

Использование спонтанно делящихся изомеров в методе наведенной активности для ядер в области $Z \geq 92$

АЛЕКСАНДРОВ Б. М., ВИНОГРАДОВ Ю. А., ЗАПЕВАЛОВ В. А., ЛАЗАРЕВА Л. Е.,
НЕДОРЕЗОВ В. Г., НИКИТИНА Н. В., ПОСЛИКАНОВ С. М.

УДК 539.173.3

Как известно, метод наведенной активности широко используется при исследовании ядерных реакций (кривые возбуждения, относительные выходы различных парциальных реакций) и для прикладных задач (определение малых примесей, изотопный анализ). Относительная простота метода с точки зрения техники измерений, однозначность интерпретации данных сделали этот метод одним из наиболее популярных в экспериментальных исследованиях такого рода. Наличие сильноточных ускорителей, работающих в импульсном режиме, позволило радикально расширить возможности метода, используя широкий класс короткоживущих изотопов (образующихся в основных и метастабильных состояниях) с периодами полураспада вплоть до наносекунд. Таким образом, метод стал практически универсальным во всем диапазоне ядер с $Z \leq 83$.

Для наиболее тяжелых ядер, таких, как торий, уран и трансурановые элементы ($Z \geq 90$), метод наведенной активности почти не применяется вследствие большой естественной β -, γ - и α -радиоактивности самих исходных ядер и продуктов их распада и сильной β - и γ -радиоактивности продуктов деления, порог которой

в пределах ± 1 Мэв совпадает с порогом реакции (γ, n). Выделение исследуемой наведенной активности после облучения радиохимическим способом [1] является для данных ядер сложной, не всегда выполнимой задачей. В связи с этим использование для этой цели спонтанно делящихся изомеров [2] (регистрация запаздывающей осколочной активности) может оказаться в ряде случаев очень эффективным.

На рис. 1 показаны все изомеры, обнаруженные к настоящему времени для различных изотопов ядер с $Z \geq 92$. Приведенная таблица взята из работы [3], откорректирована и дополнена в соответствии с данными, опубликованными позже. Как видно из этих данных, известно 35 спонтанно делящихся изомерных состояний для 32 изотопов ядер урана, нептуния, плутония, америция, кюрия и берклия. Периоды полураспада сильно отличаются, поэтому различные изомеры могут хорошо идентифицироваться. Вероятности спонтанного деления изомеров примерно на 25 порядков больше вероятностей спонтанного деления тех же ядер, находя-

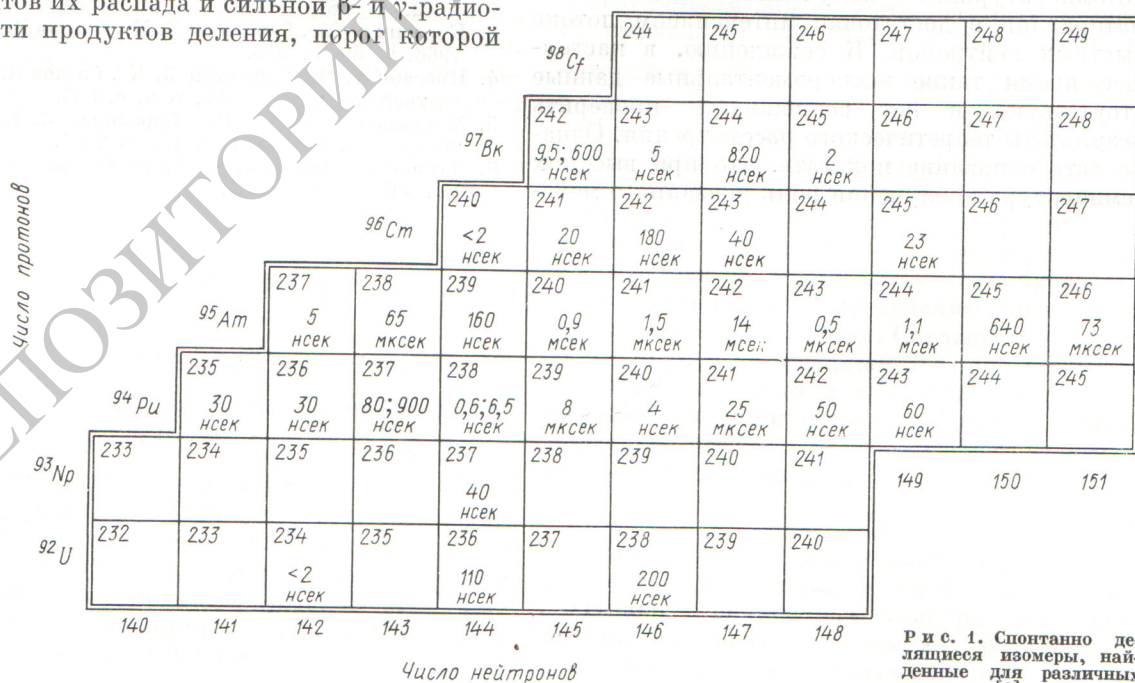


Рис. 1. Спонтанно делящиеся изомеры, найденные для различных изотопов [3].

щихся в основном состоянии, т. е. регистрация запаздывающих осколков ведется практически в условиях нулевого фона. Поэтому, несмотря на малый относительный выход спонтанно делящихся изомеров (для основной массы изомеров, образующихся в различных реакциях, отношение выходов $Y_{\text{зап}}/Y_{\text{мгн}} \approx 10^{-4} \div 10^{-5}$), при имеющихся интенсивностях пучков от ускорителей кривые распада изомерных состояний измеряются достаточно просто.

В качестве примера использования осколочной mf -радиоактивности приведены результаты по определению содержания изотопа ^{241}Am в образце ^{243}Am .

Измерения проводили на линейном ускорителе электронов с энергией 50 Мэв в Институте ядерных исследований АН СССР (рис. 2). В качестве детектора использовали двойной искровой счетчик, что позволяло проводить измерения с двумя образцами одновременно. При наладке аппаратуры кроме исследуемого образца во вторую половину счетчика помещали очень тонкий слой ^{252}Cf для контроля работы счетчика. Ток электронов, падающих на тормозную мишень, контролировали индукционным датчиком, находящимся на конце электропровода. Дозу облучения тормозным γ -излучением определяли тонкостенной интегральной ионизационной камерой, помещенной впереди образца. В качестве тормозной мишени использовали пластину из тантала толщиной 0,2 мм. Электроны, прошедшие через мишень, отклонялись магнитным полем. Запаздывающие осколки деления от спонтанного распада изомеров $^{240mf}\text{Am}$ и $^{242mf}\text{Am}$, образующихся в результате реакций $^{241}\text{Am}(\gamma, n)$ и $^{243}\text{Am}(\gamma, n)$ с периодами полураспада соответственно 0,9 и 14 мсек, регистрировали искровым счетчиком [4]. Диаметр образца ^{243}Am , находящегося внутри счетчика, 4 см и толщина 0,3 мг/см² (полный

вес 3,77 мг). Скорость счета запаздывающих осколков составляет примерно 1000 в час, поэтому, несмотря на то что искровой счетчик имеет большое мертвое время, просчетов практически не было. Чтобы счетчик не срабатывал в момент прохождения пучка γ -квантов (длительность импульса электронов $\tau = 1,3$ мсек, частота повторения 50 гц), напряжение на счетчике в эти интервалы времени понижали. Импульсы, соответствующие запаздывающим осколкам, поступали на время-амплитудный преобразователь анализатора, запуск которого после каждого прохождения пучка осуществляли управляющим импульсом (с соответствующей задержкой) от схемы синхронизации ускорителя. При облучении ^{243}Am γ -квантами с энергией выше ~ 22 Мэв изомер $^{240mf}\text{Am}$ может образовываться в результате реакции $(\gamma, 3n)$, поэтому облучение проводили при энергии электронов 20 ± 1 Мэв. Средний ток электронов на конце электропровода, где расположена мишень, в различных сериях измерений колебался от 2 до 3 мка.

На рис. 3 показана кривая распада «наведенной осколочной активности», полученная суммированием результатов нескольких серий измерений общей длительностью около 60 ч. Вследствие нейтронного излучения вокруг ускорителя часть актов деления, зарегистрированных после прохождения γ -квантов через счетчик, могла быть связана с мгновенным делением, вызванным замедленными и тепловыми нейтронами. Поэтому счетчик со всех сторон закрыт кадмием толщиной 0,5 мм. Чтобы оценить величину фона от нейтронов, выполнены отдельные измерения со счетчиком, сдвинутым из пучка γ -квантов в сторону на 15 см. Наблюдаемая в этом случае небольшая активность с периодом $T_{1/2} \approx 30$ мсек, очевидно, связанная с медленными нейтронами, полностью спадала за первые 100 мсек после прохождения γ -пучка (первый временной канал). Постоянный фон осколочной активности от слоя ^{243}Am в счетчике без облучения составлял ~ 1 имп/мин (по-видимому, связан со спонтанным делением малых количеств плутония и кюрия, которые могут быть в образце ^{243}Am). Собственный фон счетчика без образца пренебрежимо мал (менее 1 имп/ч).

Как видно из рис. 3, на кривой отчетливо наблюдаются два периода распада, соответствующие спонтанно делящимся изомерам $^{240mf}\text{Am}$ и $^{242mf}\text{Am}$. Обработка кривой по методу наименьших квадратов дает отношение выходов $Y(^{240mf}\text{Am})/Y(^{242mf}\text{Am}) = 1,8 \pm 0,3\%$. Изомер-

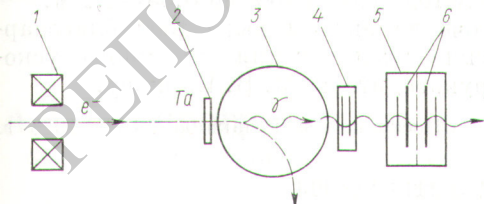


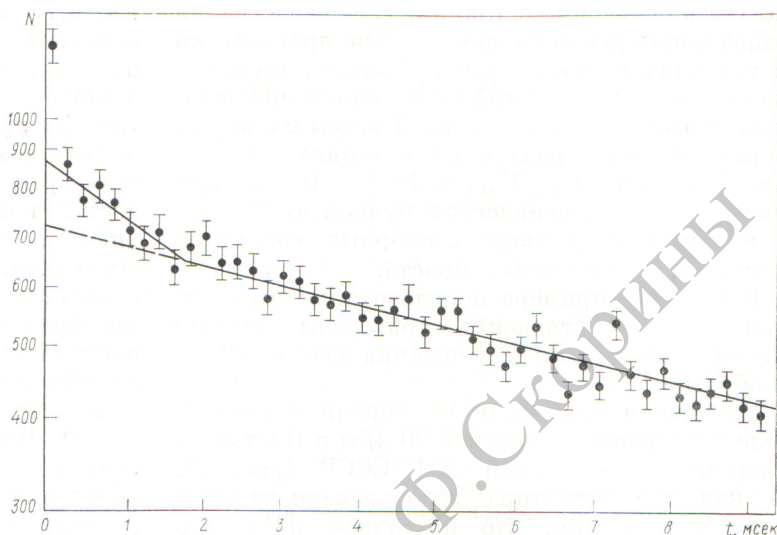
Рис. 2. Схема расположения мишени, образца и детектора при проведении измерений:

1 — индукционный датчик; 2 — тормозная мишень; 3 — магнит; 4 — тонкостенная ионизационная камера; 5 — двойная искровая камера; 6 — образцы.

ные отношения для ^{240m}Am и ^{242m}Am могут различаться, поэтому одновременно с кривой распада, измеренной для образца ^{243}Am , измеряли аналогичную кривую для эталонного образца ^{241}Am . Так как для этого использовали двойной искровой счетчик, облучение и детектирование осколков для обоих образцов проводили в строго идентичных условиях. Из сопоставления кривых, полученных для образцов ^{243}Am и ^{241}Am , следует, что содержание изотопа ^{241}Am в образце ^{243}Am составляет $2,1 \pm 0,4\%$. Если бы относительная вероятность реакции (n, γ) была значительна, то на кривой, измеренной для образца ^{241}Am , кроме периода полураспада ^{240m}Am ($T_{1/2} = 0,9$ мсек) должен бы наблюдаться период полураспада $T_{1/2} = 14$ мсек [^{241}Am (n, γ) ^{242m}Am]. Отсутствие заметного выхода изомера ^{242m}Am при облучении ^{241}Am служит подтверждением того, что выходом изомера ^{244m}Am ($T_{1/2} = 1,1$ мсек) при облучении образца ^{243}Am [^{243}Am (n, γ) ^{244m}Am] можно пренебречь.

Пример использования спонтанно делящихся изомеров для активационного анализа имеет чисто иллюстративный характер, так как содержание ^{241}Am может быть установлено и измерением спектров α -частиц. Однако в ряде случаев предложенный метод определения содержания примесей может оказаться единственно возможным или наиболее простым. Такая ситуация должна наблюдаться, если изотоп, содержание которого очень мало, имеет менее жесткий спектр α -частиц и больший период α -распада по сравнению с изотопом, из которого в основном состоит образец; меньшую, чем у основного изотопа, вероятность спонтанного деления и в то же время либо совсем не делится тепловыми нейтронами, либо имеет сечение деления тепловыми нейтронами меньше, чем основной изотоп. Подобные условия, например, возникают, когда количество изотопа ^{242}Pu мало по сравнению с изотопами ^{239}Pu и ^{240}Pu . Поэтому в этих случаях проще оценить содержание изотопа ^{242}Pu по выходу изомера ^{241m}Pu ($T_{1/2} = 25$ мсек), образующегося в результате реакции ^{242}Pu (γ, n) ^{241m}Pu .

Следует отметить, что возможность использовать спонтанно делящиеся изомеры для метода



Р и с. 3. Кривая распада запаздывающей осколочной активности, полученная при облучении образца ^{243}Am тормозным спектром γ -квантов с $E_\gamma \approx 20$ Мэв.

наведенной активности в области ядер с $Z \geq 90$ может оказаться особенно важной при исследовании различных ядерных реакций. Как указывалось выше, это связано с трудностью применения активационного метода к ядрам в этой области Z , а также с тем, что метод прямой регистрации нейтронов, успешно применяемый для исследования реакций типа (x, n) , $(x, 2n)$, $(x, 3n)$ для ядер с $Z \leq 83$, становится неоднозначным при наличии параллельно идущих реакций типа (x, f) , (x, nf) и $(x, 2nf)$. Вероятности образования изомеров слабо зависят от энергии возбуждения, кривые $\sigma(E)$, измеренные предложенным методом, не должны быть сильно деформированы.

На сильноточных ускорителях с токами ускоряемых частиц до 1 ма измерения, подобные приведенным, можно выполнять за несколько часов с гораздо лучшей статистикой. Чувствительность метода снижается до 0,05–0,1%.

В заключение авторы выражают благодарность группе эксплуатации линейного ускорителя и руководителю М. В. Карпову.

Поступила в Редакцию 28/IX 1973 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Duffield R., Huizenga J. Phys. Rev., 1953, v. 89, p. 1042.
2. Поликанов С. М. и др. ЖЭТФ, 1962, т. 42, с. 1464.
3. Марков Б. Н. Диссертация. Дубна, ОИЯИ, 1970.
4. Гангрский Ю. П. и др. Отчет ОИЯИ, 13-4551, Дубна, 1969.