

## 超铀区缺中子新核素的研究

郭俊盛 李文新 刘洪业 甘再国 雷怀宏

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

**摘要** 超铀核的合成历史及现状. 产生缺中子超铀新核素可能的弹靶组合、生成截面的估计和裂变竞争的修正. 氮喷咀传输系统及转动轮收集系统是主要的实验装置; 而采用母女探测器系统, 可以建立产物母子体的遗传关系, 从而鉴别未知核.

**关键词** 缺中子超铀新核素, 弹靶组合及生成截面, 氮喷咀转轮收集, 母女探测器组.

在超铀核区, 迄今人们已合成  $Z=93\sim 109$  号共十七个元素的近 200 个同位素. 30~50 年代, 人们用中子俘获及包括中子在内的轻离子反应得到了许多丰中子超铀同位素, 利用反应堆或核爆炸作为强中子源, 把中子逐次加进重铀系核靶, 在当时是一个很有用的方法. 但这个方法只能合成到 100 号元素, 而 101 号元素是美国人后来用  $\alpha$  粒子轰击  $^{253}\text{Es}$  得到的; 再往上合成更重的元素, 中子或轻离子反应便无能为力. 60 年代初, 加速器已能提供较强的 C、N、O 和 Ne 等重离子束, 所以 102 号及以上元素的合成工作, 就落到了重离子加速器的肩上. 重离子引起的熔合蒸发反应, 是曾被广泛应用且行之有效的合成超铀核的一种方法. 但开始人们只是利用较轻的重离子炮弹 ( $Z\leq 10, N\leq 22$ ) 同铀系靶的熔合蒸发反应, 1976 年以前用这种方法一直合成到 106 号元素, 但对于合成更重的核就无能为力. 因为, 随着合成的核越重及越远离  $\beta$  稳定线,  $\Gamma_f/\Gamma_t$  比值将快速减少, 裂变竞争越来越占优势. 为了克服这一限制, 近年来人们采用了尽可能减少熔合系统激发能的办法, 即用冷熔合方法来合成更重和更远离  $\beta$  稳定线的超铀核. 形成的熔合系统越冷 (即系统的激发能越低), 对裂变的稳定性就越大. 熔合系统的最小激发能是由克服库仑能与反应  $Q$  值之差决定的. 如果选用中等质量的丰中子核 ( $Z\geq 18, A\geq 40$ ) 作炮弹, 双满壳及其附近的重核 (如  $^{208}\text{Pb}$  和  $^{209}\text{Bi}$  等) 作靶, 就

会大大降低熔合系统的激发能, 从而降低裂变退激的竞争. 在 1980~1987 年间, 前西德的 GSI 实验室曾大量采用了这种冷熔合方法, 用  $^{50}\text{Ti}$ 、 $^{54}\text{Cr}$ 、和  $^{58}\text{Fe}$  等作炮弹, 轰击了  $^{207}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}$ 、 $^{209}\text{Bi}$  靶, 成功地合成了从 104 号~109 号元素的同位素, 使超铀核的合成又向前迈进了一大步.

近年来, 利用较重的重离子炮弹和铀系靶之间的转移反应, 来进一步克服上述合成超铀核遇到的困难. 当较重的弹核和重靶核作用时, 准弹散 (QE) 和深部非弹反应 (DIR) 变成了占优势的反应机制. 当弹和靶相互作用时, 它们之间的核子发生相互交换, 使出射产物围绕弹和靶的  $Z$  和  $A$  值有一个展宽分布, 从类靶产物中可以得到许多超铀区的缺中子和丰中子核素, 例如可以用  $^{48}\text{Ca}$ 、 $^{84}\text{Kr}$ 、 $^{136}\text{Xe}$  和  $^{238}\text{U}$  等炮弹及  $^{248}\text{Cm}$ 、 $^{249}\text{Cf}$  和  $^{238}\text{U}$  等靶核, 借助 QE 和 DIR 机制获得超铀区的新核素.

利用我所重离子加速器 (HIRFL) 可以引出的束流和经过选择的靶子, 准备开展缺中子超铀核的合成及衰变性质研究. 用低能  $^{40}\text{Ar}$  束流和 Pb 及 Ta 之间的靶核作用, 通过熔合蒸发反应, 估计可能产生出如 Es、Cf、Cm、Am 和 Pu 等元素的新同位素, 其理论估计结果列于下表.

计算是使用 Alice 程序并对其结果进行附加的裂变修正完成的. 因为 Alice 程序本身所包含的裂变修正, 其输入参数对计算结果太灵敏, 易造成较大误差, 这对预言新核素

表

反 应	产 物	轰击能量(MeV)	生成截面( $\mu\text{b}$ )
$^{241}\text{Tl}(^{40}\text{Ar}, 1\sim 3\text{n})$	$^{244\sim 240}\text{Es}$	190~220	0.5~1.2
$^{200,202}\text{Hg}(^{40}\text{Ar}, 2\sim 4\text{n})$	$^{240\sim 236}\text{Cf}$	190~210	0.8~2.0
$^{196}\text{Pt}(^{40}\text{Ar}, 1\sim 3\text{n})$	$^{235,233}\text{Cm}$	190~210	0.5~2.2
$^{193}\text{Ir}(^{40}\text{Ar}, 1\sim 3\text{n})$	$^{232\sim 230}\text{Am}$	180~200	0.5~0.8
$^{192}\text{Os}(^{40}\text{Ar}, 1\sim 3\text{n})$	$^{231,229}\text{Pu}$	180~200	0.2~0.8

的生成截面是很不可靠的. 根据 Sikkeland 和 熔合蒸发中子公式

$$\sigma_z = \sum_{l=0}^{l_c} \sigma_l P_{z,l} \prod_{j=A_{\text{CN}}-z+1}^{A_{\text{CN}}-z} \left[ \frac{\Gamma_n}{\Gamma_n + \Gamma_f} \right]_{i,l}$$

仅用 Alice 程序计算出激发函数的形状因子, 而激发函数的绝对值是采用距计算的未知核不太远的已知核的实验值外推得到的. 这种方法可减少对预言新核素的生成截面的误差. 我们选择  $^{40}\text{Ar}$  束流轰击 Tl、Hg、Pt、Ir 和 Os 等靶, 因为这是一个弹靶组合的空白区. 在从 Ta 到 Bi 作为靶核时, 在 70~80 年代, 美国、前苏联和前西德曾进行了  $^{40}\text{Ar} + \text{Pb}$  和  $^{40}\text{Ar} + \text{Bi}$  的实验, 合成了 100 和 101 号元素的新同位素, 其轰击能量为 190~220 MeV, 并表明 3n 蒸发的截面最大(约 0.3  $\mu\text{b}$ ); 另外前西德 GSI 实验室曾于 1979 年也用  $^{40}\text{Ar} + ^{181}\text{Ta}$  和  $^{40}\text{Ar} + ^{184}\text{W}$  反应合成了 Pa 的缺中子新核素, 轰击能量为 176~202 MeV, 并表明 4n 和 3n 蒸发截面最大. 我们选择的靶子, 正好处在 Pb、Bi 和 Ta 之间, 因此从系统性内插的观点来看, 产生具有可观产额的新核素是可能的.

对产物的测量和鉴别可以通过对  $\alpha$  衰变性质的测量来完成, 因为  $\alpha$  衰变能量和半衰期是主要的测量对象. 另外, 可根据  $\alpha$  衰变链来鉴别新核素, 也就是通过测量, 可以将未知母核与已知子核或子子核之间建立起衰变关系. 在过去合成超铀核新核素的工作中, 这种由母核和子核之间的遗传关系来作为新核素的鉴别方法, 已被广泛采用且具有较高的可靠性. 另外, 也可以利用由产物发射的  $\alpha$

粒子与子核的 k-x 射线之间的复合关系鉴别未知产物, 因为由测得的 k-x 射线的能量和强度可以确定子核的 Z+2 的关系确定产物的 Z 值.

我们研制的测量超铀核  $\alpha$  衰变半衰期及母子体遗传关系的实验装置见图 1. 它主要由三部分组成, 即氦喷咀靶室、快速转动收集轮和母女探测器组. 在氦喷咀靶室中, 重离子束轰击靶箔, 反应产物从靶中反冲出来, 在充满氦气的靶室中被慢化, 然后被流动的氦气载带着通过一个喷咀(或毛细管)进入收集室; 在收集室有一个可以转动的边缘光滑的轮子, 此外, 收集室同一个具有高抽速的罗茨泵相联结, 由靶室流进来的氦气被泵出, 而反应产物则喷撞在收集轮的边缘上且被吸附在边缘表面, 该转动轮周期性转动, 在转轮周围按装有三组探测器, 每组探测器之间以及它们同氦喷咀出口的位置之间保持相同的角度(对本装置为  $90^\circ$ ). 收集在转动轮上的产物的  $\alpha$  活性, 可以由探测器组测量, 由均匀排列的三组探测器测得的  $\alpha$  活性, 可以提供产物的半衰期信息. 另外, 每一个探测器组又由两个母探测器和两个女儿探测器组成, 它们分别安装在转轮边缘的两侧; 两个女儿探测器的位置固定不动, 而两个母探测器则固定在一个连棒上并与一电磁穿梭机相联结, 穿梭机的动作可以使每个母体探测器分别面对转轮边缘的活性位置. 这样使用母女探测器系统, 使母体探测器只能测量母核的  $\alpha$  活性, 而女儿探测器测量的是吸附在母体探测器表面的母核反冲体(子核)的  $\alpha$  活性, 从而

可以提供未知母核与已知子核之间的遗传关系,从而鉴别和确定未知核的属性.系统所有动作(包括转轮的转动周期及穿梭机的动作)的配合,都由一个微机控制.目前,全部系统正在进行联合调试.

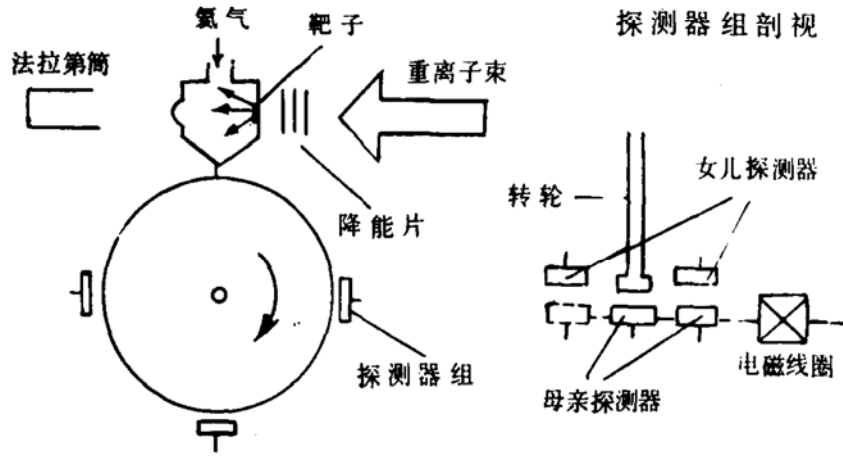


图 1 氦喷咀转轮收集探测系统

参 考 文 献

1 Seaborg G T, Loveland W D. TRANSURANIUM NUCLEI, LBL-13994, 1982

2 BJÖRNHOLM S. Nucl. Phys., 1982, A387: 51C-64C

3 Seaborg G T. Nuclear Reactions and Synthesis of New Transuranium Species, LBL-15685, 1983

## Study of New Neutron-deficient Nuclei in Region of Transuranium

Guo Junsheng Li Wenxin Lu Hongye Gan Zaiguo Lei Huaihong  
*(Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou 730000)*

**Abstract** The history and status of transuranium nuclei synthesis is described. Feasible projectile target combined to produce new neutron-deficient transuranium nuclei is proposed. Production cross section is estimated and fission competition is corrected. Experimental set up includes He-jet transport system and rotating wheel collection system. Mother-daughter detector system can be used to identify unknown nuclei by genetic relation between mother and daughter nuclei.

**Key Words** new neutron-deficient transuranium nuclei, projectile-target combined and production cross section, He-jet rotating wheel collection, mother-daughter detector system.