

ИЗОМЕРНЫЕ ШЕЛЬФЫ В СЕЧЕНИИ ГЛУБОКО ПОДБАРЬЕРНОГО ФОТОДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР

В.Е. Жучко, А.В. Игнатюк, Ю.Б. Остапенко,
Г.Н. Смиренин, А.С. Солдатов, Ю.М. Циленюк

Для изотопов ^{232}Th , ^{237}Np и ^{238}U в глубоко подбарьерной области обнаружено резкое уменьшение наклона энергетической зависимости сечения фотоделения, получившие название изомерного шельфа. Исследование этого явления открывает ряд новых возможностей для уточнения представлений о структуре барьера деления тяжелых ядер.

Реакция (γ, f) является, по-видимому, наиболее благоприятной для изучения процесса деления ядер при низких энергиях возбуждения. Область энергий до 1 Мэв ниже порога деления подробно исследована в работе [1]. Недавно Боуман, основываясь на представлениях о двугорбом барьере показал [2], что при переходе к еще более низким энергиям возбуждения должно наблюдаться явление "изомерного шельфа", состоящего в резком уменьшении наклона энергетической зависимости сечения фотоделения. Боуманом [3] были получены также первые экспериментальные данные о существовании такого шельфа в сечении реакции $^{238}\text{U}(\gamma, f)$. Нами были предприняты исследования этого явления для более широкого круга ядер.

Измерения проводились на пучке тормозного излучения микротрона ИФП АН СССР в интервале максимальных энергий γ -квантов от $3,8$ до $5,5\text{ Мэв}$ при среднем токе электронов $60 + 80\text{ мка}$. Тормозная мишень была изготовлена из пластин вольфрама толщиной 1 мм и алюминия 12 мм . Время облучения делящихся образцов достигало 30 часов. Образцы размещались непосредственно за тормозной мишенью, по оси электронного пучка. Детекторами осколков служила слюда. Для увеличения выхода осколков в качестве делящихся образцов использовались ториевая и урановая (200-кратно обедненная по ^{235}U) фольги, слой ^{237}Np имел толщину $\sim 1\text{ мг/см}^2$. Для оценки фона делений под действием нейтронов, при энергии $4,0\text{ Мэв}$ проводились контрольные измерения с образцом ^{238}U , расположенным вне пучка γ -квантов. Полученные в этом случае следы осколков совпали с активностью спонтанного деления исследуемого образца урана.

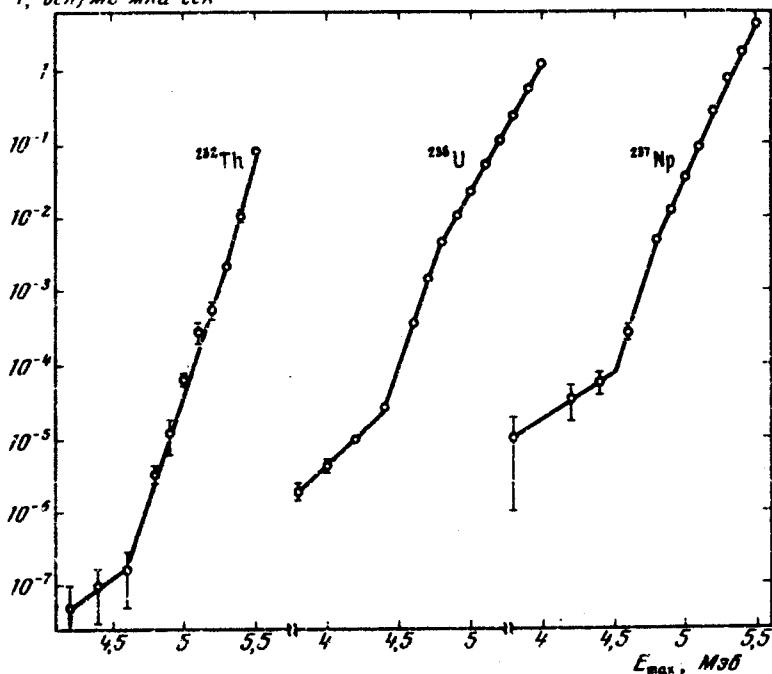
Результаты измерения выходов реакции (γ, f) в зависимости от граничной энергии тормозного спектра показаны на рисунке. Так как тормозной спектр γ -излучения описывается спадающей с энергией, а сечение фотоделения в подбарьерной области является экспоненциально растущей функцией, то наблюдаемый интегральный выход осколков почти повторяет энергетический ход сечения со сдвигом влево по оси абсцисс примерно на $0,2\text{ Мэв}$. Изомерный шельф отчетливо проявляется у всех трех исследованных изотопов, хотя статистические ошибки низкоэнергетических точек в случае ^{232}Th и ^{237}Np достаточно велики.

Происхождение "изомерного шельфа" в рамках модели двугорбого барьера интерпретируется следующим образом. Ядра, с вероятностью $P_A / (P_A + P_{\gamma_1})^{-1}$ попав во вторую яму, испытывают деление мгновенно с вероятностью $P_B / (P_A + P_B + P_{\gamma_2})^{-1}$ и с вероятностью $k P_{\gamma_2} / (P_A + P_B + P_{\gamma_2})^{-1}$ с запаздыванием, которое определяется временем спонтанно делящихся изомеров, образующихся в результате γ -переходов во второй яме. В соответствии с этим сечение деления можно представить в виде

$$\sigma_f = \sigma_c \frac{P_A}{P_A + P_{\gamma_1}} \frac{P_B + k P_{\gamma_2}}{P_A + P_B + P_{\gamma_2}}, \quad (1)$$

где σ_c – сечение образования составного ядра, P_A и P_B – проникаемость барьеров A и B , P_{γ_1} и P_{γ_2} – радиационная проникаемость распада в первой и второй ямах, $k \leq 1$ – коэффициент ветвления, определяющий усредненное отношение вероятностей спонтанного деления и радиационного распада в первую яму для изомерных состояний. Для параболического барьера $F_i(E) \approx \exp[2\pi(E - E_{fi}) / \hbar \omega_i]$; $E - E_{fi} \gg \hbar \omega_i / 2\pi$, где E_{fi} и $\hbar \omega_i$ – высота i -го барьера и его параметр кривизны.

γ , дел/мг·мкА·сек



Кривые энергетической зависимости выхода реакции фотоделения ^{232}Th , ^{238}U и ^{237}Np

При $P_B \gg k P_{\gamma_2}$ преобладающий вклад в наблюдаемый выход осколков вносит мгновенное деление, при обратном неравенстве – запаздывающее. Из структуры выражения (1) следует, что сечение запаздыва-

юшего деления из мгновенного может быть получено умножением на фактор $k P_{\gamma_2} / P_B$, а величина $d \ln \sigma_f / dE$, характеризующая крутизну энергетической зависимости сечения – уменьшением на фактор $[(2\pi / \hbar \omega_B) - (d \ln P_{\gamma_2} / dE)] > 0$, что и объясняет эффект шельфа.

Полученный выше результат легко понять и на основе простых физических соображений: при запаздывающем делении, в отличие от мгновенного, с изменением энергии проникаемость барьера B из изомерных состояний остается одной и той же, а меняется лишь вероятность их заселения, пропорциональная P_{γ_2} , иными словами, барьер B из игры выключается.

Измерения шельфов в глубоко подбарьерных сечениях деления могут явиться эффективным средством для изучения спонтанно делящихся изомеров с очень малыми выходами и короткими временами жизни. Шельф в сечении фотоделения ^{232}Th представляет собой первое экспериментальное указание о существовании у него спонтанно делящегося изомера с выходом, который, по крайней мере, на два порядка меньше, чем у ^{238}U . Идентификация такого изомера с помощью традиционных методов столкнулась бы с очень большими трудностями. Исследование изомерных шельфов представляют также интерес и в более широком аспекте – как новый источник информации о структуре барьера. Реализация этой возможности требует обстоятельного обсуждения, которое выходит за рамки данного сообщения.

Авторы глубоко признательны П.Л.Капице за поддержку исследований и Ч.Д.Боуману за информацию о своих результатах до их опубликования.

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
12 июля 1975 г.

Литература

- [1] А.Б.Игнатюк, Н.С.Работнов, Г.Н.Смиренкин, А.С.Солдатов, Ю.М.Ципенюк. ЖЭТФ, 61, 1284, 1971.
- [2] C.D.Bowman. Proc. Int. Conf. Photonuclear Reactions. Asilomar, 1973, peiper 5D-135.
- [3] C.D.Bowman. Phys. and Chem. of Fission. IAEA, Vienna, 1974, p. 68.