

УДК 539.163:539.172

ПЕРВЫЕ ТЕСТЫ ГАЗОНАПОЛНЕННОГО СЕПАРАТОРА GRAND НА “ФАБРИКЕ СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ” ЛАБОРАТОРИИ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ ИМЕНИ Г.Н. ФЛЕРОВА ОИЯИ

© 2023 г. А. А. Кузнецова*

*Международная межправительственная организация
“Объединенный институт ядерных исследований”, Дубна, Россия*

**E-mail: aakuznetsova@jinr.ru*

Поступила в редакцию 28.02.2023 г.

После доработки 24.03.2023 г.

Принята к публикации 28.04.2023 г.

Газонаполненный сепаратор GRAND был создан в Лаборатории ядерных реакций имени Г.Н. Флерова (ОИЯИ, Дубна) как развитие экспериментальной части Фабрики сверхтяжелых элементов. Он предназначен для синтеза сверхтяжелых элементов и изучения их физических и химических свойств. Ионно-оптические параметры установки проверялись с помощью трассировки α -частиц стандартных источников ^{226}Ra и ^{244}Cm . Для оценки эффективности транспортировки ядер отдачи сепаратором использовалась реакция полного слияния $^{208}\text{Pb}(^{48}\text{Ca}, xn)^{256}\text{No}^*$.

DOI: 10.31857/S0367676523701958, EDN: ZBAWRI

ВВЕДЕНИЕ

В последние несколько десятилетий совершенствовалась техника в сфере исследований структуры тяжелых и сверхтяжелых ядер с помощью ядерной спектроскопии. В 2004 г. в Лаборатории ядерных реакций имени Г.Н. Флерова ОИЯИ была создана система детекторов GABRIELA [1], расположенная в фокальной плоскости электростатического сепаратора продуктов реакций полного слияния ВАСИЛИСА [2–5]. Затем в 2013 г. электростатический сепаратор был модернизирован в фильтр скоростей SHELS [6, 7] с измененной детектирующей системой GABRIELA-II [8]. Исследовались сечения образования (в области >1 нб) и свойства радиоактивного распада ядер отдачи (ЯО) с $Z \geq 100$, образующихся в результате слияния налетающих ионов с ядрами мишени (с последующим испусканием нейтронов). Налетающие тяжелые ионы ускорялись на циклотроне У-400, интенсивность пучка частиц достигает $1.5 \text{ мкА} \cdot \text{частица}$ [9]. Однако для получения в фокальной плоскости сепаратора максимального количества сверхтяжелых ядер ($Z \geq 110$), имеющих малые сечения образования (<10 пб), необходима высокая интенсивность пучка ионов на мишени и максимальная эффективность сепарации ЯО. Для этой цели был создан новый циклотрон ДЦ-280 [10] с интенсивностью пучка до $10 \text{ мкА} \cdot \text{частица}$ и собраны высокоэффективные газонаполненные сепараторы DGFRS-2 [11] и

GRAND. Схематический вид сепаратора GRAND показан на рис. 1.

Преимуществом газонаполненного сепаратора GRAND является высокая эффективность транспортировки ядер отдачи в плоскость детектора и возможность проведения комплексной α -, β -, γ -спектроскопии в области таких реакций как $^{48}\text{Ca} + ^{249}\text{Cf} \rightarrow ^{294}\text{Og} + 3n$ [12], максимум функции возбуждения которой 0.5 пб или $^{48}\text{Ca} + ^{249}\text{Bk} \rightarrow ^{294}\text{Ts} + 3n$ максимум – 1.1 пб, или $^{48}\text{Ca} + ^{248}\text{Cm} \rightarrow ^{293}\text{Lv} + 3n$, максимум – 3.4 пб и так далее. Также в сепараторе предусмотрена установка экспериментального оборудования для исследования химических свойств сверхтяжелых ядер. При изменении полярности магнитного поля на последнем дипольном магните сепаратора ядра отдачи (ЯО) будут транспортироваться на это оборудование.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Установка GRAND (Gas-filled Recoil Analyzer and Nuclei Detector) является газонаполненным сепаратором (ГНС), имеющим следующую ионно-оптическую конфигурацию $Q_v D Q_h Q_v D$. При переполюсовке источников питания линз есть возможность использовать конфигурацию $Q_v D Q_v Q_h D$. Протяженность установки 7.41 м. В качестве рабочего газа используется гелий, но также предусмотрено применение водорода.

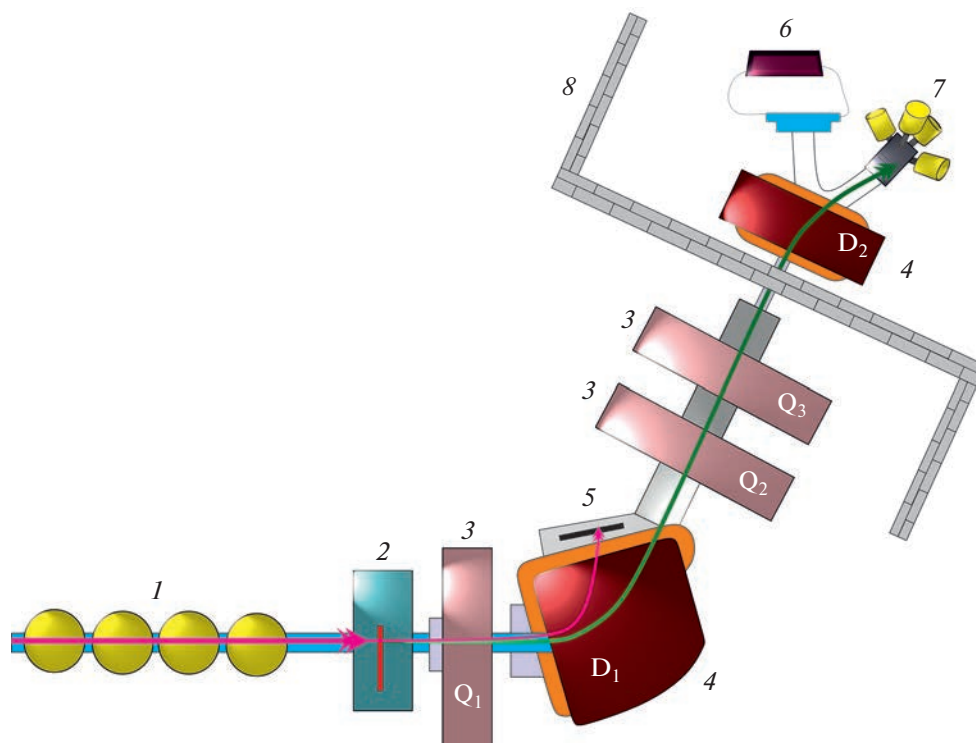


Рис. 1. Схема сепаратора GRAND. 1 — система дифференциальной откачки, 2 — мишенная камера, 3 — квадрупольные линзы, 4 — дипольные магниты, 5 — стоппер пучка, в который выводится первичный пучок, 6 — система детекторов для химических экспериментов, 7 — комплекс детекторов для ядерной α -, β -, γ -спектроскопии, 8 — защитная стена для снижения радиационного фона в фокальной плоскости.

Давление, при котором проводятся работы 0.7–1.5 Торр. Широкие пределы по магнитной жесткости ($B\rho_{\text{max}} = 3.35 \text{ Тл} \cdot \text{м}$) позволяют охватить большой спектр реакций.

В результате реакций слияния налетающих ионов с ядрами мишени образуются компаунд ядра, которые при девозбуждении испускают нейтроны, альфа-частицы, гамма-кванты и становятся ядрами отдачи. Вместе с прочими продуктами реакции ЯО транспортируются в ионно-оптическую систему сепаратора. Первая квадрупольная линза Q_1 фокусирует пучок по вертикали в апертуру первого поворотного дипольного магнита D_1 . Под воздействием магнитного поля, настроенного на определенный средний заряд ионов в газе, первичный пучок отклоняется на $\sim 70^\circ$ – 100° и останавливается в стоппере пучка. ЯО поворачиваются в диполе D_1 на 31.6° и проходят через две квадрупольные линзы Q_2 , Q_3 и дипольный магнит D_2 , далее транспортируются в плоскость детектора. Для проведения химических экспериментов угол поворота в последнем дипольном магните D_2 составляет $+15.2^\circ$, а для спектроскопических -15.2° . На рис. 2. изображены ионно-оптические компоненты сепаратора.

Квадрупольные линзы имеют возможность смены фокусировки с V — вертикальной на H — горизонтальную, если в этом есть необходимость. К примеру, фокусировка V–H–V имеет лучшую эффективность транспортировки ЯО (широкое распределение частиц по всей плоскости детектора), она используется в случае экспериментов по спектроскопии, где важно энергетическое разрешение детекторов и высокая эффективность детектирования ядер. V–V–H используется для газовой химии, где требуется минимальный размер пучка ЯО на входном окне газовой камеры.

Подробные характеристики ионно-оптических компонент сепаратора приведены в табл. 1.

Описанная схема сепаратора была специально разработана для получения максимальной статистики ядер отдачи. Известно, что при работе на газонаполненном сепараторе, использование Ge-детекторов для измерения гамма-квантов и X-лучей затруднено высокой фоном, образующимся в результате столкновения первичного пучка с материалом стоппера. Для снижения радиационного фона — между дипольным магнитом D_2 и детектирующей системой построена защитная стена из бетонных блоков толщиной 80 см.

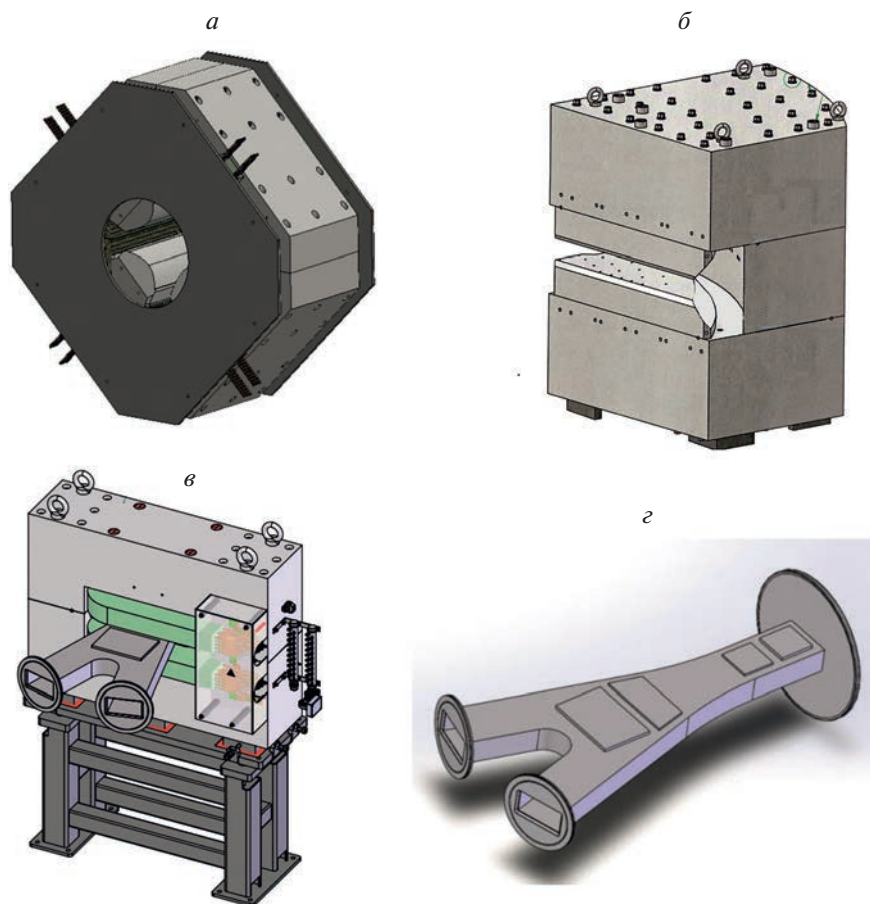


Рис. 2. Некоторые элементы сепаратора: квадрупольная линза (а); дипольный магнит с углом поворота 31.6° (б); дипольный магнит с углами поворота $\pm 15.2^\circ$ (в); вакуумная камера, в которой происходит вывод частиц для разных детекторных камер (г).

ДЕТЕКТИРУЮЩАЯ СИСТЕМА

На данный момент детектирующая система представляет собой кремниевый двухсторонний 128×128 стриповый детектор ($100 \times 100 \text{ мм}^2$) толщиной 500 мкм, который изображен на рис. 3а. Фокальный детектор (DSSSD) предназначен для регистрации ЯО, α -частиц, электронов внутренней конверсии e^- и осколков спонтанного деления (SF). Эффективность регистрации α -частиц, испущенных ядрами, имплантированными в фокальный детектор, составляет $\sim 50\%$. Энергетическое разрешение для каждого стрипа 17–26 кэВ (для альфа-частиц 6–7 МэВ). Детектор установлен так, что стрипы на лицевой стороне находятся в вертикальном положении, а на обратной (задней) – горизонтально.

Для химических экспериментов используется камера торможения ЯО, она отделена от сепаратора тонкой алюминизированной майларовой пленкой толщиной 4.7 мкм. Камера имеет конусообразный вид, по тефлоновым капиллярам в

нее подается газ (или смесь $\text{He} + \text{Ar}$), который обеспечивает транспорт ЯО до плоскости детектора.

Детекторная камера имеет форму “пенала” из кремниевых детекторов (рис. 3б), располагающихся друг напротив друга на расстоянии в 2 мм: 8 модулей и, соответственно, 64 стрипа. Их энергетическое разрешение варьируется от 50 до 80 кэВ в газе.

Детекторный модуль обладает теплопроводящим металлическим корпусом (латунь), сапфировой платой поддержки Si-детектора с одинаковыми температурными коэффициентами расширения. В конструкции модуля заложены следующие конструктивные особенности:

- модуль детектора состоит из двух симметричных половинок и является разборным;
- конструкция модуля и технология сборки кристалла детектора позволяют создавать температурный градиент на одном модуле до 40°C без повреждений детектора;
- все внешние электрические контакты модуля делаются пайкой соединительных проводов

Таблица 1. Характеристики компонент сепаратора

Дипольный магнит D1 (рис. 2б)	Максимальное значение поля 1.8 Тл; Радиус поворота: 1.8 м; Угол поворота: 31.6°; Высота межполюсного зазора: 0.132 м; Эффективная длина: 0.942 м;
Дипольный магнит D2 (рис. 2в)	Максимальное значение поля 1.8 Тл; Радиус поворота: 1.7 м; Угол поворота: 15.2°; Высота межполюсного зазора: 0.12 м; Эффективная длина: 0.450 м;
Квадрупольная линза Q1	Максимальный градиент поля: 13.3 Тл/м; Эффективная длина: 0.456 м; Диаметр апертуры: 0.15 м
Квадрупольные линзы Q2, Q3 (рис. 2а)	Максимальный градиент поля: 5.4 Тл/м; Эффективная длина: 0.601 м; Диаметр апертуры: 0.3 м

при “плавающем” механическом позиционировании модуля в общей конструкции, что обеспечивает высокую надежность конструкции.

Площадь одного детектора составляет $17 \times 42.5 \text{ мм}^2$, а его толщина — 300 мкм. Детекторы имеют по четыре стрипа с площадью чувствительной области каждого около $15 \times 10 \text{ мм}^2$. С целью определения коэффициента адсорбции сверхтяжелых элементов и их дочерних продуктов распада на благородных металлах, каждый детектирующий стрип имеет золотое напыление, площадью $13 \times 8 \text{ мм}^2$ и толщиной около 100 мкг/см^2 . Газовый объем внутри детектирующей системы составляет около 6 см^3 .

Полная эффективность регистрации детекторами α -частиц и осколков деления от распадов попавших внутрь сборки ядер составляет соответственно ~92 и ~80% от 4 π . Различия в эффективностях регистрации α -частиц и осколков деления объясняется существенным различием их пробега в газовом промежутке между детекторами.

ДИСПЕРСИЯ СЕПАРАТОРА И ЭФФЕКТИВНЫЕ ДЛИНЫ ДИПОЛЕЙ

Трансмиссия сепаратора чувствительна к настройке полей квадрупольных линз и дипольных магнитов. В основе расчета настроек сепаратора на конкретную реакцию берется магнитная жесткость ЯО в гелии, их угловое распределение и знание параметров магнитных элементов сепаратора. Для уточнения величин эффективных длин первого и второго диполя (D_1 , D_2) были проведены измерения на альфа-частицах источников ^{266}Ra и ^{244}Cm , помещенных в положение центра мишени. На расстоянии 165 мм от источника ставился коллиматор диаметром 10 мм. Тесты про-

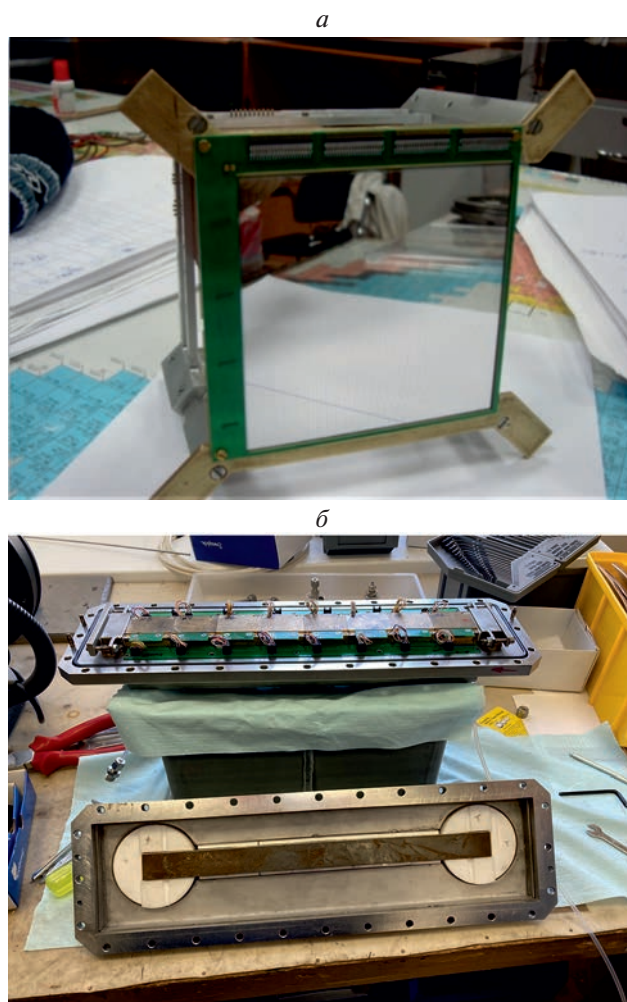


Рис. 3. Si-детекторы, применяющиеся в фокальной плоскости сепаратора GRAND. Si-детектор 128×128 стрипов, используемый для α -, β -спектроскопии, регистрации SF (а); система “пенал” (в открытом виде) для исследований по газовой химии (б).

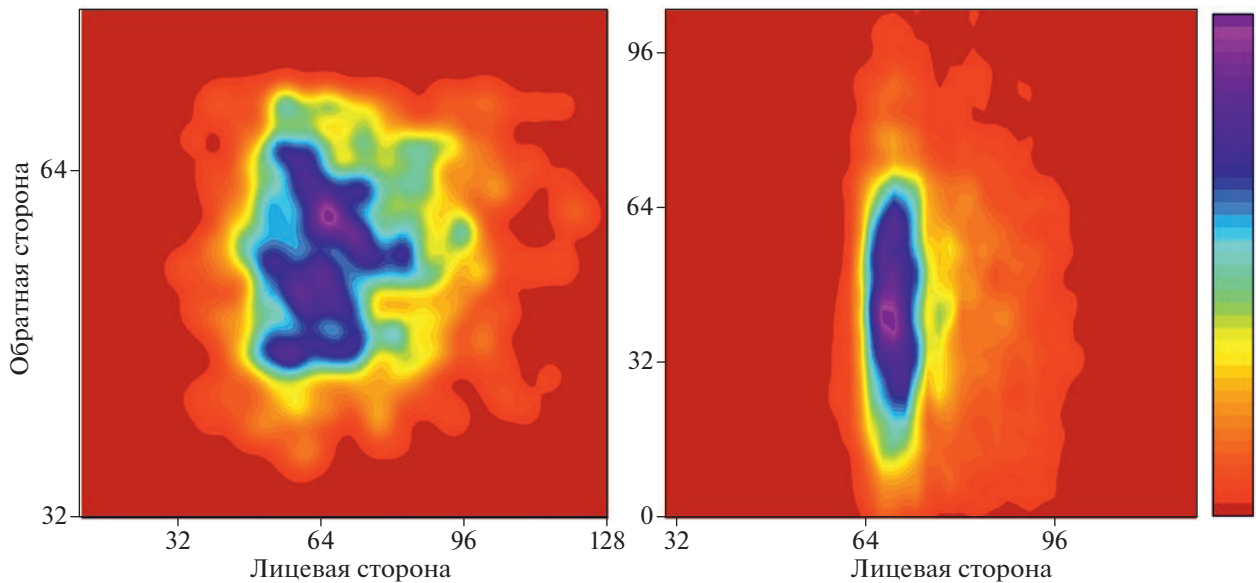


Рис. 4. Двумерные спектры распределения альфа-частиц в фокальном детекторе; при фокусировке V–H–V (а), V–V–H (б).

водились при наличии коллиматора и без него. Настройки квадрупольных линз и дипольных магнитов рассчитывались для транспортировки альфа-частиц ^{218}Po 6002 кэВ и ^{214}Po 7687 кэВ, которые являются дочерними продуктами ^{226}Ra ; а также, для энергии α -частиц ^{244}Cm 5804 кэВ. Пучок выводился в центр детектирующей плоскости (рис. 4а) и имел округлую форму. Магнитная жесткость вычислялась по формуле:

$$B\rho = 0.144 \frac{\sqrt{AE}}{q}, \quad (1)$$

где B — магнитное поле [Тл], ρ — радиус поворота в магнитном поле [м], A — масса частицы [а.е.м.], E — энергия частицы [МэВ], q — заряд частицы. Стоит помнить, что 98.5% альфа-частиц имеет заряд $q = 2$ и только 1.5% имеет $q = 1$. Текущий радиус поворота рассчитывался по формуле:

$$\rho_0 = \frac{B\rho}{B_0}, \quad (2)$$

где B_0 — текущее магнитное поле дипольного магнита (из настройки). Эффективная длина диполя по оптической оси сепаратора рассчитывалась следующим образом:

$$L_{\text{eff}} = \alpha\rho_0, \quad (3)$$

где $\alpha = (\pi\theta) - 180$, а θ — угол поворота дипольного магнита.

В результате измерений и описанных выше расчетов выявлены расхождения радиусов поворота и эффективных длин дипольных магнитов с заявленными в документации.

Наличие и отсутствие коллиматора влияло только на интенсивность альфа-частиц. При перестройке на другой заряд (с 2+ на 1+) параметр L_{eff} менялся незначительно (± 2 мм). Средние значения эффективных длин дипольных магнитов приведены в табл. 2. Отличие от значений производителя, вероятно, объясняет тем, что пучок частиц двигался по разным траекториям. Однако, если для первого дипольного магнита разница почти незаметна, то для второго диполя (с углом поворота 15.2°) этот параметр сильно ниже — 4.6%.

В сепараторе продукты ядерных реакций с разными магнитными жесткостями движутся по разным траекториям, поэтому очень важной характеристикой установки считается дисперсия в фокальной плоскости сепаратора D_x . Это величина смещения траектории частицы по оси x в фокальной плоскости при изменении магнитной жесткости на 1%. Измерение D_x проводилось с теми же α -источниками и рассчитывалось по формуле (4):

$$D_x \left[\frac{\text{мм}}{\% B\rho} \right] = dsdl, \quad (4)$$

где ds — число стрипов детектора, на которое сдвинулся пучок, dl — размер стрипа в мм. В результате, дисперсия для энергий α -частиц 6002 и 7686 кэВ равна $32.8 \pm 0.6 \frac{\text{мм}}{\% B\rho}$ (для фокусировки V–H–V) и

$10.8 \pm 0.1 \frac{\text{мм}}{\% B\rho}$ (для фокусировки V–V–H). На рис. 4 изображены спектры имплантации α -ча-

Таблица 2. Результат расчета параметров дипольных магнитов по измерениям на источниках ^{226}Ra и ^{244}Cm

Фокусировка	E_α , кэВ	$B\rho$, Тл · м		ρ_{D_1}/ρ_{D_2} , мм	$L_{\text{eff}}^{D_1}$, мм	$\langle L_{\text{eff}}^{D_1} \rangle$, мм	$L_{\text{eff}}^{D_2}$, мм	$\langle L_{\text{eff}}^{D_2} \rangle$, мм
V ^к H V	6002	2+	0.352	1832/1635	$1007.3^{+10.8}_{-10.6}$	$1007.3^{+11.1}_{-10.9}$	$432.4^{+4.8}_{-4.7}$	$431.5^{+5}_{-4.9}$
		1+	0.705	1833/1642	$1007.8^{+19}_{-19.1}$		$434.3^{+12}_{-12.3}$	
	7686	2+	0.39	1822/1585	$1001.8^{+12.4}_{-12.1}$		$419.2^{+5.4}_{-5.3}$	
		1+	0.79	1823/1590	$1002.3^{+18.3}_{-18.6}$		$420.5^{+11}_{-11.5}$	
V ^б V H	5804	2+	0.346	1850/1705	$1017.2^{+11.1}_{-10.9}$		$450.9^{+5.1}_{-5.03}$	
SigmaPHI Производитель				1800/1721		1007.5^{+3}_{-3}		452.5^{+3}_{-3}

^к Тест с коллиматором.

^б Тест без коллиматора.

стиц при горизонтальной и вертикальной фокусировке, соответственно с разными дисперсиями.

Высокая дисперсия обеспечивает лучшее разрешение продуктов реакции и снижает фон. Но реализация высокой разрешающей способности требует увеличения детекторов и повышает чувствительность системы к неопределенностям зарядов ионов и настроек магнитов.

ТЕСТОВЫЕ ОБЛУЧЕНИЯ ПО α -СПЕКТРОСКОПИИ

Эксперимент проводился для реакции слияния $^{48}\text{Ca} + ^{208}\text{Pb} \rightarrow ^{254}\text{No} + 2n$. Энергия пучка налетающих частиц $E_b = 227$ МэВ (в середине мишени 217 МэВ). Набран общий интеграл $8.87 \cdot 10^{17}$ частиц при интенсивности пучка $I = 1.1$ мкА · частицу. Использовалась мишень ^{208}PbS с высокой степенью обогащения (99.99%) толщиной $360 \text{ мкг} \cdot \text{см}^{-2}$ на титановой фольге 1.5 мкм. Давление газа в сепараторе было равно 0.7 торр.

Фокальный Si-детектор калибровался по хорошо известным энергиям α -частиц ядер, образующихся в реакциях $^{48}\text{Ca} + ^{170}\text{Er} \rightarrow ^{214}\text{Ra} + 4n$ с энергией α -частиц $E_\alpha = 7137$ кэВ и $^{48}\text{Ca} + ^{174}\text{Yb} \rightarrow ^{217}\text{Th} + 5n$ с энергией α -частиц $E_\alpha = 9260$ кэВ. Энергетическое разрешение в среднем составило $d = 21 \pm 5$ кэВ.

Исследуемая реакция удобна для проведения первых тестов тем, что ядро нобелия-254 имеет хорошо измеренные характеристики распада: $B_\alpha = 90\%$, $B_{SF} = 0.17\%$, $B_{CE} = 10\%$ [18], две энергии α -частиц $E_\alpha = 8050$ кэВ и $E_\alpha = 8093$ кэВ и период полураспада $T_{1/2} = 51.2$ с; два изомерных состояния с периодами полураспада 265 мс и 184 мкс [19].

Спектр α -частиц, зарегистрированный на фокальном детекторе, представлен на рис. 5. Фон на спектре минимальный и цепочка распада $^{254}\text{No} \rightarrow ^{250}\text{Fm} \rightarrow ^{246}\text{Cf}$ идентифицируется прекрасно. Набранная статистика составила $1.08 \cdot 10^5$ α -частиц от ^{254}No . Вертикальное и горизонтальное распределение α -частиц по стрипам расположено по центру (см. рис. 6а и 6б), что подтверждается спектром имплантации событий в фокальный детектор (рис. 7). Провал на рис. 6б и 7 объясняется некорректной работой группы стрипов на обратной стороне детектора.

Эффективность транспортировки ЯО для сепаратора GRAND составила ~60%. Если сравни-

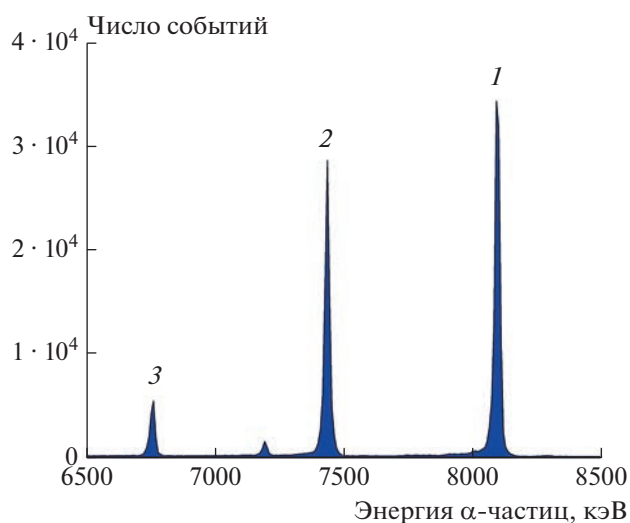


Рис. 5. Спектр α -частиц реакции слияния; 1 – пик α -частиц ^{254}No , 2 – ^{250}Fm , 3 – ^{246}Cf .

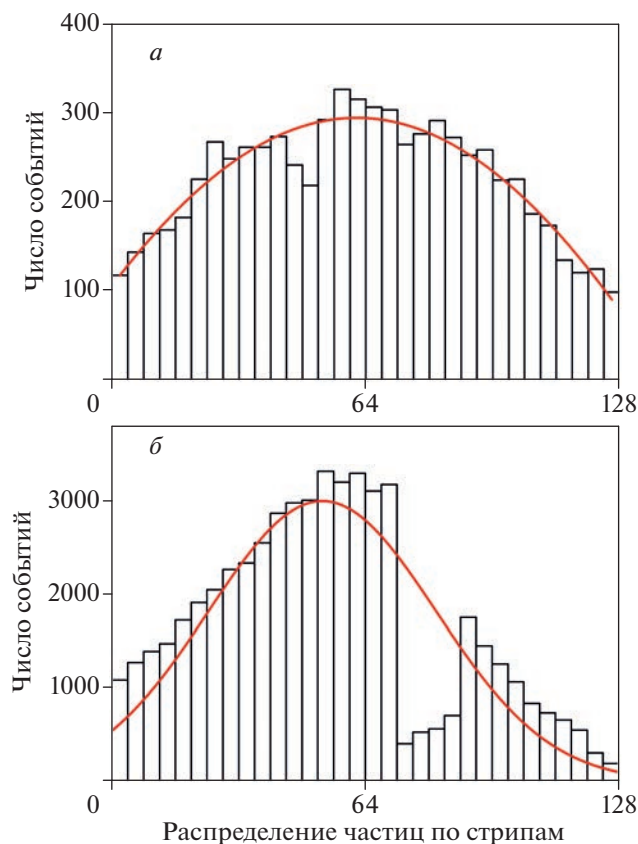


Рис. 6. Горизонтальное распределение частиц по стрипам (с лицевой стороны детектора), аппроксимация Гаусса (а); вертикальное распределение частиц по стрипам (с обратной стороны детектора) (б), аппроксимированные нормальным распределением.

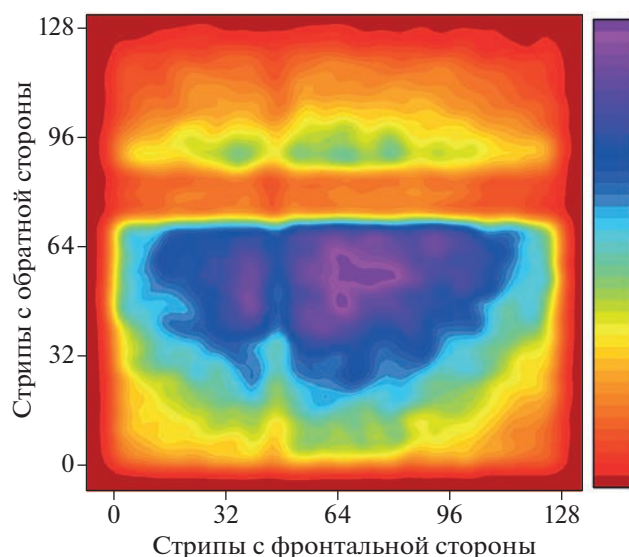


Рис. 7. 2D-спектр имплантации частиц в фокальный детектор.

вать с эффективностью, полученной ранее на установке SHELS для этой же реакции – 38%, то преимущество газонаполненной системы становится очевидной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ тестовой реакции $^{48}\text{Ca} + ^{208}\text{Pb} \rightarrow ^{254}\text{No} + 2n$ выявил высокую эффективность транспортировки ЯО на сепараторе GRAND. Для расчета более точных настроек оптической системы будут учитываться измеренные эффективные длины магнитных диполей.

В дальнейшем по периметру фокального DSSSD будут расположены 8 боковых DSSSD $50 \times 60 \text{ мм}^2$ (TUNNEL) и весь этот комплекс кремниевых детекторов будет окружен пятью Ge-детекторами “кловерного” типа, тогда детектирующая система будет аналогом GABRIELA-II.

В будущем для экспериментов по спектроскопии на GRAND планируется синтез изотопов Московия ($Z = 115$) в реакции слияния $^{48}\text{Ca} + ^{243}\text{Am} \rightarrow ^{288}\text{Mc} + 3n$ с сечением 8.5 пб. Период полураспада ядра ^{288}Mc $T_{1/2} = 170 \text{ мс}$, энергия α -частицы $E_\alpha = 10.3 \text{ МэВ}$. Прежде на DGFRS-1 и DGFRS-2 уже были получены следующие цепочки α -распада $^{288}\text{Mc} \rightarrow ^{284}\text{Nh} \rightarrow ^{280}\text{Rg} \rightarrow ^{276}\text{Mt} \rightarrow \rightarrow ^{272}\text{Bh} \rightarrow ^{268}\text{Db} \rightarrow ^{264}\text{Lr}$ [20–22].

Исследования на установке GRAND пополняют статистику и дадут информацию по тонкой структуре ядер с помощью α -, β -, γ -спектроскопии, которая успешно применяется на сепараторе SHELS.

По газовой химии ожидаются эксперименты химической идентификации сверхтяжелых элементов 112 (Cn) и 114 (Fl).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hauschild K., Yeregin A.V., Dorvaux O. et al. // Nucl. Instrum. Meth. A. 2006. V. 560. P. 388.
2. Yeregin A.V., Andreyev A.N., Bogdanov D.D. et al. // Nucl. Instrum. Meth. A. 1994. V. 350. P. 608.
3. Yeregin A.V., Bogdanov D.D., Chepigin V.I. et al. // Nucl. Instrum. Meth. B. 1997. V. 126. P. 329.
4. Yeregin A.V., Belozero A.V., Chelnokov M.L. et al. // Phys. Atom. Nucl. 2003. V. 66. P. 1042.
5. Yeregin A.V., Andreyev A.N., Bogdanov D.D. et al. // Nucl. Instrum. Meth. A. 1989. V. 274. P. 528.
6. Еремин А.В., Попеко А.Г., Малышев О.Н. и др. // Письма ЭЧАЯ. 2015. Т. 12. № 1(192). С. 63; Yeregin A.V., Popeko A.G., Malyshev O.N. et al. // Phys. Part. Nucl. Lett. 2015. V. 12. No. 1. P. 35.
7. Еремин А.В., Попеко А.Г., Малышев О.Н. и др. // Письма ЭЧАЯ. 2015. Т. 12. № 1. С. 192; C. 74; Yeregin A.V., Popeko A.G., Malyshev O.N. et al. // Phys. Part. Nucl. Lett. 2015. V. 12. No. 1. P. 43.

8. *Lopez-Martens A., Hauschild K. and the GABRIELA collaboration* // Eur. Phys. J. A. 2022. V. 58. No. 7. P. 134.
9. *Oganessian Yu.Ts., Gulbekyan G.G., Gikal B.N. et al.* // Proc. Int. Conf. APAC2004 (Gyeongju, 2004). P. 52.
10. *Гульбекия Г.Г., Дмитриев С.Н., Иткис М.Г. и др.* // Письма в ЭЧАЯ. 2019. Т. 16. № 6(225). С. 653; *Gulbekian G.G., Dmitriev S.N., Itkis M.G.* // Phys. Part. Nucl. Lett. 2019. V. 16. No. 6. P. 866.
11. *Oganessian Yu.Ts., Utyonkov V.K., Popeko A.G. et al.* // Nucl. Instrum. Meth. A. 2022. V. 1033. Art. No. 166640.
12. *Oganessian Yu.Ts., Utyonkov V.K.* // Rep. Prog. Phys. 2015. V. 78. Art. No. 36301.
13. *Subotic K., Oganessian Yu.Ts., Utyonkov V.K. et al.* // Nucl. Instrum. Meth. A. 2002. V. 481. No. 1–3. P. 71.
14. *Kaji D., Morita K., Morimoto K. et al.* // Nucl. Chem. 2003. V. 255. No. 1. P. 77.
15. *Kaji D., Morimoto K., Sato N. et al.* // Nucl. Instrum. Meth. B. 2013. V. 317. P. 311.
16. *Semchenkov A., Bruchle W., Jäger E. et al.* // Nucl. Instrum. Meth. B. 2008. V. 266. No. 19–20. P. 4153.
17. *Ninov V., Gregorich K.E., McGrath C.A.* // AIP Conf. Proc. 1998. V. 455. No. 1. P. 704.
18. *Reiter P., Khoo T.L., Lister C.J. et al.* // Phys. Rev. Lett. 1999. V. 82. No. 3. P. 509.
19. *Clark R.M., Gregorich K.E., Berryman J.S. et al.* // Phys. Lett. B. 2010. V. 690. P. 19.
20. *Oganessian Yu.Ts., Utyonkov V.K., Lobanov Yu.V. et al.* // Phys. Rev. C. 2004. V. 69. Art. No. 021601(R).
21. *Oganessian Yu.Ts., Abdullin F.Sh., Dmitriev S.N. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2012. V. 108. Art. No. 22502.
22. *Oganessian Yu.Ts., Utyonkov V.K.* // Rep. Prog. Phys. 2015. V. 78. Art. No. 36301.

First tests on the gas-filled separator GRAND for the Super Heavy Element Factory at the Flerov Laboratory of Nuclear Reactions in JINR

A. A. Kuznetsova*

Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, 141980 Russia

**e-mail: aakuznetsova@jinr.ru*

The gas-filled separator GRAND is experimental setup created for Super Heavy Element Factory of the FLNR (JINR). It is intended for experiments of the synthesis of super heavy elements and for study of their physical and chemical properties. The ion-optical parameters of the setup were checked using α -particle tracing from standard ^{226}Ra and ^{244}Cm sources. The complete fusion reaction of $^{208}\text{Pb}(^{48}\text{Ca}, xn)^{256}\text{No}^*$ was used for estimation of the transmission efficiency of recoil nuclei in the separator.