

ОТЗЫВ официального оппонента  
на диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук Михеева Семена Алексеевича на тему:  
«Свойства  $\Lambda N$ - и  $\Lambda\Lambda$ -взаимодействий и характеристики нейтронных звёзд»  
по специальности 1.3.15. Физика атомных ядер и элементарных частиц,  
физика высоких энергий

Диссертационная работа С.А. Михеева посвящена теоретическому исследованию влияния гиперон-нуклонных и гиперон-гиперонных взаимодействий на структуру и наблюдаемые свойства нейтронных звёзд. Работа выполнена в рамках двух современных подходов: нерелятивистского формализма сил Скирма и релятивистской теории среднего поля.

**Структура и содержание диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. В первой главе приведён обзор наблюдательных данных о нейтронных звёздах. Вторая глава описывает модели гиперонных взаимодействий. В третьей главе изложен формализм расчёта уравнения состояния и структуры звезды. Четвёртая глава содержит основные результаты по  $\Lambda N$ -взаимодействию, включая корреляции и сравнение трёхчастичных сил с силами, зависящими от плотности. Пятая глава посвящена  $\Lambda\Lambda$ -взаимодействию. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

**Актуальность темы.** Изучение уравнения состояния плотной барионной материи является одной из ключевых задач современной ядерной физики и астрофизики. Наличие гиперонов в ядрах нейтронных звёзд предсказывается теоретически, однако приводит к так называемой «hyperon puzzle» — смягчению уравнения состояния и снижению максимальной массы звезды ниже наблюдаемых значений (около  $2 M_{\odot}$ ). Для решения этой загадки необходимо детальное понимание свойств  $\Lambda N$ - и  $\Lambda\Lambda$ -взаимодействий в широком диапазоне плотностей, включая область, недоступную в лабораторных экспериментах с гиперядрами. Таким образом, тема диссертации является несомненно актуальной как для фундаментальной ядерной физики, так и для астрофизики компактных объектов.

### **Научная новизна.**

В диссертации впервые:

- систематически исследована корреляция между плотностью появления  $\Lambda$ -гиперонов в нейтронной звезде и сжимающей способностью  $\Lambda N$ -взаимодействия  $K_\Lambda$ ; показано, что эта корреляция носит универсальный характер в двух различных модельных подходах;
- на основе существующей параметризации SLL4\* построено семейство модифицированных потенциалов  $\Lambda N$ -взаимодействия с разными показателями степени  $\gamma$  в плотностной зависимости и продемонстрировано, что уменьшение  $\gamma$  может приводить как к более жесткому, так и к более мягкому уравнения состояния в зависимости от способа фиксации параметров;
- впервые показано, что замена  $\Lambda N$ -сил, зависящих от плотности, на трёхчастичные  $\Lambda NN$ -силы той же амплитуды всегда смягчает уравнение состояния и при определённых условиях приводит к качественному изменению состава материи (исчезновению протонов и лептонов);
- построена скирмовская параметризация  $\Lambda\Lambda$ -взаимодействия, зависящая от нуклонной плотности, и изучено её влияние на массу и радиус нейтронной звезды.

**Научная и практическая значимость.** Результаты работы могут быть использованы при моделировании нейтронных звёзд, а также для интерпретации наблюдательных данных телескопа NICER и гравитационно-волновых событий (GW170817 и др.). Предложенные подходы к модификации гиперонных взаимодействий полезны для дальнейшего поиска решений «hyperon puzzle». Программное обеспечение, разработанное соискателем, применимо для расчётов уравнения состояния и структуры нейтронных звёзд в широком диапазоне плотностей.

**Достоверность результатов.** Работа базируется на апробированных теоретических моделях (силы Скирма, РТСП), а также на надёжных

экспериментальных данных по гиперядрам и нейтронным звёздам. Все основные выводы получены в результате численных расчётов с использованием стандартных методик решения уравнений Толмана–Оппенгеймера–Волкова. Параметризации взаимодействий согласованы с известными энергиями связи  $\Lambda$ -гиперона в ядерной материи и спектрами гиперядер. Результаты опубликованы в рецензируемых журналах из списка ВАК и международных баз (Particles, IJMPA, Physics of Particles and Nuclei и др.), апробированы на множестве конференций (ЯДРО, INFINUM, AYSS и др.).

#### **Замечания по работе.**

В ходе ознакомления с диссертацией возникли следующие вопросы и замечания:

1. В разделе 4.1 при обсуждении корреляции плотности появления гиперонов и сжимающей способности  $K_{\Lambda}(3\rho_0)$  автор использует коэффициент корреляции Пирсона. Однако выбор именно плотности  $3\rho_0$  для расчёта  $K_{\Lambda}$  представляется несколько произвольным. Не обсуждается, насколько сильно меняется коэффициент корреляции при выборе другого масштаба плотности (например,  $2\rho_0$  или  $4\rho_0$ ) для разных наборов NN-потенциалов.
2. При построении модифицированных версий параметризации SLL4\* (с  $\gamma = 0.5$  и  $1.5$ ) фиксирование  $K_{\Lambda}$  на разных плотностях ( $\rho_0$  и  $3\rho_0$ ) приводит к противоположному влиянию на жёсткость уравнения состояния. Не пояснено, какой из способов фиксации следует считать более физически обоснованным с точки зрения гиперядерных данных, а не только удобства расчётов.
3. В главе 5 при обсуждении плотностно-зависимого  $\Lambda\Lambda$ -потенциала NS автор использует зависимость от нуклонной плотности, хотя в нейтронных звёздах при высоких плотностях гиперонная плотность становится сравнимой с нуклонной. Следовало бы обсудить, насколько

оправдано такое приближение и как изменились бы результаты при использовании зависимости от полной барионной плотности.

4. В работе наблюдается не вполне последовательное употребление терминологии. Так, несколько раз используется выражение «силы Гаусса», тогда как в цитируемых работах этот термин не применяется. По-видимому, речь идёт о гауссовой параметризации потенциала. Уточнение терминологии сделало бы изложение более строгим.
5. Выбор лагранжиана релятивистской теории среднего поля представляется недостаточно обоснованным. В настоящее время существует большое число лагранжианов РТСП, каждый из которых имеет собственный набор параметров и область применимости. В диссертации, однако, не приведено аргументированное объяснение того, почему предпочтение отдано именно использованным реализациям. Кроме того, было бы полезно включить сравнение предсказаний феноменологических потенциалов Скирма с результатами, полученными в рамках РТСП для нейтронной звёздной материи.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. 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», а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова. Диссертационное исследование оформлено 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 Михеев Семён Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 — «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий».

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,  
научный сотрудник отдела экспериментальной физики, лаборатории релятивистской ядерной физики ФГБУН Институт ядерных исследований Российской академии наук;  
заместитель директора центра научного программирования института искусственного интеллекта ФГАОУВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

Светличный Александр Олегович

09.06.2026

Контактные данные:

тел.: · · · · ·, e-mail: [aleksandr.svetlichnyy@phystech.edu](mailto:aleksandr.svetlichnyy@phystech.edu)

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

1.3.15. – Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий

Адрес места работы:

108840, Россия, г. Москва, г. Троицк, ул. Физическая, вл. 27.

ФГБУН ИЯИ РАН, отдел экспериментальной физики

141701, Россия, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д. 9

ФГБОУВО МФТИ(НИУ), центр научного программирования

Подпись руки  
ЗАВЕРЯЮ: