

# GSI对最重的靶元素 $^{254}\text{Es}$ 的首次轰击

H. Gäggeler

在10月10—18日之间,在GSI,人们利用尤尼拉克 (UNILAC) 的束流对99号元素镱的同位素 $^{254}\text{Es}$  (半寿命  $T_{1/2} = 276$  天) 进行了首次轰击,这是迄今使用的最重的靶元素;该实验用了 $2\mu\text{g}$ 的Es同位素,这几乎是世界上仅有的库存。实验是由劳伦斯利弗莫尔实验室和 GSI 合作完成的,其目的是想用 $^{18}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ 和 $^{22}\text{Ne}$  作炮弹对 $^{254}\text{Es}$ 进行轰击,找到生成丰中子重锕系元素和超锕系同位素的最佳反应条件。

去年在利弗莫尔的离线化学实验表明,这个方法将被认为是这次实验的唯一有效的方法,因为只有这个方法才能对丰中子同位素进行可靠的分析。

图1给出了这次实验结果,纵坐标是反应截面,横坐标是Fm和Md的同位素以及No的唯一长寿命同位素 $^{259}\text{No}$ 。基于这些数据可以外推一些未知的同位素,比如 $^{260, 261}\text{Md}$ ,  $^{260-262}\text{No}$ ,  $^{261-263}\text{Lr}$ ,  $^{263-265}\text{104}$  和  $^{263-265}\text{105}$  的产生率也是相当高的。

这一区域是人们颇感兴趣的一个同位素区域。因为在元素102—104号之间,自发裂变半寿命的规律性出现了急剧的变化。比如对于 $Z \leq 102$ 的那些核素,半寿命峰值出现在中子数 $N = 152$ 处,而对于104号元素这个峰值已完全消失。此外,通过对这个区域的研究还有助于进一步弄清在去年的裂变实验中所观察到的一个现象,即对于丰中子同位素 $^{258, 259}\text{Fm}$ ,  $^{259}\text{Md}$ 和 $^{260}\text{104}$ 的裂变质量分布和动能分布也都存在着急剧地变化。

用强的重离子束轰击重锕系同位素靶的整个实验,都必须在完全可靠的、在线防护的条件下进行。用重离子轰击 $^{254}\text{Es}$ 的靶装

置与以前使用过的 $^{248}\text{Cm}$ 靶相同。反应产物被阻止在气体喷射收集室内,前后两个窗都需要冷却,传输气体采用N或He,其中掺入少量的KCl微粒,从收集室到探测系统的距离为5米,传输效率和传输时间分别为60%和2秒。

$^{254}\text{Es}$ 的靶厚为 $30\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ,直径为3mm。这个同位素是用橡树岭国立实验室的高通量堆生产的,对它进行化学处理,再把它电镀到厚度为 $2.4\text{mg}/\text{cm}^2$ 的Be箔上。因为 $^{254}\text{Es}$ 的寿命很短,整个过程都存在强的放射性和短寿命的锕系元素,比如 $^{253}\text{Es}$ ( $T_{1/2} = 20.4$ 天),因此靶的制备和轰击都必须仔细处理。由于靶的放射性很强( $1.4 \times 10^8$   $\alpha$ 粒子/秒),全部操作都必须在密封的“手套箱”系统内进行。图2给出了 $^{254}\text{Es}$ 靶系统的照片。

以前,利弗莫尔采用了经典的离线方法,结果只适用于长寿命核素( $T_{1/2} \geq 30$ 分),而GSI则采用了在线探测技术,可适用于短寿命( $T_{1/2} \leq 1$ 秒),这个方法包括了快速喷射系统和步进旋转的轮轴收集系统,这种结构曾在 $^{43}\text{Ca} + ^{248}\text{Cm}$ 反应中成功地使用过。

图3给出了轮轴系统的内部结构。在64个可利用的位置上,成对安装了15个探测器对;将待测的核素沉积到有机薄膜上(厚度为 $30\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ),再传输到面垒探测器,测量该核素的 $\alpha$ 衰变和自裂变;此外,用微型计算机控制的轮轴系统还可对母体和子体进行关联测量。所有的实验数据都贮存在GSI的获取系统PDP-11型计算机内。该系统存在的一个主要问题是本底偏大,其原因是进行长寿命测量时,产物中含有少量的长寿命Fm

同位素。为了尽量避免这一点，轮轴系统只用16个位置，每个位置仅用1~2小时，而后自动将沉积下来的反应产物送到16个收集箔上。

除了这个在线实验方法外，还用了化学分离方法来测定短寿命同位素Md, No和Lr的产额。

如图1所示，过去的实验主要是测定Fm和Md的同位素产额，而我们这次实验则是想测定重元素No和Lr的同位素产额，其意义在于，外推这些数据可以预言未知的丰中子同位素的产生率。

轰击实验选择了 $^{18}\text{O}$ 作炮弹，其能量分别为98MeV, 101MeV和104 MeV；选择了 $^{16}\text{O}$ 作炮弹，其能量为100MeV，还选择了 $^{22}\text{Ne}$ 作炮弹，其能量为125MeV；这些炮弹能量均比库仑位垒高5%左右，如此选择能量是企图尽量使转移截面大些。 $\text{O}^{5+}$ 和 $\text{Ne}^{7+}$ 的束流强度为1.0~1.5 $\mu\text{A}$ ，打在靶 $^{254}\text{Es}$ 上的总粒子数大约为 $5.5 \times 10^{13}$ 粒子。考虑到靶的面积只有7.1 $\text{mm}^2$ ，平均粒子密度可高达 $7.7 \times 10^{16}$ 粒子/ $\text{mm}^2$ ；在如此大的剂量下，并未观察到由于溅射引起的靶物质损失；测量轰击前后靶的 $\alpha$ 放射性，发现二者在统计意义上是完全一样的。作为一个例子，图4给出了用 $^{16}\text{O}$ 作炮弹（能量为100MeV）轰击5小时所得到的 $\alpha$ 衰变谱，数据取自轮轴系统的第一个探测器。 $\alpha$ 衰变的能量范围为7.7—9.5MeV，时间间隔0~1秒；要是 $\alpha$ 衰变能量

再低，就很难把Fm和Md的贡献分开。与10 MeV这一边相对应的峰是由 $^{256}\text{Fm}$ 产生的，这说明 $^{256}\text{Fm}$ 有很强的 $\alpha$ 放射性。

可以看出，图4中的计数率有几个主极大，其中包含No和Lr的 $\alpha$ 衰变峰。8.88MeV的这个 $\alpha$ 峰是由 $^{211}\text{Po}$ 的 $\alpha$ 衰变引起的，因为在 $^{254}\text{Es}$ 中总含有少量的铅，与 $^{16}\text{O}$ 作用就得到了 $\alpha$ 放射性比较强的 $^{211}\text{Po}$ 。

改用 $^{16}\text{O}$ 和 $^{22}\text{Ne}$ 作炮弹也可得到类似的 $\alpha$ 谱。初看起来，No同位素的最大产额似乎说明了反应截面有几微巴，而对于Lr则要低5—10倍。与 $^{18}\text{O}$ 相比，用 $^{16}\text{O}$ 作炮弹，产额分布明显地向着缺子中同位素一边移动。

仔细分析这些数据，不仅可以对已知元素104和105进行研究，而且还可以通过它来寻找未知的 $\alpha$ 衰变同位素。

总之，我们这次实验成功地用炮弹 $^{16}\text{O}$ 、 $^{18}\text{O}$ 和 $^{22}\text{Ne}$ 对最重的靶元素 $^{254}\text{Es}$ 进行轰击。我们的防护措施保障了整个实验的安全进行，而这种防护措施是处理强放射性靶的必备条件之一。该实验把气体喷射传输系统与步进转动的轮轴系统（或者同全自动化的水化学方法）相结合，确定了至少到Lr的各种元素的同位素产额，选择的炮弹能量略高于库仑位垒（ $E/B \approx 1.05$ ，其中E是炮弹能量，B是两个核的库仑位垒高度）。

（插图和参考文献略）

（罗诗裕，邵明珠译自“GSI Nachrichten, 1983, 第10期, 10~14页”）

（上接36页）

性质的方法〔124〕，证实了水溶液中 $\text{No}^{(1)}$ 的存在。并由这些数据估计了 $\text{No}^{2+}$ 的离子半径（0.10—0.11 $\mu\text{m}$ ）。这个结果以及 $\text{No}^{(1)}$ 和柠檬酸盐、草酸盐离子〔125〕生成络合物的研究表明， $\text{No}^{(1)}$ 离子的性质接近 $\text{Ca}^{2+}$ 和 $\text{Sr}^{2+}$ 。

Lr (Lw)，是镧系的最后一个元素，理论上在水溶液中只有 $\text{Lr}^{3+}$ 。Lr的化学几乎没有研究，从酸溶液中的萃取实验证实了 $\text{Lr}^{3+}$

的存在〔2〕。用理论计算证明，Lr原子的主要氧化态的电子构型不是 $5f^{14}7s^26d$ （类Lu），而是 $5f^{14}7s^27p$ 。

（超铀元素的分离方法，测定方法，参考文献均略）

（马家玉译自“Радиохимия” ТОМ ХХIV, вып. 6, Стр. 700—707 (1982)）