

## ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата физико-математических наук Хлебникова С.В. о диссертации **РАЧКОВА Владимира Александровича** «Теоретическое исследование роли перераспределения нейтронов в реакциях слияния при энергиях вблизи кулоновского барьера», представленную на соискание ученой степени кандидата физико - математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц, представленной в диссертационный совет Д 720.001.01 при Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна.

Большой интерес к изучению процессов слияния ядер при энергиях вблизи барьера связан с интенсивными исследованиями механизмов образования новых ядер, включая сверхтяжелые, и обусловлен развитием ускорительной техники, получением высокоинтенсивных пучков радиоактивных ядер. Это делает актуальной задачу развития теоретических моделей для описания ядерных реакций, позволяющих добиться согласия с экспериментом в широком диапазоне энергий, включая глубокоподбарьерную область. Рассматриваемая диссертация представляет собой пример теоретического исследования важных физических задач, проведенного на высоком научном уровне. В работе проведено исследование совместного влияния коллективных степеней свободы сталкивающихся ядер и перераспределения нейтронов на процесс слияния при энергиях вблизи кулоновского барьера. Актуальность и значимость темы диссертационной работы не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

Во **Введении** приводится аналитический обзор по теме диссертации, основное внимание уделено анализу процессов слияния ядер с энергиями вблизи кулоновского барьера и подбарьерной области. Проанализированы механизмы увеличения сечений подбарьерного слияния, детальное сравнительное описание различных теоретических подходов и методов, с указанием их достоинств и недостатков, сделан вывод о важности исследования вопроса о влиянии роли перераспределения нейтронов на слияние ядер в подбарьерной области. Во **Введении** сформулированы цели и задачи работы, её актуальность, основные положения, выносимые на защиту, личный вклад соискателя и список публикаций по теме работы.

В **Первой** главе рассмотрены различные теоретические подходы при анализе реакций слияния атомных ядер в широком диапазоне масс и энергий.

Представлено усовершенствование известной и хорошо зарекомендовавшей себя эмпирической модели связи каналов (В. И. Загребаев) с учетом и без учета перераспределения нейтронов. Модель обобщена на случай одновременного учета колебаний ядерной поверхности одного из сталкивающихся ядер с вращением другого. Показано, что расчеты с учетом вибрационных и ротационных степеней свободы в рамках эмпирической и квантовой моделей связи каналов дают близкие результаты. Продемонстрировано хорошее согласие расчетов с экспериментальными данными. Предложен новый набор параметров для определения вероятности передачи нейтронов в реакциях слияния.

**Вторая глава** посвящена изучению роли совместного влияния свойств сталкивающихся ядер и перераспределения нейтронов между ними в процессе столкновения. В ней рассматривается совместное влияние свойств коллективных возбуждений ядер, каналов передачи нейтронов, энергий связи передаваемых нейтронов, а также размеров ядер на процесс слияния в подбарьерной области энергий. Показано, что наибольший эффект от перераспределения нейтронов наблюдаются в комбинациях, для которых связь с коллективными степенями свободы мала и система характеризуется положительными значениями энергий передачи нейтронов.

**В третьей главе** реализован и апробирован новый способ учета перераспределения нейтронов в квантовой модели связи каналов. Связь относительного движения с коллективными степенями свободы, такими как, колебания ядерных поверхностей и/или вращения статически деформированных сталкивающихся ядер рассматривается в квантовом подходе, а вероятность передачи нейтронов вычисляется в квазиклассическом приближении. Такой подход впервые позволил воспроизвести функции распределения по барьерам во всем диапазоне энергий, при этом результаты расчетов находятся в хорошем согласии с экспериментальными данными. Также 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.

**В четвертой главе** проводится теоретическое исследование получения в реакциях слияния новых нейтронообогащенных тяжелых и сверхтяжелых ядер, что относится к одной из наиболее актуальных задач современной ядерной физики. В настоящее время, несмотря на большой прогресс, отдельные области тяжелых нейтронообогащенных ядер являются неизученными. К ним относится область нейтронообогащенных ядер с  $Z=102-107$ , которая является весьма важной, в частности, для астрофизических исследований. В главе подробно описана исполь-

зованная модель и приведены результаты расчета сечений реакций слияния для сильно асимметричных комбинаций сталкивающихся ядер при облучении  $^{20}\text{O}$ ,  $^{22,23}\text{Ne}$  мишеней  $^{248}\text{Cm}$ ,  $^{249}\text{Cf}$ ,  $^{249}\text{Bk}$ . Несомненным свидетельством правильности модельного подхода является тот факт, что проведенная автором проверка модели на имеющихся экспериментальных данных показала хорошее согласие расчетов и эксперимента. Поэтому предложенные в диссертации комбинации сталкивающихся ядер и результаты расчета сечений реакций слияния, приводящие к получению 11 новых нейтронообогащенных изотопов элементов с  $Z$  от 102 до 107, где экспериментальные данные отсутствуют, могут быть с уверенностью использованы при планировании экспериментов.

В Заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертации. Они соответствуют положениям, выносимым на защиту. Научная новизна полученных результатов не вызывает сомнений. Большую практическую значимость для учебных процессов имеет то обстоятельство, что вычислительные коды эмпирической модели связи каналов, размещены в сети Интернет через базу знаний по ядерной физике низких энергий NRV.

По содержанию диссертации есть следующие замечания:

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 текстах диссертации (стр. 22) и автореферата (стр. 7), например.

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки работы. Диссертация Рачкова В. А. представляет собой законченную работу, выполненную на высоком научном уровне. Практическая ценность исследований, проведенных в рамках настоящей диссертации, также несомненна, так как ее результаты, развитые теоретические подходы, а также рассчитанные сечения реакций могут быть использованы в дальнейших исследованиях в области физики тяжелых ионов, в частности, реакций слияния вблизи кулоновского барьера (ОИЯИ, РНЦ «Курчатовский институт» и др). Текст диссертационной работы написан ясным языком, хорошо оформлен, расположение материала компактно и продумано, работа легко читается.

Следует отметить значительный личный вклад В.А. Рачкова в получение результатов исследований, отраженных в диссертации.

Результаты, полученные в диссертации, докладывались на международных и российских научных конференциях, а также на семинарах в Объединенном институте ядерных исследований. Они в полной мере опубликованы в ведущих

рецензируемых научных журналах, входящих в список ВАК. С учетом того, что разработанные автором модельные коды включены в Базу знаний NRV, можно заключить, что диссертационная работа прошла широкую апробацию.

Диссертация соответствует паспорту специальности 01.04.16. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Таким образом, диссертационная работа Рачкова Владимира Александровича «Теоретическое исследование роли перераспределения нейтронов в реакциях слияния при энергиях вблизи кулоновского барьера» полностью соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 в ред. от 28.08.2017, а ее автор безусловно заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико - математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Официальный оппонент:

Хлебников Сергей Васильевич

25.05.2018

ведущий научный сотрудник АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина»,  
кандидат физико-математических наук  
адрес: 194021 Санкт-Петербург, 2<sup>й</sup> Мушинский пр., 28  
тел.: +7 (812) 297-56-41, моб. +7 (905) 2609701  
e-mail: [khlebnikov@khlopin.ru](mailto:khlebnikov@khlopin.ru), [khlebnikov\\_s47@mail.ru](mailto:khlebnikov_s47@mail.ru)

Даю согласие на обработку моих персональных данных любым законодательно разрешенным способом

Подпись официального оппонента С.В. Хлебникова заверяю

Ученый секретарь

АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина»

д.х.н., профессор



/И.В. Смирнов/