



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

97-222

P13-97-222

Ш.С.Зейналов, В.И.Смирнов, М.Стемпиньски¹,
М.Флорек², П.Шаланьски¹

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ ДЕТЕКТОР
ОСКОЛКОВ ДЕЛЕНИЯ

¹Лодзинский университет, Польша

²Университет им.Коменского, Братислава, Словакия

1997

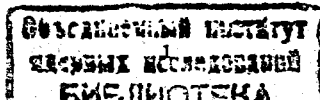
Введение

Исследование деления ядер, вызванного резонансными нейтронами представляет значительные экспериментальные трудности по сравнению с делением тепловыми нейтронами. В первую очередь это связано с тем, что потоки резонансных нейтронов от существующих источников в 10 - 1000 раз слабее а сечения взаимодействия примерно в ~100 раз ниже, чем сечения для тепловых нейтронов. В силу этого скорость счета событий деления оказывается на уровне 0.1 - 10 импульсов в секунду в расчете на 1 мг делящегося вещества. Кроме этого, на практике всегда имеет место фон, связанный с α -распадом и спонтанным делением ядер образцов, которые ограничивают предел чувствительности применяемой аппаратуры. Для большинства актиноидов вероятность α -распада на несколько порядков величины превышает вероятность спонтанного деления. При уровне удельной активности образцов более 10^7 α -распад/(с x мг) условия выделения событий вынужденного деления с применением традиционных средств резко ухудшаются из-за относительного увеличения вероятности многократных наложений событий α -распада и низкого энергетического разрешения детекторов. Несмотря на ряд мер, принятых при измерениях образцов ^{241}Am , уровень удельной активности $1,2 \times 10^8$ α -распад/(с x мг) оказался, по-видимому, предельным для таких детекторов, как лавинный счетчик^{1/}, импульсная ионизационная камера с плоскопараллельными электродами^{2/} или сцинтилляционный детектор^{3/} в сочетании с традиционной электроникой регистрации событий деления.

Другим видом распада, ограничивающим чувствительность при измерении сечений деления, является спонтанное деление ядер образца. Очень эффективный способ подавления фона таких событий - использование техники времяпролетных измерений на импульсных источниках нейтронов. В этом случае фон, связанный со спонтанным делением, имеет равномерное временное распределение, а распределение событий деления, вызванных нейтронами, имеет определенную временную структуру, коррелированную с импульсами источника нейтронов. Импульсные источники нейтронов^{4-5/} способны создавать импульсы с шириной от нескольких микросекунд до нескольких сотен пикосекунд. В силу последнего обстоятельства необходимо адекватное временное разрешение используемых детекторов.

Резюмируя высказанные выше соображения, можно сформулировать следующие требования, которым должен удовлетворять детектор для измерения сечений деления изотопов с высоким значением удельной α -радиоактивности:

- высокая эффективность выделения осколков деления на фоне α -частиц;
- высокая эффективность регистрации осколков деления;



- достаточно высокое временное разрешение для эффективного подавления фона от спонтанного деления при проведении времяпролетных измерений;
- малая эффективность регистрации γ -квантов и нейтронов;
- высокая радиационная стойкость.

Наиболее критическим из перечисленных требований является высокая степень подавления фона от α -частиц. Хорошо известно⁶⁶, что средняя кинетическая энергия осколков деления в ~ 15 раз, а удельные ионизационные потери при начальной энергии в ~ 60 раз больше, чем для α -частиц. Из анализа усредненных по энергиям осколков и α -частиц кривых удельных ионизационных потерь, приведенных на рис. 1, следует, что для выделения осколков деления на фоне α -частиц выгоднее всего ограничить пробеги этих частиц толщиной рабочего объема детектора 1.5 мг/см^2 . Такой режим регистрации проще всего реализовать в плоскопараллельной ионизационной камере (ППИК). Известно⁷⁷, что длительность импульса тока в ионизационной камере зависит от скорости дрейфа электронов и расстояния между электродами. При этом время нарастания фронта импульса оказывается на уровне нескольких сотен пикосекунд. Имея в виду программу измерения сечений деления ^{235}U , ^{237}Np , ^{243}Am и ^{241}Am резонансными нейтронами, а также исследование изомерного деления ^{242}Am и ^{244}Am , в ИФО ОИЯИ создали ППИК и соответствующую электронную аппаратуру для выделения событий деления ядер при высокой удельной α -активности исследуемых образцов.

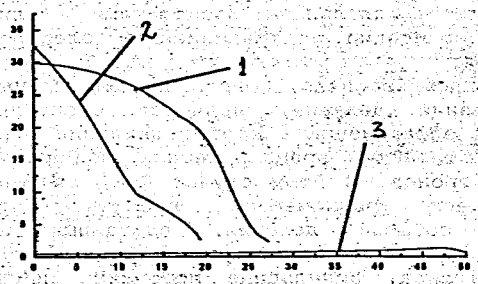


Рис. 1. Кривые удельных ионизационных потерь в зависимости от пробега для легкого осколка (кривая 1), тяжелого осколка (кривая 2) и α -частиц (кривая 3).

Конструкция ППИК и электронная аппаратура

ППИК была смонтирована внутри вакуумного цилиндра и могла содержать до 10 слоев делящегося вещества как показано на рисунке 2. В экспериментах использовались однородные по толщине ($< 1 \text{ мг/см}^2$) слои в форме круглого пятна диаметром $60-100 \text{ мм}$. В качестве рабочего газа использовалась смесь $90\% \text{Ar} + 10\% \text{CH}_4$ при давлении $600-700 \text{ торр}$. Расстояние между электродами было выбрано равным 5 мм , а рабочее напряжение - 400 В .

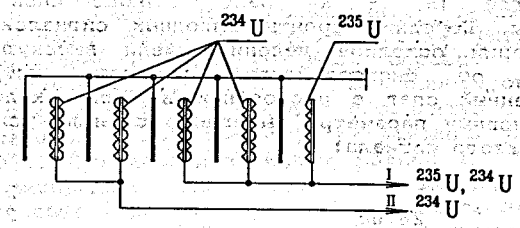


Рис. 2 Схематический чертеж многослойной ППИК с мишенями из ^{234}U и ^{235}U

Функциональная схема предусилителя представлена на рисунке 4. Основным элементом этой схемы являются широкополосные усилители тока, т.е. усилители с низким входным сопротивлением. Выходные сигналы таких усилителей повторяют по форме импульсы тока, вызванные регистрацией заряженных частиц. На рисунке 3 представлена блок-схема измерительной аппаратуры.

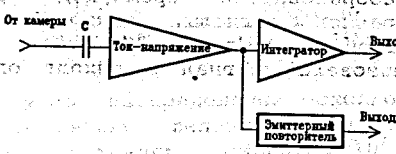


Рис. 3. Функциональная схема предусилителя

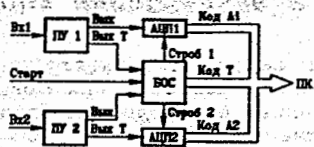


Рис. 4. Функциональная схема электронной аппаратуры

Мы использовали два варианта исполнения входного устройства усилителя - один (А) на базе интегральной схемы TRA1000 фирмы LeCroy^{8/}, а другой (В) - на базе мелкосерийной гибридной интегральной схемы. Передние фронты выходных сигналов усилителя тока при регистрации осколков деления имели высокую крутизну, которая зависела от быстродействия входного устройства и относительно медленный спад с постоянной времени около 40 псес. Ниже приведены основные параметры выходного сигнала усилителя для прямоугольного входного сигнала:

	А	В
Время нарастания	26 нс	2 нс
Коэффициент усиления	39 мВ/мкА	10 мВ/мкА
Входное сопротивление	8 Ом	100 Ом

После усилителя короткий импульс тока одновременно поступал на выходной эмиттерный повторитель и интегратор тока. На выходе интегратора тока формировался импульс с квазигансусовой формой, амплитуда которого была пропорциональна интегралу анодного тока ППИК за время, определяемое элементами схемы. Выходные сигналы интегратора поступали на нормально заблокированный вход АЦП, который деблокировался во время поступления строба длительностью 2 мкс. Строб вырабатывался специализированным блоком. Интенсивность таких стробов была пропорциональна, с одной стороны, числу делений и частотой наложений α -частиц - с другой. Измерение энергии нейтронов, вызывавших деление, производилось по времени пролета с помощью преобразователя время-код. Для запуска преобразователя использовались сигналы, синхронизированные со вспышкой источника нейтронов (сигнал "Старт"). В качестве стобового сигнала использовался сигнал с выхода одноканального анализатора.

Результаты измерений

На рисунке 5 приведен спектр, полученный в результате измерений амплитуд осколков деления с помощью ППИК с 4 слоями из окиси ^{234}U толщиной около $0,5 \text{ мг/см}^2$ при измерениях параметров резонансов в области энергий от единиц до 500 электронвольт для указанного изотопа. Общее количество ^{234}U в четырех мишенях

составляло 50 мг. Подъем спектра в области малых амплитуд не может быть полностью связан с регистрацией совпадающих во времени α -частиц. Для доказательства этого утверждения рассмотрим соответствующий времяпролетный спектр, представленный на рисунке 6. Выделив в этом спектре сильный изолированный резонанс в районе 2000-го канала, можно построить амплитудное распределение, аналогичное представленному на рисунке 5. Если указанный подъем был бы полностью связан с регистрацией наложений α -частиц, то доля событий в области малых амплитуд должна была бы уменьшиться по сравнению с общим числом событий в распределении. Однако на самом деле эта доля уменьшилась лишь на 30%. Отсюда следует, что две трети событий из области малых амплитуд в спектре связаны с шумами предусилителя. Исходя из приведенных данных было оценено соотношение между фоном и эффективностью регистрации осколков деления при работе с высокоактивными образцами в зависимости от порога дискриминации. Так, при величине порога около 7 МэВ, на 10^9 α -распадов приходилось одно событие с амплитудой в области спектра осколков деления, а эффективность регистрации последних при этом составила 98%. При величине порога равной 12 МэВ уже на 10^{10} α -распадов приходилось одно событие деления, а эффективность регистрации событий деления при этом равнялась 94%. Таким образом, применение токовых сигналов с обычными ионизационными камерами позволяет достигнуть таких же результатов, которые ранее достигались с применением плоскопараллельных лавинных счетчиков.

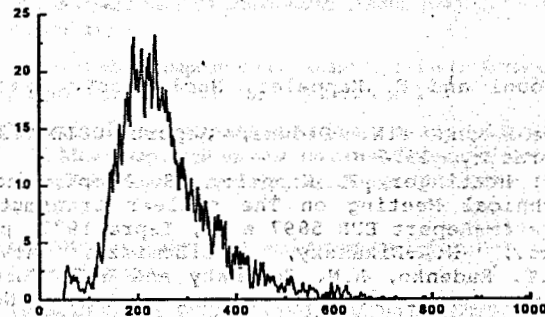


Рис. 5. Амплитудное распределение осколков деления ^{234}U , полученное при измерениях сечения деления резонансными нейтронами. α -активность мишени составляла около $2 \cdot 10^7$ Бк. По осям отложены относительные величины.

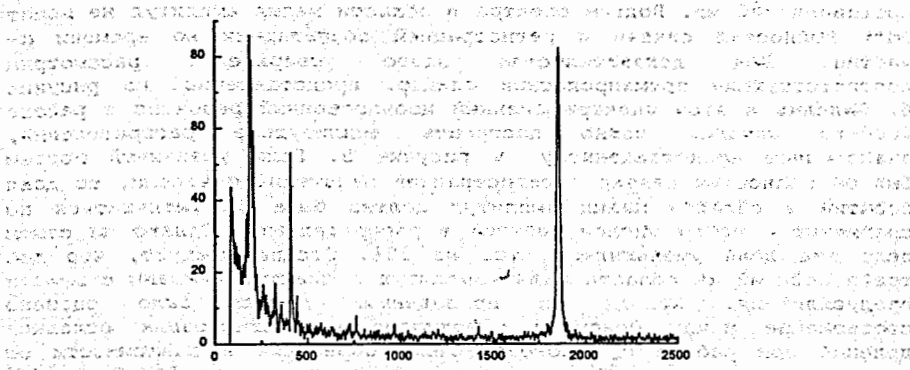


Рис. 6. Распределение событий деления ^{234}U по времени пролета. Все величины даны в относительных единицах.

В заключение авторы считают приятным долгом поблагодарить В.И. Фурмана за постоянное внимание и поддержку данной работы, а также Ю.С. Замятнина за многочисленные плодотворные дискуссии и В.Ю. Коновалова и И. Рускова за помощь в подготовке к измерениям.

Литература.

1. M.A. Kazerouni and F. Kappeler. Nucl. Instr. and Meth. 1979, 164, 439.
2. J.W. Behrens and J.W. Browne, Report UCID-17324, Lawrence Livermore Laboratory, 1976
3. W. Hage, H. Hettinger, F. Kappeler, S. Kumpf, and K. Wisshak, Proc. 1st Technical Meeting on The nuclear transmutation of the actinides, Euratom-Report EUR 5897 e, f., Ispra 1977, p.411.
4. V.L.Aksenov, N.A.Dikansky, V.L.Lomidze, A.V.Novokhatsky, Yu.P.Popov, V.T. Rudenko, A.N. Scrinsky and W.I. Furman. Proposal for the Construction of the New Intense Resonance Neutron Source (IREN), JINR, E3-92-110, 1992, Dubna.
5. W.I. Furman, ISINN-5, V International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei, Abstracts, 1997, Dubna.
6. J.F. Ziegler, J.P. Biersack and U. Littmark. The Stopping and Range of Ions in Solids, Pergamon Press, New York, 1985.
7. Ю.П. Гангрский, Б.Н. Марков, В.П. Перельгин. Регистрация и спектрометрия осколков деления. Энергоиздат, М., 1981.
8. LeCroy Research Systems, 1996 Catalog, LeCroy, New York, 1995.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 июля 1997 года.