

КЛАСТЕРНЫЙ РАСПАД  $^{236}\text{U}$ 

С.П.Третьякова, В.Л.Михеев, А.А.Оглоблин\*, В.А.Шигин\*,  
В.А.Пономаренко, А.Н.Головченко

Объединенный институт ядерных исследований  
141980 Дубна, Московская обл. Россия

\* Российский научный центр "Курчатовский институт"  
123182 Москва, Россия

Поступила в редакцию 18 января 1994 г.

За 390 суток измерений с помощью твердотельных трековых детекторов зарегистрировано 6 треков Mg. Вероятность этого канала распада  $^{236}\text{U}$  по отношению к  $\alpha$ -распаду составляет  $\sim 2 \cdot 10^{-13}$ , а парциальный период полураспада  $\sim 1,2 \cdot 10^{20}$  лет.

Каждый новый случай наблюдения кластерного распада является существенным дополнением к имеющимся данным [1]. Особенно ценным представляется изучение кластерного распада изотопов одного и того же элемента, поскольку при этом могут быть выявлены эффекты оболочек и деформаций, ярко проявляющиеся в  $\alpha$ -распаде и спонтанном делении [2]. В соответствии с этим нами проведены эксперименты по поиску кластерного распада  $^{236}\text{U}$ . До постановки настоящей работы был зарегистрирован кластерный распад  $^{232,233,234}\text{U}$ , а для  $^{235,236}\text{U}$  были получены нижние границы периодов полураспада [1, 3-7].

Регистрация кластеров проводилась с помощью хорошо отработанной методики твердотельных трековых детекторов [1,8]. Мы располагали 1296 мг урана (в расчете на металл) в виде 40 радиоактивных источников, каждый из которых представлял собой слой  $\text{U}_3\text{O}_8$  толщиной 4,25 мг/см<sup>2</sup> и размером 3×3 см<sup>2</sup> на алюминиевой подложке толщиной 0,2 мм. Изотопный состав источника был следующий:

$$^{234}\text{U} < 0,001\%, \quad ^{235}\text{U} < 0,047\%, \quad ^{236}\text{U} - 99,845\%, \quad ^{238}\text{U} - 0,107\%.$$

В качестве трекового детектора использовался полиэтилентерефталат (лавсан) толщиной 200 мкм. Калибровка детекторов, необходимая для идентификации треков, была проведена на пучках  $^{20}\text{Ne}$ ,  $^{24}\text{Mg}$ ,  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{28}\text{Si}$  с энергией 0,5–3,0 МэВ/нуклон, ускоренных на циклотроне У-400 Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н.Флерова ОИЯИ. Детекторы находились в контакте с веществом источника в течение 390 суток. Методика измерения параметров треков при проведении травления в несколько временных этапов [1,8] позволяет надежно определять атомный номер частицы, образовавшей трек, но обладает малой чувствительностью к величине массового числа  $A$  (точность  $\sim \pm 1$ ). Однако при определении массового числа кластера с достаточной надежностью можно опираться на значение величины энергетического баланса  $Q$ . Поскольку кластерный распад – глубокоподбарьерный процесс, с наибольшей вероятностью испускается изотоп, соответствующий наибольшей величине  $Q$ . В случае кластерного распада  $^{236}\text{U}$  наиболее выгодные значения  $Q$  соответствуют  $^{30}\text{Mg}$  [9,10].

На детекторах было обнаружено 6 треков магния с пробегом в лавсане 13 – 21 мкм. В соответствии с кривыми пробег–энергия [11] это соответствует

энергии  $^{30}\text{Mg}$  24–45 МэВ. Эти величины энергий лежат в ожидаемом диапазоне для двухтельного распада  $^{236}\text{U} \rightarrow ^{30}\text{Mg}$  с  $Q = 72,5$  МэВ с учетом толщины источников, которыми мы располагали.

Эффективность регистрации кластеров в наших опытах составляла 0,3 от  $4\pi$ . Соответственно, полученные нами данные приводят к вероятности кластерного распада  $^{236}\text{U}$  с вылетом  $\text{Mg} \sim 2 \cdot 10^{-13}$  относительно  $\alpha$ -распада и парциальному периоду полураспада  $\sim 1,2 \cdot 10^{20}$  лет. Наблюдаемый эффект находится на уровне  $\sim 20$  раз ниже границы, установленной в работе [7]. Наиболее опасным источником фона является выбивание ядер отдачи с атомным номером  $Z \geq 12$  из легких примесей в веществе наших источников осколками спонтанного деления  $^{236}\text{U}$  (их общее число за все время экспозиции  $\sim 1 \cdot 10^5$ ). Согласно сертификату качества наших источников содержание примесей от Na до Si не превышает 0,01%. Для объяснения наблюдаемого эффекта в источнике их должно быть  $\sim 1\%$ . Режим травления детекторов был подобран таким образом, чтобы выявлялись лишь треки, образованные частицами с  $Z \geq 10$ . При этом исключалась регистрация ядер отдачи кислорода, образованных осколками деления в слое  $\text{U}_3\text{O}_8$  и материале детектора.

Регистрация ядер отдачи из подложки исключалась за счет кинематического предельного угла рассеяния осколков деления на частицах меньшей массы и достаточно толстого слоя  $\text{U}_3\text{O}_8$ . Лишь в области поверхности детекторов, соответствующей геометрическим границам слоя  $\text{U}_3\text{O}_8$  на алюминиевых подложках, мы обнаружили 5 треков, параметры которых соответствовали  $Z = 13$ . Мы полагаем, что наиболее вероятным является их образование за счет ядер отдачи из алюминиевой подложки.

Следует отметить, что благодаря низкому содержанию  $^{234}\text{U}$  в наших источниках вклад кластерного распада этого изотопа в наблюдаемый нами эффект не превышает 0,1%. Высокое изотопное содержание  $^{236}\text{U}$  исключает вклад в наблюдаемый эффект и от  $^{235},^{238}\text{U}$  в соответствии с измеренной границей вероятности кластерного распада  $^{235}\text{U}$  [7] и теоретическими оценками вероятности кластерного распада  $^{236}\text{U}$  [9,12]. Для  $^{238}\text{U}$  все оценки дают вероятность кластерного распада не выше, чем для  $^{236}\text{U}$ . Кроме того, наиболее вероятным испускаемым кластером должен быть Si, а не Mg. При общем числе зарегистрированных осколков деления  $1 \cdot 10^5$  вероятность регистрации даже одного трека Mg, образовавшегося в тройном делении, не превышает 0,01 [13].

Полученное нами значение парциального периода полураспада  $^{236}\text{U}$  с вылетом Mg представлено на полуэмпирической систематике типа Гейгера – Неттолла [14] (см. рис.1). С точки зрения величин спектроскопических факторов [12] в этой систематике точки для распадов с образованием  $^{30}\text{Mg}$  должны располагаться несколько выше прямой, связывающей точки для распадов с образованием  $^{28}\text{Mg}$ . Полученное нами значение парциального периода полураспада для  $^{236}\text{U}$  примерно на порядок меньше ожидаемого из систематики на рис.1, хотя, конечно, точность этой систематики невелика. Что касается теоретических предсказаний [9,12], то они также дают ожидаемые периоды полураспада на 1–2 порядка больше.

Общая тенденция изменения периодов кластерного распада четно-четных изотопов урана оказывается похожей на поведение периодов  $\alpha$ -распада и спонтанного деления в эмпирической систематике, представленной на рис.2. При  $N = 142$  происходит некое отклонение периодов полураспада от линейной экстраполяции, к которой оказываются близкими предсказания из работ [9,12].

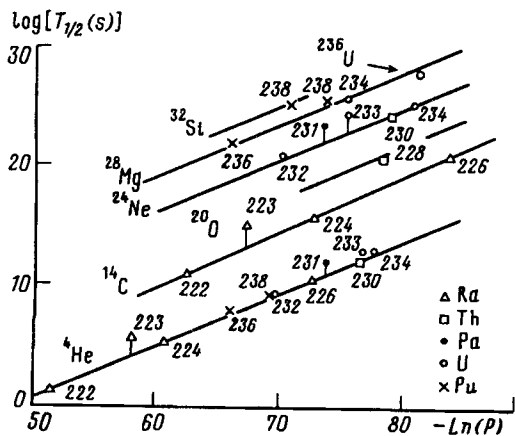


Рис.1

Рис.1. Зависимость десятичного логарифма частичного периода полураспада от натурального логарифма проницаемости кулоновского потенциального барьера  $P$  для эмиссии He, C, Ne, Mg и Si изотопами Ra, Th, Pu, U. Процедура вычисления величины проницаемости та же, что и в работе [14]

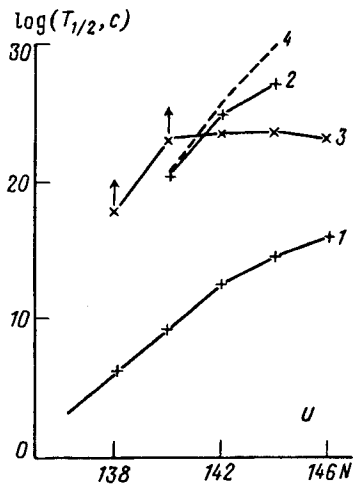


Рис.2

Рис.2. Зависимость частичных периодов полураспада для эмиссии  $\alpha$ -частиц (1), кластеров (2) и спонтанного деления (3) четно-четных изотопов урана от числа нейтронов ( $N$ ) в исходном изотопе. Пунктиром (4) даны оценки частичных периодов кластерного распада согласно [9,12]. Для спонтанного деления  $^{232}\text{U}$  использованы данные [6]

В случае  $\alpha$ -распада и спонтанного деления это находит объяснение при учете влияния эффектов оболочек и деформаций как на величины  $Q$ , так и на форму выходных потенциальных барьеров [2]. Полученные нами данные по  $^{236}\text{U}$  могут служить указанием на необходимость учета такого рода эффектов и в теории кластерного распада.

Настоящая работа выполнена при поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований (грант №93-02-37-19).

1. Ю.С.Замятнин, В.Л.Михеев, С.П.Третьякова и др., ЭЧАЯ **21**, в.2, 537 (1990).
2. Z.Patyk, A.Sobiczewski, P.Armbruster, and K.-H.Schmidt, Nucl. Phys. A**491**, 267 (1989).
3. S.W.Barwick, P.B.Price, and J.D.Stevenson, Phys. Rev. C**31**, 1984 (1985).
4. С.П.Третьякова, А.Сэндулеску, Ю.С.Замятнин и др., Краткие сообщения ОИЯИ №7-85, 23 (1985).
5. P.B.Price, K.J.Moody, E.K.Hulet et al., Phys. Rev. C**43**, 1781 (1991).
6. R.Bonetty, C.Chiesa, A.Güglielmetty et al., Phys. Rev. C**44**, 888 (1991).
7. S.P.Tretyakova, Yu.S.Zamyatnin, V.N.Kovantsev et al., Zeitschrift für Physik A**333**, 349 (1989).
8. С.П.Третьякова, ЭЧАЯ **23**, в.2, 364 (1992).
9. D.N.Poenaru, D.Schnabel, W.Greiner et al., Atomic Data and Nucl. Data Tabl. **48**, 231 (1991).
10. P.E.Haustein (Ed.), Atomic Data and Nucl. Data Tabl. **39**, 185 - 393 (1988).
11. L.C.Northcliffe and R.F.Schilling, Nucl. Data Tabl. **7**, No3, 233 (1970).
12. R.Blendowski and H.Walliser, Phys. Rev. Lett. **61**, 1930 (1988).
13. A.A.Vorobyov, D.M.Seleverstov, V.T.Grachov et al., Phys. Lett. B**40**, 102 (1972).
14. A.A.Ogloblin, N.I.Venikov, S.K.Lisin et al., Phys. Lett. **235B**, 35 (1990).