

## ОБНАРУЖЕНИЕ АСИММЕТРИЧНОГО ДЕЛЕНИЯ $^{213}\text{At}$ В РЕАКЦИИ $^{209}\text{Bi} (\alpha, f)$

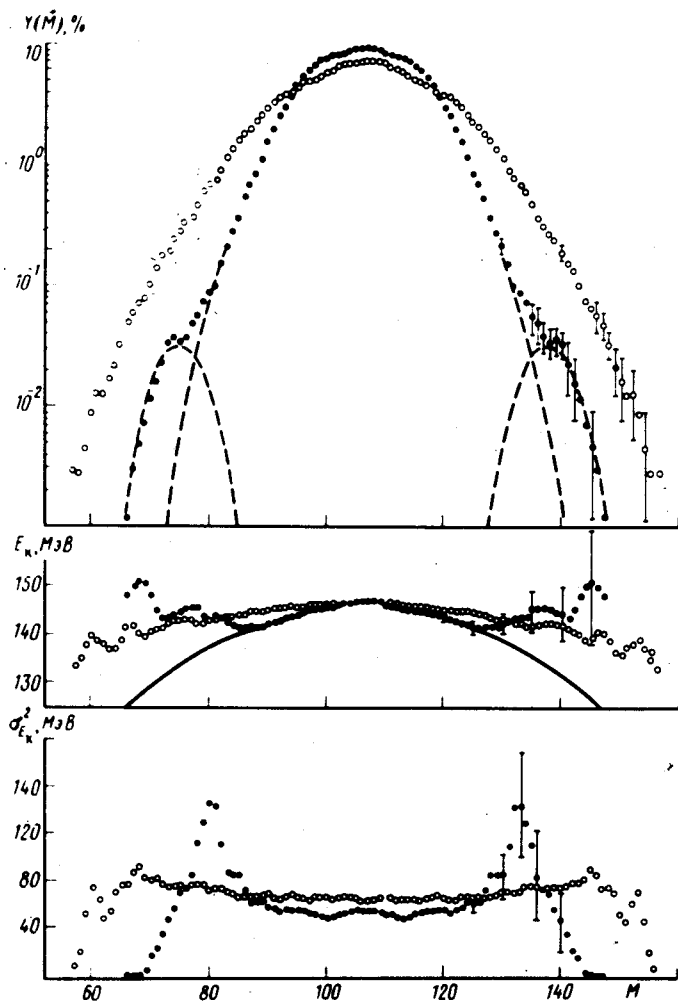
*Е.Н.Грузинцев, М.Г.Иткис, В.Н.Околович, А.Я.Русанов,  
Г.Н.Смиренкин, В.Н.Толстиков*

Установлено, что распределение масс осколков при делении ядра  $^{213}\text{At}$   $\alpha$ -частицами с энергией 36 МэВ имеет форму колокола  $Y_s(M)$  с отчетливо выраженной примесью асимметричной компоненты  $Y_a(M)$ , для которой отношение выходов в максимумах  $Y_s^{max} / Y_a^{max} \cong 2,5 \cdot 10^2$ . Новый тип деления доактинидных ядер обладает рядом характерных свойств асимметричного деления тяжелых ядер.

На основе многочисленных экспериментальных данных сложилась точка зрения, что тяжелые ядра при низких энергиях возбуждения делятся преимущественно асимметрично, а ядра легче Ra — по симметричному способу, который при значительных возбуждениях становится преобладающим для всей совокупности исследованных ядер. Экспериментальная информация об асимметричном типе деления обрывается на ради  $Z = 88$ , так как группа более легких ядер  $Z = 84 - 87$  недоступна для изучения процесса деления из-за их нестабильности. Были попытки обнаружить асимметричную компоненту в распределении масс осколков де-

ления  $^{209}\text{Bi}$  (самого тяжелого из стабильных доактинидных элементов) заряженными частицами, но они успеха не имели<sup>1-4</sup>.

В последнее время с помощью полупроводниковых счетчиков на изохронном циклотроне ИЯФ АН Каз. ССР проводились измерения распределений масс  $Y(M)$  и кинетических энергий  $Y(E_K)$  осколков деления ядер заряженными частицами. Было замечено, что в реакциях  $(\alpha, f)$  на свинце и висмуте при энергии  $E_\alpha \leq 40$  МэВ в районе сильно асимметричного отношения масс осколков  $M_T / M_L = 1,8 - 2,0$  систематически наблюдались заметные нерегулярности в зависимости  $E_K$  и ее дисперсии  $\sigma_{E_K}^2$  от массы осколка. Подобные эффекты в  $E_K(M)$  и  $\sigma_{E_K}^2$  наблюдались и в работах<sup>5,6</sup>.



Выходы масс  $Y(M)$ , кинетическая энергия осколков  $E_K$  и ее дисперсия  $\sigma_{E_K}^2$  в зависимости от массы осколка:  $\circ$  — указанные характеристики для энергии  $E_\alpha = 50$  МэВ,  $\bullet$  — для  $E_\alpha = 36$  МэВ,

Результаты исследований реакции  $^{209}\text{Bi}(\alpha, f)$  для двух энергий — минимальной  $E_\alpha = 36$  МэВ (20 тысяч событий) и максимальной  $E_\alpha = 50$  МэВ (40 тысяч событий) и для энергий возбуждения  $U_f$  в седловой точке 9 и 23 МэВ, соответственно, показаны на рисунке. В представленные результаты измерений поправки на эмиссию нейтронов не вводились, распределения  $Y(M)$  нормировались так, чтобы  $\bar{M} = A/2 = 106,5$  ат. ед. массы. Все приведенные на рисунке характеристики деления  $^{213}\text{At}$  при  $E_\alpha = 36$  МэВ, а именно, выход  $Y(M)$ , полная кинетическая энергия осколков  $E_K$  и ее дисперсия  $\sigma_{E_K}^2$ , обнаруживают коррелированные, выходящие за пределы статистических ошибок отступления от плавных зави-

симостей, присущих симметричному делению, реализованному в данном эксперименте при энергии  $E_a = 50$  МэВ. Распределение  $Y(M)$  для  $E_a = 36$  МэВ описывались суперпозицией гауссианов и результат такого разложения на симметричную  $Y_s$  и асимметричную  $Y_a$  компоненты с  $\bar{M}_T = 138$  ат. ед. массы и  $\bar{M}_L = 75$  ат. ед. массы показан на рисунке пунктирными кривыми, при этом на асимметричный пик приходится около 50 событий. Крайне мало вероятно, что асимметричная компонента имеет фоновое происхождение, например, вследствие деления малых примесей тория или урана. В этом случае не должен наблюдаться пик легкого осколка  $^{213}\text{At}$ , поскольку легкий пик Th, U приходится на массы 92 и 98 и лежит глубоко под колоколом  $Y(M)$ . Хотя приведенное распределение симметризовалось для сглаживания колебаний, обусловленных низкой статистикой регистрируемых событий, мы наблюдали оба близких по форме пика, соответствующих ожидаемой асимметрии разделения  $^{213}\text{At}$ . Кроме того, отсутствие сколько-нибудь заметных примесей сильноделящихся элементов в мишени  $^{209}\text{Bi}$  подтверждается измерениями сечения деления<sup>7</sup>. Уверенность в интерпретации результатов анализа распределения масс осколков основывается также на наблюдении аналогичных отступлений на краях распределения  $E_K$ , коррелирующих с наиболее вероятными значениями  $E_K \approx 50$  и  $93$  МэВ, которые следуют из значения  $E_K^a$  для  $M_T/M_L = 1,9$ .

Таким образом, при делении ядра  $^{213}\text{At}$   $\alpha$ -частицами с энергией 36 МэВ впервые установлен выход асимметричного деления в максимумах  $Y_a^{max} = 0,03\%$  при  $Y_s^{max} = 8,2\%$ . Количественно  $Y_a(M)$  обладает основными свойствами асимметричного деления тяжелых ядер: средняя масса тяжелого осколка с точностью 1–2 ат. ед. массы совпадает с ее значением для актинидов, что подтверждает замечательную стабильность этой характеристики и распространяет данную закономерность на область ядер вплоть до значений  $A = 213$ , и асимметрии разделения до  $M_T/M_L = 1,9$ , перемещая существовавшую границу с  $A = 225$  и  $M_T/M_L = 1,6$  для  $^{225}\text{Ra}$ <sup>8</sup>. Как и у актинидов, левый склон тяжелого пика  $Y_a(M)$  приходится на массы  $M_T = 132 - 134$ , связанные с образованием осколков, по нуклонным состояниям близких к дважды магическому ядру  $Z = 82, N = 50$ . Эффект оболочек проявляется и в подъеме кинетической энергии  $E_K(M)$  при этих массах, который не прекращается вплоть до  $M_T = 145$  и обусловлен по-видимому, структурой легкого осколка  $M_L = 68$ , в котором заполнена оболочка  $Z = 28, N = 40$ . Проявление оболочек в зависимости  $E_K(M)$  приходится на область значительного уменьшения бесструктурной составляющей, рассчитанной по капельной модели Никса и Святецкого<sup>9</sup> и показанной в средней части рисунка сплошной кривой. Поэтому, в отличие от актинидов "оболочечный" максимум  $E_K(M)$ , по-видимому, лишь достигает уровня "капельного" максимума  $E_K(M_T)$   $^{213}\text{At}$ . Более определенное суждение об оболочечных эффектах в ходе  $E_K(M)$ , равно как и более надежные данные о форме  $Y(M)$ , мы надеемся получить из анализа результатов проведенных измерений для других энергий и ядер, а также новых экспериментов при более низких энергиях возбуждения, которые являются очень трудоемкими из-за сильно падающей с уменьшением энергии делимости доактинидных ядер. Мы рассчитываем, что уменьшение делимости будет компенсироваться уменьшением ширины распределения  $Y_s(M)$ , что и позволит в конечном счете получить дополнительную информацию о свойствах асимметричной компоненты.

Полученный в настоящей работе результат важен не только самим фактом существования асимметричного деления в области доактинидов, но и тем, что оно, в сравнении с актинидами, проявляет себя в новом качестве — в роли маловероятного типа деления, и остается, по-видимому, таким же<sup>4</sup> вплоть до порога деления  $^{213}\text{At}$ . Пашкевичем<sup>10</sup> теоретически предсказано для ядер в районе свинца существование двух седловых точек, одна из которых сильно асимметричная (ожидаемая при  $M_T/M_L \approx 2$ ) и расположена выше седловой точки с малой асимметричной деформацией. Казалось бы, это находится в качественном согласии с обнаруженными свойствами асимметричного деления  $^{213}\text{At}$ , однако другие расчеты по методу оболочечной поправки<sup>11</sup> не обнаруживают переходного состояния с большой асимметричной деформацией.

Таким образом, вопрос об интерпретации результатов работы пока остается открытым, а сам экспериментальный факт асимметричного деления  $^{213}\text{At}$  открывает новый аспект в понимании сложной проблемы асимметрии деления ядер.

### Литература

1. Sugihara T.T., Roesner J., Meadows J.W. Phys. Rev., 1961, 121, 1179.
2. Plasil F. et al. Phys. Rev., 1973, C7, 1196.
3. Иткис И.Г. и др. ЯФ, 1975, 22, 864.
4. Кукс И.М. и др. ЯФ, 1978, 27, 54.
5. Plasil F. et al. Phys. Rev., 1966, 142, 696.
6. Britt H.C., Wegner H.E., Gursky J.C. Phys. Rev., 1963, 129, 2239.
7. Игнатюк А.В. и др. ЯФ, 1975, 21, 1185.
8. Конечну Е., Specht H.J., Weber J. Phys. Lett., 1973, 45B, 329.
9. Nix J., Swiatecki W. Nucl. Phys., 1965, 71, 1.
10. Пашкевич В.В., Препринт РЧ-5581, Дубна, 1971.
11. Möller P. Nucl. Phys., 1972, A192, 529,

Институт ядерной физики  
Академии наук Казахской ССР

Поступила в редакцию  
9 апреля 1982 г.