

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 720.001.01  
НА БАЗЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 13.06.2018 № 115

О присуждении Рачкову Владимиру Александровичу ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Теоретическое исследование роли перераспределения нейтронов в реакциях слияния при энергиях вблизи кулоновского барьера» по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц принята к защите 04.04.2018 (протокол № 111) диссертационным советом Д 720.001.01 на базе международной межправительственной организации «Объединенный институт ядерных исследований», 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6, приказ Рособнадзора о создании совета № 1484-1047 от 11.07.2008; полномочия совета подтверждены приказом Минобрнауки РФ № 105/НК от 11.04.2012.

Соискатель **Рачков Владимир Александрович** 1986 года рождения, гражданин Российской Федерации.

В 2010 году соискатель окончил магистратуру в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования Московской области «Международном университете природы, общества и человека «Дубна» с присуждением степени магистра «Физики» по направлению подготовки «Физика» специализации «Физика ядра и элементарных частиц». Освоил программу подготовки в очной аспирантуре Учебно-научного центра на базе международной межправительственной организации «Объединенный институт ядерных исследований» в период с 15.10.2010 г. по 14.10.2013 г.

В настоящее время работает в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова Объединенного института ядерных исследований в должности младшего научного сотрудника. Диссертация выполнена в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель - кандидат физико-математических наук, **Карпов Александр Владимирович**, Лаборатория ядерных реакций им. Г.Н. Флерова Объединенный институт ядерных исследований, ученый секретарь.

Официальные оппоненты:

**Косенко Григорий Иванович**, доктор физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева» Министерства обороны Российской Федерации (ВА МТО). Омский автобронетанковый инженерный институт г. Омск, кафедра физико-математических дисциплин, профессор;

**Хлебников Сергей Васильевич**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Акционерное общество «Радиевый институт имени В.Г. Хлопина», РОСАТОМ, отделение прикладных ядерно-физических исследований, ведущий научный сотрудник дали положительный отзыв на диссертацию.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном **Еременко Дмитрием Олеговичем** (доктор физико-математических наук, доцент, заместитель директора по научной работе, Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына), заверенном **Панасюком Михаилом Игоревичем** (доктор физико-математических наук, профессор, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, директор Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына) и утвержденным

**Федяниным Андреем Анатольевичем** (доктор физико-математических наук, профессор, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, проректор – начальник Управления научной политики и организации научных исследований) указала, что *«Интенсивные теоретические и экспериментальные исследования процесса слияния двух сложных ядер играют исключительно важную роль в современной физике ядерных реакций. Во многом интерес к этому процессу определяется тем, что при энергиях выше кулоновского барьера он обеспечивает единственную, на сегодняшний день, возможность синтеза новых нейтроноизбыточных изотопов, включая и сверхтяжелые ядра. В то же время, детальное изучение реакций слияния средних по массе ядер вблизи кулоновского барьера позволяет получить новую информацию о ядро-ядерном взаимодействии, о динамике самого слияния и о механизмах различных сопровождающих его ядерных процессов. В этой области современной науки принципиально важным и актуальным вопросом является выявление взаимосвязи перераспределения нейтронов между двумя сталкивающимися ядрами и особенностей протекания процесса их слияния при энергиях ниже кулоновского барьера. Исследованию именно этого круга явлений и посвящена диссертационная работа В.А. Рачкова.*

*Долгое время считалось, что возможность перераспределения нейтронов с положительными значениями энергосвечения ( $Q$ ) в процессе слияния ядер приводит к увеличению сечения при под-барьерных энергиях. <...> Здесь, хрестоматийным примером являются столкновения ядер  $^{40}\text{Ca}$  с изотопами  $^{90,96}\text{Zr}$ . Аналогичное увеличение сечения слияния наблюдалось и для целого ряда других комбинаций сталкивающихся ядер. Все они детально обсуждаются в рамках настоящей диссертации. Однако, существует ряд экспериментальных данных, указывающих на отсутствие дополнительного увеличения под-барьерного сечения слияния, несмотря на наличие каналов нейтронных передач с положительными значениями  $Q$ . В качестве примера таких реакций можно привести:  $^{130}\text{Te} + ^{58}\text{Ni}$ ,  $^{64}\text{Ni} + ^{100}\text{Mo}$ . Разрешению этой проблемы современной*

физики ядерных реакций посвящена значительная часть диссертации В.А. Рачкова.

Следует отметить, что для современного уровня развития методов теоретического анализа реакций слияния представляется чрезвычайно актуальным построение и развитие моделей, дающих максимально полное описание процесса слияния и учитывающих взаимосогласованное влияние коллективных степеней свободы и нейтронных передач. В диссертационной работе Рачкова В.А. представлены результаты таких исследований при энергиях вблизи кулоновского барьера. В своей диссертационной работе он развивает известную и хорошо зарекомендовавшую себя эмпирическую модель связи каналов. Автор предложил успешное и удобное в использование обобщение эмпирической модели на случай согласованного учета перераспределения нейтронов и коллективных степеней свободы. Апробация предложенного в диссертации обобщения проведена на большом количестве экспериментальных данных, полученных различными исследовательскими группами. Последнее делает достоверными полученные в работе результаты, а ее выводы обоснованными. Практическую значимость имеют разработанные вычислительные коды эмпирической модели связи каналов, которые включены в базу знаний по ядерной физике низких энергий NRV (<http://nrv.jinr.ru>) и находятся в свободном доступе в сети Интернет.

К наиболее интересным результатам, которые представлены в диссертации Рачкова В.А., следует отнести новый способ учета перераспределения нейтронов в квантовой модели связи каналов. <...> Расчеты находятся в хорошем согласии с экспериментальными данными. Подчеркнем, этот способ позволил впервые воспроизвести функции распределения по барьерам во всем диапазоне энергий. Также в диссертации убедительно показано, что выводы о взаимном влиянии коллективных степеней свободы и нейтронных передач, сделанные в эмпирической модели связи каналов с учетом перераспределения нейтронов, подтверждаются в рамках квантовой модели

связи каналов с учетом перераспределения нейтронов.

Следует также отметить ряд расчетов, выполненных в рамках диссертационной работы и носящих предсказательный характер. Так, Рачковым В.А. были предложены реакции, и были выполнены соответствующие вычисления сечений слияния, приводящие к синтезу 11 новых нейтронообогащенных изотопов трансфермиевых элементов.

Тем не менее, по тексту диссертации можно сделать ряд несущественных замечаний. Например, при описании деталей вычислений потенциальной энергии взаимодействия, автору следовало бы привести выражения для кулоновской и ядерной энергий не только для сферическим, но и для деформированных ядер или хотя бы указать ссылки на работы из списка литература, в которых такие выражения присутствуют. Рис. 2.15 состоит из двух частей, “а)” и “б)”. Тем не менее, в подписи к этому рисунку приведено описание только части “а)”. В соотношении 4.10 включен коэффициент Крамерса, зависящий от величины параметра ядерной вязкости. Само же значение этого параметра, используемое в расчетах, в тексте диссертации не представлено.

Подчеркнем, что указанные замечания не носят принципиального характера и совершенно не влияют на общую высокую оценку работы. <...>

Таким образом, диссертационная работа Рачкова Владимира Александровича <...>, полностью удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук <...>. Сам же Рачков Владимир Александрович заслуживает присвоения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.»

Соискатель имеет 11 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 11 работ, из которых 8 опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК. Основные работы:

- 1) A. Adel, V.A. Rachkov, A.V. Karpov, V.I. Zagrebaev et al.; Effect of neutron rearrangement on subbarrier fusion reactions // *Nucl. Phys. A.* – 2012. – Vol. 876.

Рр. 119 – 130 (12 стр).

2) В.А. Рачков, А. Адель, А.В. Карпов, В.И. Загребаев и др.; Влияние каналов нейтронных передач на процессы слияния слабосвязанных ядер при подбарьерных энергиях // *Изв. РАН. Сер. физ.* – 2013. – Т. 77, № 4. – С. 458–462 (5 стр).

3) В.А. Рачков, А. Адель, А.В. Карпов, В.И. Загребаев и др.; Усиливает ли перераспределение нейтронов подбарьерное слияние атомных ядер? // *Изв. РАН. Сер. физ.* – 2014. – Т. 78, №. 11. – С. 1381–1387 (7 стр).

4) 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 (11 стр).

5) 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 стр).

6) В.А. Рачков, А.В. Карпов, В.В. Самарин; Полуэмпирическая модель перераспределения нейтронов в квантовом подходе сильной связи каналов // *Изв. РАН. Сер. физ.* – 2016. – Т. 80, №3. – С. 304–313 (10 стр).

7) А.В. Карпов, А.С. Деникин, А.П. Алексеев, В.А. Рачков и др.; Сетевая база знаний NRV по ядерной физике низких энергий // *Ядерная Физика.* — 2016. — Т. 79, №.5. — С. 520–532 (13 стр).

8) A.V. Karpov, V.A. Rachkov, and V.V. Saiko; Formation of neutron-enriched heavy and superheavy nuclei in Fusion Reactions // *Phys. Part. Nucl. Lett.* – 2018. – V. 15. – Pp. 247-256 (14 стр).

Общий объем опубликованных работ по материалам диссертации составляет 99 печатные страницы. Работы опубликованы в журналах, которые включены в международные системы цитирования Web of Sciences и Scopus и хорошо известны научному сообществу. Все журналы рецензируемые, опубликованные работы прошли серьезную всестороннюю проверку рецензентами – ведущими

специалистами в области теоретической физики и ядерной физики.

Отзывы официальных оппонентов и ведущей организации положительные, но содержат следующие основные замечания, не снижающие общей высокой оценки научного уровня диссертации. В отзыве Г.И. Косенко говорится: «В тексте присутствуют незначительные грамматические ошибки, что не искажает научную составляющую диссертации. Также имеется ряд замечаний по содержанию и изложению материала: 1. Во введении для рисунка 1 реакции, указанные на самом рисунке и в подписи к рисунку, отличаются. 2. На рисунках везде штриховая линия называется пунктирной. 3. В целом первая глава кажется несколько тяжеловесной. Возможно, автору надо было разбить главу на две и отделить описание всех моделей и свой вклад в их улучшение. 4. Во второй главе на рисунке 2.4 путаница в подписях панелей б) и в).». В отзыве С. В. Хлебникова говорится: «1. В диссертации слишком общим образом отражены перспективы дальнейших исследований в рамках развитых в работе теоретических подходов. Стоило бы пояснить подробнее. 2. Встречаются отдельные опечатки/ошибки – в тексте диссертации (стр. 22) и автореферата (стр. 7), например.».

Соискатель ответил на все замечания.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации основан на том, что оба оппонента являются видными специалистами, как в области теоретической физики, так и в области физики атомного ядра, а ведущая организация – одним из лидирующих университетов в области экспериментальной и теоретической физики. Это подтверждается многочисленными публикациями в журналах из списка ВАК, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, а также высоким индексом цитируемости их работ.

**Диссертационный совет отмечает,** что в рамках проведённых соискателем исследований:

Существенно доработана эмпирическая модель связи каналов, широко используемая для описания реакций слияния ядер вблизи кулоновского барьера. Модель обобщена на случай одновременного учета колебаний ядерной

поверхности одного из сталкивающихся ядер и вращения другого.

Предложен и обоснован новый набор параметров для эмпирической модели связи каналов, а также для квазиклассической вероятности передачи нейтронов при слиянии ядер. Это позволило описать представительный набор экспериментальных данных для реакций слияния при энергиях вблизи кулоновского барьера.

Показано, что усиление слияния ядер при подбарьерных энергиях обусловлено совместным влиянием свойств коллективных возбуждений ядер, каналов передачи нейтронов с положительными значениями  $Q$ , а также энергий связи передаваемых нейтронов.

Реализован способ учета каналов передачи нейтронов в квазиклассическом приближении при использовании квантового метода связи каналов, что позволило впервые описать структуру функции распределения по барьерам в реакциях слияния, для которых значительна роль перераспределения нейтронов.

Предложены комбинации сталкивающихся ядер и выполнены расчеты сечений реакций слияния, в результате которых могут образоваться 11 новых нейтронообогащенных изотопов трансфермиевых элементов с  $Z = 102 - 107$  с сечениями, достижимыми на имеющихся экспериментальных установках.

Разработанные коды эмпирической модели связи каналов доступны в свободном доступе через Базу знаний по ядерной физике низких энергий NRV (<http://nrv.jinr.ru>).

**Теоретическая значимость** заключается в том, что в диссертационной работе развиты теоретические подходы к описанию реакций слияния вблизи кулоновского барьера. Автор реализовал способ учета каналов передачи нейтронов в квазиклассическом приближении при использовании квантового метода связи каналов, что позволило впервые описать структуру функции распределения по барьерам в реакциях слияния, для которых значительна роль перераспределения нейтронов.

**Значение полученных соискателем результатов для практики**



заключается в том, что результаты работы могут применяться в дальнейшем при исследовании реакций слияния ядер при околобарьерных энергиях, направленных, в частности, на изучение роли каналов коллективных возбуждений и нейтронных передач. Развитые в диссертации теоретические подходы, а также рассчитанные сечения реакций слияния могут быть использованы при подготовке к проведению, а также при анализе соответствующих ядерно-физических экспериментов. Разработанные вычислительные коды эмпирической модели связи каналов включены в базу знаний по ядерной физике низких энергий NRV (<http://nrv.jinr.ru>), находящуюся в свободном доступе в сети Интернет.

**Оценка достоверности** полученных результатов обеспечивается тем, что доработанная эмпирическая модель связи каналов, а также реализация способа учета перераспределения нейтронов в квазиклассическом приближении при использовании квантового метода сильной связи каналов в настоящей диссертации 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.

**Личный вклад** соискателя в решение рассматриваемых в диссертации задач является определяющим. Содержание диссертационной работы и положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы. Автор диссертации принимал активное участие на всех этапах выполнения работы: в формулировке методов решения поставленных задач, в разработке численных алгоритмов и написании компьютерного кода, в проведении расчетов, обработке и анализе результатов, а также в подготовке статей к публикации. Результаты расчетов, представленные в диссертации, а также основные положения, выносимые на защиту, получены лично автором.

На заседании № 115 от 13 июня 2018 года диссертационный совет принял решение присудить Рачкову В.А. ученую степень кандидата физико-

математических наук. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 18, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

диссертационного совета

Воронов Виктор Васильевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

Быстрицкий Юрий Михайлович

13.06.2018

