



**НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»**



Федеральное государственное бюджетное
учреждение «Государственный научный центр
Российской Федерации –
Институт физики высоких энергий»
(НИЦ «Курчатowski институт» ФГБУ ГНЦ ИФВЭ)

Россия, 142281, Московская область, г. Протвино,
пл. Науки, д. 1. Факс: (4967) 74-28-24, e-mail: fgbu@ihep.ru

№ _____
На № _____ от _____
[_____]

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ФГБУ ГНЦ ИФВЭ
НИЦ "Курчатowski институт"

Н. Е. Тюрин

ноября 2015 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу КРИВОРУЧЕНКО МИХАИЛА ИВАНОВИЧА «Модификация свойств адронов в ядерной материи», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика.

АКТУАЛЬНОСТЬ ИЗБРАННОЙ ТЕМЫ

Микроскопическое моделирование уравнения состояния (EoS) ядерной материи вместе с эмпирическими ограничениями на наблюдаемые, чувствительные к EoS, позволяют получить ценную информацию о поведении ядерных сил и модификации свойств адронов в ядерной среде. Исследования сверхплотного вещества с середины 90-годов ведутся в экспериментах по столкновению тяжелых ионов; в настоящее время планируются новые эксперименты на коллайдере НИКА в ОИЯИ (Дубна), ускорителе FAIR (Darmstadt). Сверхплотные состояния ядерной материи определяют структуру нейтронных звезд. Огромный прогресс в наблюдательной радио- и рентгеновской астрономии сделал нейтронные звезды идеальными объектами для изучения EoS ядерной материи.

Исследование конденсированных состояний в рамках КХД имеют своей основной целью построение фазовой диаграммы в переменных температура - химический потенциал. Замечательный прогресс на этом пути достигнут в решеточных моделях КХД. В природе состояния, отвечающие холодной ядерной материи при высокой плотности, реализуются в сердцевине нейтронных звезд. Состояния вещества с конечной температурой и высокой плотностью образуются в столкновениях тяжелых ионов. Свойства адронов зависят от окружающей среды. Исследование модификации свойств адронов дает возможность эмпирического исследования экстремальных состояний ядерной материи.

Диссертационная работа посвящена изучению этих вопросов. Она связана с интерпретацией экспериментальных данных, полученных на ускорителях тяжелых ионов, развитием соответствующих теоретических моделей, анализом экстремальных состояний ядерного вещества и вытекающими из него ограничениями на свойства адронов. Актуальность избранной темы не вызывает сомнений.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В диссертационной работе представлены следующие бесспорно новые результаты:

1. Впервые предсказано существование сверхпроводящей фазы кварковой материи для цветовой группы $SU(2)$. Сверхпроводящее состояние кварковой материи детально исследовано в модели Намбу-Йона-Лазинио.
2. Предложена одномерная рекурсивная по числу фермионов формула для вычисления нормировочного коэффициента волновой функции в проекционной теории БКШ. Получены явные аналитические выражения для переходных матричных элементов одно-, двух- и четырех-частичных операторов.
3. Предложено и детально исследовано обобщение модели Валечки, учитывающее возможное существование дибарионов. Изучен эффект бозеконденсации дибарионов в ядерной материи в рамках теории среднего поля и в релятивистском приближении Хартри. На основе анализа лабораторных

данных о структуре ядер и астрофизических данных о массах нейтронных звезд получены ограничения на константы связи дибарионов с векторными и скалярными мезонами, зависящие от массы дибарионов.

4. Существование полюсов Кастильехо-Далица-Дайсона (КДД) до сих пор связывалось с существованием связанных состояний и резонансов. В диссертационной работе показано, что КДД полюса соответствуют в том числе «примитивам» - особенностям P -матрицы.

5. Впервые показано, что столкновительное уширение играет существенную роль в описании реакций фотопоглощения на тяжелых ядрах и моделировании дилептонных спектров в столкновениях тяжелых ионов при энергиях до 5 ГэВ/нуклон.

6. Получена двухкомпонентная формула Брейта-Вигнера для когерентного рождения резонансов на ядрах, учитывающая интерференцию амплитуд распада резонансов в ядре (широкая компонента) и вне ядра (узкая компонента). Для реакций фоторождения дилептонной пары $\gamma + (A,Z) \rightarrow \rho + (A,Z) \rightarrow e^+e^- + (A,Z)$, идущей через образование промежуточного ρ -мезона, определены наиболее благоприятные кинематические условия, при которых распределение по инвариантной массе e^+e^- имеет выраженную двухкомпонентную структуру.

7. Для моделирования рождения дилептонов в столкновениях тяжелых ионов развита модель обобщенной векторной доминантности, учитывающая правила кваркового счета для переходных нуклонных форм-факторов и унифицирующая описание электро- и фоторождения нуклонных резонансов и распадов нуклонных резонансов по каналам, содержащим векторные мезоны. Найдены кинематически полные выражения для дифференциальных ширин дилептонных распадов нуклонных резонансов. В рамках эффективной мезонной теории найдены дифференциальные и полные ширины дилептонных распадов легких нестранных мезонов. В конечном итоге получено описание рождения дилептонов в столкновениях тяжелых ионов, которое сопоставляется с данными коллабораций DLS (Bevalac) и HADES (Darmstadt).

8. Из анализа данных коллабораций DLS (Bevalac) и HADES (Darmstadt) установлено, что векторные мезоны в ядерной материи испытывают заметное

(столкновительное) уширение, в то время как их масса существенно не изменяется.

9. Указана возможность сведения задачи квантового транспорта к решению конечной системы обыкновенных дифференциальных уравнений в любом фиксированном порядке разложения по постоянной Планка.

10. Вычислен массовый оператор K -мезонов в горячей пионной материи. Предложено объяснение модификации дилептонной парциальной ширины $\phi(1020)$ -мезона в столкновениях ультрарелятивистских тяжелых ионов.

11. Исследована модификация массы майорановского нейтрино в ядерном веществе за счет гипотетического скалярного взаимодействия за рамками Стандартной Модели. Эффект индуцированной майорановской массы нейтрино представляет интерес для современных экспериментов по поиску безнейтринного двойного бета-распада. Существующие ограничения на массу нейтрино устанавливают нижний предел порядка 2 ТэВ на масштаб гипотетического скалярного взаимодействия.

СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается корректным использованием методов квантовой теории поля, теории рассеяния, статистической физики, теории конденсированных состояний, формализма деформационного квантования, численного и аналитического программирования и численного моделирования.

Об обоснованности и достоверности полученных результатов исследований говорит согласие результатов с экспериментальными данными и результатами ведущих теоретических групп. В частности, достоверность вывода о существовании сверхтекучей фазы кварковой материи для цветовой группы $SU(2)$ подтверждается последующими вычислениями в решеточных моделях КХД и в модели Полякова-Намбу-Йона-Лазинио. Предсказания дилептонных ширин распадов нестранных мезонов с массой меньше массы $\phi(1020)$ -мезона нашли подтверждение в последующих экспериментах коллаборации KLOE и др.

Статьи, вошедшие в диссертационную работу, докладывались на семинарах, конференциях, научных школах и получили одобрение ведущих специалистов.

Научная и практическая значимость

Научная значимость диссертационной работы определяется полученными результатами в изучении модификации свойств адронов в ядерной материи и экстремальных состояний ядерного вещества. На существование сверхтекучей фазы $SU(2)$ цветовой кварковой материи впервые указано в работах диссертанта. В настоящее время это состояние широко исследуется в решеточной КХД и других феноменологических схемах. Использование одномерной рекурсии для определения нормировочного множителя волновой функции в проекционной теории БКШ позволяет сократить вычислительное время в расчетах, связанных со структурой ядра.

Результаты диссертационной работы тесно связаны и направлены на поддержку проводимых экспериментальных исследований. Экспериментальные работы, в свою очередь, ведут к созданию новых технологий.

Ограничения на параметры дибарионных резонансов, полученные в представленной работе, учитываются при планировании их экспериментального поиска. Дибарионный резонанс $d^*(2380)$ обнаружен коллаборацией WASA@COSY, в частности, в разрешенной области параметров. Полученные в диссертационной работе предсказания для дилептонных ширин распада легких нестранных мезонов используются экспериментальными группами для оценки возможности регистрации этих редких распадов.

Общие замечания по диссертационной работе

Диссертационная работа состоит из Введения, семи глав основного текста, Заключения и двух Приложений, список литературы содержит 383 наименования. Основные результаты изложены в 22-х статьях, опубликованных в ведущих международных рецензируемых физических журналах. Статьи опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК.

Содержание диссертации полностью соответствует опубликованным работам. Место работ, вошедших в диссертацию, в общем фронте исследований ясно очерчено, их большая часть связана с экспериментом, предположения,

используемые в конкретных расчетах, обоснованы и аккуратно оговорены. Основные выводы представляются убедительными, а их научная новизна и теоретическая значимость не вызывают сомнений.

Результаты, изложенные в диссертации, являются итогом завершенных исследований. Личный вклад автора в опубликованные работы не вызывает сомнений. Оформление диссертации соответствует требованиям, установленным Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации.

Автореферат диссертации в должной мере отражает ее содержание.

Существенных замечаний к изложению материала нет. Работа написана технически грамотным языком, хорошо иллюстрирована. Анализ материала показывает, что проведенные исследования и полученные новые результаты удовлетворяют пунктам 1, 3 и 4 паспорта специальности 01-04-02 - теоретическая физика, физико-математические науки.

Считаем необходимым высказать соображения критического характера, возникшие при ознакомлении с диссертацией:

1. С конца 80-х годов Particle Data Group перестала публиковать обзоры по дибарионам. В настоящее время экспериментальный статус дибарионов в целом неясен. Недавнее наблюдение резонанса $d^*(2370)$ позволяет думать, что теоретические схемы Главы 2 могут иметь интересные приложения. Менее очевидные приложения связаны с отождествлением дибарионов и примитивов. В диссертационной работе следовало более подробно прокомментировать возможность взаимопревращения резонансов и примитивов в ядерной среде - вопрос, который обсуждается в литературе.
2. Результаты, представленные в Таблице 9 (Глава 4), на сегодняшний день представляют собой единственное экспериментальное подтверждение правил кваркового счета для переходных электромагнитных форм-факторов в секторе нуклонных резонансов. Вызывает недоумение, почему на этом обстоятельстве не сделан подобающий акцент. Эти результаты заслуживали отдельной публикации.

Сделанные замечания, однако, не влияют на высокую оценку представленной работы.


Заключение

Диссертация КРИВОРУЧЕНКО М. И. «Модификация свойств адронов в ядерной среде» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как существенное научное достижение в теоретической физике элементарных частиц и физике ядра. Диссертация доложена и обсуждена на научном семинаре Отдела теоретической физики Государственного научного центра Российской Федерации – Института физики высоких энергий 20 октября 2015г. Работа соответствует всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук (пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.), а ее автор, КРИВОРУЧЕНКО Михаил Иванович, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01-04-02 - теоретическая физика.

Отзыв составил главный научный сотрудник
ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ "Курчатовский институт"
доктор физико-математических наук

К.Г. Клименко

Подпись К.Г. Клименко удостоверяю
Ученый секретарь
ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ "Курчатовский институт"


Н.Н. Прокопенко

Константин Григорьевич Клименко
Главный научный сотрудник Теоретического отдела ИФВЭ
142281 г. Протвино, Московская область, площадь Науки, д. 1.
Тел.: 8-916-414-79-57. E-mail: Konstantin.Klimenko@ihep.ru