

中子诱发铀裂变 ^{235}U 一种新型的核反应

L. 迈特纳

(科学院物理研究所, 斯德哥尔摩)

O. R. 弗里希

(哥本哈根大学理论物理研究所)

孟 杰 译

在用中子轰击铀的反应中, 费米及其同事^[1]发现至少产生了 4 种放射性物质, 其中 2 种的原子数被认为是大于 92。进一步的研究证实^[2], 反应物中至少存在 9 个放射性周期。为了解释它们的化学行为及其遗传关系, 其中 6 个必须假定为同质异能态。

在进行化学确认时, 由于仅知道原子核只发射带有 1 或 2 个电荷的粒子, 所以总是假定这些放射性物质的原子数与被轰击元素的原子数相近。例如, 与钷有类似性质的放射性物质被认定为类钷 ($Z = 94$), 而不是钷 ($Z = 76$) 或钒 ($Z = 44$)。

延续居里(Curie)和萨维奇(Savitch)的观测^[3], 哈恩(Hahn)和斯特拉斯曼(Strassmann)发现^[4]用中子轰击铀所形成的放射性物质中, 至少有 3 个的化学性质与钡相近, 因此它们被推测是镭的同位素。但是, 进一步的研究表明^[5], 尽管新钷(镭的同位素)很容易在同一实验中分离, 却根本无法将这些新发现的放射性物质与钡分离开来, 所以哈恩和斯特拉斯曼不得不认为: 中子轰击铀 ($Z = 92$) 产生了钡的同位素 ($Z = 56$)。

初看起来, 这个结果好像很难理解。只要化学证据不能够被全部排除, 以前也曾考虑过会有原子数低于铀的元素形成, 但是由于物理上的原因, 这些想法总是被否决。伽莫夫(Gamov)的 α 衰变理论表明: 库仑位垒 0 的小穿透几率可以排除短时间内发射大量带电粒子的可能。

然而, 根据目前对重核行为的理解^[6], 这些新的分裂过程提出了一个截然不同但基本上仍是经典的图像。由于重核中的粒子的紧密结合及强的能量交换, 它们将类似液滴一样以集体的方式运动。如果增加的能量使得运动足够剧烈, 这样的液滴会分裂为 2 个更小的液滴。

在原子核形变所涉及的能量讨论中, 使用了核物质表面张力的概念^[7], 它的大小可通过对核力的简单考虑进行估算。但是必须记住, 带电液滴的表面张力随电荷的增加而减小。粗略估算表明, 随着电荷的增加, 原子核的表面张力减小, 在原子数为 100 的量级时, 该张力约等于零。

这样看来, 铀原子核的稳定性可能较小, 俘获中子后, 它可以自动分裂成大小相当的 2 个原子核(2 个原子核大小的精确比值取决于精细结构特征或部分取决于某种偶然性)。从原子

核的半径和电荷可以计算出,这2个原子核将会相互排斥,获得约为200 MeV的总动能。该值实际上可以期待从铀元素和在周期表中间的元素结合紧致程度的差别而得到。因此,整个裂变过程可以用经典方法描述,而不需要考虑量子力学的隧道效应⁰。在考虑较大质量的原子核时,这种隧道效应⁰非常之小。

分裂之后,高中子质子比的铀将通过 β 衰变重新调节,以适应较轻元素中较小的中子/质子比。或许各部分将由此而引起一系列的分裂。如果其中一部分是钡的同位素^[5],其他部分则是氪($Z=92-56$),它将通过铷、锶和钇衰变到锆。有可能所假定的1或2个钡(镭)铀衰变链实际上将是锶(钇)锆衰变链。

指定为比铀重的那些周期事实上有可能^[5],对我们来说是相当可能,来自于轻核素。从化学证据来看,目前指定为铀239的2个短周期(10 s和40 s)可能是镅同位素($Z=43$)通过钷、铈、铀和银到钷的衰变。

在所有这些情况里,或许没有必要假定核的同质异能态;因为可以分配不同的中子数进入到铀原子核的2个部分,所以属于同一化学元素的不同放射性周期可能产生于该元素的不同同位素。

用中子撞击钍,可以得到指定为镭和镭同位素的事件^[8]。其中的一些放射性周期与轰击铀后得到的钡和镭同位素的周期大致相同^[5]。因此,我们建议这些周期来自于与铀相类似的钍的裂变⁰,并产生了部分相同的产物。当然,如果能用轻的元素获得这些产物中的一种,例如,通过中子俘获,将非常有意义。

应该注意的是,化学鉴定为铀,半衰期为24 min^[2]的放射性物质,有可能是铀239。它可以转变为一种不活泼但会缓慢衰变的类铯,可能会伴有 α 粒子的发射(从对自然衰变元素的考察,铀239不可能有多于1个或2个的 β 衰变,而观察到的长衰变链常常使我们困惑)。该放射性物质的形成是一个典型的共振过程^[9];复合态的寿命必须比原子核自发裂变的寿命长100万倍。或许,复合态对应着核物质的某种高对称型的运动,从而不会导致原子核的裂变⁰。

- 1 Femi E., Amaldi F., d Agostino O., Rasetti F., and Segr E. Proc. Roy. Soc., A., 146, 483 (1934).
- 2 See Meitner L., Hahn O., and Strassmann F., Z. Phys., 106, 249 (1937).
- 3 Curie I., and Savitch P., C. R., 206, 906, 1643 (1938).
- 4 Hahn O., and Strassmann F., Naturwiss., 26, 756 (1938).
- 5 Hahn O., and Strassmann F., Naturwiss., 27, 11 (1939).
- 6 Bohr N., Nature, 137, 344, 351 (1936).
- 7 Bohr N., and Kalckar F., Kgl. Danske Vid. Selskab, Math. Phys. Medd., 14, Nr. 10 (1937).
- 8 See Meitner L., Strassmann F., and Hahn O., Z. Phys., 109, 538 (1938).
- 9 Bethe A. H., and Placzek G., Phys. Rev., 51, 450 (1937).

Nature 143, 239) 240; 1939

评 述

孟 杰 吕洪凤

核裂变是指一个重核自发地或者通过中子、光子、带电粒子或重离子打进原子核诱发而产生的核反应,使这个核分裂成两个质量相当的碎片。由于量子力学的成功,当时把中子轰击铀的反应与隧道效应联系起来考虑,库仑位垒的小穿透几率被认为可以排除短时间内发射大量带电粒子的可能。直到哈恩(Hahn)和斯特拉斯曼(Strassmann)于 1938 至 1939 年间在反应产物中发现了钡同位素,才不得不认为:中子轰击铀($Z=92$)产生了钡的同位素($Z=56$)。

迈特纳(Meitner)和弗里希(Frisch)提出了一个全新但仍然是经典的图像,对此进行了解释,并借用生物学上细胞分裂的概念,把这种现象称为裂变。由于这是一个大胆的想法,所以在 Meitner 和 Frisch 的论文中,用了大量的可能和或许。正是这样一篇文章,开辟了原子核研究的一个重要应用领域,宣告了人类有可能从自然界获取的一种划时代的新能源,即核能的诞生。1942 年实现了链式反应,使核能的利用成为实际可能。1945 年人类首次成功爆炸了第一颗原子弹,从而使得人类的大劫难))) 第二次世界大战得以早日结束。1956 年实验性核电站的建立,实现了核能的和平利用。20 世纪 70 年代核电站进入了商业运行阶段。目前,核能成为经济建设和社会发展所必需的重要能源之一。

今天,当我们重读这篇文献,我们为文中出现的大量或许、可能而震撼,我们不得不崇敬物理学曾有过的淳朴学风。这篇文章的影响和意义是无庸质疑的,但文中却没有现在国内乃至国际因炒作而大量充斥着的首次发现、首次提出、国际一流、国际先进等词句。重读这篇文章,不仅让我们重温核物理曾经激动人心的辉煌成就,更希望有助于抑制或纠正学术界存在的一些浮躁和浮夸。