

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
**на диссертацию на соискание ученой степени**  
**кандидата физико-математических наук**  
**Сидорова Семена Владимировича на тему:**  
**«Влияние тензорных сил и  $\Lambda N$ -взаимодействия с нарушением зарядовой**  
**симметрии на структуру экзотических ядер и  $\Lambda$ -гиперядер»**  
**по специальности 1.3.15 - «Физика атомных ядер и элементарных частиц,**  
**физика высоких энергий»**

Диссертация посвящена теоретическому изучению влияния некоторых свойств нуклон-нуклонных и гиперон-нуклонных взаимодействий на структуру таких экзотических ядерных систем, как ядра и гиперядра с нейтронным или протонным избытком. Развитие экспериментальных возможностей в последние десятилетия привело к существенному расширению карты изотопов, появлению таких новых областей ядерной физики, как, например, физика нейтроноизбыточных ядер, и открытию новых особенностей структуры ядер на границах стабильности. Новая экспериментальная информация позволяет уточнить тонкие эффекты в структуре нуклон-нуклонных сил, например, выявить роль тензорных сил в формировании структуры ядра и их влияние на ядерные процессы. С другой стороны все большее значение приобретают задачи на стыке научных областей – исследований в области ядерной астрофизики или физики гиперядер, и связанные с ними задачи изучения ядерных процессов при конечных температурах или описания свойств гиперон-нуклонных взаимодействий.

С этой точки зрения научная работа, представленная в диссертации, вызывает несомненный интерес.

На примере цепочки изотопов кремния диссертантом проведено систематическое исследование эволюции одночастичной структуры ядер и

выявлено влияние вклада тензорных сил на поведение как протонных, так и нейтронных состояний с ростом нейтронного избытка. В изотопах кремния диссертантом было показано, что тензорные силы эффективно приводят к уменьшению парных корреляций.

Также автором рассмотрена роль тензорных корреляций на характеристики  $\beta$ -распада и  $e$ -захвата при температурах, соответствующих состоянию предсверхновой, проведены расчеты скоростей слабых процессов в ядрах никеля. В рамках приближения случайных фаз впервые произведены расчёты, включающие одновременно тензорные корреляции и тепловые эффекты среды. Показано, что тензорные силы увеличивают суммарную силу переходов типа Гамова-Теллера в нагретых изотопах  $^{56,78}\text{Ni}$ .

В качестве основного теоретического подхода для описания структуры ядра в исследовании использован метод Хартри-Фока с силами Скирма. Следует отметить обоснованность выбора метода, поскольку этот подход, с одной стороны, доказал свою надежность и получил широкое распространение, с другой стороны, структура параметризации Скирма нуклон-нуклонного взаимодействия позволяет последовательно исследовать влияние отдельных вкладов. Диссертантом данный подход был расширен и успешно применен к описанию структуры  $\Lambda$ -гиперядер, что позволило автору на примере изотопов углерода рассмотреть роль нарушения зарядовой симметрии в  $\Lambda\text{N}$ -взаимодействии.

Интересной особенностью данного диссертационного исследования является включение в рассмотрение таких экзотических систем, как  $\Lambda$ -гиперядра с протонным избытком. В области легких ядер положение линий как протонной, так и нейтронной стабильности определено достаточно хорошо. Однако известны примеры существования  $\Lambda$ -гиперядер с несвязанным остовом, например, гиперядро  $^7_\Lambda\text{Be}$ , остов которого,  $^6\text{Be}$ , не связан. Благодаря притягивающему характеру  $\Lambda\text{N}$ -взаимодействия  $\Lambda$ -гиперон может дополнительно связать нуклонную систему и увеличить энергию отделения нуклонов, – тем самым изменить положение границы существования ядер. Автор провел расчеты

структуры легких гиперядер и исследовал вопрос их стабильности относительно испускания одного или двух протонов. Найдены новые кандидаты на протон-избыточные гиперядра с несвязанным нуклонным остовом:  ${}^9_{\Lambda}\text{C}$ ,  ${}^{17}_{\Lambda}\text{F}$ ,  ${}^{20}_{\Lambda}\text{Na}$ ,  ${}^{20}_{\Lambda}\text{Mg}$ . Ярким результатом диссертации является предсказание существования связанного гиперядра  ${}^9_{\Lambda}\text{C}$  – системы с экстремальным протонным избытком и соотношением  $Z:N = 3:1$ .

Следует особо отметить, что проведенные автором модификации комплекса программ позволили в рамках метода Хартри-Фока с силами Скирма включить в рассмотрение дополнительные детали взаимодействий и тем самым успешно решить поставленные задачи.

Таким образом, новизна, актуальность и научная значимость диссертации не вызывают сомнений.

Результаты, полученные в настоящей работе, могут быть использованы для дальнейшего развития представлений о некоторых особенностях барион-барионных взаимодействий, на основе которых можно делать предсказания свойств ядер и ядерной материи при различных условиях.

Степень достоверности обеспечена использованием апробированных методик теоретических исследований и достигается подробным анализом полученных результатов и сравнением с имеющимися в различных работах экспериментальными данными и теоретическими оценками.

Диссертация состоит из Введения, трех глав, Заключения, библиографии и приложения. Список литературы включает 148 наименований, в том числе 10 публикаций автора (восемь работ опубликованы в изданиях, индексируемых в базах Web of Science и Scopus, а две – в журнале, входящем в перечень ВАК).

Во Введении описано современное состояние теоретических исследований рассматриваемых вопросов, обоснована актуальность исследования, поставлены цель и задачи работы, сформулированы положения, выносимые на защиту, научная новизна и значимость представленной работы. Приведена аргументация

в пользу выбора метода Хартри-Фока с взаимодействием Скирма в качестве основы проводимых теоретических исследований.

Глава 1 посвящена рассмотрению влияния тензорного взаимодействия на структуру атомных ядер в основном состоянии. Дан обзор современных исследований, описан формализм метода Хартри-Фока с силами Скирма с учетом вклада тензорного взаимодействия и приведены результаты расчетов одночастичной структуры нейтроноизбыточных изотопов кремния. Можно отметить, что в отличие от большинства работ, автор сделал акцент на влияние тензорных корреляций на положение не только протонных, но и нейтронных состояний, что позволило ему выделить роль изовекторной компоненты тензорных сил. В диссертации также рассмотрен вопрос о влиянии тензорных сил на величину парных корреляций и проведено сравнение результатов для наборов параметров с различной величиной вклада тензорных сил.

В Главе 2 рассмотрены процессы  $\beta$ -распада и  $e$ -захвата при температурах  $10^9$  К и выше, которые могут быть реализованы в момент гравитационного коллапса при взрыве сверхновой. В главе приведено описание роли слабых реакций в процессе гравитационного коллапса, дан обзор теоретических методов описания Гамов-Теллеровских переходов при конечных температурах, достаточно подробно изложен, используемый в диссертации метод – тепловое квазичастичное приближение случайных фаз, и описано проведенное в диссертационной работе расширение метода для учета вклада тензорных корреляций. Обоснован выбор ядер для расчетов – дважды магических изотопов никеля  $^{56}\text{Ni}$  и  $^{78}\text{Ni}$ , приведены результаты расчетов сил и скоростей Гамов-Теллеровских переходов с различными наборами параметров взаимодействия, показано, что влияние тензорных корреляций усиливается с ростом температуры, что может приводить к росту скоростей  $\beta$ -распада и  $e$ -захвата на несколько порядков.

Глава 3 посвящена рассмотрению  $\Lambda$ -гиперядер. Дан обзор состояния экспериментальных исследований экзотических гиперядер с нейтронным или

протонным избытком, а также рассмотрен вопрос о состоянии исследований нарушения зарядовой симметрии в  $\Lambda N$ -взаимодействии. Изложен формализм Хартри-Фока с силами Скирма для  $\Lambda$ -гиперядер и дано подробное описание расширения формализма, произведенное автором для описания эффектов нарушения зарядовой симметрии. Расчеты, проведенные для изотопов углерода, показали как небольшую величину эффекта, так и различия результатов на качественном уровне для различных параметров вкладов, нарушающих зарядовую симметрию. Также рассмотрен вопрос о влиянии добавления гиперона на положение линии протонной стабильности ядер: предложена методика оценки энергии отделения протона (или пары протонов) в гиперядрах с использованием экспериментальных ядерных данных и модельных расчетов гиперядер, проведены расчеты в области легких ядер и сделаны предсказания относительно роли связывающего эффекта гиперона при переходе к более тяжелым ядрам. Предсказано возможное существование таких связанных гиперядер с несвязанным остовом, как  $^{17}_{\Lambda}\text{F}$ ,  $^{20}_{\Lambda}\text{Na}$ ,  $^{20}_{\Lambda}\text{Mg}$ , а также существование гиперядра с экстремальным протонным избытком  $^9_{\Lambda}\text{C}$ . Следует отметить, что в контексте данного вопроса результаты рассмотрения влияния нарушения зарядовой симметрии приобретают иное значение, поскольку для систем на границе нуклонной стабильности даже малый вклад некоторых особенностей взаимодействия может иметь решающее значение.

В Заключение сформулированы основные результаты и выводы диссертации, соответствующие положениям, выносимым на защиту.

Диссертация написана четким и ясным языком на хорошем научном уровне. Основные результаты, полученные в диссертации, апробированы на международных и российских конференциях и опубликованы в рецензируемых научных журналах. Эти статьи, как и автореферат, полно и правильно отражают содержание диссертации.

Диссертация соответствует паспорту специальности **1.3.15 «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий»**, а именно ее направлению 1: «Структура атомных ядер – эксперимент и теория».

Вместе с тем диссертационная работа не лишена недостатков.

Можно отметить некоторую поверхностность литературного обзора в начале главы 1. Также автор не приводит обоснования выбора цепочки изотопов, для которой проводятся расчеты. Сферическое приближение, используемое на протяжении всей диссертации, не является оптимальным для кремния – известно, что его стабильные изотопы имеют значительную деформацию. Сопоставление расчетов с экспериментальными данными по одночастичной структуре изотопов кремния является, несомненно, достоинством работы, однако в тексте практически отсутствует обсуждение наблюдаемых значительных расхождений между экспериментальными и модельными оценками.

Можно также отметить, что в данной работе автор показал, что в рамках используемого подхода тензорные  $\Lambda N$ -силы не оказывают влияния на характеристики основного состояния гиперядер, однако в контексте данного исследования было бы логично рассмотреть роль тензорного взаимодействия и на возбужденные состояния. Хотя данное замечание может быть скорее пожеланием для дальнейшей работы.

Отмеченные недостатки не снижают общую высокую оценку представленного исследования С.В. Сидорова. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности **1.3.15 «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий»** (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным п.п. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, диссертация оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой

степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель **Семен Владимирович Сидоров** заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности **1.3.15 «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий»**.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,  
начальник лаборатории ...

НИЦ «Курчатовский институт»

Алла Сергеевна Демьянова

30.03.2024

Подпись сотрудника НИЦ «Курчатовский институт» Аллы Сергеевны Демьяновой заверяю:

Главный ученый секретарь

НИЦ «Курчатовский институт»



/ Кирилл Евгеньевич Борисов/

Контактные данные оппонента:

Тел. : +7(999)909 0203, e-mail: [a.s.demyanova@bk.ru](mailto:a.s.demyanova@bk.ru)

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:  
01.04.16 – Физика ядра и элементарных частиц

Адрес места работы:

123182 г. Москва, пл. Академика Курчатова, д.1

ФГБУ Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

Отделение ядерной физики и пучковых технологий (ОЯФиПТ)

Курчатовский ядерно-физический комплекс (КЯФК).

Лаборатория ядерных структур

Тел ; e-mail: 8(499)196 93 74; [demyanova\\_as@nrcki.ru](mailto:demyanova_as@nrcki.ru)