

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КИНЕМАТИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА ВАСИЛИСА

А.Н.Андреев, Д.Д.Богданов, В.А.Горшков, А.В.Еремин,
А.П.Кабаченко, О.А.Орлова, Г.М.Тер-Акопьян, В.И.Чепигин

Исследованы основные параметры электростатического сепаратора продуктов реакций полного слияния ВАСИЛИСА. Получена эффективность сепарации ядер отдачи для реакций с ионами Ne, P и Ar 4%, 14% и 20% соответственно. Коэффициенты очистки от рассеянных ионов Ar, P и Ne составляют 10^{10} , 10^{11} и 10^{12} . Коэффициент очистки от первичного пучка составляет $10^{15} \div 10^{17}$. С целью определения возможности синтеза новых элементов выполнены предварительные эксперименты.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Investigation of VASSILISSA Kinematic Separator Characteristics

Andreev A.N. et al.

The main parameters of the electrostatic separator for complete-fusion reaction products VASSILISSA were investigated. An efficiency of 4%, 14% and 20% was obtained for reactions with Ne, P and Ar ions, respectively. The separation factors for scattered Ar, P and Ne ions were obtained to be equal to 10^{10} , 10^{11} and 10^{12} . The separation factor for primary beam ions is equal to $10^{15} \div 10^{17}$. Previous experiments are carried out in order to determine a possibility of the experiments to synthesize new elements.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

1. ВВЕДЕНИЕ

Для синтеза и изучения свойств новых изотопов трансфермиевых элементов, удаленных от линии β -стабильности, исследования механизмов взаимодействия сложных ядер и др. в последнее время все шире применяются кинематические сепараторы. К их числу относятся экспериментальные установки, в которых разделение в пространстве траекторий движения искомым нуклидов и фоновых продуктов происходит под влиянием электрических

и магнитных полей. Среди устройств отметим фильтр скоростей SHIP^{1,2/}, который обеспечивает достаточно высокую эффективность регистрации продуктов реакций на пучках тяжелых ионов ($5 \div 20\%$), малое время транспорта продуктов реакций от мишени к детекторам (10^{-6} с), очистку от рассеянных ионов пучка и фоновых продуктов, приемлемую для постановки экспериментов.

В Лаборатории ядерных реакций была поставлена задача создания кинематического сепаратора на пучке тяжелых ионов с массой $A > 20^{3/}$. Из работы^{4/}, в которой описаны эксперименты по синтезу 110 элемента, видно, что сепаратор, предназначенный для синтеза новых нуклидов, должен быть рассчитан на регистрацию продуктов, которые образуются в реакциях с поперечным сечением слияния около 10^{-35} см². В установке ВАСИЛИСА сепарация продуктов реакции полного слияния (ядер отдачи) от пучка и продуктов реакцией передачи и деления производится ахроматической симметричной системой из трех электростатических диполей, имеющих плоскопараллельные пластины. Триплет квадрупольных линз, расположенный перед этой системой, собирает ядра отдачи, вылетевшие из мишени в направлении пучка в пределах телесного угла $1,2 \cdot 10^{-2}$ ср. Сфокусированные компаунд-ядра практически без потерь проходят через апертуру электростатических диполей. Второй триплет квадрупольных линз, расположенный после системы диполей, служит для фокусировки пучка ядер отдачи на систему регистрации.

В установке используется вращающаяся мишень, частота и фаза вращения которой синхронизируются с частотой и фазой пучка тяжелых ионов циклотрона У-400. Это позволяет проводить эксперименты, в которых мишень облучается пучком ионов аргона с интенсивностью до 10^{13} с⁻¹ в течение длительного времени.

Регистрирующая система^{5/} установки состоит из двух (старт и стоп) времяпролетных детекторов и полупроводникового поверхностно-барьерного детектора (ППД), в который имплантируются ядра отдачи.

Электронная система регистрации накапливает в памяти ЭВМ данные о времени пролета ядер отдачи, их энергии, энергии α -распада и осколков деления, времени поступления сигналов с детекторов, интервалах времени между сигналами от ядер отдачи и сигналов от их α -распада или спонтанного деления. Имеющиеся программы обработки позволяют формировать спектры скоростей и энергии ядер отдачи, α -спектры, двумерные спектры "время пролета — энергия". Эти программы позволяют также находить временные корреляции и выявлять цепочки распадов ядер, определяя периоды полураспада продуктов реакций, и идентифицировать нуклиды по генетической связи в цепочках α -распадов.

2. ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕПАРАЦИИ

Под эффективностью сепарации мы понимаем отношение числа ядер отдачи, попавших в фокальную плоскость установки, к полному числу ядер отдачи, образовавшихся в реакции с тяжелыми ионами и вылетевших из мишени. Установка ВАСИЛИСА способна отсепарировать ядра отдачи, вылетевшие из мишени в направлении пучка под углом не больше ± 52 мрад и имеющие разброс по энергии $\Delta E/E$ и по ионному заряду $\Delta q/q$ не больше $\pm 10\%$. В зависимости от массы бомбардирующего иона и типа реакции число ядер отдачи, имеющих угловые, энергетические и ионные зарядовые распределения, попадающие в соответствующие диапазоны пропускания установки, различны. В настоящей работе приведены данные об эффективности сепарации продуктов реакций типа (HI, xn) при использовании бомбардирующих ионов от Ne до Ag и мишеней с $A > 150$.

Экспериментально эффективность сепарации определялась следующим образом: в первом опыте α -активные ядра отдачи выбивались в Al сборник, расположенный за мишенью в непосредственной близости от нее, затем сборник передвигался к ППД, расположенному в мишенной камере, который регистрировал α -распад продуктов ядерных реакций. Во втором опыте α -активные ядра отдачи проходили через сепаратор на фокальную плоскость и вбивались в ППД, имеющий диаметр чувствительной поверхности 75 мм. В обоих случаях измерялись α -спектры и определялись периоды полураспада продуктов реакции. Для примера на рис.1 приведен спектр сепарированных продуктов реакции

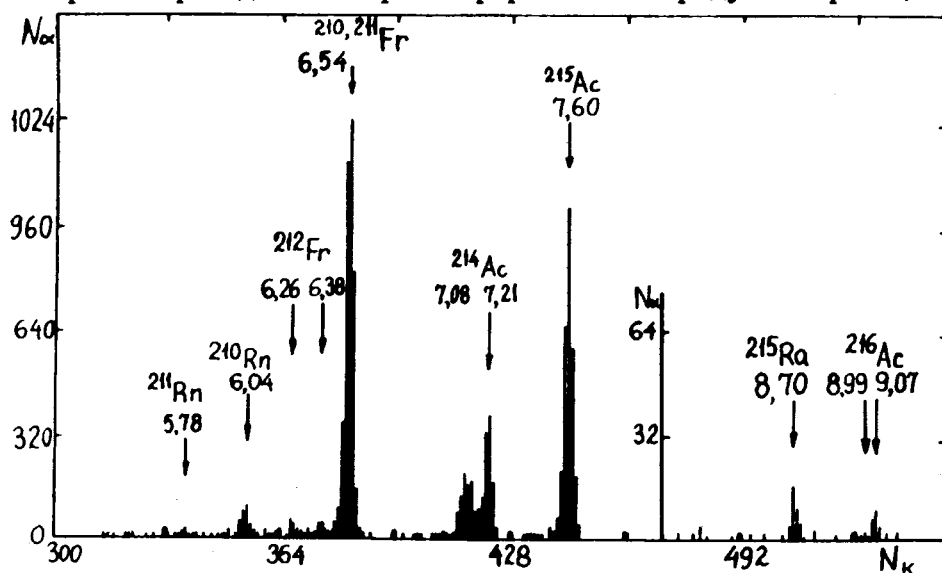


Рис.1. Спектр α -частиц, испускаемых ядрами отдачи, образующимися в реакции $^{22}\text{Ne} + ^{197}\text{Au}$.

$^{22}\text{Ne} + ^{197}\text{Au}$, имплантированных в ППД. Эффективность сепарации ядер отдачи получалась из отношения α -счета ядер, имплантированных в ППД, расположенном в фокальной плоскости сепаратора к α -счету ядер, вбитых в Al сборник, установленный за мишенью, после нормировки на число прошедших сквозь мишень тяжелых ионов и учета эффективности регистрации α -частиц. Результаты экспериментов приведены в таблице.

Таблица

| Реакция | Толщина мишени | Эффективность регистрации | Коэффициент очистки |
|--|-------------------------|---------------------------|---------------------|
| $^{182}\text{W}(^{22}\text{Ne}, 4-5n)^{199,200}\text{Po}$ | 0,20 мг/см ² | (4 ± 1) % | 10 ¹² |
| $^{170}\text{Er}(^{31}\text{P}, 4n)^{197}\text{Bi}$ | 0,26 мг/см ² | (14 ± 3) % | 10 ¹¹ |
| $^{164}\text{Dy}(^{40}\text{Ar}, 4-5n)^{199,200}\text{Po}$ | 0,28 мг/см ² | (20 ± 3) % | 10 ¹⁰ |

Полученные значения эффективности сепарации продуктов реакций полного слияния (см. таблицу) являются достаточно высокими. Прямое сравнение с данными для SHIP^{16/} свидетельствует о том, что при использовании ионов Ar эффективность сепаратора ВАСИЛИСА в 2,5 ÷ 3,0 раза выше. На более легких бомбардирующих ионах сепаратор SHIP не используется. С другой стороны, измеренные значения эффективности сепарации в 3-4 раза ниже расчетных оценок, полученных в предположении бесконечно тонкой мишени, параллельного пучка на входе в систему электростатических диполей и 20% ширины зарядового распределения продуктов реакций. Это позволяет надеяться, что при дальнейшей оптимизации режима работы сепаратора удастся несколько повысить значения эффективности, особенно для легких ионов.

3. ОЧИСТКА ОТ ИОНОВ ПУЧКА И ФОНОВЫХ ПРОДУКТОВ

Сепарация ядер отдачи от пучка бомбардирующих ионов проводится ахроматической системой, состоящей из трех электростатических диполей. Максимальная дисперсия по величине E/q достигается в плоскости симметрии системы, проходящей через второй диполь. Пространственное разделение продуктов реакций полного слияния и бомбардирующих ионов достигается уже на выходе из первого диполя, где угол отклонения ядер отдачи составляет $\theta = +8^\circ$. При прохождении ядер отдачи через второй ($\theta = -16^\circ$) и третий ($\theta = +8^\circ$) диполи достигается дополни-

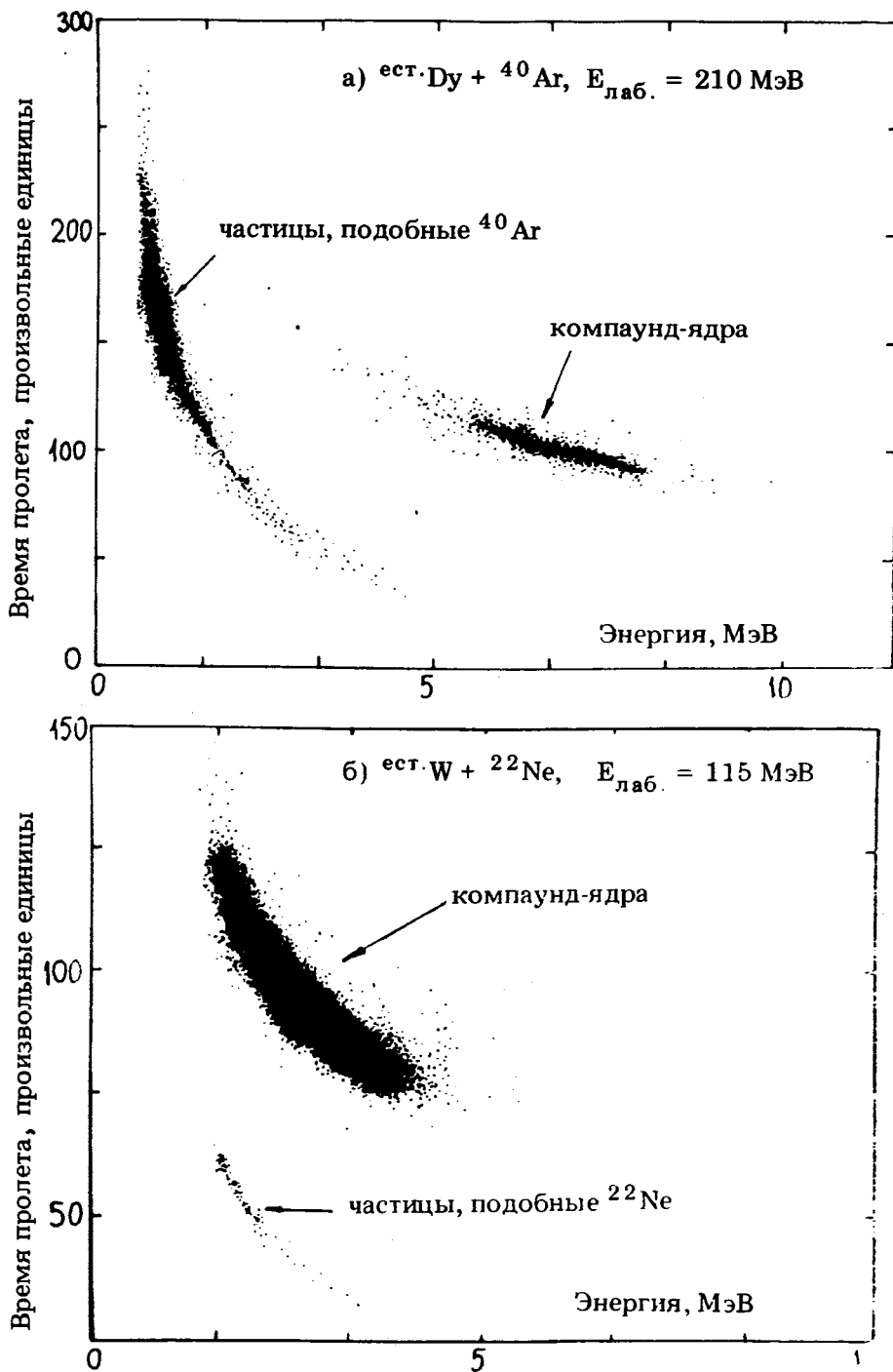


Рис.2. а – двумерный спектр "время пролета - энергия" ядер отдачи в реакции $\text{ест. Dy} + ^{40}\text{Ar}$, б – то же для реакции $\text{ест. W} + ^{22}\text{Ne}$.

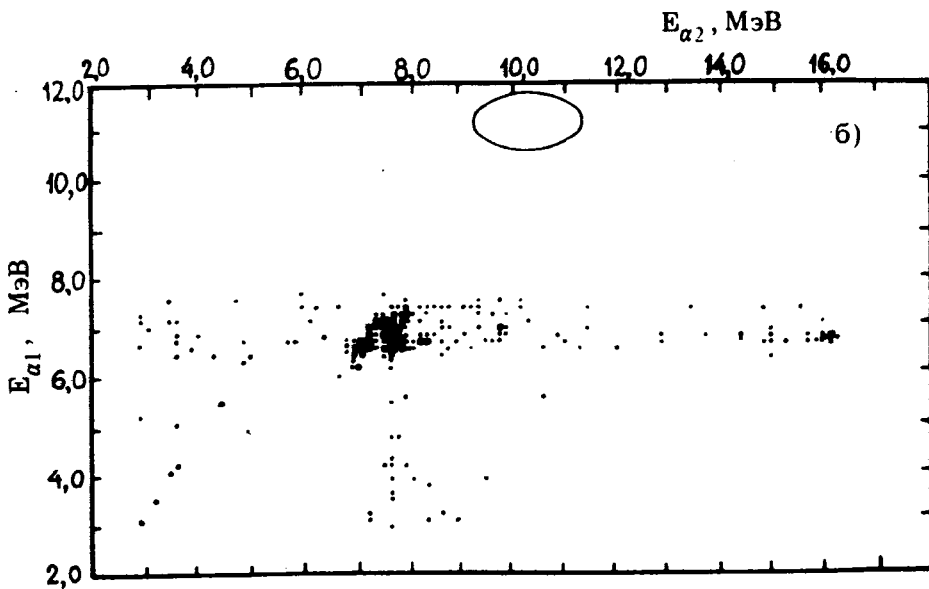
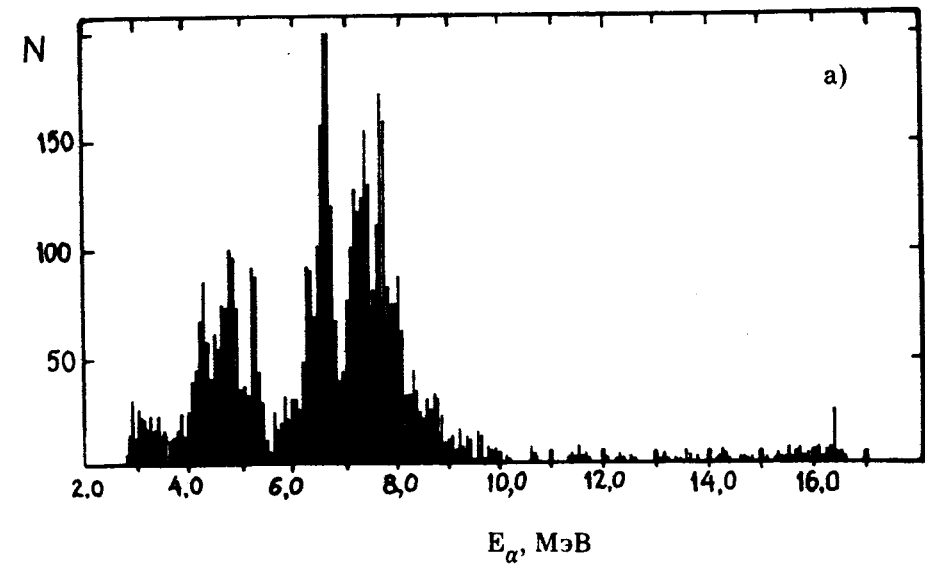


Рис.3. а – спектр α -частиц, зарегистрированных в реакции $^{238}\text{U} + ^{40}\text{Ar}$, б – спектр коррелированных импульсов от α -распадов. Эллипсом обведена область, в которой должна наблюдаться α - α -корреляция для цепочки α -распада материнского ядра 110 и дочернего ядра 108 элемента.

тельная двухступенчатая очистка от рассеянных частиц пучка и от продуктов реакций глубокоэластичных передач и деления, электрическая жесткость которых отличается от электрической жесткости продуктов реакций полного слияния.

Экспериментально коэффициенты очистки определялись из двумерных спектров "время пролета — энергия" (см. рис.2а,б), измеряемых в фокальной плоскости сепаратора и позволяющих грубо идентифицировать продукты реакций по массе. Из рисунков видно, что основным фактором, ограничивающим получение более высоких значений коэффициентов очистки, является присутствие низкоэнергетических частиц с массой, близкой к массе бомбардирующих ионов. Так как в наших экспериментах для создания контрастного пучка используется его предварительное диафрагмирование, то можно предполагать, что фоновые низкоэнергетические ионы образуются при рассеянии первичного пучка на краях диафрагм. Полученные значения коэффициентов очистки от частиц, подобных пучку и имеющих энергию $E > 1$ МэВ, приведены в таблице. Измеренный экспериментально коэффициент очистки от частиц, имеющих энергию более половины энергии первичного пучка, составляет $10^{15} \div 10^{17}$.

Анализ α -спектров, полученных в эксперименте при облучении мишени из свинца пучком ионов аргона ($E_{\text{п.б.}} = 225$ МэВ), дал значение коэффициента очистки $3 \cdot 10^8$ для продуктов реакций многоуклонной передачи Po, At, Rn.

С целью определения возможности проведения экспериментов по синтезу новых элементов были выполнены предварительные эксперименты, в которых пучком ионов ^{40}Ag с энергией 225 МэВ облучалась мишень ^{238}U толщиной $0,5 \text{ мг/см}^2$. На рис.3 приведен спектр α -частиц, зарегистрированных в фокальной плоскости установки ВАСИЛИСА детектором, диаметр которого составлял 75 мм. На этом же рисунке показаны результаты анализа, выявляющего присутствие в спектре α - α -корреляций во временном окне $0,5 \div 30$ мс. Видно, что уже в такой простейшей постановке опыта можно рассчитывать на обнаружение редких событий коррелированного α -распада ядер 110 элемента.

В процессе облучения урановой мишени потоком 10^{17} ионов ^{40}Ag не было зарегистрировано ни одного коррелированного события типа α - α или α - f при энергии α -частиц в области $10 \div 12$ МэВ и было зарегистрировано всего одно событие в области энергий выше 50 МэВ при облучении этой мишени потоком $3,4 \cdot 10^{17}$ ионов ^{40}Ag . Это соответствует пределу образования изотопов 110 элемента в данном эксперименте $3 \cdot 10^{-35} \text{ см}^2$ и $2 \cdot 10^{-34} \text{ см}^2$ с детектированием по каналу спонтанного деления и α -распада соответственно.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные экспериментальные данные об эффективности сепарации ядер отдачи и коэффициентах очистки от бомбардирующих ионов и фоновых продуктов позволяют планировать проведение экспериментов по синтезу и изучению свойств α -распада новых нуклидов с поперечным сечением образования меньше 10^{-35} см². Простые расчеты показывают, что использование временных корреляций типа ядро отдачи — α - α позволит достичь чувствительности $\sigma < 2 \cdot 10^{-36}$ см² в экспериментах по синтезу α -радиоактивных ядер 110 элемента в реакции $^{238}\text{U} + ^{40}\text{Ar}$.

Авторы благодарны академику Г.Н.Флерову за постоянное внимание и помощь в работе, Е.Н.Воронкову, П.Г.Бондаренко, А.И.Иваненко, К.Д.Туманову за обеспечение бесперебойной работы узлов и агрегатов экспериментальной установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Münzenberg G. et al. — Nucl. Instr. and Meth., 1987, B26, p.294.
2. Münzenberg G. et al. — Nucl. Instr. and Meth., 1979, 161, p.65.
3. Yeregin A.V. et al. JINR, E15-88-137, Dubna, 1988.
4. Оганесян Ю.Ц. и др. ОИЯИ, Д7-87-392, Дубна, 1987.
5. Андреев А.Н. и др. ОИЯИ, P13-87-914, Дубна, 1987.
6. Munzenberg G. et al. — In: Int. School-Seminar on Heavy Ion Physics, D7-87-68, Dubna: JINR, 1987, p.127.

Рукопись поступила 16 марта 1988 года.