

ОТЗЫВ

официального оппонента 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 темы. В последние годы был достигнут заметный прогресс в решеточных моделях КХД. Он позволил, в частности, исходя из первых принципов, построить фазовую диаграмму вещества, определить зависимость критической температуры перехода в фазу деконфайнмента от химического потенциала. Это позволило также идентифицировать фазу бозе-эйнштейновского конденсата дикварков и исследовать ее трансформацию в фазовое состояние, где имеет место спаривание кварков, аналогичное куперовскому спариванию. Это позволило построить фазовую диаграмму вещества и определить зависимость критической температуры перехода в фазу деконфайнмента от химического потенциала. Удалось также идентифицировать фазу бозе-эйнштейновского конденсата дикварков и дальнейшую ее трансформацию с увеличением химического потенциала в фазовое состояние, где имеет место спаривание кварков, аналогичное куперовскому спариванию. Прогресс решеточных калибровочных теорий сопровождается развитием феноменологических моделей, таких, как модель Полякова — Намбу — Иона-Лазинио.

Наблюдательные данные о массах нейтронных звезд накладывают жесткие ограничения на уравнение состояния (equation of state, EoS) ядерной материи, в том числе на возможные экзотические формы при сверхвысокой плотности. В настоящее время EoS ядерной материи при плотности, превышающей плотность насыщения, плохо известно, так что не существует общепринятой модели нейтронных звезд. Это быстро развивающаяся область исследований на стыке ядерной физики, квантовой

хромодинамики и астрофизики. В частности, полезную информацию о EoS ядерного вещества удастся получить, исследуя динамику столкновений тяжелых ионов.

Методы, развитые для описания модификации адронов, не ограничиваются рамками сильных взаимодействий. Эффекты среды играют чрезвычайно важную роль в физике нейтрино (эффект Михеева-Смирнова-Вольфенштайна (MSW)). Среднее поле ядра влияет на свойства нейтрино, что является предметом теоретических исследований в настоящее время.

Актуальность темы диссертационной работы не вызывает сомнений.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. В диссертационной работе используются методы квантовой теории поля, квантовой механики, статистической физики, для моделирования физических процессов, связанных с экспериментом, широко применяются феноменологические модели.

Обоснованность выводов автора лучше всего иллюстрируют теоретические предсказания, подтвержденные затем экспериментально. К ним относятся предсказания дилептонных ширин распадов легких нестранных мезонов, сделанные в рамках эффективной мезонной теории. Следует отметить физически корректную постановку задачи о сверхпроводимости в цветовой группе $SU(2)$ и ее решение в модели Намбу-Иона-Лазинио (НИЛ). Вывод диссертанта о существовании сверхтекучей фазы кварковой материи спустя 15 лет был подтвержден вычислениями в решеточной КХД, а затем и в феноменологических моделях PNIL и PQMD, описывающих конфайнмент. Строгий учет конфайнмента не изменил основные выводы диссертанта.

При четном числе сортов кварков и конечном химическом потенциале,

фермионный детерминант оказывается положительным, что позволяет, исходя из первых принципов, построить фазовую диаграмму вещества. Удастся определить зависимость критической температуры перехода в фазу деконфайнмента от химического потенциала, идентифицировать фазу бозе-эйнштейновского конденсата дикварков и дальнейшую ее трансформацию с увеличением химического потенциала в фазовое состояние, в котором имеет место спаривание кварков, аналогичное куперовскому спариванию. Прогресс решеточных калибровочных теорий сопровождается развитием феноменологических моделей, описывающих конфайнмент, таких как модель Полякова-Намбу-Иона-Лазинио (PNIL), кварк-мезонно-дикварковая модель Полякова (PQMD). Для описания спаривания фермионов используется теория БКШ и ее теоретико-полевые версии.

Холодная кварковая материя может существовать в сердцевине массивных нейтронных звезд. Новые наблюдательные данные о массах нейтронных звезд накладывают жесткие ограничения на уравнение состояния (EoS) ядерной материи, в том числе на возможные экзотические формы при сверхвысокой плотности. В настоящее время EoS ядерной материи при плотности, превышающей плотность насыщения, плохо известно, так что не существует общепринятой модели нейтронных звезд. Данная область представляет собой быстро развивающуюся область знаний на стыке ядерной физики, квантовой хромодинамики и астрофизики, она привлекает большой интерес. Полезную информацию о EoS ядерного вещества удастся получить, исследуя динамику столкновений тяжелых ионов.

С проблемой EoS, а также с фундаментальными свойствами КХД, тесно связана проблема модификации свойств адронов в ядерной среде. Еще 70-х годах в модели Валецки было предсказано уменьшение эффективной массы нуклона в ядерной среде на 30-40% (при плотности

насыщения). В рамках КХД эти представления получили обоснование как проявление частичного восстановления киральной симметрии. Возник вопрос, каким образом в ядерной среде модифицируется масса других адронов. Экспериментальные исследования по рождению дилептонов в столкновениях тяжелых ионов имели своей целью определить изменение массы векторных мезонов в ядерной материи. Эти эксперименты проводились коллаборациями DLS (Bevalac) и HADES (Darmstadt), их анализу посвящено большое число теоретических работ.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. В диссертационной работе используются методы квантовой теории поля, квантовой механики, статистической физики, для моделирования физических процессов, связанных с экспериментом, широко применяются феноменологические модели.

Обоснованность выводов лучше всего иллюстрируют теоретические предсказания, подтвержденные затем экспериментально. К ним относятся предсказания дилептонных ширин распадов легких нестранных мезонов, сделанные в рамках эффективной мезонной теории. Следует отметить физически корректную постановку задачи о сверхпроводимости в цветовой группе $SU(2)$ и ее решение в модели Намбу-Иона-Лазинио (НИЛ). Вывод диссертанта о существовании сверхтекучей фазы кварковой материи спустя 15 лет был подтвержден вычислениями в решеточной КХД, а затем и в феноменологических моделях PNIL и PQMD, описывающих конфайнмент. Строгий учет конфайнмента не изменил основные выводы диссертанта.

Моделирование столкновений тяжелых ионов сопряжено с известными трудностями, обусловленными сложной многочастичной динамикой задачи

и, как правило, феноменологическим подходом к описанию элементарных

реакций. Тем не менее, эксперименты коллабораций DLS и HADES по изучению дилептонных спектров, как и другие эксперименты в физике тяжелых ионов, позволяют получать новую ценную информацию. Выводы о модификации свойств векторных мезонов в ядерной материи, полученные диссертантом с соавторами на основании анализа данных DLS и HADES, а также другими ведущими теоретическими группами, работающими в этой области, представляются достаточно обоснованными.

В рекомендациях диссертанта в качестве перспективного направления поиска кварковых звезд отмечена возможная регистрация нейтринное излучение при конверсии нейтронных (протонейтронных) звезд в кварковые звезды. Для количественного описания отмеченных сценариев следует провести новые, более детальные теоретические расчеты нейтринных спектров.

Оценка новизны и достоверности. В диссертационной работе представлен ряд новых результатов. К ним относятся:

□ Предсказание существования и исследование сверхпроводящей фазы кварковой материи для цветовой группы SU(2).

□ Изучение влияния бозе-конденсации дибарионов в ядерной материи на строение нейтронных звезд.

Научный интерес представляют также другие результаты автора:

□ В совместной работе диссертанта с Л.А. Кондратюком (ИТЭФ) и экспериментаторами из Фраскати получено объяснение отсутствию нуклонных резонансов тяжелее $\Delta(1232)$ в сечении фотопоглощения на тяжелых ядрах. Впервые в физике промежуточных энергий обнаружен эффект, в котором столкновительное уширение адронов в ядерной среде

играет существенную роль.

□ Из анализа данных по дилептонным спектрам коллабораций DLS и NADES одновременно с другими ведущими теоретическими группами получен вывод об уширении и слабом изменении массы векторных мезонов в ядерной среде.

□ Для описания дилептонных спектров в диссертационной работе используется модель «квантовой молекулярной динамики» (QMD). Эта модель, как и другие транспортные модели, использует классические и квантовые представления о распространении и взаимодействии частиц. Показано, что в любом порядке квазиклассического разложения задача квантового транспорта сводится к решению конечной системы обыкновенных дифференциальных уравнений.

□ Объяснен рост эффективной парциальной ширины распада ρ -мезона на дилептонную пару, обнаруженный коллаборациями NA50, NA49 и PHENIX в столкновениях ультрарелятивистских тяжелых ионов.

□ В диссертации рассмотрен эффект генерации майорановской массы нейтрино в среднем поле ядра, возникающий в присутствии экзотического скалярного взаимодействия. Экспериментальные ограничения на вероятности безнейтринного двойного бета-распада ядер позволяют получить ограничение на масштаб скалярного взаимодействия вне Стандартной Модели на уровне одного ТэВ, что сравнимо с чувствительностью экспериментов, проводимых в настоящее время на LHC.

Результаты, полученные автором, являются новыми научными знаниями, находятся на стыке физики сильных взаимодействий, ядерной физики и астрофизики. Основные результаты диссертации опубликованы в ведущих международных физических журналах. Результаты неоднократно обсуждались на семинарах, конференциях и получили одобрение ведущих

специалистов. Работы соискателя и основные выводы, таким образом, прошли апробацию. Полученные результаты удовлетворяют критериям достоверности, выводы и заключения обоснованы.

Общие замечания по диссертационной работе. Некоторые разделы диссертации носят сугубо технический характер и без особого ущерба могут быть сокращены.

Разумеется, это никак не снижает качество исследований и не влияет на основные результаты диссертации.

Заключение. Диссертация -- законченный научно-исследовательский труд. В нем разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как крупное научное достижение. Диссертационная работа вносит существенный вклад в развитии перспективного направления теоретической физики - исследование модификации свойств элементарных частиц в ядерной среде.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа полностью удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемых к докторским диссертациям, а ее автор Криворученко М. И. заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук.

Официальный оппонент

член-корреспондент РАН, доктор физ.-мат. наук

И. Б. Хрипович

ПОДПИСЬ РУКИ
ЗАВЕРЯЮ. НАЧАЛЬНИК
ОТДЕЛА КАДРОВ
Н.И. М.



И.Б. Хрипович

04.12.15 7