

790 MeV ^{136}Xe 轰击 ^{56}Fe 靶时产生的 丰中子同位素 ^{54}Ti , ^{56}V , ^{57}V , ^{58}Cr

沈文庆*, D. Schüll, H**, Freiesleben**, F. Busch**,
D. Bangert****, F. Pühlhofer****

摘 要

用 790 MeV ^{136}Xe 轰击 ^{56}Fe 靶, 测量了类靶碎片的质量数和原子序数. 探测且鉴定了四个丰中子同位素 ^{54}Ti , ^{56}V , ^{57}V , ^{58}Cr . 同时提供了 ^{55}Ti , ^{58}V , ^{59}Cr 存在的可能性. 使用西德重离子研究中心的磁谱仪和磁分析一起进行了飞行时间和 $\Delta E-E$ 测量, 同位素鉴定是可靠的.

最近几年来人们已对重离子引起的深度非弹性反应作了广泛的研究. 在实验上已经发现, 在反应的早期阶段, N/Z 已经达到了平衡, 此时碎片的角分布在擦边角附近成峰^[1-4]. 因此在靶和人射粒子的 N/Z 值相差很大时, 轻产物倾向于丰中子, 而重产物倾向于缺中子. 在 1971 年人们用 290 MeV 的 ^{40}Ar 轰击 ^{232}Th , 采用这一很有希望产生丰中子同位素的方法发现了在 Mg 到 Cl 区域的 17 个新核素^[5]. 以后另外两个组进行了新的尝试^[6,7]. 在此期间对深度非弹性散射的反应机制有了更好的了解. 大家已经知道最终的质量分布和电荷分布是经过两个过程后产生的: 首先 N/Z 自由度被弛豫并达到平衡; 然后初级碎片通过发射粒子 (α , p , n ...) 及 γ 退激发. 文献 [6] 指出, 通过这种方法产生新的轻丰中子核素的基本条件为: 1) 选择碰撞对中的重核要有高的 N/Z 值; 2) 跟随的蒸发将使核反应中得到的轻碎片的高 N/Z 值减小, 为了尽量减小这种效应, 应选择较低的轰击能. 但为了增加入射粒子和靶核的作用时间, 以利于高质量核素的产生, 入射能选得稍高一些有利. 综合这两个因素, 可能选择略比相互作用位垒高一些的轰击能较为合适, 例如 E_{cm}/B 约 1.5 (E_{cm} 和 B 分别是质心系中的入射能和库仑位垒); 3) 探测角取在擦边角附近, 这里碎片的角分布有极大值. 当然为了准确地鉴定新的丰中子核素, 在实验中需要好的 Z 和质量分辨.

本文中我们将报道几个丰中子核素 ^{54}Ti , ^{56}V , ^{57}V , ^{58}Cr 的鉴定及丰中子核素 ^{55}Ti , ^{58}V , ^{59}Cr 存在的可能性. 在实验中我们使用西德重离子研究中心的磁谱仪^[8], 获得了质量数和核电荷数的无疑义的鉴定. 1980 年在文献 [6] 中用 340 MeV 的 $^{40}\text{Ar} + ^{238}\text{U}$ 已经首次观

本文 1981 年 10 月 26 日收到.

* 中国科学院兰州近代物理研究所.

** 西德重离子研究中心, 达姆施塔德.

*** 西德鲁尔大学, 玻洪.

**** 西德马堡大学, 马堡.

察到 ^{54}Ti , ^{55}Ti , ^{56}V , $^{58,59}\text{Cr}$ 的存在. 对几种新的丰中子同位素, 本文报道的实验提供了新的证据和数据.

实验是在西德重离子研究中心的 UNILAC 加速器上进行的. 用 790MeV ^{136}Xe 离子轰击 $^{65}\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 自支衬 ^{56}Fe 靶. E_{cm}/B 为 1.47. 磁谱仪调在低动量色散的情况下, 测量了出射的类铁碎片, 在整个聚焦平面上可测到最可几电荷态附近 3—4 个电荷态的 $B\rho$ 谱. 在擦边角附近从 56° — 64° 以 2° 为步长的 5 个角度, 测量了类铁碎片. 焦平面探测器是收集电极分成三块的电离室 (ΔE_1 , ΔE_2 , E_R), 位置讯号是由该电离室内附加的正比丝给出的. 从 ΔE - E 讯号可得到较好的 2 分辨 ($Z/\Delta Z \approx 75$). 碎片通过磁谱仪的飞行时间是由磁谱仪的入口处的位置灵敏电子通道板加上碳箔给出起始讯号(时间分辨 150—200ps, 位置分辨 1.3mm), 电离室前面的大面积闪烁箔加上光电倍增管给出终止讯号(时间分辨 500ps)而实现的^[9].

若电离室测到的能量为 E , 测到的飞行时间为 T , 正比丝测出粒子打在焦平面上位置为 x , 位置灵敏的起始探测器测到的人射角为 θ , 则电荷态 Q 为:

$$Q = \frac{2E \cdot T}{B\rho(x, \theta) \cdot S(x, \theta)}$$

式中 S 是飞行路程, 用软件在计算机离线处理数据时对不同入射角 θ 和不同能量的出射粒子在磁谱仪中所走轨迹不同引起的路程不同进行修正. 从测到的粒子打在焦平面上的位置 x , 用 θ 进行运动学修正和磁谱仪非线性色散修正后导出 $B\rho$. 修正后可达到的分辨为 $dB\rho/B\rho = 0.5 \times 10^{-3}$, $dS/S = 1.0 \times 10^{-3}$. 质量数 A 为:

$$A = \frac{B\rho(x, \theta) \cdot T \cdot Q}{S(x, \theta)}$$

可见质量分辨主要是由飞行时间分辨决定的. 飞行路程为 6.4 米, 时间分辨 500ps (主要是由给出停止讯号的大面积闪烁箔造成的). 对 790MeV $^{136}\text{Xe} + ^{56}\text{Fe}$ 反应, 类弹碎片的质量分辨 A/dA 约为 400, 对反冲核(类靶碎片)的质量分辨 A/dA 约为 250.

图 1, 2, 3 中分别给出了 $^{136}\text{Xe} + ^{56}\text{Fe}$ 系统累加了 5 个角度 (56° , 58° , 60° , 62° , 64°) 的 Z 为 22, 23, 24 的质量分布. 箭头给出了新的丰中子核素. 为了避免在鉴定新的核素中可能出现的含糊性, 采用了一些消除不太确定的事件的方法. 虽然我们得到了很好的 Z 分辨, 但为了减小可能从相邻高 Z 核素来的相同 A 的事件, 采用了较小的 Z 窗 (± 0.4 个电荷单位). 新的丰中子核素的存在也可从图 4 中看出, 在该图中画出了 $A=58$ 的事件的核电荷数分布. Cr^{58} , V^{58} , 可准确地分出来. 说明由于错误的 Z 鉴定引起不同核素 Cr^{58} , V^{58} , Mn^{58} 混杂的可能性不大. 图 1—3 中的谱是累加了所有测量电荷态的结果. 在我们的数据中电荷态的分布是非常好的. 图 5 中画出了在 60° 时弹性散射的电荷态分布. 对深度非弹中产生的核素, 电荷态分辨稍差一些, 但是还可以得到可靠的鉴别. 为了进一步减小错误的电荷态鉴定, 从而造成错误的质量鉴定, 我们也使用了较小的电荷态窗 (± 0.4 个电荷态单位). 根据对产生新的丰中子核素的机制的理解, 它们主要来自部分阻尼和全阻尼的事件, 因此采用了仅取出部分阻尼和全阻尼部分的能量窗来减小可能的准弹产物的沾污. 在所有这些处理以后, 图 1—3 显示了新的丰中子核素 ^{54}Ti , ^{56}V , ^{58}V , ^{58}Cr 的无疑义的鉴定, 它们的计数都大于 10 个. 同时也可看到 ^{55}Ti , ^{58}V , ^{59}Cr 存在的

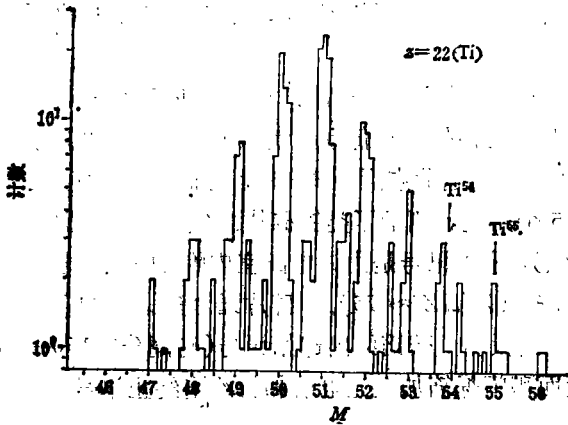


图 1 $Z = 22$ (元素 Ti) 的对五个测量角度累加后的质量分布。箭头标明了预期的新同位素。该谱是用小的核电荷窗 ($\Delta Z = \pm 0.4$ 核电荷单位), 及小的电荷态窗 ($\Delta Q = \pm 0.4$ 电荷态单位) 后得到的。

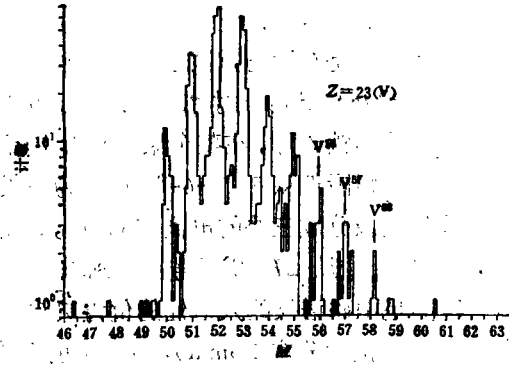


图 2 同图 1, 但是对 $Z = 23$ (元素 V) 的质量分布。

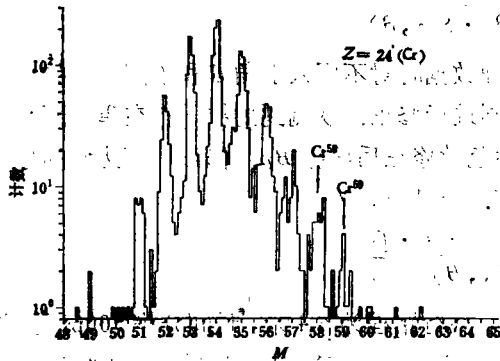


图 3 同图 1, 但是对 $Z = 24$ (元素 Cr) 的质量分布。

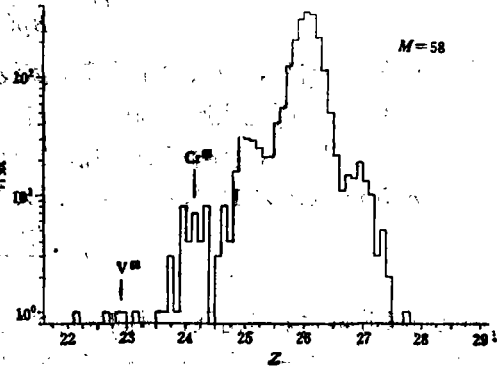


图 4 质量数为 58 时的核电荷分布谱。所加的质量窗为 ± 0.4 质量单位。

可能性, 虽然统计较差, 计数小于 10 个, 但是由于有很好的质量分辨和 Z 分辨, 确实可看到它们是可能存在的。

表 1 列出了在该实验中鉴定的新的核素, 对 5 个角度累加的总计数及估计产生截面。

表 1

核素	^{54}Ti	^{55}Ti	^{56}V	^{57}V	^{58}V	^{58}Cr	^{59}Cr
计数	41	6	23	14	4	41	8
截面 (mb)	1.71	0.87	3.8	2.5	0.6	6.7	1.2

截面是用同时测到的弹性散射来归一的, 测量角分布的角度范围 $56^\circ - 64^\circ$ 已经覆盖了角分布峰的大部分, 从而推断这个角度范围覆盖了新同位素的角分布的大部分, 实验的弹性散射和 ^{56}Fe 附近的一些核素的电荷态分布表明: 1) 电荷态分布是高斯型的; 2) 电荷态分布的宽度近似于一常数; 3) 电荷态分布的中心值可用 Beth 公式^[10]给出的值再加上一个常数来近似。根据这些结论进行的计算表明新核素的 3—4 个主要电荷态在聚焦平面内, 它们包含了 80% 以上的事件, 因此电荷态修正可以忽略, 表 1 中所列的截面可

认为在因子 2—3 内是正确的。

最后我们可总结如下: 本实验证明了四个新丰中子核素 ^{54}Ti , ^{56}V , ^{57}V , ^{58}Cr 的存在, 并给出了存在 ^{55}Ti , ^{58}V , ^{59}Cr 的暗示。产生这些核素的截面的量级是 0.5—5mb, 这清楚地表明了重离子引起的深度非弹性反应是产生轻的丰中子同位素的有力工具。磁谱仪中飞行距离约 6.4 米, 飞行时间约 200ns—300ns, 这表明这些新的丰中子核素的寿命要比这个时间长, 至少具有相同数量级。这些数据可能是对这些新丰中子核素的衰变性质进行进一步研究的有用资料。

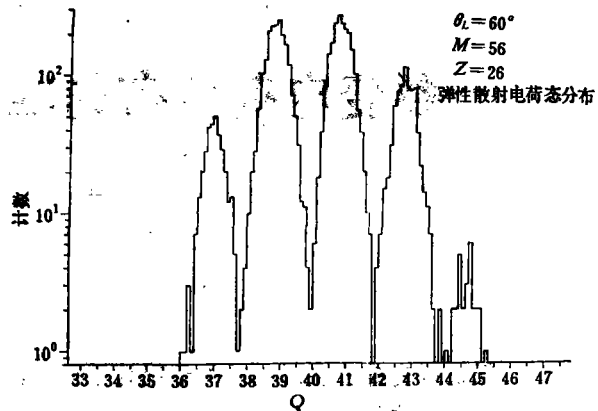


图 5 实验室角度为 60° , 弹性散射的反冲 ^{56}Fe 的电荷态分布。

参 考 文 献

- [1] Z. Physik, A273(1975), 65; Nuclear Physics, A253(1975), 511.
- [2] J. Poitou, J. V. Kratz et al., Will be Published.
- [3] Nuclear Physics, A299(1978), 147.
- [4] D. Schüll, W. G. Shen, H. Freiesleben et al., will be published.
- [5] Nuclear Physics, A176(1971), 284.
- [6] Z. Physik, A289(1979), 255; Z. Physik, A295(1980), 105.
- [7] H. Breuer et al., ORO-5172-0017.
- [8] D. Schüll et al., will be published.
- [9] Nuclear Instrument and Methods, 171(1980), 71.
- [10] Physical Letter, U22 No. 5(1966), 643.

NEUTRON RICH ISOTOPES ^{54}Ti , ^{56}V , ^{57}V , ^{58}Cr PRODUCED IN BOMBARDMENT OF ^{56}Fe TARGET WITH 790 MeV ^{136}Xe IONS

SHEN WEN-QING

D. SCHÜLL

(Institute of Modern Physics, Academia Sinica) (Gesellschaft für Schwerionenforschung, Darmstadt)

H. FREIESLEBEN

F. BUSCH, D. BANGERT, F. PÜHLHOFER

(Institut für Experimental Physik, Ruhr Universität) (Fachbereich Physik, Universität Marburg)

ABSTRACT

Atomic number and masses have been identified for target-like fragments produced in bombardment of ^{56}Fe target with 790 MeV ^{136}Xe ions. Four neutron rich isotopes ^{54}Ti , ^{56}V , ^{57}V and ^{58}Cr have been detected and identified. Tentative identification for ^{55}Ti , ^{58}V , ^{59}Cr is also presented. Using GSI magnet spectrometer, the isotope identification combined magnetic analysis as well as time of flight and $\Delta E-E$ measurement was quite unambiguous.