ 的截面分别为 0.47 ± 0.20 和 $0.60 \pm 0.10\text{mb}$.

关键词 近靶产物, 质子削裂, 同位素分布.

核物理和核化学家们对远离 β 稳定线核素的合成和衰变性质的研究,表现出长盛不衰的兴趣.随着远离核的相继发现和物理研究的深入,新核素的合成和研究已成为更有吸引力的课题.国外很多实验室正在集中力量向 β 稳定线两侧尚可占领的地区开拓.

德国的 GSI 研究所用转移反应,通过 ^{136}Xe 和 ^{76}Ge 轰击天然 W/T 靶,在重稀土区合成了几个新丰中子核素^[1].其中 ^{184}Lu 是通过 ^{186}W 削裂 3 个质子,俘获一个中子的奇异转移反应道产生的.平均截面达到 0.5mb,他们还用类似的技术在 U 和 Th 区发现了 ^{232}Ra 和 $^{233,234}\text{Ac}$ ^[2]等新同位素.

在对国外很多实验室合成远离稳定线核素的研究做了认真、深入分析的基础上,又考虑到我们的具体条件,于 1988 年我们提出在 $A > 170$ 高温难熔重金属区合成新丰中子核素的设想.我们之所以对这个设想感兴趣,有几个方面的原因:(1)兰州重离子加速器的建成给我们提供了在这个领域有所发现的极好机遇,它可提供 ^{12}C 、 $^{16,18}\text{O}$ 、 ^{20}Ne 和 ^{40}Ar 等中能重离子炮弹,利用深部非弹甚至准弹反应机制,在这个区很有可能发现一批新丰中子同位素;(2)这个区内从 Hf~Pt 元素的高熔点使得目前的同位素分离器遇到了困难,这却给化学分离方法找到了用武之地;(3)这个区域内未知同位素的半衰期比较长,对化学分离

工作是有利的.此外,中能重离子同重靶核相互作用时,靶核碎裂、深部非弹转移、裂变和准弹转移等多种反应道同时存在,反应产物相当复杂,必须从大量的干扰成份中分离出感兴趣的元素.所以,在这个区合成丰中子新核素,放射化学方法便可大显身手.放射化学的实力在于每个元素都有其独特的化学行为,可以用萃取、蒸馏或沉淀等从复杂的核反应产物中分出待测的元素.

对合成一个新核素来说,在反应中有产生足以可探测的量是至关重要的.当用中能炮弹轰击中、重靶核时,发现质量产额曲线中比靶质量低的近靶产物有相当高的产生截面.不过目前对近靶产物的截面,特别是离同位素分布曲线峰位较远的丰中子核素的产生截面,尚缺乏数据.

对靶余核生成截面的测量和同位素产额分布的测定,已被广泛地用于重离子反应机制的研究. Molzahem 等人^[4]用 6MeV/u ^{12}C 同 ^{209}Bi 相互作用的低靶产物之同位素产额分布曲线显示:靶核每减少或增加一个质子,其产物同位素分布的峰位(最可几)质量数比靶核的质量数小 4~5 个质量单位,同位素分布曲线的半宽度约 5.5 质量单位. Molzahem^[4]的实验还发现,与靶核相差 1 个质子的产物其同位素积分截面为 200~300mb.在上述数据规律的基础上,通过内插外推,可以估计出欲

合成的新核素的生成截面。

不过, Molzahn 等人^[4]的结果是超靶产物的, 而我们要合成的新核素则是低靶丰中子产物. Aleklett 等人^[3]的数据虽是低靶产物的, 但却来自高能¹²C(4.8GeV)引起的反应.

为了在我们的炮弹能区得到丰中子低靶产物的有效生截面数据, 以便为新核素的合成提供更直观的有益的参考, 我们用放化法完成 47MeV/u ¹²C离子轰击¹³³Cs、¹⁹⁷Au和²⁰⁹Bi厚靶. 通过测产物的独立产额的方法, 研究了这一问题. 根据获得的同位素分布曲线的 A_p 和半宽度值, 使用外推法, 可对 $A > 170$ 区丰中子新核素的生成截面做出半定量的估计, 并通过规律的分析, 可为我们选择反应道提供依据.

照射结束后, 根据每个待测元素的化学性质, 对每个靶使用不同的化学分离, 纯化流程, 分出感兴趣的元素, 制成 γ 测量源, 用高纯 Ge 或 Ge(Li) 探测器联同 Multi-20 和 IBM 微机, 做 γ 单谱测量. 在我所 VAX 计算机上用一套计算机程序对测得的各个样品的 γ 谱群数据进行分析, 得到各核素的生成截面. 对部份累积和累积截面的数据进行修正后, 得到各个核素的独立生成截面. ¹²C + ¹³³Cs 反应中碘同位素的产额列在表 1 中. 表 2 给出 ¹²C

同²⁰⁹Bi相互作用产生的 Hg、Au 和 Pt 同位素的截面. 也得到了¹²C + ¹⁹⁷Au中¹⁹⁵Ir的截面. 用非线性最小二乘法高斯程序对测得各同位素的独立截面做拟合, 得到同位素产额分布曲线. 发现高斯分布仍能适用于近靶产物的同位素分布描述, 见图 1 和 图 2. 表 3 给出最小二乘法拟合的结果.

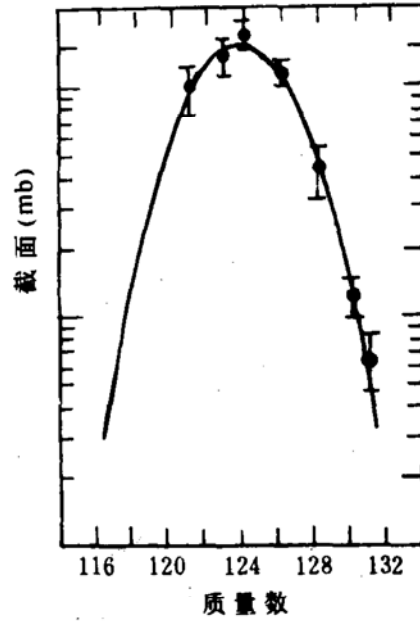


图 1 47MeV/u ¹²C 同 ¹³³Cs 反应碘同位素质量—产额分布

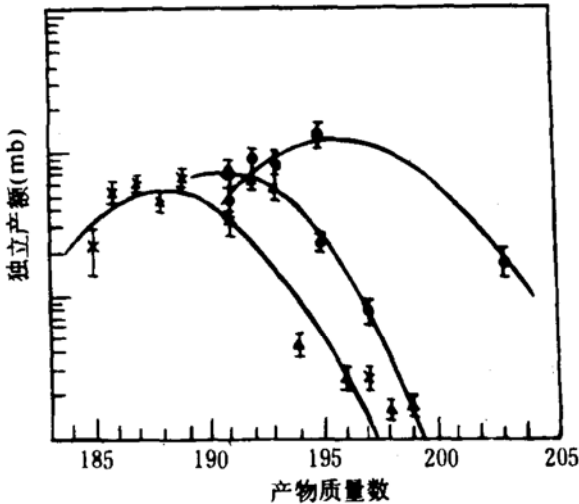


图 2 47MeV/u ¹²C + ²⁰⁹Bi 反应低靶产物同位素. X——Pt, ▲——Au, •——Hg

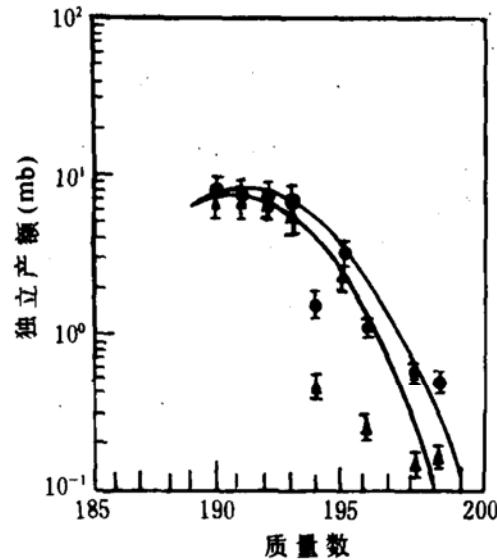


图 3 ¹²C + ²⁰⁹Bi 反应中产物 Au 的同位素分布 ▲——564MeV, •——4.8GeV

表 1 47MeV/u $^{12}\text{C}+^{133}\text{Cs}$ 反应中碘同位素独立产额

核素	^{121}I	^{123}I	^{124}I	^{126}I	^{128}I	^{130}I	^{131}I
半衰期	2.12h	13.2h	4.18d	13.02d	25.0m	12.36h	8.02d
截面 σ_i (mb)	10.3 ± 2.6	13.9 ± 2.8	17.0 ± 2.0	11.7 ± 1.3	4.40 ± 1.30	1.20 ± 0.30	0.67 ± 0.20

表 2 47MeV/u $^{12}\text{C}+^{209}\text{Bi}$ 反应中近靶产物截面 (mb)

核素	^{185}Pt	^{186}Pt	^{187}Pt	^{188}Pt	^{189}Pt	^{191}Pt	^{197m}Pt
半衰期	70.9m	2.0h	2.35h	10.2d	10.89h	2.90h	1.57h
σ (测量)	2.3 ± 0.9	6.0 ± 0.5	7.2 ± 0.4	5.7 ± 0.4	10.1 ± 0.7	6.8 ± 0.6	0.27 ± 0.04
σ (独立)	2.2 ± 0.8	5.3 ± 0.4	5.9 ± 0.6	4.2 ± 0.4	6.3 ± 0.6	3.6 ± 0.4	0.27 ± 0.04
核素	^{191}Au	^{192}Au	^{193}Au	$^{194}\text{Au}^*$	^{195}Au	$^{196g+m}\text{Au}^*$	$^{198g+m}\text{Au}^*$
半衰期	3.18h	5.03h	17.65h	39.5h	183.0d	9.7h, 6.18d	2.3d, 2.7d
σ (测量)	11.7 ± 2.4	9.7 ± 2.6	9.8 ± 2.8	0.49 ± 0.10	4.1 ± 0.7	0.26 ± 0.08	0.16 ± 0.06
σ (独立)	7.5 ± 1.5	7.1 ± 1.9	6.1 ± 1.8	0.49 ± 0.10	2.5 ± 0.8	0.26 ± 0.08	0.16 ± 0.06
核素	^{199}Au	^{191m}Hg	^{192}Hg	$^{193g+m}\text{Hg}$	$^{195g+m}\text{Hg}$	^{197m}Hg	$^{203}\text{Hg}^*$
半衰期	3.14d	50.8m	4.9h	3.8h, 11.8h	41.6h, 9.9h	23.8h	46.58d
σ (测量)	0.19 ± 0.02	6.7 ± 2.7	11.6 ± 0.8	8.5 ± 0.8	13.5 ± 1.0	0.78 ± 0.1	1.9 ± 0.4
σ (独立)	0.18 ± 0.02	4.7 ± 2.0	9.1 ± 0.6	8.4 ± 0.7	12.7 ± 1.3	0.78 ± 0.1	1.9 ± 0.4

* 实验中测得的独立产额

表 3 47MeV/u ^{12}C 引起的反应中低靶产物的同位素质量—产额分布曲线的参数

靶	产物	最可几质量 A_{mp}	半宽度 (质量单位)	总同位素产额 (mb)
^{209}Bi	Hg	195.8 ± 0.5	3.74 ± 0.14	115.2
	Au	190.9 ± 0.8	2.80 ± 0.61	61.0
	Pt	188.1 ± 0.7	3.08 ± 0.81	42.0
^{133}Cs	I	123.8 ± 1.8	6.50 ± 0.51	110.7 ± 0.7

表 4 47MeV/u ^{12}C 同 ^{133}Cs 、 ^{209}Bi 反应低靶产物的 $\Delta A/\Delta Z$ 结果

靶	产物	最可几质量 A_{mp}	$\Delta A = A_t - A_{mp}$	$\Delta Z = Z_t - Z_p$	$\Delta A/\Delta Z$
^{209}Bi	Hg	195.8	13.2	3	4.4
	Au	190.9	18.1	4	4.5
	Pt	188.1	20.9	5	4.2
^{133}Cs	I	123.8	9.2	2	4.6

注: Z_t 和 Z_p 分别指靶核和产物的原子序数

从表 3 可知,我们得到中能情况下的低靶产物也显示出与 Molzahn 等人^[4]同样的结论:靶核每减少一个质子,其产物的同位素分布曲线峰位(A_p)的质量数与靶核的质量差 $\Delta A = A_t - A_p$ 为 4~5 个质量单位,见表 4. 由图 3 可以看出,这结果与 Aleklett 的结果也是

一致的.但是同位素分布的宽度变窄.看来炮弹的入射能量高更有利于丰中子核的产生.

根据我们的实验结果可以得出下面两点结论:(1)靶核削裂两个质子不增加中子时, ^{131}I ($^{12}\text{C}+^{133}\text{Cs}$)和 ^{195m}Ir ($^{12}\text{C}+^{197}\text{Au}$)的独立生成截面分别为 $0.67 \pm 0.20\text{mb}$ 和 $0.60 \pm$

0.10mb; (2) 根据 ^{12}C 打 ^{209}Bi 的实验结果, 若将同位素分布曲线外推, 在 $A > 170$ 难熔重金属区, 如用最丰中子的稳定同位素做靶, 则 $-3p2n$ 和 $-4p3n$ 的产物生成截面约为0.5mb和0.02mb. 这些反应道将产生新丰中子核素. 若改用丰中子炮弹, 例如 ^{18}O , 在这个区合成一批丰中子新核素看来是大有希望的.

参 考 文 献

- 1 Rykaczewski, et al. Nucl. Phys., 1986, 453:1
- 2 Rykaczewski, et al. GSI-85-16, 1985, 1
- 3 Aleklett K, et al. LBL Annual Report, 1984, 132
- 4 Molzahn D, et al. J. Radioanal. Chem., 1983, 80:109

Radiochemical Study for Targetlike Products in Reactions Induced by Intermediate Energy Heavy Ion

Yang Weifan Zhao Zhizheng Li Zongwei Xie Xiujun Sun Xiurong
Mo Wantong Qin Zhi Hu Zhiqiang Yang Yongfeng and Zhang Li
(Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou 730000)

Abstract The average formation cross sections of the targetlike residuals produced in the interactions of 47MeV/u ^{12}C with ^{133}Cs , ^{209}Bi and ^{197}Au targets were measured by means of the radiochemical separation and γ -spectroscopy techniques. The mass-yield curves of I, Hg, Au, Pt isotopes were obtained. It is found that the mass difference between the target nucleus and the most probable products for the targetlike isotopes is about 4~5 mass units, every time the target nucleus reduces a proton. The cross-sections of ^{131}I and $^{195\text{m}}\text{Ir}$ is $0.67 \pm 0.20\text{mb}$ and $0.60 \pm 0.10\text{mb}$ when two protons are stripped from the target nucleus.

Key Words targetlike product, proton stripping, isotopic distribution.

一个新核素图即将问世

一个新的核素图不久可供使用. 它是由法国斯特拉斯堡核研究中心的理学博士安东尼(M. S. Antony)编辑, 大约在1993年5月在斯特拉斯堡出版. 这张核素图包括约3000个已知同位素的稳定态, 同质异能态或放射态的基本数据, 此外还标出了主要的衰变特征, 实验的或理论的质量缺损. 总的来说, 这张图提供了三万个数据. 每个同位素被描述在一个19mm见方的格子里, 整张图的尺寸为 $140 \times 70\text{cm}^2$, 正、反两面印刷. 它用五种颜色表示相应的衰变方式, 是最完全的而且是现有核图表中最便宜的. 它包含直到1993年3月31日前所收集的文献数据.

联系地址:

M. S. Antony,
Centre de Recherches Nucléaires
BP 20 Cro 67037 Strasbourg Cedex 2
France
Télex: CNRS CRO 890032F
E. mail ANTONY@FRCPN11.BITNET

(中国科学院近代物理所 刘嘉玫供稿)