

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ ИМ. Г. Н. ФЛЕРОВА

В 2009 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 и одном общеплановом проекте:

- синтез новых ядер, исследование свойств ядер и механизмов реакций под действием тяжелых ионов (9 проектов);
- радиационные эффекты и физические основы нанотехнологий, радиоаналитические и радиоизотопные исследования на ускорителях ЛЯР (5 проектов);
- развитие циклотронов ЛЯР для получения интенсивных пучков ускоренных ионов стабильных и радиоактивных изотопов (2 проекта);
- создание ускорительного комплекса радиоактивных пучков (проект DRIBs).

Время работы основных ускорителей ЛЯР в 2009 г. составило в соответствии с планом 11200 ч.

СИНТЕЗ НОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

С июля 2009 г. в ЛЯР проводится эксперимент по синтезу нового элемента 117 в реакции полного слияния $^{249}\text{Bk} + ^{48}\text{Ca}$. Эксперименты ведутся на газонаполненном сепараторе ЛЯР ОИЯИ в сотрудничестве с лабораториями Ок-Риджа (ORNL), Ливермора (LLNL) и Университета Вандербильта (США). Материал мишени был наработан в Ок-Ридже, сама мишень изготовлена в Димитровграде (РФ). Толщина мишени составила $0,31 \text{ мг/см}^2$. Особенностью работы с берклиевой мишенью является то, что вследствие относительно короткого времени жизни изотопа ^{249}Bk ($T_{1/2} = 320 \text{ сут}$) мишень должна быть использована немедленно после изготовления.

В первой части эксперимента энергия ускоренных на циклотроне У-400 ионов ^{48}Ca соответствовала расчетному максимуму образования изотопов $^{293}\text{117}$ и $^{294}\text{117}$, продуктов испарения трех и четырех нейтронов из составного ядра $^{297}\text{117}$, и составляла около 252 МэВ в середине слоя мишени,

что соответствует энергии возбуждения составного ядра около 39 МэВ. Полная доза ионов ^{48}Ca составила $2,4 \cdot 10^{19}$. В эксперименте наблюдались пять цепочек распада, в каждой из которых было зарегистрировано три α -распада и спонтанное деление изотопа ^{281}Rg .

С конца октября 2009 г. была начата вторая часть эксперимента при более низкой энергии ^{48}Ca , которая соответствовала энергии возбуждения ядра $^{297}\text{117}$ около 35 МэВ. В конце декабря 2009 г. полный интеграл пучка ионов ^{48}Ca составил $1,2 \cdot 10^{19}$. В результате эксперимента была зарегистрирована цепочка распада, включающая шесть α -распадов и спонтанное деление.

Таким образом, в результате проведенного эксперимента получены изотопы элемента 117, которые могут соответствовать $3n$ и $4n$ каналам реакции полного слияния $^{249}\text{Bk} + ^{48}\text{Ca}$. Зарегистрированные цепочки последовательных α -распадов завершаются спонтанным делением ^{281}Rg ($T_{SF} = 26_{-8}^{+25} \text{ с}$) и ^{270}Db

($T_{SF} = 23_{-10}^{+110}$ ч). Характеристики распада 11 новых изотопов, полученных в реакции $^{249}\text{Bk} + ^{48}\text{Ca}$, находятся в хорошем согласии со свойствами соседних ядер с четным Z . Полученные результаты существенно расширяют систематику нуклидов с нечетными Z в области наиболее нейтроноизбыточных изотопов элементов 105–117 и демонстрируют значительное увеличение стабильности сверхтяжелых элементов с ростом числа нейтронов.

С ноября 2008 г. по февраль 2009 г. была проведена серия экспериментов по изучению реакции полного слияния ядер ^{226}Ra и ^{48}Ca на газонаполненном сепараторе.

Мишень из ^{226}Ra толщиной $0,36 \text{ мг/см}^2$ облучалась ускоренными на циклотроне У-400 ионами ^{48}Ca . Дозы ядер ^{48}Ca , прошедших через мишень, со-

ставили $3,3 \cdot 10^{18}$, $1,1 \cdot 10^{18}$ и $2,3 \cdot 10^{18}$ при энергиях 228,5, 233,5 и 240,5 МэВ соответственно. Согласно расчетам, эти энергии соответствуют максимальному выходу продуктов реакции полного слияния $^{226}\text{Ra} + ^{48}\text{Ca}$ с испарением трех, четырех и пяти нейтронов соответственно, приводящих к образованию изотопов $^{269-271}\text{Hs}$.

Энергия α -частиц из распада изотопа ^{270}Hs составила $E_\alpha = 9,02 \pm 0,08 \text{ МэВ}$, период полураспада этого ядра — $T_{1/2} = 7,6_{-2,2}^{+4,9} \text{ с}$. Период полураспада спонтанно делящегося изотопа ^{266}Sg составил $0,28_{-0,08}^{+0,19} \text{ с}$.

Сечение реакции $^{226}\text{Ra}(^{48}\text{Ca}, 4n)^{270}\text{Hs}$ при энергии ионов ^{48}Ca 233,5 МэВ равно $8,3_{-3,7}^{+6,7} \text{ пб}$. При энергиях 228,5 и 240,5 МэВ ядра элемента 108 не наблюдались.

СЕПАРАТОР ВАСИЛИСА

Закончен анализ экспериментальных данных, полученных для симметричной комбинации $^{136}\text{Xe} + ^{136}\text{Xe}$ [1] с использованием методики газовой струи.

В феврале–марте 2009 г. был проведен длительный эксперимент на сепараторе ВАСИЛИСА с использованием системы регистрации GABRIELA, состоящей из семи Ge-детекторов, предназначенных для регистрации γ -квантов, четырех стриповых кремниевых детекторов для регистрации конверсионных электронов и позиционно-чувствительного кремниевого детектора для регистрации ядер отдачи, α - и β -частиц, а также осколков спонтанного деления. Основной целью эксперимента было детальное изучение α -распада ^{253}No из изомерного и основного состояний с использованием ускоренного пучка ^{48}Ca . В общей сложности было набрано более 10^4 событий распада из изомерного состояния с време-

нем жизни порядка $\sim 700 \text{ мкс}$, коррелированных с импульсом от ядра отдачи ^{253}No . В настоящее время идет обработка спектров γ -квантов и конверсионных электронов, относящихся к этим распадам [2].

Завершена обработка данных эксперимента по изучению свойств спонтанного деления изотопа ^{246}Fm , образующегося в реакции $^{40}\text{Ar} + ^{208}\text{Pb}$, с использованием в фокальной плоскости сепаратора большого нейтронного детектора, состоящего из $62 \text{ } ^3\text{He}$ -счетчиков [3].

В 2009 г. продолжались работы по модернизации сепаратора ВАСИЛИСА. В настоящее время два дипольных магнита изготавливаются в НИИЭФА им. Д. В. Ефремова в Санкт-Петербурге. Подготовлены к производству чертежи вакуумных танков электростатических дефлекторов и вакуумной камеры дипольных магнитов.

ХИМИЯ ТРАНСАКТИНИДОВ

В апреле–мае 2009 г. в рамках изучения химических свойств элементов 112 и 114 [4] были продолжены совместные эксперименты с группой из института PSI (Швейцария). Ранее в термографических экспериментах 2007 и 2008 гг. были идентифицированы три атома элемента 114. При этом место их сорбции на поверхности золота показывает, что этот элемент не менее летуч, чем элемент 112. В связи с тем, что подобное поведение для металла

группы 14 является нетипичным, было необходимо получить дополнительные экспериментальные данные. В экспериментах использовалась система регистрации COLD. Для синтеза элемента 114 использовалась реакция слияния $^{242}\text{Pu}(^{48}\text{Ca}, 3n)^{287}114$. Стационарная $^{242}\text{PuO}_2$ -мишень была облучена на циклотроне У-400 ЛЯР дозой $2,7 \cdot 10^{18}$ ионов ^{48}Ca при энергиях 270 и 315 МэВ. Летучие продукты ядерных реакций переносились к детектору пото-

ком сухого аргона с расходом 1,9 л/мин. Только один атом элемента 112 ($^{283}112 \rightarrow ^{279}\text{Ds}$ (SF)) зарегистрирован на золотой поверхности детектора при температуре -7°C .

В 2009 г. была испытана созданная в ЛЯР установка для изучения химии сверхтяжелых элементов и, в частности, для исследования летучести элемента 113. Установка состоит из газотранспортной системы, мишенной камеры и ловушки для аэрозоля, кислорода и воды.

Реакцию слияния $^{243}\text{Am}(^{48}\text{Ca}, 3n)^{288}115$ использовали для получения радионуклида $^{284}113$ ($\sim 0,5$ с), который является продуктом α -распада $^{288}115$.

ДИНАМИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР, ДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ И СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР

В 2009 г. основное внимание было уделено как обработке экспериментальных данных, полученных ранее, так и разработке проекта, развитию методики и созданию новой установки CORSAR (корреляционная установка регистрации продуктов реакции), предназначенной для получения и исследования свойств новых нейтронно-обогащенных тяжелых ядер в области $N = 126$ ($\text{Xe} + \text{Pb}$, $\text{Kt} + \text{Pb}$). Для регистрации продуктов реакций передач разработан и изготовлен газовый детектор, в котором будет происходить торможение и захват аэрозолем (KBr) продуктов реакций передач.

Был закончен анализ экспериментальных данных по измерениям массовых и энергетических распределений осколков деления и квазиделения в совпадении с нейтронами, γ -квантами и легкими заряженными частицами в реакции $^{36}\text{S} + ^{238}\text{U}$, ведущей к образованию ^{274}Hs . В реакции исследовалась роль асимметрии входного канала на динамику реакции образования сверхтяжелого ядра; измерены сечения захвата и сечения квазиупругого рассеяния в этой реакции [5].

Проведена обработка экспериментальных данных по исследованию характеристик распада сверхтяжелого составного ядра 112, образованного в реакции $^{48}\text{Ca} + ^{238}\text{U}$ при энергиях ниже и выше кулоновского барьера. В результате эксперимента, проведенного в конце 2008 г. в LNL (INFN, Италия), были измерены массово-энергетические распределе-

ния мишень $^{243}\text{AmO}_2$ была облучена на циклотроне У-400 ЛЯР дозой $\sim 10^{18}$ ионов ^{48}Ca при энергии 274 МэВ. Смесь гелия и аргона использовалась для транспорта радионуклидов от мишенной камеры до детектора. При скорости газового потока 1,5 л/мин время транспорта, измеренное с помощью ^{219}Rn (~ 4 с), составляло 1,5 с.

Результаты работ докладывались в 2009 г. на международных конференциях в Тобольске (конференция, посвященная 175-летию Д. И. Менделеева), Пекине (NNC-2009), Мессине (Nuclear Reactions on Nucleons and Nuclei) и Сочи (EXON-2009).

ния бинарных фрагментов, образованных в реакции $^{48}\text{Ca} + ^{238}\text{U}$, а также впервые измерены сечения захвата с одновременным измерением сечения квазиупругого рассеяния. В эксперименте было измерено 10^4 – 10^5 делительно-подобных фрагментов для разных энергий налетающего иона. В данном цикле работ впервые показано, что процесс квазиделения ведет к образованию не только асимметричных фрагментов, но и дает вклад в симметричную область масс фрагментов [5, 6].

Закончена обработка и сделан анализ экспериментальных данных по результатам эксперимента, посвященного изучению динамики реакции $^{64}\text{Ni} + ^{238}\text{U}$, с целью использования данной реакции для синтеза сверхтяжелых элементов $Z = 120$. Эксперимент был проведен в Университете г. Юваскюля (Финляндия) с использованием установки CORSET. По результатам полученных экспериментальных данных подготовлена и принята к публикации статья в «Phys. Lett. B», в которой представлены массово-энергетические распределения бинарных фрагментов, полученных в реакциях $^{48}\text{Ca} + ^{238}\text{U}$, $^{58}\text{Fe} + ^{244}\text{Pu}$ и $^{64}\text{Ni} + ^{238}\text{U}$ при энергиях вблизи кулоновского барьера, получены сечения процессов захвата и квазиделения, а также сделана оценка вероятности формирования сверхтяжелого ядра в таких реакциях [5, 6].

Основные результаты также представлены на международных конференциях в Сочи (EXON-2009) и Китае (NNC-2009).

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКЗОТИЧЕСКИХ МОД РАСПАДА

В предыдущих экспериментах были получены указания на истинно тройное деление с почти коллинеарной кинематикой продуктов и кластеризацией

как физической причиной процесса. Мы назвали этот канал распада «тройной коллинеарный кластерный распад» (ТККР). Наиболее заселенная мода

ТККР имеет экстремально высокий выход — более 10^{-3} на бинарное деление. Существование этой моды было подтверждено в результате анализа массовых распределений, распределений ядерного заряда, ионизационных потерь осколков и нейтронной множественности событий деления [7].

В эксперименте по исследованию реакции $^{232}\text{Th} + d$ (10 МэВ), выполненном в рамках коллаборации ЛЯР (ОИЯИ)–АТОМКИ (Венгрия), регистрировались все продукты распада [8]. В ка-

ждом плече спектрометра для измерения массы осколков использовались два временных детектора на микроканальных пластинах и мозаика из девяти кремниевых поверхностно-барьерных детекторов размером 2×2 см каждый. Всего было проанализировано $5,5 \cdot 10^6$ делительных событий, среди которых было найдено около 50 истинно тройных совпадений. Полученные результаты хорошо согласуются с данными, представленными в других работах.

СТРУКТУРА ЭКЗОТИЧЕСКИХ ЯДЕР

В 2009 г. был проведен эксперимент по изучению структуры ядра ^6He в реакциях квазисвободного рассеяния на кластерах, связанных в ядре $^6\text{He}, ^4\text{He}(^6\text{He}, 2\alpha)2n, ^4\text{He}(^6\text{He}, t\alpha)t, ^4\text{He}(^6\text{He}, p\alpha)^5\text{H}$. Эксперимент был проведен на фрагмент-сепараторе АКУЛИНА с использованием пучка радиоактивных ядер ^6He с энергией 41 А МэВ, который бомбардировал газовую мишень, наполненную гелием под давлением 2,5 атм при температуре 11 К.

Две рассеянные частицы регистрировались в кинематическом диапазоне, соответствующем процессу квазисвободного рассеяния. Два идентичных телескопа, состоящие из позиционно-чувствительных кремниевых детекторов и сборок из CsI/PD, были установлены под углами $\theta = \pm 35^\circ$ в лабораторной системе для регистрации α - α -, α - t - и α - p -совпадений в широком диапазоне углов. Для расши-

рения углового диапазона регистрации рассеянных частиц, а также для регистрации спектра в случае, когда им являлась заряженная частица, использовался третий телескоп, установленный под углом 15° .

Проведенные измерения являются продолжением исследований применимости квазисвободных реакций для изучения многотельных корреляций, характерных для слабосвязанных ядер на границе нуклонной стабильности. В предыдущем эксперименте, проведенном при энергии пучка 25 А МэВ, наблюдались динейтронная и сигарообразная компоненты волновой функции ^6He [9].

В рамках цикла работ, посвященных исследованию структуры тяжелых изотопов гелия в реакциях передачи, был завершен анализ данных и опубликованы результаты эксперимента по изучению реакций $^3\text{H}(^8\text{He}, p)^{10}\text{He}$ и $^3\text{H}(^6\text{He}, p)^8\text{He}$ [10].

РЕАКЦИИ С ПУЧКАМИ ЛЕГКИХ СТАБИЛЬНЫХ И РАДИОАКТИВНЫХ ЯДЕР

Деятельность сектора №7 ЛЯР в 2009 г. была связана с развитием методической базы, а также с проведением экспериментов на ускорителях ЛЯР и в других научных центрах во Франции и Финляндии, с которыми сектор осуществляет давнее и продуктивное сотрудничество на основе договоров и совместных грантов.

В июне 2009 г. проведен тестовый эксперимент с использованием пропорциональных камер во вторичном пучке ядер ^9Li , полученном на фрагмент-сепараторе КОМБАС. Получены результаты, свидетельствующие о возможностях установки для получения пучков легких радиоактивных ядер. На интенсивности ^9Li 10^5 c^{-1} измерено импульсное распределение продуктов развала этого ядра. Полученный результат свидетельствует о возможности существования в этом ядре «гало». В начале 2010 г. предполагается продолжение этих экспериментов.

На ускорительном комплексе GANIL (Франция) был проведен эксперимент по измерению се-

чений образования нейтроноизбыточных ядер в районе ^{48}Ca . Предварительные результаты свидетельствуют о перспективности использования глубоководных упругих реакций передачи при относительно большой энергии (50 МэВ/нуклон) для синтеза новых ядер у границ нуклонной стабильности [11]. На циклотроне Университета г.Ювяскюля проведен совместный эксперимент по обнаружению кластерного ($t - t$)-распада высоковозбужденных состояний ядер ^6He . Получено сечение таких процессов. С целью сравнения полученных результатов с другими данными проведены эксперименты на пучках дейтронов вблизи барьерной области энергий на циклотроне У20 Института ядерных исследований в Ржеже (Чешская Республика).

Полученные данные о полном слиянии ионов ^6Li с ядрами Pt и Bi, а также информация о каналах развала слабосвязанных ядер (^6He и ^6Li) с последующим слиянием образовавшихся продук-

тов с ядрами мишени свидетельствуют об усилении сечения передачи кластеров в этих слабосвязанных ядрах ($2n$ в случае ${}^6\text{He}$ и d в случае ${}^6\text{Li}$) [12, 13].

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

Рассчитан обобщенный оптический потенциал (ООП) в рамках метода проекционных операторов Фешбаха для описания упругого рассеяния легких ядер [14]. Метод расчета ООП был обобщен для того чтобы снять упрощающие ограничения, сделанные в более ранних работах. В рамках модели бесструктурное ядро-мишень взаимодействует с налетающим ядром, трактуемым как связанная система нескольких кластеров. Получено явное выражение для оптического потенциала с учетом связи упругого канала с каналами развала слабосвязанного ядра-снаряда. Получено хорошее согласие с имеющимися экспериментальными данными.

Предложен новый способ получения и исследования неизвестных нейтронно-избыточных тяжелых ядер в «северо-восточной» части ядерной карты (важной для ядерной астрофизики и, в частности, для понимания r -процесса в астрофизическом нуклеосинтезе) с помощью реакций многонуклонных передач при низкоэнергетических столкновениях тяжелых ионов [15]. Несколько десятков новых ну-

Результаты докладывались в 2009 г. на международной конференции по ядерной спектроскопии (г. Чебоксары) и международном симпозиуме по экзотическим ядрам EXON-2009 (г. Сочи).

клидов может быть получено, например, при околобарьерном столкновении ${}^{136}\text{Xe}$ и ${}^{208}\text{Pb}$ с сечениями выше 1 мкб. Проанализированы экспериментальные данные по массовым распределениям осколков деления и сечениям слияния для реакций ${}^{36}\text{S}+{}^{238}\text{U}$ и ${}^{30}\text{Si}+{}^{238}\text{U}$ при нескольких энергиях столкновения [16]. В рамках единой динамической модели была подробно изучена энергетическая зависимость массовых распределений осколков, что является первой попыткой систематического анализа подобных экспериментальных данных.

База знаний по низкоэнергетической ядерной физике «Nuclear Reactions Video», размещенная на веб-сайте <http://nr.v.jinr.ru/nrv>, была значительно расширена и улучшена. (i) В нее включены программы расчета сечения образования остатков испарения ядер в реакциях слияния тяжелых ионов. (ii) База данных по упругому рассеянию, слиянию атомных ядер и сечениям образования остатков испарения дополнена несколькими сотнями оцифрованных экспериментальных сечений.

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

Исследование радиационной повреждаемости твердого тела и образования наноструктур. Установлено, что облучение слоев SiO_2 , содержащих нанокристаллы кремния, тяжелыми ионами высоких энергий приводит к существенным структурным изменениям — формированию вертикально упорядоченных массивов нанокристаллов вдоль треков ионов. Следствием подобного воздействия является значительное изменение электрических и оптических свойств слоев с нанокристаллами [17, 18]. Численными методами исследованы температурные эффекты в нелинейной модели термического пика применительно к облучению ионами ${}^{80}\text{Kr}$ и ${}^{209}\text{Bi}$ высоких энергий. Сделаны оценки для значений коэффициента электрон-фононного взаимодействия. Исследованы электрохимические свойства асимметричных мембран с нанопорами различной длины и конфигурации [19]. Разработан процесс получения трековых мембран для ранней диагностики раковых заболеваний.

Получение ультрачистых изотопов. Разработаны новые методы разделения и концентрирования радиоизотопов (селективные ядерные реакции, сбор ядер отдачи, радиохимическое выделение), а также новые методы разделения ${}^{237}\text{U}$ и ${}^{238}\text{U}$ с фактором обогащения 10^5 – 10^6 с применением наноструктурного материала [20]. Разрабатывается экспрессная методика анализа U в почвах (Болгария, Вьетнам).

Создание ускорительных комплексов. Разработан проект циклотронного комплекса для производства трековых мембран [21]. Проект включает специализированный компактный ускоритель ДЦ-110 с использованием инжектора тяжелых многозарядных ионов на базе ЭЦР-источника. Ускорительный комплекс позволит получать интенсивные пучки ускоренных ионов Ag, Kr и Xe с энергией 2,5 МэВ/нуклон, необходимые для промышленного производства трековых мембран.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Oganessian Yu. Ts. et al.* An Attempt to Produce the Isotopes of Element 108 in the Fusion Reaction $^{136}\text{Xe} + ^{136}\text{Xe}$ // *Phys. Rev. C.* 2009. V. 79. P. 024608(5).
2. *Piot J. et al.* GABRIELA, Spectroscopy of Heavy Elements in Dubna // *Intern. Conf. on Nuclear Structure and Related Topics, Dubna, June 30 – July 4 2009.*
3. *Svirikhin A. et al.* Neutrons From Spontaneous Fission Of Long-Lived Super-Heavy Nuclei // *Fourth Intern. Workshop on Nuclear Fission and Fission-Product Spectroscopy, Chateau de Cadarache, France, May 13–16, 2009.*
4. *Оганесян Ю. Ц., Дмитриев С. Н.* Сверхтяжелые элементы Периодической системы Д. И. Менделеева // *Успехи химии.* 2009. Т. 78. С. 12.
5. *Kozulin E. M. et al.* Dynamics of the $^{64}\text{Ni} + ^{238}\text{U}$ Reaction as a Possible Tool for Synthesis of Element with $Z = 120$ // *Phys. Lett. B* (submitted).
6. *Itkis M. G. et al.* // Fusion-fission and Quasifission of Superheavy Systems in Heavy-Ion Induced Reactions // *10th Intern. Conf. on Nucleus-Nucleus Collisions NN2009, Beijing, China, August 16-21, 2009; Nucl. Phys. A* (submitted).
7. *Тюкавкин А. Н. и др.* // *ПТЭ.* 2009. № 4. С. 66.
8. *Katanin D. V. et al.* // *Phys. Part. Nucl., Lett.* (in press).
9. *Sidorchuk S. I. et al.* Study of the ^6He Structure in the Reaction of Quasifree Scattering $^4\text{He}(^6\text{He}, 2\alpha)$ // *Nucl. Phys. A* (submitted).
10. *Golovkov M. S. et al.* The ^8He and ^{10}He spectra studied in the (t, p) Reaction // *Phys. Lett. B.* 2009. V. 672. P. 22.
11. *Franchoo S. et al.* Recent Results from GANIL // *Acta Phys. Pol. B.* 2009. V. 40. P. 419.
12. *Lukyanov S. M. et al.* Study of the $2n$ -Evaporation Channel in the $^4,6\text{He} + ^{206,208}\text{Pb}$ Reactions // *Phys. Lett. B.* 2009. V. 670. P. 321.
13. *Penionzhkevich Yu. E.* Special Features of Nuclear Reactions Induced by Loosely Bound ^6He and $^6,7\text{Li}$ Nuclei in the Vicinity of the Coulomb Barrier Height // *Phys. At. Nucl.* 2009. V. 72. P. 1617; *Yad. Fiz.* 2009. V. 72. P. 1674.
14. *Denikin A. S. et al.* Generalized Optical Potential for Weakly Bound Nuclei: Two-Cluster Projectiles // *Phys. Rev. C.* 2009. V. 79. P. 024605.
15. *Грайнер В., Загребаев В. И.* Расширение периодической системы элементов: сверхтяжелые супернейтронные // *Успехи химии.* 2009. Т. 78. С. 12.
16. *Aritomo Y.* Analysis of Dynamical Processes Using the Mass Distribution of Fission Fragments in Heavy-Ion Reactions // *Phys. Rev. C.* 2009. V. 80. p. 064604.
17. *Antonova I. V. et al.* The Modification of Si Nanocrystallites Embedded in a Dielectric Matrix by High Energy Ion Irradiation // *Nanotechnology.* 2009. V. 20. P. 095205.
18. *Реутов В. Ф. и др.* // *ЖТФ.* 2009. Т. 79, вып. 9. С. 63.
19. *Березкин В. В. и др.* Асимметричные трековые мембраны: поверхностные и эксплуатационные свойства // *Мембраны.* 2008. № 4(10). С. 3.
20. *Маслов О. Д. и др.* Применение наноструктурного материала для разделения ^{238}U и ^{237}U , получаемого в фотоядерной реакции $^{238}\text{U}(\gamma, n)^{237}\text{U}$. Препринт ОИЯИ Р6-2009-30. Дубна, 2009; направлено в журнал «Радиохимия».
21. *Гикал Б. Н. и др.* Проект циклотрона тяжелых ионов ДЦ-110 для промышленного применения и прикладных исследований в области нанотехнологий. Препринт ОИЯИ Р9-2009-111. Дубна, 2009; направлено в журнал «Письма в ЭЧАЯ».