

外来核 (续完)

Günter Herrmann

新元素：107号和109号元素

在1976年UNILAC加速器开始运行时，已知的最重化学元素是106号元素。在产生更重的元素时，主要困难是，在现有周期表的终点以外裂变几率的迅速增长。假如在选择的两核熔合的方法中产生了这样的非常重的核，为了克服两个相互作用的带正电的核之间的相互静电排斥，要求弹核有一定的动能。这个带入系统的能量并不完全用以产生新的原子核，余下的能量成为核内的激发能，或热能。热的非常重的核马上分裂成两个碎片。在这样的核相互作用中只有极小的一部分，约 10^{10} 分之一形成的新核能通过少数中子的蒸发和 γ 射线的发射冷却下来而不改变核电荷数。另外，由于这些非常重的核的质子数很高，所以，一旦它们形成以后，就会很快通过 α 衰变或自发裂变而衰变。

在UNILAC加速器上合成新元素中这些困难是通过下述途径克服的。正如苏联杜布纳的重离子实验室的一个小组首先指出的那样，选取满壳的 ^{208}Pb 或 ^{209}Bi 作靶是有优越性的。在熔合反应中稳定的核壳层的破裂要消耗附加的能量，因此终核中的激发能要比一般情况下的激发能更低。在GSI的系统逐步达到最重的元素的104和105号元素的同位素合成中发现，核的熔合发生在以前认为必需的能量以下，甚至可稍低于静电排斥位垒，这样能以更低的激发能生成非常重的核，因此可用原来的方法得到更高的存活几率。这种冷熔合的技术也被应用于核素图的已知区域内的一些工作之中。第二个问题是短的半寿命，在新元素的研究中可用SHIP速度过滤器加以克服。

在UNILAC上 ^{54}Cr 与 ^{209}Bi 的熔合中首次确切无误地鉴别出了107号元素^[8]，生成的107号元素是质量数为262的同位素。从质量数为263的复合核系统中只蒸发了一个中子，这表明激发能是很低的。107元素的质量数为262的同位素的半寿命为5ms，通过发射能量为10.4MeV的 α 粒子而衰变为质量数为258的105号元素的同位素。

新元素的鉴别是用确定与已知衰变的产物之间的前后关系的第一流的技术来完成的。在SHIP的出口处，反冲原子核被注入到一个半导体探测器之中，记录下了注入原子核的位置，同时起一个电子时钟，它记录从注入开始到观察到 α 粒子或裂变碎片之间的时间，同时探测器还记录这样的衰变事件中所释放的能量。因此可以追踪整个相继的放射性跃迁过程。直到最后原子序数、质量数、衰变模式、半寿命和衰变能量完全已知的核为止。

图3给出了发现107号元素实验中观察到的六个事件中的一个。质量数为262的107号元素的同位素通过三次级联的 α 跃迁而衰变：先经过质量为258的105号元素的同位素，再经过 ^{264}Lw ($Z=103$)，最后经过 ^{260}Md ($Z=101$)的衰变。 ^{260}Md 通过电子俘获衰变成 ^{260}Fm ($Z=100$)，在这个特殊的衰变链中观察到了第四个 α 粒子。 $^{268}105$ 同位素和 ^{264}Lw 的半寿命和 α 衰变能量是在GSI的早期研究中已知的，当时也是首次发现的。 ^{260}Md 和 ^{260}Fm 的衰变特性是文献中给出的。图3中给出的半寿命和 α 衰变能量是通过这个特定的事件所测得的，因此可能与平均值之间有一定的偏离。在其他的衰变链中发生的裂变事件，可以追溯到从 $^{268}105$ 到短寿命的会发生

自发裂变的 $^{268}104$ 同位素之间的电子俘获的衰变分支。

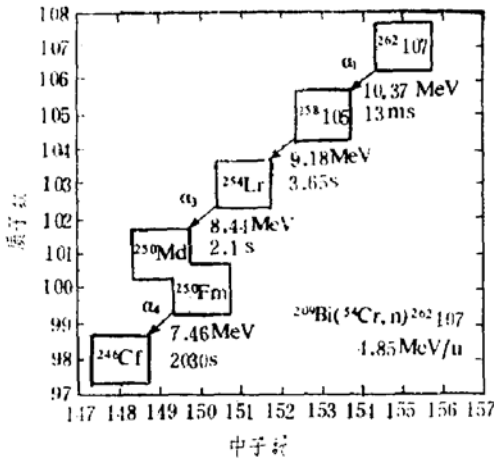


图3 在发现质量数为262的107号元素的同位素时^[9]，观察到的放射性衰变链。这个同位素是以 ^{54}Cr ($Z=24$) 与 ^{209}Bi ($Z=83$) 的冷熔合生成的。它通过三个相继的 α 跃迁，一次电子俘获跃迁和第4个 α 跃迁而衰变。107号新元素的鉴别是通过将它与从以前的研究中已知原子序数、质量数、半寿命和特征放射性的核的衰变链相联系的方法实现的。

在元素周期表中，107号元素位于75号元素Re的下面。可以回忆一下自30年代中期，以制造人造类铪元素的尝试开始的产生人造超铀元素的全部历史，当时确认93号元素为第一个超铀元素。这些尝试中的非常出人意料的结果是，继93号元素发现后不久又发现了核裂变，可是93号元素的化学性质与Re是十分不同的。对后面的94，95号等元素也是这种情况，与93号元素一样，它们属于锕系元素的系列。这和镧系元素系列有许多相似之处。由于质量数为262的107号元素的同位素的寿命很短，而且产额很低，现在还不能通过其化学特性的研究而直接从实验确定其位置。

第十六个人造超铀元素109号元素是用下述的冷熔合方法在GSI发现的^[9]。用 ^{58}Fe 与 ^{209}Bi 的熔合生成质量数为266的109号元素的同位素。在一系列的长期束流轰击中只观察到了这种同位素的一个原子。象图4所示的

那样，在5ms后它通过发射一个11.1MeV的 α 粒子而衰变成以前发现的质量数为262的107号元素的同位素，并按照它的衰变链一直到 $^{268}104$ 的自发裂变为止。因而，最重的元素就是这样逐步地发现出来的，它将新元素和其衰变后的已知同位素联系在一起。因此，对尚未发现的108号元素的研究，首先要求对它的衰变产物106号元素的同位素进行仔细的检验。最近在GSI的UNILAC加速器上用 ^{58}Fe 和 ^{208}Pb 的熔合中合成了108号元素，G. Münzenberg和他的同事们对此作了报导^[23]。在图4的周期表中，109号元素被放在77号元素铱的下面。

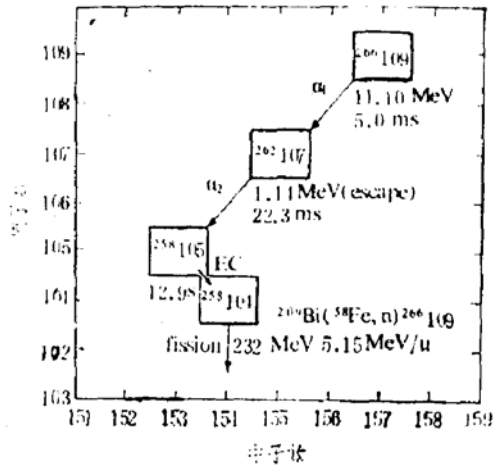


图4 在发现109号元素时，观察到的放射性衰变链。 $^{266}109$ 同位素在 ^{58}Fe ($Z=26$) 与 ^{209}Bi ($Z=83$) 的冷熔合中生成的。本图给出了在几次实验中观察到的唯一的一个109号元素的原子衰变。

寻找超重元素

在UNILAC加速器投入运行以前，在几台重离子加速器上进行了用熔合来合成超重核的尝试。虽然用了大量的弹-靶组合，但所有的尝试都失败了。按我们现在对重离子熔合反应的大大改进的观点来看，情况是令人失望的，因为预期只有极少数的组合才能形成存活下来的超重核^[10]。这些有利的系统中的一个是用 ^{48}Ca ($Z=20$) 与人造的 ^{248}Cm ($Z=96$) 同位素进行熔合。对另外一些尝试

过的组合应该发生熔合，但是中子数或质子数或两者都比稳定岛的少，因而生成的超重核的存活几率特别小。如果把弹-靶组合选得靠近稳定岛，在绝大多数情况下熔合是受到阻止的，因此要求比熔合位垒更高一些的弹核能量。传递给所形成的超重核的格外激发能大大地减少了它的存活几率。

在UNILAC加速器上生成超重核的首次尝试中采用了不同的新方法：在两个相互碰撞的很重的核之间的大量质子和中子的交换。在两个铀核之间的相互作用中观察到了这样的大量转移。两个铀核中的一个偶然地从另一个铀核中大大地增加了它的质子数和中子数。实验证据表明^[11]，在稀有的情况下，一个铀核甚至可以变为与位于质子数为114和中子数为184的岛的中心非常接近的超重核。

可是，在两个²³⁸U核的碰撞中，用几种技术来发现超重元素的尝试都失败了^[6, 12-14]。图6给出了作为半寿命函数的生成截面的上限。可以用生成截面的上限来判断什么是“失败”的定量标准，进一步在²³⁸U和²⁴⁸Cm系统中作了合成的尝试，但又是否定的结果，²⁴⁸Cm是可以达到毫克量级的最重的丰中子同位素。在这些实验中，希望由于²⁴⁸Cm (Z=96, N=152) 与²³⁸U (Z=92, N=146) 相比有更多的质子和中子，超重元素的产额会更高一些。在锕系元素中发现了这种生成截面增加的情况^[16]，可是在图5中与标有“Chem”相当的截面水平上还是不能生成超重元素。另一个想法是，以²⁰⁸Pb轰击²³⁸U。通过铅弹核与这两个重核的相碰产生的²³⁸U的裂变碎片相熔合而生成超重元素。可是在这个反应中寻找超重元素的实验还是没有给出肯定的证据^[17]。

最近，在最吸引人的用⁴⁸Ca轰击²⁴⁸Cm而形成有116个质子和180个中子的复合系统的熔合反应方面的兴趣又被更新了。虽然在寻找超重元素的长期研究中，这种反应早已被研究过，而且并没有取得成功^[18, 19]。在以

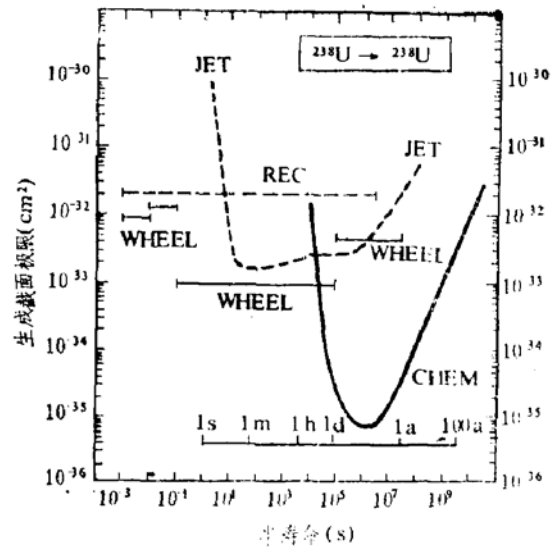


图5 用在两个相碰的²³⁸U核 (Z=92) 中转移大量质子和中子的方法生成超重元素的尝试。这种合成方法首先是在UNILAC上试验的。实验并没有形成超重元素的迹象。为了更定量的给出这些否定的结果，给出了作为超重核的假定半寿命函数的生成截面的上限。用化学方法所达到的极限为 10^{-35} cm²。这对应于大约在 10^{11} 的核碰撞中产生少于一个的存活的超重核，换句话说，在一整天的束流轰击下生成物少于一个原子。不同的曲线表示采用不同的探测技术。REC^[12]表示反冲出被轰击的靶子的反应产物注入到固态放射性探测器中的方法，JET^[13, 14]是指使用以快速流动的载体气体将反应产物传输到探测器系统的实验，WHEEL^[6]是指使用转动轮快速传输的实验，CHEM^[6]是指用三种不同的化学方法与从锕系元素的干扰中来分离超重元素的实验。在²³⁸U与²⁴⁸Cm (Z=96) 的碰撞中寻找超重元素中，使用了放射化学的方法，^[15]所得到的截面上限接近于图中标有CHEM的曲线所给出的值。

前的研究中为了克服假定的对熔合的障碍，使用了更高能量的⁴⁸Ca束流。可是最近关于熔合反应的系统研究表明，在位垒处就应该发生这些核的熔合^[20]。因此，UNILAC和贝利利的Super HILAC的科学家们合作用⁴⁸Ca轰击²⁴⁸Cm的熔合反应进行了生成超重元素的尝试。将弹核的能量降至接近以至低于相互作用位垒的值，其复盖的半寿命区延伸到更短的寿命值，用快的在线化学方法降至秒级，用速度过滤器SHIP可进一步降至微秒量级，

并未发现来自超重元素的自发裂变事件,但是,对位于一个对自发裂变事件高度灵敏的探测器中的样品的计数仍在继续之中。初步的数据检验得到的生成截面的上限表示在图6之中,同时也给出了以前的实验结果。

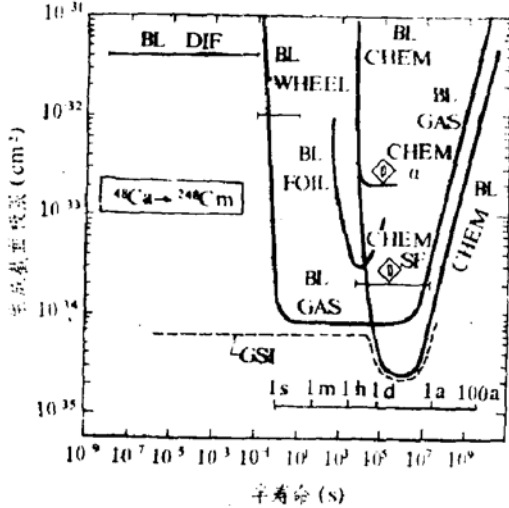


图6 用 ^{48}Ca ($Z=20$) 轰击 ^{248}Cm ($Z=96$) 的熔合反应生成超重核的尝试。数据的解释同图6。实线表示贝克利-利佛莫尔的早期实验 (BL)⁽¹⁸⁾, 和杜布纳的早期实验 (D)⁽¹⁹⁾。所用的方法是含水化学 ('chem'), 气相化学 ('gas'), 收集膜 ('foil'), 转动轮 ('wheel') 和飞行中的衰变 ('dif') 等技术。虚线表示在 UNIL-AC 和贝克利的 Super HILAC^(21, 22) 上的新近的实验得到的初步的截面上限。在这些实验中轰击能接近于相互作用位垒, 这低于以前的实验中所选用的值, 这是为了增加116号元素的存活几率, 为了复盖由 10^{-6} 至 10^3 s 的十三个数量级的半寿命区。实验中采用了新的物理的和化学的技术。

假如 ^{48}Ca 和 ^{248}Cm 的熔合再失败, (看来会这样) 人们可以考虑 ^{48}Ca 与更重的靶核 ^{284}Es ($Z=99$) 进行熔合, 而 ^{284}Es 则是最重的可以微量级生产的同位素。这种情况下, 熔合系统有119个质子和183个中子。虽然超过了质子壳层114, 但183非常最近于幻中子数184这一点可能是很重要的, 因为184的中子壳在假设中更比114的质子壳更强一些。可是现在还不清楚, ^{48}Ca 与 ^{284}Es 是否能在位垒处被熔合, 为了克服对熔合的障碍是否要求 ^{48}Ca 弹核要有一个动能的额外推动。假

如熔合的障碍很大, 则熔合带进的激发能会增大, 这样119号元素的存活几率就会变得非常之小。虽然由于靶有强烈的放射性而带来的重重困难, 估计在不久的将来无论如何会进行 ^{48}Ca 与 ^{284}Es 的熔合的尝试的。

参 考 文 献

1. G. Münzenberg, S. Hofmann, F. P. Hessberger, W. Reisdorf, K. H. Schmidt, J. R. H. Schneider, P. Armbruster, C. C. Sahm and B. Thuma, *Z. physik A300*, 107 (1981).
2. G. Münzenberg, P. Armbruster, F. P. Hessberger, S. Hofmann, K. Poppensieker, W. Reisdorf, J. H. R. Schneider, W. F. W. Schneider, K. H. Schmidt, C. C. Sahm and D. Vermeulen, *Z. physik A-309*, 89 (1982).
3. J. V. Kratz, *Radiochimica Acta* 32, 25 (1983).
4. P. Glässel, D. V. Harrach, Y. Civelekoglu, R. Männer, H. J. Specht, J. B. Wilhelmy, H. Freiesleben and K. D. Hildenbrand, *Phys. Rev. Lett.* 43, 1483 (1979).
5. K. D. Hildenbrand, H. Freiesleben, F. Pühlhofer, W. F. W. Schneider, R. Bock, D. V. Harrach and H. J. Specht, *Phys. Rev. Lett.* 39, 1065 (1977).
6. H. Jungclas, D. Hirdes, R. Brandt, P. Lemmertz, E. Georg and H. Wollnik, *Phys. Lett.* 79B, 58 (1978).
D. Hirdes, H. Jungclas, R. Brandt, P. Lemmertz, R. Fass and H. Wollnik, GSI Scientific Report 1978, GSI 79-11, p. 71.
7. D. C. Aumann, H. Faleschini, L. Friedmann and D. Weismann, *Phys. Lett.* 82B, 361 (1979).
8. M. Schädel, W. Brüchele, H. Gäggeler, J. V. Kratz, K. Sümmerer, G. Wirth, N. Greulich, U. Hickmann, P. Peuser, N. Trautmann, G. Herrmann, J. M,

- Nitschke, E. K. Hulet and R. W. Loughheed, GSI Scientific Report 1981, GSI 82-1, p. 68
9. M. Schädel, W. Brühlle, H. Guggeler, J. V. Kratz, K. Sämmerer, G. Wirth, G. Herrmann, R. Stakemann, G. Tittel, N. Trautmann, J. M. Nitschke, E. K. Hulet, R. W. Loughheed, R. L. Hahn and R. L. Ferguson, *Phys. Rev. Lett.* **46**, 852 (1982).
 10. T. Lund, D. Hirdes, H. Jungelas, D. Molzahn, P. Vater, R. Brandt, P. Lemmeritz, R. Fass, H. Wollnik and H. Guggeler, *Z. Physik A303*, 115(1981).
 11. E. K. Hulet, R. W. Loughheed, J. F. Wild, J. H. Landrum, P. C. Stevenson, A. Ghiorso, J. M. Nitschke, R. J. Otto, D. J. Morrissey, P. A. Baisden, B. F. Gavin, D. Lee, R. J. Silva, M. M. Fowler and G. T. Seaborg, *Phys. Rev. Lett.* **39**, 385 (1977). A. Ghiorso, J. M. Nitschke, M. J. Nurmi, R. E. Leber, L. P. Sommerville and S. Yashita, Lawrence Berkeley Lab. Report LBL 6575, p. 242 (1977).
L. D. Illige, E. K. Hulet, J. M. Nitschke, R. J. Dougan, R. W. Loughheed, A. Ghiorso and J. H. Landrum, *Phys. Lett.* **78B**, 209 (1978).
R. J. Otto, D. J. Morrissey, D. Lee, A. Ghiorso, J. M. Nitschke, G. T. Seaborg, M. M. Fowler and R. J. Silva, *J. Inorg. Nucl. Chem.* **40**, 589(1978).
 12. Yu. Ts. Oganessian, H. Bruchertseifer, G. V. Buklanov, V. I. Chepikin, Choy Val Sek, B. Eichler, K. A. Gavrilov, H. Gaggeler, Yu. S. Korotkin, O. A. Orlova, T. Reetz, W. Seidel, G. M. Terakopyan, S. P. Tretyakova and I. Zvera, *Nucl. Phys. A294*, 213(1978).
 13. S. Bjornholm and W. J. Swiatecki, *Nucl. Phys. A391*, 471 (1982).
 14. H. Gaggeler, W. Brühlle, M. Brügger, M. Schädel, K. Sämmerer, G. Wirth, A. Ghiorso, K. E. Gregorich, D. Lee, K. J. Moody, G. T. Seaborg, R. B. Welch, P. Wilmarth, G. Herrmann, J. V. Kratz, N. Trautmann, N. Hildebrand, U. Hickmann, C. Frink, N. Greulich, D. C. Hoffman, M. M. Fowler and H. R. von Gunten, GSI Scientific Report 1982, GSI 83-1, p. 69, and further unpublished data.
 15. Y. K. Agarwal, P. Armbruster, J. P. Dufour, A. Ghiorso, S. Hofmann, F. P. Hessberger, M. Leino, P. Lemmeritz, K. J. Moody, G. Münzenberg, K. Poppenzieker, W. Reisdorf, K. H. Schmidt, J. R. H. Schneider, W. F. W. Schneider, D. Vermeulen and S. Yashita, unpublished data of the GSI Darmstadt-LBL Berkeley Collaboration (1982/3).
 16. G. Münzenberg et al. *Z. Physik A317*, 235 (1984).
(诸永泰译自Interdisciplinary Science Reviews, VOL. 9, NO. 4, 1984 315—320)