

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ЛЯР ОИЯИ, профессор  
С.Н. Дмитриев



"26" декабря 2017 г.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**  
**Научно-технического совета**  
**Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ**

по диссертации **Карпова Александра Владимировича** «Теоретический анализ основных механизмов образования и распада тяжелых и сверхтяжелых ядер», представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Диссертационная работа выполнена в Лаборатории Ядерных Реакций им. Г.Н. Флерова Объединенного Института Ядерных Исследований (ЛЯР ОИЯИ).

В период подготовки диссертации Карпов А.В. являлся штатным сотрудником Объединенного Института Ядерных Исследований и работал в Лаборатории Ядерных Реакций им. Г.Н. Флерова в должности научного сотрудника, старшего научного сотрудника, начальника группы теоретической и вычислительной физики, ученого секретаря лаборатории.

Диссертационная работа была представлена А.В. Карповым на общелабораторном семинаре ЛЯР 18 декабря 2017 г. В работе семинара приняли участие 45 сотрудников Лаборатории ядерных реакций, Лаборатории теоретической физики и Лаборатории информационных технологий ОИЯИ. По результатам обсуждения было подготовлено **следующее заключение:**

Одним из актуальных направлений исследований современной ядерной физики является синтез и изучение свойств тяжелых и сверхтяжелых элементов. В связи с этим, большое значение имеет развитие теоретических моделей, способствующих более глубокому пониманию закономерностей протекания ядерных реакций, ведущих к их образованию. Результаты последних двух десятилетий по синтезу и изуче-

Один из актуальных направлений исследований современной ядерной физики является синтез и изучение свойств тяжелых и сверхтяжелых элементов, а также в понимании закономерностей протекания ядерных реакций, ведущих к их образованию. Результаты последних двух десятилетий по синтезу и изучению СТЭ, полученные, прежде всего, в ОИЯИ, дали мощный импульс развитию этого направления ядерной физики. Синтез и изучение свойств новых СТЭ и их изотопов продолжается в ведущих мировых центрах, что сопряжено с развитием экспериментальной базы. В ОИЯИ создается рекордный по характеристикам ускорительный комплекс нового поколения – первая в мире Фабрика сверхтяжелых элементов, которая должна стать центром будущих исследований СТЭ.

**Актуальность работы:** В настоящее время для продолжения экспериментальных исследований тяжелых и сверхтяжелых ядер требуются надежные теоретические предсказания сечений различных реакций, которые могут быть использованы для синтеза этих ядер. Знание мод распада и времен жизни ядер в широкой области чисел протонов и нейтронов также необходимо для планирования соответствующих экспериментов и представляет не меньший самостоятельный научный интерес.

Другой важной областью применения ядро-ядерных столкновений тяжелых ионов является получение и изучение ядер, обогащенных нейтронами. Целый ряд экспериментальных установок, созданных и создаваемых в ведущих мировых ядернофизических центрах, вовлечены в решение этой задачи. Один из наименее исследованных районов карты нуклидов расположен вблизи нейтронной сферической оболочки  $N=126$ . Это связано с низкими значениями сечений реакций фрагментации – единственным методом синтеза нейтронообогащенных ядер в этой области, применяемым до настоящего времени. С точки зрения теоретического анализа ядро-ядерных столкновений, представляется чрезвычайно важным построение моделей, дающих максимально полное описание процессов, происходящих при столкновении тяжелых ионов. Так, например, для того чтобы оценить малые величины сечений реакций слияния, ведущих к образованию СТЯ, необходимо прежде всего уметь правильно описывать основные каналы реакции, а именно глубоконеупругое рассеяние и квазиделение. Таким образом, чрезвычайно важно проводить анализ всего процесса в рамках единого подхода с учетом сильной связи и перекрытия всех реакционных каналов: глубоконеупругого рассеяния, квазиделения, слияния и обычного деления.

### **Научная новизна работы:**

1. Макро-микроскопическая модель потенциальной энергии двойной тяжелой ядерной системы, обладающая корректными свойствами во всей области деформаций ядер от компактных форм основного состояния и барьера деления моноядра до точки разрыва и асимптотической конфигурации двух разделенных ядер, была создана впервые. Это позволило разработать многомерную динамическую модель ядро-ядерных столкновений, позволяющую в едином подходе описывать полный набор экспериментально наблюдаемых характеристик ядерных реакций с тяжелыми ионами.
2. Впервые разработана трехцентровая оболочечная модель потенциальной энергии тройной ядерной системы, допускающая образование трех фрагментов произвольной массы в ядро-ядерных столкновениях.
3. Впервые предложен метод получения наиболее стабильных СТЯ, используя реакции слияния и последующую серию электронных захватов.
4. Способ реалистичного учета каналов нейтронных передач при использовании квантового метода связанных каналов предложен впервые.
5. Впервые создана база знаний по ядерной физике низких энергий NRV <http://nrv.jinr.ru>, доступная для любого исследователя через сеть Интернет и объединяющая большое количество экспериментальных данных с вычислительными кодами для моделирования свойств ядер и динамики ядерных реакций.

**Личный вклад автора** Основные результаты и выводы диссертации, а также положения, выносимые на защиту, отражают вклад автора в опубликованные работы. В диссертацию включены те результаты совместных публикаций, которые либо получены лично автором, либо при его определяющем участии в формулировке задачи, разработке алгоритмов и их реализации в виде компьютерных кодов, проведении расчетов, анализе результатов, формулировании выводов, написании статей. Большинство вычислительных кодов, используемых в работе, создано лично автором.

**Достоверность и обоснованность** полученных результатов обеспечивается прежде всего тем, что используемые и разрабатываемые в диссертации теоретические модели основаны на современных представлениях о свойствах ядер и механизмах протекания ядерных реакций при низких энергиях. Апробация теоретических моделей

на большой совокупности имеющихся экспериментальных данных делает достоверными полученные в работе результаты, а ее выводы обоснованными.

### **Практическая значимость работы:**

Результаты, лежащие в основе диссертации, включая ее выводы и разработанные модели, могут быть использованы при подготовке к проведению, а также при анализе соответствующих ядернофизических экспериментов. На основе ряда результатов, полученных в диссертации, выполнены и поданы заявки на проведение экспериментов в ОИЯИ (Дубна) и других ведущих научных центрах мира: GANIL (Франция), GSI (Германия) и Университет Йювяскюля (Финляндия). Это касается, прежде всего, развитой в работе динамической модели ядро-ядерных столкновений. По некоторым направлениям накоплен материал, являющийся хорошим заделом для продолжения исследований. Большинство вычислительных кодов, созданных автором в ходе выполнения диссертации, включены в состав базы знаний по ядерной физике низких энергий <http://nrv.jinr.ru>, широко используемой как в научных, так и в образовательных целях в России и в мире.

**Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем:** Материалы диссертации доложены автором на 28 международных конференциях и совещаниях, а также на ряде научных семинаров Объединенного института ядерных исследований (Дубна, Россия), ведущих исследовательских и учебных организаций Германии, Японии и ЮАР. По материалам диссертации опубликовано 45 работ, из них в журналах, включенных в перечень ВАК рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук – 22, а также в журналах, включенных в системы цитирования Scopus и/или Web of Science – 35. Часть материалов диссертации вошла в цикл работ «Теоретические исследования путей синтеза новых изотопов сверхтяжелых элементов» (авторы: В. И. Загребаев, А. В. Карпов, В. Грайнер), удостоенный первой премии ОИЯИ за 2015 год.

По материалам диссертации опубликовано 45 статей. Основными публикациями, содержащими наиболее важные результаты работы, являются:

1. Г. Д. Адеев, А. В. Карпов, П. Н. Надточий, Д.В. Ванин; Многомерный стохастический подход к динамике деления возбужденных ядер // *Физика элементарных частиц и атомного ядра*. — 2005. — Vol. 36, no. 4. — Pp. 732 – 820.
2. В. И. Загребяев, А. В. Карпов, Я. Аритомо и др.; Потенциальная энергия тяжелой ядерной системы в процессах слияния-деления // *Физика элементарных частиц и атомного ядра*. — 2007. — Vol. 38, no. 4. — Pp. 893 – 491.
3. A. V. Karpov, A. Kelić, K.-H. Schmidt; On the topographical properties of fission barriers // *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*. — 2008. — Vol. 35, no. 3. — P. 035104.
4. V. I. Zagrebaev, A. V. Karpov, Walter Greiner; True ternary fission of superheavy nuclei // *Phys. Rev. C*. — 2010. — Vol. 81. — P. 044608.
5. V. I. Zagrebaev, A. V. Karpov, I. N. Mishustin, Walter Greiner; Production of heavy and superheavy neutron-rich nuclei in neutron capture processes // *Phys. Rev. C*. — 2011. — Vol. 84. — P. 044617.
6. A. V. Karpov, V. I. Zagrebaev, Y. Martinez Palenzuela et al.; Decay properties and stability of heaviest elements // *International Journal of Modern Physics E*. — 2012. — Vol. 21, no. 02. — P. 1250013.
7. V. I. Zagrebaev, A. V. Karpov, Walter Greiner; Possibilities for synthesis of new isotopes of superheavy elements in fusion reactions // *Phys. Rev. C*. — 2012. — Vol. 85. — P. 014608.
8. V. A. Rachkov, A. V. Karpov, A. S. Denikin, V. I. Zagrebaev; Examining the enhancement of sub-barrier fusion cross sections by neutron transfer with positive  $Q$  values // *Phys. Rev. C*. — 2014. — Vol. 90. — P. 014614.
9. A. V. Karpov, V. A. Rachkov, V. V. Samarin; Quantum coupled-channels model of nuclear fusion with a semiclassical consideration of neutron rearrangement // *Phys. Rev. C*. — 2015. — Vol. 92. — P. 064603.
10. A. V. Karpov; Ternary fission of a heavy nuclear system within a three-center shell model // *Phys. Rev. C*. — 2016. — Vol. 94. — P. 064615.
11. А. В. Карпов, А. С. Деникин, А. П. Алексеев et al.; Сетевая база знаний NRV по ядерной физике низких энергий // *Ядерная Физика*. — 2016. — Vol. 79, no. 5. — Pp. 520 – 532.

12. A. V. Karpov, V. V. Saiko; Modeling near-barrier collisions of heavy ions based on a Langevin-type approach // Phys. Rev. C. — 2017. — Vol. 96. — P. 024618.
13. A. V. Karpov, A. S. Denikin, M. A. Naumenko et al.; NRV web knowledge base on low-energy nuclear physics // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. — 2017. — Vol. 859, no. Supplement C. — Pp. 112 – 124.
14. A. V. Karpov, V. V. Saiko; Study of deep inelastic collisions within multidimensional dynamical model // Physics of Particles and Nuclei Letters. — 2017. — Vol. 14. — Pp. 817 – 821.

Диссертация «Теоретический анализ основных механизмов образования и распада тяжелых и сверхтяжелых ядер» Карпова Александра Владимировича рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности: 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

г. Дубна, 26 декабря 2017 г



В.К. Утенков  
председатель НТС ЛЯР