

## 重离子反应合成新的丰中子

### 同位素 $^{243,244}\text{Np}$ , $^{241,242}\text{U}$ 和 $^{239-241}\text{Pa}$

李文新

最近西德GSI的核化学组正在进行一项新的实验。实验目的是使用 $^{136}\text{Xe}$ 或 $^{238}\text{U}$ 轰击 $^{244}\text{Pu}$ 靶,通过重离子转移反应来合成新的丰中子轻锕系的同位素。

大家知道,重离子的熔合反应只能生成缺中子核素。目前,由于缺少合适的核反应来合成新的丰中子锕系核,妨碍了这些感兴趣核素的合成和研究。已知的大部份丰中子的锕系核是通过连续的中子俘获,较轻的重离子的削裂反应或者是不平常的长寿命重靶核的转移反应来生成。显然,用重离子反应生成的锕系核必然限于它的电荷和质量紧靠靶核的那些核素。所以在目前的实验室条件下,生成新的 $\beta^-$ 蜕变的锕系核并且研究它们的唯一希望是通过重离子和丰中子的锕系元素靶核之间的转移反应。

重离子引起的准弹性转移和深部非弹性转移反应的研究表明,同位素的生成和双中心的反应中间体的位能面有着强烈的依赖关系。为了通过这些转移反应生成丰中子的核素,必须利用诸如碰撞核的一方或者双方都是满壳层这样一些特点所引起的位能面的结构。特别在涉及非常少的能量阻滞的周边碰撞中,位能面的结构是最重要的。最近,在 $^{136}\text{Xe}$ 和 $^{186}\text{W}$ 的反应中,新的丰中子Yb和Lu同位素被获得了<sup>[1]</sup>,并且截面在0.1毫巴量级。所以GSI核化学组提出使用 $^{136}\text{Xe}$ 和 $^{238}\text{U}$ 束流,把这些相同的反应道用到轻的锕系区域中来。当使用 $^{136}\text{Xe}$ 炮弹时,他们预期质子优先从靶子中转移到炮弹中。当用 $^{238}\text{U}$ 炮

弹时,估计由于增加了质量座标中位能面的宽度以及由于增加了N/Z的比都是有益的。

钷( $Z=90$ )和镅( $Z=95$ )元素之间未知的丰中子同位素由于一系列原因而特别感兴趣。最近根据 $\beta^-$ 蜕变强度的微观描述<sup>[2]</sup>计算的丰中子锕系同位素半寿命常常比较旧的粗糙理论<sup>[3,4]</sup>的预言值短一个数量级,有时甚至更短。已经清楚地知道,粗糙的理论趋向于高估 $\beta^-$ 蜕变的半寿命,但是也有结果表明微观理论得到的半寿命可能太短。因此实验值和理论值的比较使人们能够了解 $\beta^-$ 蜕变最后一个阶段是怎样发生的,并且有助于确定在地球上超重元素合成时,接着发生 $\gamma$ 过程的通道。此外,根据新的丰中子锕系同位素 $\beta^-$ 蜕变后的 $\gamma$ 辐射,使得有可能提取关于子体的核能级结构以及母体的 $J^\pi$ 和Nilsson指定。这在形变的152个中子壳层附近是特别感兴趣的。最后,在这些核的蜕变中,预言 $\beta^-$ 缓发自裂变活性变得重要起来,但是这些预言在很大程度上取决于蜕变能以及裂变位垒的高度和结构。 $\beta^-$ 缓发自裂变蜕变决定核爆炸中 $A \geq 248$ 的重元素产额并且阻止用这些方法去生成 $\beta^-$ 稳定的超重元素。因此,这个区域内丰中子锕系核素的合成给 $\beta^-$ 缓发自裂变蜕变研究也可以提供极好的机会。

美国伯克利实验室曾研究了 $^{248}\text{Cm}^{[6]}$ 和 $^{249}\text{Cf}^{[6]}$ 靶和 $^{136}\text{Xe}$ 相互作用时锕系元素的生成规律。通常,这些元素的同位素产额分布呈现一条粗糙的高斯分布。根据这些实验结果的直接外推以及目前可采用的丰中子锕系

靶子, GSI小组就提出以 $^{244}\text{Pu}$ 为靶子, 反应能大概为超过表现的库仑能10%时, 通过和 $^{136}\text{Xe}$ 或 $^{238}\text{U}$ 的相互作用合成新的丰中子同位素 $^{243, 244}\text{Np}$ ,  $^{241, 243}\text{U}$ 和 $^{239-241}\text{Pa}$ 。他们估计这些核素的生成截面大于或等于0.1毫巴。

但是有一点还不十分清楚, 就是所选择的反应能是否是生成比上述核素还要更丰中子的产物的最佳能量。从准弹性反应道得到的初级产物的质量和电荷分布, 这些产物的激发能和角动量以及它们在退激发过程中由于裂变和中子发射的消耗使得预言处于同位素产额分布尾部的最终产物的生成截面的量级是很不可靠的。因此, 除了寻找上面列出的新的丰中子同位素外, GSI小组还试图使用标准的放射化学技术测量如 $^{242}\text{Pu}$  ( $^{136}\text{Xe}$ , X)  $^{240}\text{U}$ 或 $^{237}\text{Np}$  ( $^{136}\text{Xe}$ , X)  $^{234}\text{Th}$ 这类相似反应的激发函数。这些实验应该有助于确定在寻找更丰的丰中子核素时所采用的轰击能量的范围以及靶的厚度。可以预期从这些激发函数测量获得的资料将进一步了解生成丰中子锕系核素的转移反应的机制, 并且合成和研究新的镎, 铀, 钍可能一直到152个中子壳层的同位素。

在锕系元素区寻找新同位素的一个重要的实际问题是最终的样品必须从由于裂变和其他反应道产生的极大量的活性中很好地分离出来。为了达到这个目的, 可以使用质量分离器(选择确定的A)或者使用化学方法(选择确定的Z)。由于技术上的原因, 象 $^{244}\text{Pu}$ 这样的靶子在GSI的质量分离器上还未使用过, 因此他们计划用和气体喷咀输运体系相连接快速的自动的化学程序。这套装置使他们能着手解决半寿命短到只有几秒钟的核素, 而整个技术的效率能高达50%。

为了合成和测定未知丰中子锕系同位素的性质, GSI小组将使用现有设备进行三类不同的实验。

### 1. 超离心系统的在线化学SISAK

如果象Mainz反应堆所使用的那样, 和气体喷咀相连接的SISAK技术能够在几秒钟的

时间内从其他反应产物中分离短寿命核素。它包括连续地把感兴趣的元素萃取到适当的有机溶剂内, 然后通过毛细管输送到探测系统的前面。

### 2. 快速, 自动的柱子化学

在快速自动的柱子化学中, 活性由气体喷咀沉积在烧结玻璃上, 并且用曾经在 $^{48}\text{Ca}$ 打 $^{248}\text{Cm}$ 以及 $^{16}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^{22}\text{Ne}$ 打 $^{254}\text{Es}$ 实验中所使用过的同一装置分批处理。如果说SISAK技术一次处理一个元素, 那么快速的自动柱子化学能够同时处理从钷( $Z=90$ )一直到镅( $Z=95$ )的元素。当然该方法略微慢一些, 它只能限于半寿命为1分或更长一些的核素的研究。但是从静止的最终样品测到的半寿命是非常正确的。

上面指出的二种技术产生的样品将用高分辨的Ge(Li)探测器测量 $\gamma$ 射线, 同时将测定 $\gamma$ 和其他 $\gamma$ 线之间的符合以及 $\gamma$ 和 $\beta$ 粒子之间的符合。

### 3. 转动的收集轮OLGA

在OLGA实验中, 来自气体喷咀的活性直接沉积在收集箔上, 该收集箔以预先设置的速度在符合的面垒形探测器对之间转动。这样就能测定半寿命和任何裂变活性(即 $\beta^-$ 缓发裂变)的总动能。OLGA的初始目的是测量积分裂变速率, 如果裂变速率足够大的话, 它们将用快速化学程序在第二步中进行鉴定。

对于目的在研究类似的割裂反应机制的实验, 将用几种不同的能量轰击铀、镎和钷的不同的同位素, 反冲产物收集在箔上并对钷、镎和铀同位素很快地进行处理。通过改变靶子的丰中子程度, GSI小组希望了解多余的中子随入射能量变化对准弹性转移的影响, 并且希望能够可靠地预测从 $^{244}\text{Pu}$ 靶子可以得到的最丰中子的锕系核的生成截面。

目的在于合成新的丰中子的轻锕系同位素以及研究重离子转移反应机制的上述实验已于1984年在西德GSI开始。实验提出的总束流时间为200小时, 其中对三种不同的实