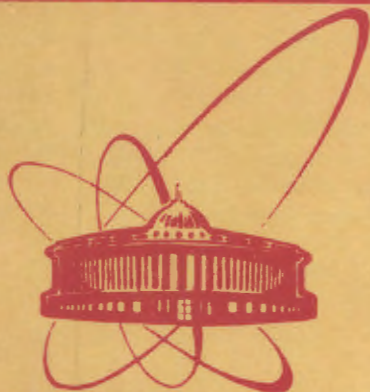


13006



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

1570 / 2-80

7/4-80

7 - 13006

В.Д.Дмитриев,¹ Х.Зодан,² А.М.Калинин,
Р.Калпакчиева, С.М.Лукьянов, В.И.Носокин,
Ю.Э.Пенионжкевич, Д.К.Саттаров,³ В.Г.Субботин,
Ф.Стари,² К.Д.Шиллинг

ВРЕМЯПРОЛЕТНЫЙ СПЕКТРОМЕТР ОСКОЛКОВ ДЕЛЕНИЯ

Направлено в ПТЭ

¹ Радиевый институт им. В.Г.Хлопина, Ленинград.

² ЦИЯИ АН ГДР, Россендорф.

³ ГОИ им. С.И.Вавилова, Ленинград.

1980

В процессе взаимодействия тяжелых ионов с ядрами в различных каналах реакции образуются продукты в широком диапазоне масс и зарядов. Для их регистрации и идентификации существуют различные экспериментальные методики, при использовании которых предъявляются высокие требования к разрешению продуктов по массе и заряду, а также к возможности отбора событий, принадлежащих процессу одного типа. Это стимулирует проведение работ по совершенствованию существующих и разработке новых методов измерения масс и зарядов продуктов ядерных реакций. Широко используемый для идентификации продуктов ядерных реакций радиохимический метод их выделения дает детальные сведения о массе и заряде ядра, однако информация, полученная с помощью этого метода, в большинстве случаев относится к продуктам, образовавшимся в конце цепочки радиоактивного распада, а не к начальным, кроме этого информация о массовых распределениях получается исходя из зарядовых распределений продуктов ядерных реакций, которые часто бывают также неизвестны. Радиохимический метод также не позволяет однозначно разделить продукты, образующиеся в результате реакций различных типов, например, осколки деления и фрагменты, получающиеся в результате глубококонепругих процессов.

Развитие экспериментальной техники позволяет в настоящее время с помощью электронных методов не только достаточно надежно идентифицировать заряд и массу образующегося ядра, выделить канал реакции, но и получать информацию об изучаемых процессах непосредственно во время эксперимента. В последнее время во многих экспериментах используется корреляционный метод изучения массовых и энергетических распределений продуктов ядерных реакций^{1/}. С помощью этого метода измеряется кинетическая энергия коррелированных продуктов и далее на основе кинематических соотношений в предположении о двухтелном характере процесса определяется их масса.

Широкое распространение получил метод разделения продуктов ядерных реакций с помощью электростатических и магнитных полей^{2,3/} в зависимости от отношения их энергии к заряду (E/q) и импульса к заряду (MV/q) и дальнейшей их регистрации с использованием детекторов различных типов. Однако большая дисперсия отношения ионного заряда к массе приводит к необходимости измерения дополнительных параметров для точной идентификации массы. Кроме того, малая светосила и большие размеры установок могут явиться препятствием к широкому использованию магнитных и электростатических анализаторов. Перспективной, на наш взгляд, для изучения массовых распределений продуктов ядерных реакций является времяпролетная ме-



тодика, основанная на определении массы продукта с помощью одновременного измерения его скорости и энергии. Основанные на этом принципе времяпролетные спектрометры использовались при изучении массовых и энергетических распределений осколков деления^{/4,5/}. Разрешение по массам во времяпролетном спектрометре определяется энергетическим и временным разрешением: $\Delta M/M = [(\Delta E/E)^2 + (2\Delta t/t)^2]^{1/2}$. Например, для достижения разрешения по массам 2 единицы на пролетной базе 1 м для массы ~150 необходимо иметь временное разрешение $\approx 0,3$ нс при энергетическом разрешении 1,5%. Создание в последние годы быстрых временных проточных детекторов^{/6-8/}, а также соответствующей быстрой электроники сделало возможным получение субнаносекундного временного разрешения для всех типов заряженных частиц с $A > 4$ в широком диапазоне энергий. Использование ионизационных камер в качестве детекторов, измеряющих энергию продуктов ядерных реакций, позволяет получить разрешение по энергии ~0,5%^{/9/}. Таким образом, использование таких временных и энергетических детекторов во времяпролетном спектрометре может позволить получить абсолютное разрешение по массе для тяжелых продуктов реакции $\frac{\Delta M}{M} \approx 0,6\%$.

В данной работе описывается созданный в Лаборатории ядерных реакций времяпролетный спектрометр, использующий в качестве временных детекторов детекторы с вторичной эмиссией электронов на основе микроканальных пластин /МКП/. Схема времяпролетного масс-спектрометра представлена на рис. 1.

Продукт ядерной реакции вылетал из мишени, находящейся внутри реакционной камеры, и попадал в плечо спектрометра, расположенное под определенным углом к направлению пучка.

Электронная аппаратура /см. рис. 2/ состояла из системы быстрых /временных/ и спектрометрических /медленных/ трактов. Превышающие собственный порог дискриминатора импульсы со стартового и стопового детекторов с амплитудой больше 150 мВ без предварительного усиления поступали на вход дискриминатора со следящим порогом /014-Ф-205/. После дискриминатора стоповый сигнал раздваивался: один запускал одновибратор, формируя определенную длительность сигнала, поступающего через разветвитель на стробируемую схему совпадений, другой задерживался на определенное время блоком задержки. Задержанный сигнал поступал на вход "Стоп" время-амплитудного преобразователя. Стартовый сигнал после линии задержки проходил через быструю схему совпадения и поступал на вход "Старт" время-амплитудного преобразователя. Одновибратор запускался стоповым сигналом на максимальное время пролета

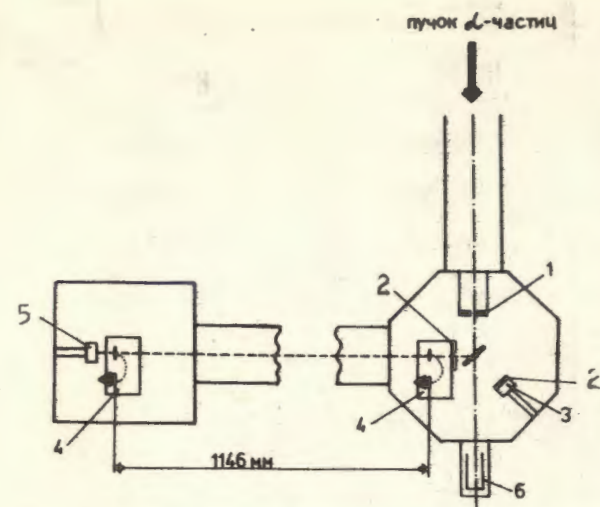


Рис. 1. Схема времяпролетного спектрометра осколков деления: 1 - коллиматор пучка; 2 - диафрагмы детекторов; 3 - полупроводниковый Si(Au) детектор для мониторинга потока α-частиц по упругому рассеянию; 4 - детекторы "Старт" и "Стоп"; 5 - детектор для измерения кинетической энергии осколков деления /ионизационная камера или ППД/; 6 - цилиндр Фарадея.

/~200 нс/. Такая организация измерений обуславливалась высокой фоновой загрузкой стартового детектора. Сигнал с время-амплитудного преобразователя и предварительно усиленный сигнал с полупроводникового детектора поступали на входы аналого-цифровых преобразователей /АЦП/. Совпадение этих двух сигналов осуществлялось с помощью блока организации совпадений /БОС/. После отбора и преобразования в цифровой код информация параллельно поступала в ОЗУ анализатора с разбиением 64x64 и блок периферийной памяти ЭВМ "Минск-32" с разбиением 4096x4096 каналов. Время пролета продукта измерялось двумя идентичными детекторами вторичных элементов с микроканальными пластинами /МКП/. Такие детекторы при регистрации тяжелых продуктов обладают по сравнению с другими типами проточных детекторов /сцинтилляторами, лавинными счетчиками, полупроводниковыми детекторами/ важными преимуществами благодаря малым энергетическим потерям и высокому временному разрешению. Более подробно принцип действия таких детекторов и их характеристики описаны нами ранее в работе^{/7/}.

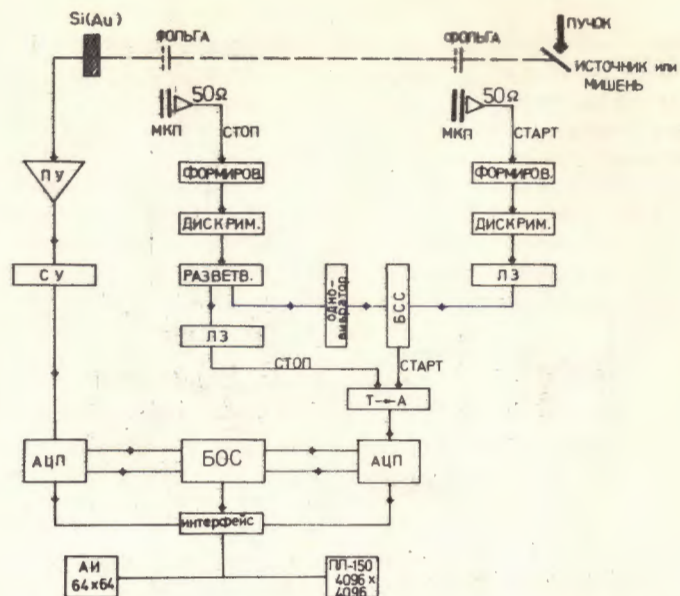


Рис. 2. Блок-схема электронной аппаратуры.

Времяпролетная база одного плеча спектрометра составляла ≈ 115 см. Телесный угол спектрометра для данной геометрии составлял $2 \cdot 10^{-4}$ ср.

Для изучения энергии регистрируемых продуктов использовались поверхностно-барьерный Si(Au) детектор с энергетическим разрешением для α -частиц (^{241}Am) лучше 50 кэВ и ионизационная камера с сеткой, аналогичной описанной в работе ^{19/}. Энергетическое разрешение камеры проверялось на монохроматизированном пучке ионов ^{132}Xe с энергией 115 МэВ и составило 1%. Камера наполнялась парами гептана при давлении 35 мм рт.ст., которое поддерживалось с помощью термостабилизации. Такое низкое давление газа, достаточное для полного торможения осколков в рабочем объеме камеры, позволяло использовать тонкую пленку на входном окне. Толщина используемых пленок коллодия составляла 15 мкг/см^2 и наносилась на поддерживающую сетку входного окна. Энергетические потери осколков при пролете через входное окно не превышали 700 кэВ и в энергетической калибровке не учитывались.

Временные характеристики спектрометра измерялись с помощью α -частиц, испущенных из источников ^{249}Cf и ^{241}Am . Полученное для α -частиц с энергией $E_\alpha = 5,486$ МэВ собственное временное разрешение спектрометра составило 390 пкс.

На рис. 3 представлен энергетический спектр α -частиц ^{249}Cf , измеренный во время пролета в данном спектрометре. Видно, что для данной пролетной базы энергетическое разрешение α -частиц составляет 50 кэВ. Простое увеличение пролетной базы позволяет улучшать энергетическое разрешение.

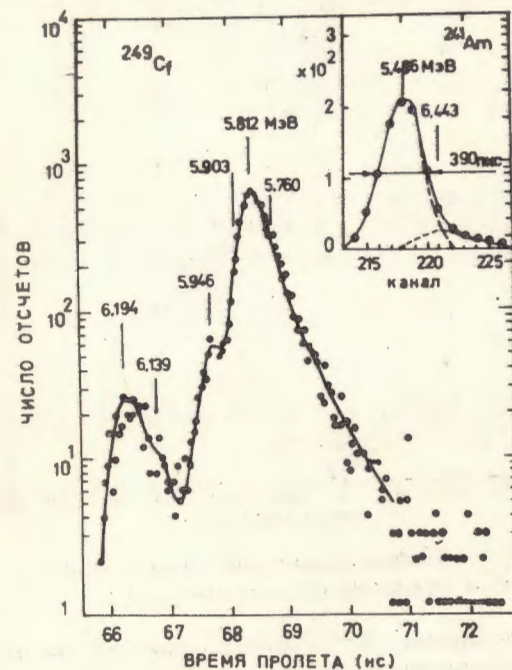


Рис. 3. Времяпролетный спектр α -частиц ^{249}Cf , на вставке - спектр α -частиц ^{241}Am .

Для испытания спектрометра были проведены измерения масс продуктов реакции $^{232}\text{Th} + ^4\text{He}$ при энергии α -частиц 36 МэВ. Эксперимент проводился на выведенном пучке циклотрона У-200 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Сколламированный пучок ^4He падал на ториевую мишень, которая изготавливалась методом электростатического распыления ^{232}Th на углеродную подложку. Толщина мишени составляла 50 мкг/см^2 , подложки - 30 мкг/см^2 . Энергия продуктов реакции в данном опыте измерялась с помощью ионизационной камеры, расположенной в конце пролетного плеча. Был измерен двухмерный спектр массового распределения осколков деления составного ядра ^{236}U

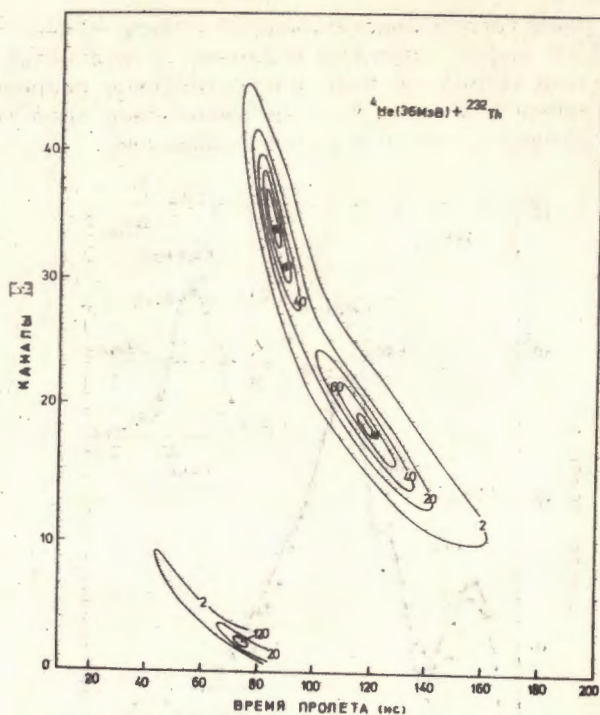


Рис. 4. График временной зависимости энергии осколков различных масс.

с энергией возбуждения $E^* \approx 30$ МэВ /рис. 4/. Форма массового распределения находится в хорошем согласии с ранее измеренной ^{10/}. Сравнение отношения пика к провалу в массовом распределении показывает, что массовое разрешение в данном случае было не хуже $\sim 1,5\%$. Таким образом, данный спектрометр позволяет определять массы тяжелых продуктов ядерных реакций с высокой точностью разрешения. Добавление второй пролетной базы и определение масс двух коррелированных осколков деления, которое предполагается осуществить в дальнейшем, позволят получить дополнительную важную физическую информацию о механизме процесса и свойствах продуктов ядерных реакций /определить среднее число нейтронов, кинематику процесса/.

В заключение авторы выражают благодарность Ю.Ц.Оганесяну за постановку задачи и ценные советы в процессе ее выполнения, а также Б.В.Фефилову за поддержку и консультации и З.Д.Покровской за помощь в оформлении работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sikkeland T., Haines E.L., Viola V.E. Phys. Rev., 1962, 125, p.1350.
2. Arifov U.A. et al. Proc. of the 8th Int. EMIS Conference on Low Energy Ion Accelerators and Mass Separators. Göteborg, 1973, p.226.
3. Armbruster P. GSI, M-3-76, Darmstadt, 1976.
4. Андроненко М.П. и др. Препринт ЛИЯФ, №375, 1977.
5. Gelbke C.K. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1971, 95, p.397.
6. Вальцог Д. и др. ОИЯИ, Р7-11578, Дубна, 1978.
7. Дмитриев В.Д. и др. ОИЯИ, 7-12290, Дубна, 1979.
8. Betts R.R. Nucl. Instr. and Meth., 1979, 162, p.531.
9. Quade U. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1979, 169, p.435.
10. Stanley L., Whetstone Jr. Phys. Rev., 1963, 133, p. B613.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 декабря 1979 года.