

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 05.06.2019 № 125

О присуждении Родкину Дмитрию Михайловичу ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Теоретическое описание кластеризованных состояний легких ядер в рамках современных микроскопических моделей» по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц принята к защите 27.03.2019 (протокол № 121) 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 **Родкин Дмитрий Михайлович** 1992 года рождения, гражданин Российской Федерации.

В 2015 году соискатель окончил магистратуру в Московском Физико-Техническом Институте (государственный университет) «МФТИ (ГУ)» по специальности «прикладная математика и физика». Освоил программу подготовки в очной аспирантуре в МФТИ (ГУ) в период с сентября 2015 г. по июнь 2019 г.

В настоящее время работает во ФГУП «Всероссийского научно-исследовательского института автоматики» в должности младшего научного сотрудника. Диссертация выполнена во ФГУП «Всероссийского научно-

исследовательского института автоматики».

Научный руководитель - доктор физико-математических наук, **Чувильский Юрий Михайлович**, Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, ведущий научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Узиков Юрий Николаевич, доктор физико-математических наук, Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория ядерных проблем, ведущий научный сотрудник;

Соболевский Николай Михайлович, доктор физико-математических наук, Институт Ядерных Исследований РАН, Лаборатория нейтронной физики, главный научный сотрудник

дали положительный отзыв на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», в своем положительном заключении, подписанном **Митропольским Иваном Андреевичем** (доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией ядерной спектроскопии), заверенном Зиновьевой Анастасией Николаевной (начальник отдела кадров) и утвержденным **Ворониным Владимиром Владимировичем** (доктор физико-математических наук, заместитель директора по научной работе) указала, что *«Диссертация Д.М. Родкина «Теоретическое описание кластеризованных состояний лёгких ядер в рамках современных микроскопических моделей» посвящена созданию теоретического подхода на основе реалистического межнуклонного взаимодействия для описания кластерной структуры лёгких ядер, разработке комплекса программ и расчётам свойств и спектров возбуждения ядер ^5He , ^7Li , ^8Be , ^9Be , ^9B . По тематике и методологии диссертация относится к работам, посвященным развитию чрезвычайно мощной модели резонирующих групп, как единого подхода*

к описанию явлений, относящихся к дискретной и непрерывной части ядерного спектра, т.е. универсальному описанию ядерной структуры и ядерных реакций. <...> Созданный комплекс программ можно рассматривать не только как конкретное достижение, но и как платформу для дальнейшего развития исследований в этом направлении. Диссертация состоит из введения, трёх глав и заключения. Во **введении** обосновывается актуальность разработанного метода ортогональных функций кластерных каналов для микроскопического описания кластерных состояний лёгких ядер и реакций с их участием. Сформулированы цели и задачи исследования, а также положения, выносимые на защиту. В **первой главе** даётся описание современных микроскопических *ab initio* методов расчётов состояний лёгких ядер, видов реалистического межнуклонного взаимодействия, формализма разработанной автором модели, проводится сравнение разработанной автором модели с ранее созданными. <...> Во **второй главе** приводятся результаты расчётов полных энергий связи и спектроскопических факторов основных и низколежащих возбуждённых состояний лёгких ядер. <...> **Третья глава** посвящена описанию результатов расчётов асимптотических характеристик лёгких ядер, где используются очень большие одночастичные базисы. Сравнение оригинальных результатов с экспериментальными данными свидетельствует об успешном применении модели ортогональных функций кластерных каналов для описания асимптотических характеристик низколежащих возбуждённых состояний, как связанных, так и резонансных, для состояний с нейтронным гало и кластеризованных состояний. В **заключении** представлены основные результаты и выводы проведённых исследований, сформулированы преимущества созданной модели и общий анализ роли кластерных компонент в волновых функциях кластеризованных состояний лёгких ядер. **Замечания.** Разработанный в диссертации метод принципиально относится к «двухцентровым» системам, что не позволяет рассматривать, например, ядра ${}^6\text{He}$ или ${}^{12}\text{C}$. К сожалению, такой оговорки в диссертации нет, и может

создаться неоправданно оптимистическое впечатление о применимости модели. В модели используются реалистические нуклон-нуклонные потенциалы из теории однобозонного обмена или квантовой хромо динамики. Эти теории релятивистские, что отражается в записи потенциалов, а разрабатываемая автором модель ортогональных функций кластерных каналов принципиально нерелятивистская. В связи с этим возникает вопрос: зачем релятивистские потенциалы? Их параметры определены для нуклонного рассеяния (дейтрон) в релятивистской теории. В условиях многочастичной задачи ($N > 3$) эффективные нерелятивистские потенциалы могли бы быть более адекватными. Например, потенциалы с трёхчастичными силами, приводящие к зависимости эффективного взаимодействия от плотности и обеспечивающие насыщение ядерных сил в более тяжёлых ядрах. Никаких комментариев в диссертации по этому поводу нет. Результаты расчётов в диссертации вполне убедительно сравниваются с экспериментальными данными, но детального сравнения с другими расчётами не проводится. Такое сравнение позволило бы выявить роль конкретного вида взаимодействия в теории лёгких ядер с учётом кластеризации. Большое внимание в диссертации уделено вычислению энергетических характеристик ядер. Интересно было бы обсудить вычисление радиусов и электромагнитных моментов. Эти замечания носят дискуссионный характер и не снижают общей положительной оценки работы.

<...> Автореферат адекватно отражает основное содержание диссертации. Результаты и выводы диссертации, а также разработанный комплекс программ могут быть использованы во всех научных-исследовательских и образовательных учреждениях, в которых проводятся исследования структуры лёгких ядер, ведётся подготовка специалистов-ядерщиков: МГУ, ОИЯИ, ПИЯФ, СПбГУ, ИЯИ РАН и др. <...> Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а её автор Д.М. Родкин безусловно заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-

математических наук по специальности 01.04.16 — физика атомного ядра и элементарных частиц.»

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

- 1) Rodkin D. M., Tchuvil'sky Yu. M. Ab initio calculation of one-nucleon halo states // Journal of Physics: Conference Series (2018) vol. 966, 012022-1-012022-6;
- 2) Родкин Д. М., Чувильский Ю. М. Описание кластерных явлений в спектрах легких ядер в рамках ab initio подхода // Письма в ЖЭТФ (2018) том 108 № 7 стр. 459-465;
- 3) Родкин Д. М. Чувильский Ю. М. Исследование резонансных и слабосвязанных состояний легких ядер с однонуклонным гало на базе первопринципов // Ядерная физика и инжиниринг (2017) том 8, № 6 стр. 539-544;
- 4) Rodkin D. M., Tchuvil'sky Yu. M. Analysis of clustering phenomena in ab initio approaches // Physics Letters B (2019) vol. 788 p. 238-242;
- 5) Родкин Д. М. Чувильский Ю. М. Асимптотические характеристики кластерных каналов в рамках ab initio подхода // Письма в ЖЭТФ (2019) том 109 № 7 стр. 435-441.

Общий объем опубликованных работ по материалам диссертации составляет 42 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 Н. М. Соболевского говорится: *«Диссертация не лишена недостатков в плане изложения материала. Текст перегружен аббревиатурами, что затрудняет восприятие. Приходится искать*

расшифровку выше по тексту. Аббревиатура КФФ вообще не раскрыта. Возможно, стоило бы включить в диссертацию список сокращений. Встречаются довольно громоздкие формулы непосредственно в тексте, а не отдельной строкой, с. 30, 42. Можно встретить неожиданные формулировки, например «высококачественное согласие с экспериментом», с. 98, 101; «из-за сложностей экспериментального расчета», с. 98; «высокая степень гибкости подхода», с. 36. Имеет место некоторая небрежность при написании текста. Так на с. 56 говорится о сравнении с данными группы Университета штата Айова, но ссылки в этом месте не приводятся, хотя и содержатся в других частях текста. Технологии распараллеливания называются на с. 52 OpenMP и MPI, а на с. 97 – *орептр* и *трі*. Встречаются громоздкие длинные фразы в разных местах текста. Сделанные замечания не снижают ценности работы автора.». В отзыве Ю. Н. Узикова говорится: «По содержанию диссертации есть следующие замечания. 1. На стр. 28 говорится, что в киральной эффективной теории нуклонных сил пренебрегается возбуждением *Delta*-изобары. Такое утверждение некорректно, так как в этой теории учитываются все адронные степени свободы, при этом вклад тяжелых адронов в отличие от вклада пионов и нуклонов учитывается неявно, будучи интегрированным в основные параметры теории – низко-энергетические константы. 2. Учет трехчастичных сил в *ab initio* расчетах резко увеличивает число матричных элементов, поэтому в данной работе используются известные в литературе двухнуклонные потенциалы, которые подвергнуты унитарному преобразованию, что согласно теореме Глекле-Полизу, может генерировать вклад трехчастичных сил во вне-энергетической области потенциала. Частично это ожидание подтверждается успешным описанием не только двухнуклонных, но многонуклонных данных. Однако недавно проведенное прямое тестирование одного из этих потенциалов, JISP16H, путем решения уравнений Фаддеева в трехтельной задаче о рассеянии нейтронов на дейтроне (R.Skibinski et al., Phys. Rev. C 97 (2018) 014002) показывает, что его

использование в описании nd рассеяния ограничено областью малых передач импульса. Эти результаты и возможное влияние на решаемые в диссертации задачи следовало обсудить в диссертации. 3. К сожалению, в тексте имеются орфографические и синтаксические ошибки, которые, видимо, являются опечатками. Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации.»

Соискатель ответил на все замечания.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации основан на том, что оба оппонента являются видными специалистами в области физики атомного ядра, а ведущая организация – одним из лидирующих научных учреждений в области экспериментальной и теоретической ядерной 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:

Была создана модель ортогональных функций кластерных каналов, предназначенная для исследования кластерных свойств легких ядер в рамках *ab initio* подходов, а также для расчетов полных энергий связи и других наблюдаемых характеристик слабосвязанных и резонансных состояний легких ядер в подходе, непосредственно учитывающем их кластеризацию. Использование технологии кластерных коэффициентов позволило впервые провести *ab initio* расчеты кластеризованных состояний ядер с кластерами, подобными альфа-частице, находящимися как в основном, так и в возбужденных состояниях.

В рамках разработанной модели был проведен комплекс вычислений для оценки вклада кластерных и некластерных компонент в полную энергию связи сильно кластеризованных состояний ядер ${}^7\text{Li}$, ${}^8\text{Be}$, ${}^9\text{Be}$ и ${}^9\text{B}$. Эти расчеты показали преимущество чисто кластерного базиса в точности описания "разностных"

величин: энергий связи отдельных нуклонов, разности кулоновских энергий изобарических дублетов.

Впервые получено количественное обоснование факта, что даже сильно кластеризованные состояния, такие как состояние 0^+ ядра ${}^8\text{Be}$, не являются чисто кластерными конфигурациями. Таким образом, продемонстрировано, что существенный вклад в полную энергию связи сильно кластеризованных состояний вносят компоненты некластерной природы.

Впервые в рамках единой схемы был проведен *ab initio* расчет асимптотических характеристик одновременно слабосвязанных и резонансных состояний - асимптотических нормировочных коэффициентов и парциальных ширин распада низколежащих состояний ядер ${}^7\text{Li}$, ${}^5\text{He}$ и ротационных состояний ядра ${}^8\text{Be}$. Значения ширин рассмотренных резонансов оказываются в хорошем согласии с экспериментальными данными. Результаты анализа этих величин показывают, что разработанный метод расчета асимптотических нормировочных коэффициентов является одной из наиболее обоснованных на данный момент методик.

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что разработанная автором модель ортогональных функций кластерных каналов вносит существенный вклад в развитие *ab initio* методов описания кластерных явлений в ядрах. Впервые получено надежное количественное обоснование того факта, что даже сильно кластеризованные состояния не являются чисто кластерными конфигурациями. Таким образом, продемонстрирована ограниченная применимость широко применяющихся в современной теории кластерных явлений методов моделирования кластеризованных систем чисто кластерными волновыми функциями с использованием эффективных нуклон-нуклонных потенциалов. В рамках созданной модели была развита схема *ab initio* расчета асимптотических характеристик слабосвязанных и резонансных состояний - асимптотических нормировочных коэффициентов и парциальных

ширин распадов. В отличие от созданных ранее подобных методов, данный подход позволяет одновременно рассчитывать полные энергии связи и асимптотические характеристики как связанных, так и резонансных состояний. С учетом сложностей экспериментального определения асимптотических нормировочных коэффициентов, а также невысокой точности других теоретических подходов, впервые предложенный в данной работе метод расчета асимптотических нормировочных коэффициентов для легких ядер представляется одной из наиболее обоснованных на данный момент методик.

Значение полученных соискателем результатов для практики заключается в том, что разработанный автором на основе данной модели метод *ab initio* расчета спектроскопических факторов и асимптотических характеристик связанных и резонансных состояний легких ядер даёт возможность проводить реалистические расчеты ширины резонансов, астрофизических *S*-факторов, дифференциальных сечений резонансных ядерных реакций, реакций передачи или выбивания кластера, а также реакций слияния.

Оценка достоверности полученных результатов обеспечивается тем, что разработанный метод для *ab initio* описания кластеризованных состояний основан на надёжных и апробированных подходах, применяемых в микроскопической теории атомного ядра. Входным элементом метода являются реалистические, хорошо зарекомендовавшие себя в многочисленных предыдущих расчетах нуклон-нуклонные потенциалы. В проведенных расчетах были использованы потенциалы, созданные на принципах квантовой хромодинамики и на данных о нуклон-нуклонном рассеянии. Эти потенциалы хорошо воспроизводят энергии основных состояний и спектры низших возбужденных состояний для ядер с массой $A \leq 16$, а также их радиусы и ряд прочих наблюдаемых характеристик. Предложенный в работе метод с хорошей точностью воспроизводит экспериментальные результаты парциальных ширины распадов резонансов легких ядер, а на комбинированном базисе воспроизводит

полную энергию связи основных и спектр уровней возбужденных состояний легких ядер.

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 диссертационной работы принимал непосредственное участие, как на этапах постановки задач, так и на этапах вывода формул, выполнения численных расчётов, а также обсуждения полученных результатов и подготовки публикаций. Все представленные в диссертации результаты вычислений получены лично автором.

На заседании № 125 от 5 июня 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Родкину Д.М. 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

05.06.2019

