

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 16.05.2018 № 113

О присуждении Науменко Михаилу Алексеевичу ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование особенностей ядерных реакций с участием легких ядер в нестационарном подходе» по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц принята к защите 21.02.2018 (протокол № 110) 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 Рособрнадзора о создании совета № 1484-1047 от 11.07.2008; полномочия совета подтверждены приказом Минобрнауки РФ № 105/НК от 11.04.2012.

Соискатель **Науменко Михаил Алексеевич** 1977 года рождения.

В 2000 году соискатель окончил специалитет физического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственный университет» с присуждением квалификации физика по специальности «Физика». Освоил программу подготовки в очной аспирантуре Учебно-научного центра Объединенного института ядерных исследований в период с 01.11.2000 г. по 01.10.2003 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 – доктор физико-математических наук, **Самарин Вячеслав Владимирович**, Лаборатория ядерных реакций им. Г. Н. Флерова Объединенного института ядерных исследований, Группа теоретической и вычислительной физики, ведущий научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

**Карпешин Федор Федорович**, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева», научно-исследовательский отдел эталонов и научных исследований в области измерений линейных ускорений, гравиметрии и угла, ведущий научный сотрудник;

**Лютостанский Юрий Степанович**, доктор физико-математических наук, доцент, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», начальник отдела ядерной астрофизики  
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, директор Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына) и утвержденным **Федяниным Андреем Анатольевичем** (доктор физико-математических наук, профессор, проректор – начальник Управления научной политики и организации научных исследований) указала, что *«Для современного состояния ядерной физики характерным является проведение интенсивных экспериментальных и теоретических исследований ядерных реакций с легкими слабосвязанными*

ядрами. Во многом интерес к таким реакциям определяется тем, что они не только являются способом получения новых ядер, удаленных от линии  $\beta$ -стабильности, но и служат источником новой информации об их свойствах и структуре. К одному из наиболее важных и интенсивно исследуемых процессов, характерных для реакций с участием слабосвязанных ядер, следует отнести передачу нуклонов. Интерес к этому процессу обусловлен тем, что в качестве продуктов нуклонных передач могут образовываться новые нейтронно-избыточные и протонно-избыточные ядра, а анализ соответствующих экспериментальных данных позволяет получить важную информацию о механизмах и динамике протекания ядерных реакций. Решение всего этого круга задач немисливо без развития новых модельных представлений о процессе нуклонной передачи и разработки соответствующих методов теоретического моделирования реакций с легкими ядрами. <...> Именно такие исследования, актуальные для современной ядерной физики, и были выполнены Науменко Михаилом Алексеевичем в рамках его диссертационной работы. <...> Достоверность выводов диссертационной работы подтверждается сравнением результатов расчетов с экспериментальными данными. В целом хорошее согласие между ними было получено по сечениям образования изотопов  $^{44,46}\text{Sc}$  в реакции  $^3\text{He} + ^{45}\text{Sc}$ ,  $^{196,198}\text{Au}$  в реакции  $^3\text{He} + ^{197}\text{Au}$ ,  $^{46}\text{Sc}$  в реакции  $^6\text{He} + ^{45}\text{Sc}$ ,  $^{65}\text{Zn}$  в реакции  $^6\text{He} + ^{64}\text{Zn}$  и  $^{196,198}\text{Au}$  в реакции  $^6\text{He} + ^{197}\text{Au}$ . Таким образом, используемые в диссертации методы численного моделирования процессов малонуклонных передач имеют практическую ценность и могут быть полезны при теоретических исследованиях механизмов реакций с легкими слабосвязанными ядрами и планировании соответствующих новых экспериментальных исследований <...>. К наиболее интересным физическим исследованиям, результаты которых представлены в диссертации Науменко М.А., следует отнести изучение зависимости влияния процессов перераспределения нейтронов на полные сечения реакций с легкими слабосвязанными ядрами  $^6\text{He}$  и  $^9\text{Li}$  при энергиях столкновения в диапазоне 5–60 А МэВ. На основе решения

нестационарного уравнения Шредингера был проведен расчет эволюции волновых функций внешних нейтронов ядер-снарядов  ${}^6\text{He}$  и  ${}^9\text{Li}$  в процессе столкновения с ядрами-мишенями  ${}^{28}\text{Si}$  и рассчитана поправка к оптическому потенциалу, зависящая от энергии и учитывающая перераспределение нейтронов ядер-снарядов в процессе столкновения с ядрами-мишенями. Это позволило наглядно объяснить усиление полного сечения реакции  ${}^6\text{He} + {}^{28}\text{Si}$  по сравнению с полным сечением реакции  ${}^4\text{He} + {}^{28}\text{Si}$ , а также  ${}^9\text{Li} + {}^{28}\text{Si}$  по сравнению с  ${}^{6,7}\text{Li} + {}^{28}\text{Si}$ . Получено хорошее согласие расчетов с экспериментальными данными. Тем не менее, диссертация не свободна от некоторых недостатков, в качестве которых можно отметить некоторую небрежность в обсуждении результатов теоретического анализа экспериментальных данных. Например, при обсуждении результатов анализа сечений образования  ${}^{198}\text{Au}$  в реакции  ${}^3\text{He} + {}^{197}\text{Au}$  (рис. 2.14) автор сделал вывод о “хорошем согласии с экспериментальными данными”. Между тем, как амплитуда сечений, так и наклон их энергетической зависимости лишь приблизительно воспроизводят соответствующие экспериментальные данные. Скорее здесь автору следовало бы более детально обсудить возможные причины несоответствия расчетов и эксперимента. Другой пример, на стр. 84 диссертации сделано утверждение, что при энергиях ниже кулоновского барьера результаты расчета сечения передачи нейтрона для изотопа  ${}^{46}\text{Sc}$  существенно превышают экспериментальные данные. Однако, в тексте диссертации не приведена экспериментальная информация о соответствующих сечениях при энергиях ниже кулоновского барьера (см. рис. 2.13). В дополнение, диссертация только бы выиграла, если автор обсудил бы возможность обобщения метода расчета свойств легких ядер, основанного на использовании континуальных интегралов, на случай учета трехчастичного нуклон-нуклонного взаимодействия, которое, по современным представлениям, оказывает заметное влияние на свойства основных состояний легких ядер и некоторые характеристики  $Nd$ -рассеяния. Подчеркнем, что сделанные замечания не

являются принципиальными и не снижают ценность диссертационной работы. <...> Таким образом, диссертационная работа Науменко Михаила Алексеевича <...> полностью удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук <...>. Сам же Науменко Михаил Алексеевич заслуживает присвоения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.».

Соискатель имеет 40 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 19 работ, из которых 5 опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК. Основные работы:

1. Пенионжкевич Ю.Э., Соболев Ю.Г., Самарин В.В., Науменко М.А. Особенности полных сечений реакций со слабосвязанными ядрами  ${}^6\text{He}$ ,  ${}^9\text{Li}$  // Ядерная физика. 2017. Т. 80, № 5. С. 525–538.
2. Самарин В.В., Науменко М.А. Исследование основных состояний ядер  ${}^3\text{H}$ ,  ${}^{3,4,6}\text{He}$ ,  ${}^6\text{Li}$ ,  ${}^9\text{Be}$  методом фейнмановских континуальных интегралов // Ядерная физика. 2017. Т. 80, № 5. С. 473–485.
3. Науменко М.А., Самарин В.В., Пенионжкевич Ю.Э., Скобелев Н.К. Околобарьерные передачи нейтрона в реакциях с ядром  ${}^3\text{He}$  // Изв. РАН Сер. физ. 2016. Т. 80, № 3. С. 294–303.
4. Науменко М.А., Самарин В.В., Пенионжкевич Ю.Э., Скобелев Н.К. Околобарьерные передачи нейтрона в реакциях  ${}^6\text{He} + {}^{45}\text{Sc}$ ,  ${}^{64}\text{Zn}$ ,  ${}^{197}\text{Au}$  // Изв. РАН Сер. физ. 2017. Т. 81, № 6. С. 784–790.
5. Самарин В.В., Науменко М.А. Изучение основных состояний нуклидов  ${}^{3,4,6}\text{He}$  методом фейнмановских континуальных интегралов // Изв. РАН Сер. физ. 2016. Т. 80, № 3. С. 314–321.

Общий объем опубликованных работ по материалам диссертации составляет 155 печатных страниц. Работы [1–5] опубликованы в журналах, которые 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 Ф.Ф. Карпешина говорится: «Вместе с тем, по содержанию диссертации имеются следующие замечания. 1) Решение уравнения (2.8) предполагает наличие начального условия, которое не выписано. Это вызывает вопросы. Возможны две постановки. а) В начальный момент два покоящихся ядра находятся на определенном расстоянии друг от друга. В определенный момент внезапно включается начальная скорость, соответствующая заданной энергии столкновения, и запускается программа численного расчета дальнейшей эволюции нейтронной волновой функции. б) Та же конфигурация, но ядра движутся изначально. Два различных начальных условия естественно приводят к разным результатам. Во втором случае необходим учет переноса импульса, который производится путем умножения волновой функции сталкивающихся ядер на трансляционную экспоненту. В первом случае такого множителя нет, но зато возникает вероятность «встряски» в момент внезапного начала движения. 2) Не освещен типичный в теории столкновений принципиальный вопрос. При столкновении квазиклассических центров, в поле которых рассматривается перераспределение легкой квантовой частицы, важную роль играют области квазипересечения квазимолекулярных уровней легкой частицы, вероятности перехода в которых можно найти по формулам Ландау-Зинера, Демкова и т.п. Этот вопрос крайне редко обсуждается в связи с ядерными столкновениями. Между тем, его рассмотрение могло бы быть очень уместным, например, на стр. 57 в связи с обсуждением динамики столкновений при наличии близких уровней в двух сталкивающихся системах. 3) Укажу также опечатку в формуле (1.8), где пропущен знак логарифма в правой части равенства. Сделанные замечания не являются принципиальными и не снижают ценность диссертационной работы. Они могут быть использованы при дальнейшем развитии темы.» В отзыве

Ю.С. Лютостанского говорится: «По содержанию диссертации есть следующие замечания. 1. Почему в число публикаций не входит работа Загребаев В.И., Науменко М.А., Грайнер В. Нуклонные передачи в процессах глубоко неупругого рассеяния, квазиделения и слияния тяжелых ионов // Изв. РАН Сер. физ. 2005. Vol. 69, № 11. P. 1585–1592? 2. На стр. 29 сказано «использование технологии CUDA ... в некоторых случаях оно даже может позволить провести вычисления, невозможные ранее.» Следовало бы привести пример. 3. На стр. 75 сказано «Приближение (2.25) соответствует пренебрежению остаточным взаимодействием передаваемого нейтрона с нуклонами ядра-мишени.» Похоже, что остаточным взаимодействием всегда пренебрегается. Но поскольку оно дает/может дать резонансную картину, требуется подробное пояснение. 4. Известно, что ядра изотопов золота деформированные. В диссертационной работе все расчеты проводились для сферических потенциалов. Нужно было бы пояснить, какие изменения результатов расчетов возможны при учете деформации ядер? 5. На стр. 125 сказано «Меньшее проявление локального максимума в энергетической зависимости полного сечения для ядра  ${}^6\text{He}$  по сравнению с  ${}^9\text{Li}$  может быть объяснено большей протяженностью и разреженностью нейтронного гало ядра  ${}^6\text{He}$  по сравнению с более компактным нейтронным слоем («скином» от английского слова «skin») ядра  ${}^9\text{Li}$ .» Не очень понятное объяснение, стоило бы пояснить подробнее. Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации.»

На автореферат поступил дополнительный отзыв Е.А. Черепанова (кандидат физиком-математических наук, старший научный сотрудник, Лаборатория ядерных реакций им. Г.Н. Флерова Объединенного института ядерных исследований). Отзыв положительный и критических замечаний не содержит. Черепанов Е.А. отмечает: «При систематическом применении разработанного теоретического подхода, автор получил ряд интересных и новых результатов. <...> Стоит также упомянуть продемонстрированные автором высокие навыки программирования и владения современными компьютерными технологиями...

*<...> Результаты диссертации прошли апробацию на нескольких международных конференциях, автором опубликовано необходимое количество статей в реферируемых журналах. Автореферат диссертации удовлетворяет всем необходимым требованиям. Считаю, что данная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор, Науменко Михаил Алексеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 — физика атомного ядра и элементарных частиц.»*

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 проведенных соискателем исследований:

Впервые проведены расчеты сечений передачи нейтронов для значительного числа реакций с участием легких ядер-снарядов  ${}^3\text{He}$  и представительным набором тяжелых ядер-мишеней на основе численного метода решения нестационарного уравнения Шредингера с учетом спин-орбитального взаимодействия нуклонов.

Показано, что в образование изотопа  ${}^{198}\text{Au}$  основной вклад вносит срыв нейтрона с ядер  ${}^3\text{He}$ , процесс слияния с последующим испарением частиц из составного ядра дает пренебрежимо малый вклад; получено хорошее согласие результатов расчетов с экспериментальными данными. Показано, что образование изотопа  ${}^{196}\text{Au}$  в реакции с ядром  ${}^3\text{He}$  обусловлено подхватом нейтрона ядром  ${}^3\text{He}$ .

Показано, что в случае образования изотопов  $^{44,46}\text{Sc}$ ,  $^{64}\text{Zn}$  процессы передачи нейтронов и слияния ядер с последующим испарением частиц из составного ядра дают соизмеримые вклады; получено хорошее согласие с экспериментальными данными.

Впервые дано объяснение наблюдаемым особенностям полных сечений реакций  $^{4,6}\text{He} + ^{28}\text{Si}$  и  $^{6,7,9}\text{Li} + ^{28}\text{Si}$  на основе решения нестационарного уравнения Шредингера и наглядных физических представлений об изменяемой в ходе столкновения внешней нейтронной оболочке слабосвязанных ядер-снарядов  $^6\text{He}$  и  $^9\text{Li}$ ; получено хорошее согласие расчетов с экспериментальными данными.

Впервые проведены расчеты основных состояний легких ядер  $^3\text{H}$ ,  $^{3,4,6}\text{He}$ ,  $^6\text{Li}$ ,  $^9\text{Be}$  в рамках метода фейнмановских континуальных интегралов с использованием параллельных вычислений на графических процессорах (технологии NVIDIA CUDA); результаты расчетов согласуются с экспериментальными данными.

**Теоретическая значимость** заключается в том, что проведенные расчеты дают возможность более полно исследовать физические процессы, сопровождающие касательные столкновения атомных ядер, и выявить влияние структуры легких ядер-снарядов и свойств тяжелых ядер-мишеней на процессы передачи нуклонов (и/или их перераспределения).

**Значение полученных соискателем результатов для практики** заключается в том, что впервые удалось объяснить экспериментальные данные для реакций  $^3\text{He} + ^{45}\text{Sc}$ ,  $^3\text{He} + ^{197}\text{Au}$ ,  $^6\text{He} + ^{45}\text{Sc}$ ,  $^6\text{He} + ^{64}\text{Zn}$ ,  $^6\text{He} + ^{197}\text{Au}$ ,  $^6\text{He} + ^{28}\text{Si}$  и  $^9\text{Li} + ^{28}\text{Si}$ . Основная часть указанных экспериментальных данных получена в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова (ЛЯР) Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ), г. Дубна. Полученные результаты могут быть также использованы при планировании новых экспериментов.

**Оценка достоверности** результатов исследования выявила:

при выполнении программы исследований получено согласие результатов расчетов с экспериментальными данными. Решалась сложная комплексная задача

по одновременному учету, как процессов передачи нейтрона, так и процессов слияния-испарения, каждый из которых оказывал влияние на конечный результат. Достоверность полученных результатов обусловлена также применением нескольких взаимно дополняющих теоретических подходов (нестационарного уравнения Шредингера, оптической модели, континуальных интегралов Фейнмана) и не вызывает сомнений.

**Личный вклад** соискателя в решение рассматриваемых в диссертации задач является значительным. Содержание диссертационной работы и положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы. Автор диссертационной работы принимал непосредственное участие в проведении расчетов, написании компьютерных программ, обработке, анализе и обсуждении полученных результатов, подготовке статей к публикации. Все представленные в диссертации результаты получены лично автором.

На заседании № 113 от 16 мая 2018 года диссертационный совет принял решение присудить Науменко М.А. ученую степень кандидата физико-математических наук. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 5 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

16.05.2018

