

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ ИМ. Г. Н. ФЛЕРОВА

В 2012 г. научная программа Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова в области физики тяжелых ионов включала в себя эксперименты по синтезу и исследованию свойств тяжелых и экзотических ядер с использованием пучков ускоренных ионов стабильных и радиоактивных изотопов, изучение механизма ядерных реакций, развитие ускорительной техники, изучение взаимодействия тяжелых ионов с конденсированными средами, а также прикладные исследования. Эти направления исследований были представлены в трех лабораторных темах:

- синтез и свойства ядер на границах стабильности (9 проектов);

- радиационные эффекты и физические основы нанотехнологий, радиоаналитические и радиоизотопные исследования на ускорителях ЛЯР (5 проектов);

- ускорительный комплекс пучков ионов стабильных и радиоактивных нуклидов (проект DRIBs-III) (9 проектов).

Время работы основных ускорителей ЛЯР в 2012 г. составило 11300 ч.

DRIBsIII.

УСКОРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ПУЧКОВ ИОНОВ СТАБИЛЬНЫХ И РАДИОАКТИВНЫХ НУКЛИДОВ

Одним из основных проектов 7-летнего плана развития ОИЯИ на 2010–2016 гг. является проект DRIBs-III (Dubna Radioactive Ion Beams). Помимо существенной модернизации действующих ускорителей У-400 и У-400М, проект предусматривает создание первой в мире SNE-factory на базе нового ускорительного комплекса ДЦ-280 и нового экспериментального корпуса. Будут также существенно модернизированы действующие и созданы новые установки для проведения разносторонних исследований в двух основных направлениях: 1) физические свойства тяжелых и сверхтяжелых ядер: синтез сверхтяжелых элементов, изучение химических свойств новых элементов, изучение реакций слияния-деления и реакций многонуклонных передач, массовая спектрометрия и ядерная спектроскопия сверхтяжелых ядер; 2) структура легких экзотических ядер, удаленных от линии стабильности, редкие моды распада и реакции с экзотическими ядрами.

Циклотрон ДЦ-280. В 2012 г. в соответствии с планом развития ускорительной базы ЛЯР разработан проект нового сверхточного циклотрона ДЦ-280 с интенсивностью пучков ионов средних масс 10–20 пмкА с энергией 4–8 МэВ/нуклон. Циклотрон будет оснащен двумя ионными источниками

для получения интенсивных пучков легких и тяжелых ионов. В настоящее время магнит циклотрона находится в стадии изготовления, завершена разработка технического проекта и конструкторской документации ускоряющей системы циклотрона, системы вывода пучка с использованием электростатического дефлектора и магнитного канала.

Создан проект системы транспортировки пучка к мишеням, которая будет осуществляется по инопроводу диаметром 100 мм. Размер пучка на мишени — 10 мм. Для каждого участка движения пучка от ионного источника до мишени разработана система диагностики, обеспечивающая измерение интенсивности, положения, профиля и локальных потерь. Созданы проекты инженерных систем водоохлаждения, системы электропитания и управления.

ACCULINNA-2. В рамках проекта DRIBs-III продолжается конструирование и изготовление нового мощного фрагмент-сепаратора ACCULINNA-2, предназначенного для производства, формирования и транспортировки вторичных пучков радиоактивных ионов. Работа проводится в рамках контракта с компанией «SigmaPhi» (Франция). Установка будет запущена в конце 2014 г. Первые эксперименты на сепараторе запланированы на 2015 г.

GALS. Завершена детальная проработка проекта новой установки для извлечения продуктов ядерных реакций с использованием их останки в газе и последующей резонансной лазерной ионизацией (установка GALS). Подготовлен и опубликован окончательный вариант проекта установки. Проект утвержден программно-консультативным комитетом ОИЯИ и принят к реализации. Проводилась проработка технической документации и схем конкретного размещения на ускорителях ЛЯР (У-400М и У-400Р). Сформулированы критерии функционирования систем инженерного обеспечения, и подготовлен проект реконструкции помещения лазерной лаборатории и систем регистрации для установки GALS. Проведены заказы на закупку оборудования по первой фазе проекта.

VASSILISSA. В рамках модернизации сепаратора VASSILISSA была проведена окончательная сборка установки и пучковой линии, завершены вакуумные испытания и тесты высоковольтного оборудования, а также проведены измерения магнитных полей. Продолжалась работа над созданием системы регистрации в фокальной плоскости, включающей большой Clover-детектор, германиевые детекторы со специализированной антикомптоновской защитой, а также кремниевые позиционно-чувствительные двухсторонние детекторы.

Ионные источники.

- На циклотроне У-400 обеспечено получение интенсивных пучков ионов ^{48}Ca , Ne, Ar, Kr, Xe, Bi

для проведения физических экспериментов. При интенсивности инжектированного пучка ионов $^{48}\text{Ca}^{5+}$ до 100 емкА расход кальция составил $\sim 0,8$ мг/ч (без учета регенерации);

- на циклотроне МЦ-400 обеспечено получение пучков ионов ^7Li , ^{11}B , ^{15}N , ^{18}O , ^{20}Ne , ^{40}Ar , ^{84}Kr , ^{132}Xe , ^{209}Bi для проведения физических экспериментов;

- на циклотроне ИЦ-100 обеспечено получение интенсивных пучков ионов Ar, Kr, Xe для производства ядерных фильтров и физических экспериментов;

- проведены модернизация и стендовые испытания ЭЦР-источника ECR4M, а также эксперименты по получению пучков ионов Ti и Gd;

- проведены стендовые испытания ЭЦР-источника DECRIS-5 и системы аксиальной инжекции циклотронного комплекса ДЦ-110;

- ведется разработка проекта инжектора многозарядных ионов циклотронного комплекса ДЦ-280.

Сотрудники сектора ионных источников приняли участие в ряде конференций: XX Международном совещании по ЭЦР-источникам ионов ECRIS-2012 (Сидней); XXIII Всероссийской конференции по ускорителям заряженных частиц RUPAC-2012 (Санкт-Петербург, Россия); XIX Международной конференции по электростатическим ускорителям и пучковым технологиям ESACCEL-2012 (Обнинск, Россия).

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ЯДЕР НА ГРАНИЦАХ СТАБИЛЬНОСТИ

Синтез новых элементов. В 2012 г. проведена серия экспериментов по изучению радиоактивных свойств изотопов элемента 117 и продуктов их α -распада, а также измерению функции возбуждения реакции полного слияния $^{249}\text{Bk} + ^{48}\text{Ca}$. Работа выполнена на газонаполненном сепараторе ЛЯР ОИЯИ в сотрудничестве с лабораториями в Ок-Ридже (ORNL), Ливерморе (LLNL), Ноксвилле (UT), Нашвилле (VU) и Димитровграде (НИИАР). Материал мишени был наработан в Ок-Ридже, мишень толщиной $0,33$ мг/см² изготовлена в Димитровграде.

Эксперименты проведены при пяти энергиях ускоренных на циклотроне У-400 ионов ^{48}Ca от 244 до 260 МэВ с суммарной дозой $4,56 \cdot 10^{19}$. В двух опытах при энергии возбуждения составного ядра $^{297}117 E^* = 30,4\text{--}37,5$ МэВ зарегистрированы три цепочки распада $^{294}117$ (рис. 1, а). При трех более высоких энергиях ($E^* = 37,0\text{--}48,3$ МэВ) синтезированы 11 ядер $^{293}117$. Свойства распада всех ядер в цепочках распада $^{294}117$ и $^{293}117$, а также $^{289}115$, измеренных в реакциях ^{48}Ca с ^{249}Bk

и ^{243}Am в предшествующих и данных экспериментах, полностью согласуются. Суммарное число цепочек дано на рис. 1, а, включая четыре распада изотопа $^{289}115$ — продукта реакции $^{243}\text{Am} (^{48}\text{Ca}, 2n)$. Измеренная функция возбуждения подтверждает, что наблюдаемые изотопы являются продуктами $3n$ - и $4n$ -каналов реакции $^{249}\text{Bk} + ^{48}\text{Ca}$ (рис. 2). Кроме того, в реакции с ^{249}Cf , продуктом β -распада ядра ^{249}Bk , зарегистрирован распад ядра $^{294}118$ (рис. 1, б), наблюдавшийся в 2002 и 2005 гг. Полученные результаты опубликованы в работах [1, 2].

Химия трансактиноидов. В течение 2012 г. велась подготовка к экспериментам по изучению химических свойств элементов 113 и 114 в реакциях $^{243}\text{Am} (^{48}\text{Ca}, 2n)$, $^{249}\text{Bk} (^{48}\text{Ca}, 4n)$ и $^{242,244}\text{Pu} (^{48}\text{Ca}, 3n)$. Разработан ряд новых методик получения актинидных мишеней повышенной стойкости на основе оксидов (электролитический метод) и интерметаллидов. Завершено создание и проведены тестовые испытания нового криодетектора для определения теплоты адсорбции исследуемых элементов

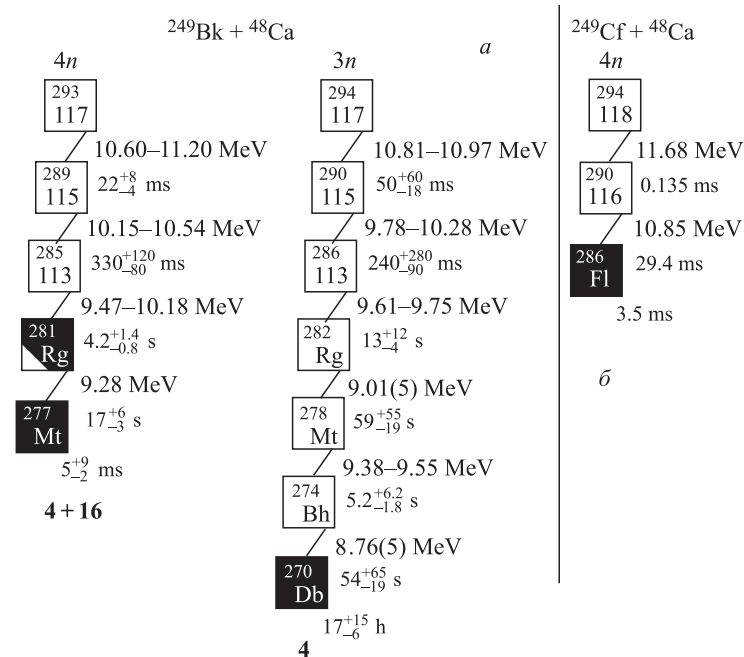


Рис. 1. а) Радиоактивные свойства $^{293,294}_{117}$ и их дочерних ядер. Указаны энергии α -частиц и периоды полураспада. Спонтанно делящиеся изотопы показаны черными квадратами. б) Цепочка распада $^{294}_{118}$ (приведены энергии α -частиц и времена распада)

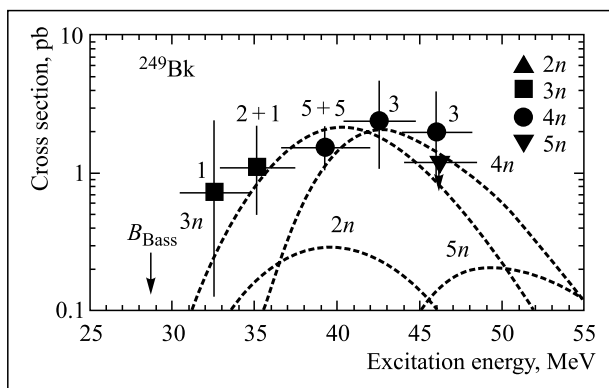


Рис. 2. Сечения образования ядер $^{294}_{117}$ и $^{293}_{117}$ в зависимости от энергии возбуждения составного ядра. Цифрами указано число синтезированных ядер в данном эксперименте и в 2010 г.

на поверхности золота. В декабре начат первый цикл экспериментов с использованием реакции $^{243}\text{Am} (^{48}\text{Ca}, 2n)$.

Сепаратор VASSILISSA. В 2012 г. продолжался анализ данных для распадов изотопов ^{253}No , $^{244,246}\text{Fm}$, полученных в 2009–2010 гг. [3, 4]. Основные результаты научной деятельности сектора представлены в работах [3, 4], а также в тезисах пяти международных конференций.

Продолжаются работы по модернизации сепаратора VASSILISSA (см. раздел «DRIBs-III» (без номера)). Первые эксперименты на модернизированном сепараторе запланированы на середину 2013 г.

Масс-спектрометр MASHA. В течение 2012 г. в тестовых экспериментах на циклотроне У-400М было проведено измерение быстродействия системы ISOL-сепарации, состоящей из горячей ловушки и ЭЦР-источника [5]. В измерениях в фокальной плоскости сепаратора регистрировались короткоживущие изотопы ртути, получавшиеся в реакции полного слияния $^{40}\text{Ar} + ^{144}\text{Sm}$. Полное время сепарации составило 1,9 с. В этих же экспериментах измерена эффективность сепарации ртути, которая по предварительным данным составила $\sim 6\%$.

На циклотроне У-400М выполнен эксперимент по измерению массы ядра ^{283}Sn , синтезированного в реакции $^{48}\text{Ca} + ^{238}\text{U}$. В эксперименте использовалась мишень из карбида урана, которая одновременно являлась горячим поглотителем продуктов реакции полного слияния. Полный поток ионов ^{48}Ca , прошедших через мишень, составил $1,3 \cdot 10^{18}$.

В рамках сотрудничества с Институтом технической и прикладной физики при Пражском университете (Чешская Республика) проводится работа по созданию программного обеспечения для работы с гибридным кремниевым пиксельным детектором MEDIPIX на установке MASHA.

Лазерная спектроскопия. Совместно с Католическим университетом Лёвена, Университетом Майнца и GANIL завершена серия экспериментов по определению эффективности лазерной ионизации стабильного и радиоактивного Cu, получаемого в газовой ячейке на установке LISOL циклотрона

CYCLON. Использовались различные системы, основанные на эксимерных лазерах, лазерах на красителе и TiSa-лазерах с накачкой YAG-лазером. Показана сравнимая эффективность ионизации при большей частоте работы твердотельных лазеров и наилучшем разрешении [6].

Продолжен совместный эксперимент с Католическим университетом Лёвена (Бельгия) в ЦЕРН с использованием метода лазерной спектроскопии в ионном источнике RILIS. Проведена уточненная обработка экспериментальных данных для определения зарядовых радиусов и моментов цепочки нейтронно-дефицитных изотопов и изомеров Po [7].

Динамика взаимодействия тяжелых ядер, деление тяжелых и сверхтяжелых ядер. Закончена обработка экспериментальных данных, полученных на ускорителе У-400М ЛЯР при проведении эксперимента по исследованию массово-энергетических и угловых распределений продуктов реакции $^{136}\text{Xe} + ^{208}\text{Pb}$ вблизи кулоновского барьера при энергиях 700, 870 и 1020 МэВ на установке CORSET. Обнаружено, что фрагменты с массой тяжелее 210 а.е.м. образуются с сечением на порядок выше, чем ожидалось из расчетов. В работе проведены прямые измерения сечений образования ядер ^{224}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Po [8].

В 2012 г. был завершен анализ экспериментальных данных по пред- и постделительной множественности нейтронов для делительноподобных фрагментов, полученных в реакциях $^{36}\text{S} + ^{238}\text{U}$, $^{26}\text{Mg} + ^{248}\text{Cm}$, $^{58}\text{Fe} + ^{208}\text{Pb}$, с целью выяснения происхождения осколочноподобных продуктов этих реакций [9].

На ускорителе У-400 был проведен эксперимент по поиску канала деления ядра $^{260}\text{No} \rightarrow ^{208}\text{Pb} + ^{48}\text{Ca} + 4n$, образованного в реакции $^{12}\text{C} (5,7\text{--}8 \text{ МэВ/нуклон}) + ^{248}\text{Cm}$ при энергии выведенного пучка ^{12}C 135 МэВ. Осколки деления составного ядра ^{260}No регистрировались с помощью двухплечевого времяпролетного спектрометра CORSET. В результате эксперимента было обнаружено увеличение выхода фрагментов в области масс 52/208 а.е.м., что соответствует образованию делительной пары, состоящей из двух магических ядер Ca/Pb.

В июле 2012 г. в рамках коллаборации с ускорительной лабораторией Университета г. Ювяскюля (Финляндия) и департаментом физики Университета г. Неаполя (INFN, Италия) на циклотроне К-130 был проведен тестовый эксперимент по получению летучих изотопов осмия и определения сечения образования этих изотопов в реакции $^{136}\text{Xe} + ^{208}\text{Pb}$ с энергией налетающего иона $E_{\text{lab}} = 820 \text{ МэВ}$ с использованием установок COR-SAR (ОИЯИ) и реакционной камеры HENDES (Финляндия). В результате предварительной обработки экспериментальных данных методом бета-гамма-сов-

падений были идентифицированы цепочки распада ^{195}Os и ^{196}Os .

В рамках коллаборации ОИЯИ–GSI (Германия) был проведен тестовый эксперимент по изучению оболочечных эффектов и кластеризации в гигантской составной ядерной системе $^{238}\text{U} + ^{238}\text{U}$. Получены предварительные результаты, которые находятся на стадии обработки.

Исследование экзотических мод распада. Впервые анализировались линейные структуры, обнаруженные в корреляционном распределении масс осколков деления ^{252}Cf (sf). Данные получены на установке СОМЕТА в ЛЯР ОИЯИ. На рис. 3 представлена область массового распределения для

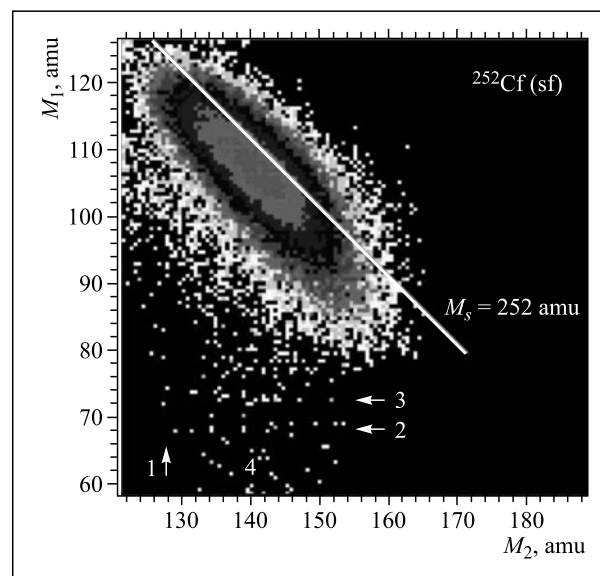


Рис. 3. Распределение масса–масса осколков деления ^{252}Cf (sf) в окрестности «Ni-бампа»

осколков в окрестности «Ni-бампа» ($M_1 = 68\text{--}80$ а.е.м., $M_2 = 128\text{--}150$ а.е.м.) [1]. Прямоугольная структура ниже локуса осколков бинарного деления ограничена магическими ядрами (их массы помечены пронумерованными стрелками), а именно, ^{128}Sn (1), ^{68}Ni (2), ^{72}Ni (3). Две наклонных диагональных линии, соответствующие $M_s = M_1 + M_2 = 196$ а.е.м. и $M_s = 202$ а.е.м. (отмечены цифрой 4) начинаются от массовых разделений 68/128 и 68/134 соответственно. Обе эти пары также сформированы магическими ядрами. Структуры находятся в области большой потерянной массы и связаны, по меньшей мере, с тройным распадом материнского ядра. По-видимому, четверной распад на ионы тяжелее α -частиц является наиболее вероятным каналом, продуцирующим анализируемые структуры. В то же время другие структуры, похожие на наклонные хребты, могут быть результатом тройного распада.

Структура экзотических ядер. Основное состояние 0^+ ядра ^{10}He , полученного в реакции передачи двух нейтронов $^3\text{H} (^8\text{He}, p) ^{10}\text{He}$, наблюдалось при энергии около 2 МэВ ($\Gamma \sim 2$ МэВ) над порогом развала $^8\text{He} + n + n$. Угловые корреляции продуктов распада ^{10}He демонстрируют ярко выраженную картину интерференции, позволяющую сделать выводы о структуре низколежащих возбужденных состояний. Наблюдавшиеся корреляции интерпретируются как результат когерентной суперпозиции «хвоста» основного состояния 0^+ с широким состоянием 1^- , имеющим максимум в диапазоне 4–6 МэВ, а также с состоянием 2^+ , расположенным выше 6 МэВ. Аномальная очередность следования уровней свидетельствует о том, что нарушение оболочечной структуры для $N = 8$, известное для ^{12}Be , распространяется также на систему ^{10}He [11].

Исследования редких ветвей бета-распада ядер ^8He , ^{14}Be и ^{31}Ag проводились в 2012 г. с использованием оптической времяпроекционной камеры на сепараторах ACCULINNA (ЛЯР) и FRS (GSI). Убедительные данные с высокой статистикой были получены на пучке ^8He . В результате измерений было продемонстрировано, что события, соответствующие эмиссии бета-задержанных нейтронов из распада ^8He , могут наблюдаться путем регистрации треков ядра ^7Li .

Реакции с пучками легких стабильных и радиоактивных ядер. В 2012 г. на фрагмент-сепараторе КОМБАС проведен эксперимент с использованием детекторной системы «Мульти» на пучке ионов ^{40}Ar (35 МэВ/нуклон) циклотрона У-400М. Были получены изотопы ^{39}Cl и ^{38}S с интенсивностью 10^4 с^{-1} . В начале 2013 г. предполагается продолжение измерений на пучке ионов ^{48}Ca . Измерения представляют интерес с точки зрения получения вторичных пучков большой интенсивности.

Опубликованы результаты экспериментов 2011 г., связанных с измерением энергетической зависимости полного сечения реакции $\text{Au} + ^6\text{He}$. Измерения проводились на сепараторе ACCULINNA.

В 2012 г. были проведены эксперименты по изучению особенностей взаимодействия легких кластерных ядер (d , ^6Li) на циклотроне У-120 в ИЯФ (Ржев, Чехия) и тандеме ИЯИТ (Бухарест). Полученные результаты свидетельствуют о влиянии кластерной структуры слабосвязанных ядер на усиление подбарьерных реакций. Этот результат имеет важное значение как для фундаментальной ядерной физики, так и для астрофизики. Полученные результаты докладывались в 2012 г. на нескольких международных конференциях, в том числе на Международном симпози-

уме по экзотическим ядрам (EXON-2012) в г. Владивостоке.

Результаты проведенных исследований были опубликованы в работах [12–14] и доложены на международной конференции «*NN collisions*» (Сан-Антонио, США), международной конференции по структуре ядра «Ядро-2012» (Воронеж, Россия), международном симпозиуме по экзотическим ядрам «EXON-2012» (Владивосток, Россия).

Теоретическая и вычислительная физика.

Исследованы новые возможности синтеза сверхтяжелых элементов в реакциях слияния, процессах многонуклонных передач и захвата нейтронов. Впервые предсказан возможный метод получения долгоживущих сверхтяжелых ядер, расположенных в центре острова стабильности [15], недостижимого в обычных реакциях слияния из-за нехватки общего числа нейтронов. Новый метод основан на обнаруженной возможности последовательных бета(+)-распадов нейтронно-обогащенных изотопов $^{287,291}_{115}$ и $^{287,291}_{114}$, ведущих непосредственно к долгоживущим сверхтяжелым элементам $^{287}_{110}$ и $^{291}_{112}$, имеющим время жизни, измеряемое годами [16].

Найдены оптимальные реакции, позволяющие синтезировать новые сверхтяжелые ядра, расположенные в неисследованной области между изотопами, полученными в реакциях холодного (GSI) и горячего (ОИЯИ) слияния [15]. Предсказанные сечения этих реакций достаточно велики, и соответствующие эксперименты могут быть проведены на существующих установках.

Показано, что нейтронно-обогащенные сверхтяжелые элементы могут быть получены также в процессе многократного захвата нейтронов, сопровождающегося последовательными бета(–)-распадами [17]. Требуемая для этого интенсивность нейтронных потоков достигается в процессе многократных (достаточно «мягких») ядерных взрывов и в импульсных реакторах следующего поколения (необходимый фактор увеличения интенсивности примерно три порядка), а также в астрофизическом r -процессе нуклеосинтеза. Распространенность в природе долгоживущих сверхтяжелых элементов, образующихся в астрофизическом r -процессе, предсказана на уровне 10^{-12} по отношению к свинцу [17].

В рамках программы сотрудничества ОИЯИ–АРЕ изучена роль нейтронных передач при слиянии стабильных ядер вблизи и ниже кулоновского барьера [18]. Значительное увеличение сечения слияния за счет нейтронных передач предсказано для нескольких реакций, доступных для экспериментального изучения.

РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ И ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ, РАДИОАНАЛИТИЧЕСКИЕ И РАДИОИЗОТОПНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА УСКОРИТЕЛЯХ ЛЯР

1. Проведены эксперименты по разработке и оптимизации трековых мембран повышенной производительности с дополнительными массивами пор. Результатом разработки явилось получение патента на новый вид трековых мембран (патент РФ № 2440840).

2. Проведены систематические исследования диодоподобных свойств асимметричных нанопор, заполненных раствором электролита. Найдены условия, при которых коэффициент выпрямления ионного тока принимает максимальное значение [19].

3. Проведены исследования воздействия облучения ионами Хе (167 МэВ) и Вi (700 МэВ) на свойства наночастиц оксидов в сплавах Fe–16Cr–3W–0,3Y (Cr16) и Fe–15Cr–4Al–2W–0,35Y₂O₃ (КР4). Установлено, что облучение высокоэнергетическими ионами приводит к образованию латентных треков в нанокластерах оксидов. Перекрытие трековых областей вызывает полную аморфизацию нанокластеров [20].

4. Проведено изучение развития водородных блистеров в кремнии, повторно облученном ионами Вi (710 МэВ). Показано, что в процессе изохронного отжига в интервале 250–800 °С происходит стимулированный рост водородных пор. Статья направлена в ЖЭТФ.

5. Проведено исследование элементного состава образцов палладия, облученного в плотном газе дейтерия гамма-квантами непрерывного спектра с пороговой энергией 8 МэВ. Обнаружены значительные аномалии в структуре облученных образцов и их элементном составе [21].

6. Разработаны новые методы разделения и концентрирования изотопов ^{178m}Hf, ^{88,89}Zr, ^{176,177}Ta, ^{91m,92m}Nb.

7. Определены сечения и выходы реакций ¹¹⁸Sn(γ, n)¹¹⁷Sn и ¹⁹⁶Pt(γ, n)^{195m}Pt.

8. В 2012 г. завершено создание, осуществлены монтаж и запуск в эксплуатацию циклотрона ДЦ-110 для научно-промышленного комплекса «Бета» в г. Дубне. Ускоритель будет использоваться для производства трековых мембран медицинского применения. На ускорителе получены ионы Ar, Kr и Хе с энергией 2,5 МэВ/нуклон. Получены первые образцы трековых мембран.

9. На ускорителе У-400М проводились работы по тестированию микроэлектроники для космической промышленности в рамках договора между ОИЯИ и Федеральным космическим агентством Роскосмос. С этой целью на ускорителе созданы два специализированных канала пучков ионов с энергией около 5 МэВ/нуклон и 30–50 МэВ/нуклон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Oganessian Yu. Ts. et al.* New Insights into the ²⁴³Am + ⁴⁸Ca Reaction Products Previously Observed in the Experiments on Elements 113, 115, and 117 // *Phys. Rev. Lett.* 2012. V.108. P.022502-1–022502-5.
2. *Oganessian Yu. Ts. et al.* Production and Decay of the Heaviest Nuclei ^{293,294}117 and ²⁹⁴118 // *Phys. Rev. Lett.* 2012. V. 109. P.162501-1–162501-5.
3. *Hofmann S. et al.* The reaction ⁴⁸Ca + ²⁴⁸Cm → ²⁹⁶116* Studied at the GSI-SHIP // *Eur. Phys. J. A.* 2012. V. 48.
4. *Svirikhin A. I. et al.* The Emission of Prompt Neutrons from the Spontaneous Fission of ²⁵²No and ²⁴⁴Fm // *Ibid.*
5. *Rodin A. M. et al.* Mass-Spectrometric Method for Studying the Properties of Heavy Nuclei // *Proc. of Intern. Conf. on Exotic Nuclei (EXON 2012)* (in press).
6. *Ferrer R. et al.* Performance of a High Repetition Pulse Rate Laser System for in-Gas-Jet Laser Ionization Studies with the Leuven Laser Ion Source @LISOL // *Nucl. Instr. Meth. B.* 2012. V. 291. P. 29.
7. *Cocolios T. E. et al.* Early Onset of Deformation in the Neutron-Deficient Polonium Isotopes // *J. Phys. C. S.* 2012. V. 381. P. 012072.
8. *Kozulin E. M. et al.* Mass Distributions of the ¹³⁶Xe + ²⁰⁸Pb at Lab Energies Around the Coulomb Barrier: a Candidate Reactions for Production of Neutron-Rich Nuclei at N = 126 // *Phys. Rev. C.* 2012. V. 86, No. 4.
9. *Itkis I. M. et al.* Fusion-Fission and Quasifission in the Reactions with Heavy Ions Leading to the Formation of Hs // *Proc. Intern. Conf. «Nuclear Structure and Dynamics», Opatija, Croatia, July 9–13, 2012.* AIP. 2012. V. 1491. P. 350.
10. *Pyatkov Yu. V. et al.* // *Eur. Phys. J. A.* 2012. V. 48. P. 94.
11. *Sidorchuk S. I. et al.* Structure of ¹⁰He Low-Lying States Uncovered by Correlations // *Phys. Rev. Lett.* 2012. V. 108. P. 202502.
12. *Rotaru F. et al.* Unveiling the Intruder Deformed 0₂⁺ State in ³⁴Si // *Phys. Rev. Lett.* 2012. V. 109. P. 092503.

13. Скобелев Н. К. и др. Исследование каналов слияния ядер и передачи нуклонов в реакции $^{197}\text{Au} + ^6\text{He}$ в области энергий до 20 АМэВ // Письма в ЭЧАЯ. 2013. Т. 10, №3(180).
14. Кулько А. А. и др. Функции возбуждения реакций, протекающих при взаимодействии ускоренных дейтронов с ядрами ^{194}Pt вблизи кулоновского барьера // Письма в ЭЧАЯ. 2012. Т. 9, вып. 6–7 (176–177). С. 814.
15. Zagrebaev V. I. et al. Possibilities for Synthesis of New Isotopes of Superheavy Elements in Fusion Reactions // Phys. Rev. C. 2012. V. 85. P. 014608.
16. Karpov A. V. et al. Decay Properties and Stability of Heaviest Elements // Intern. J. Mod. Phys. E. 2012. V. 21. P. 1250013.
17. Zagrebaev V. I. et al. Formation of Super-Heavy Elements in Astrophysical Nucleosynthesis // AIP Conf. Proc. 2012. V. 1491. P. 269.
18. Adel A. et al. Effect of Neutron Rearrangement on Subbarrier Fusion Reactions // Nucl. Phys. A. 2012. V. 876. P. 119.
19. Apel P. Yu. et al. Effect of Nanopore Geometry on Ion Current Rectification // Nanotechnology. 2011. V. 22. P. 175302.
20. Skuratov V. A. et al. Depth-Resolved Photo- and Ionoluminescence of LiF and Al_2O_3 // Nucl. Instr. Meth. B. 2012. V. 286.
21. Didyk A. Yu., Wishiewski R. S. Nuclear Reactions, Induced by γ -Quanta, in Palladium Saturated with Deuterium Surrounded by Dense Deuterium Gas // Eur. Phys. Lett. 2012. V. 99. P. 22001.