

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор
Ярославского государственного
университета им. П. Г. Демидова,
д. х. н., профессор А. И. Русаков



2015 г.

Отзыв ведущей организации

Ярославского государственного университета им. П. Г. Демидова
на диссертационную работу *Фризен Александры Вадимовны*
«Термодинамические свойства материи в эффективных киральных
моделях КХД», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
01.04.16 — Физика атомного ядра и элементарных частиц.

Одним из актуальных направлений современной ускорительной физики элементарных частиц является экспериментальное изучение протон-протонных, протон-ионных и ион-ионных столкновений. Несмотря на достаточно большое количество данных, полученных в этих экспериментах, теоретическое описание ядерной материи, находящейся в условиях высоких плотностей и температур, характерных для этих столкновений, далеко от своего завершения.

Диссертация А. В. Фризен посвящена изучению свойств возбужденной ядерной материи в условиях высоких плотностей и температур. Состояния материи, последовательно возникающие в процессе эволюции столкновения частиц или ионов, могут быть наглядно представлены областями на фазовой диаграмме, определенной как плоскость в переменных температура — плотность или температура — химический потенциал. Основные затруднения при проведении теоретических исследований связаны с включением в модель, описывающую сильные взаимодействия, статистических характеристик возбуждений материи, а именно, конечной плотности числа частиц и температуры рассматриваемой среды. Лагранжиан решеточной КХД, обобщенный на случай отличного от нуля химического потенциала и ненулевой температуры, напрямую использовать сложно по при-

чине недостаточной мощности компьютеров. Хорошим подспорьем в таких исследованиях служат эффективные теории сильных взаимодействий при низких энергиях, к которым относится, в частности, киральная модель Намбу-Иона-Лазинио (НИЛ), а также ее модификация — модель Намбу-Иона-Лазинио с петлей Полякова (НИЛП), которые изучаются в данной диссертации.

Диссертация А. В. Фризен состоит из введения, трех глав, заключения, двух приложений и списка литературы из 137 источников, в подавляющем большинстве — статьи в международных физических журналах.

Во введении автор раскрывает актуальность своего исследования и определяет его основные направления, а также делается литературный обзор и дается краткое содержание работы.

В первой главе диссертации А. В. Фризен описывает киральную модель Намбу-Иона-Лазинио. Автор постарался максимально подробно обсудить основные свойства рассматриваемой модели: уравнения, описывающие спектр масс частиц, константы взаимодействия, основные принципы регуляризации и параметризации модели. Термодинамические свойства кварков при конечной температуре и плотности числа частиц определяется посредством использования большого термодинамического потенциала, полученного в приближении среднего поля. Основной целью первой главы диссертации является выяснение чувствительности параметров модели, являющейся, вообще говоря, неперенормируемой, к выбору схемы регуляризации расходимостей. В частности, сравниваются два основных способа регуляризации, обычно применяемые в модели НИЛ: метод регуляризации трехмерным обрезанием и метод регуляризации Паули и Вилларса. Автором показано, что если основные свойства модели (массы кварков и мезонов) слабо зависят от выбора параметризации и способа регуляризации, то тип фазового перехода при больших плотностях может измениться в случае использования регуляризации Паули и Вилларса.

Во второй главе диссертации автором рассматривается модифицированная модель Намбу-Иона-Лазинио, учитывающая взаимодействие кварков с глюонами, образующими фоновое поле. Мотивом для включения такого взаимодействия послужила потребность введения в теорию конфайнмента, который отсутствует в локальной модели НИЛ. Определенный таким образом лагранжиан, наравне с киральным фазовым переходом, позволяет изучать фазовый переход от состояния конфайнмента к деконфайнменту. В этой главе имеется три направления исследований, проведенных автором, а именно, исследованы структура фазовой диаграммы, а также термодинамические свойства как кварковой материи, так и скалярных и

псевдоскалярных мезонов. Диссертантом предложена новая параметризация эффективного потенциала, определяющего свойства глюонного фона, а также исследовано влияние векторного взаимодействия на структуру фазовой диаграммы. Как и в предыдущей главе, термодинамические свойства кварковой системы определяются посредством большого термодинамического потенциала, вычисленного в приближении среднего поля. Проводится сравнительный анализ результатов, полученных автором, с результатами расчетов, выполненных в рамках решеточной КХД при нулевом химическом потенциале. Описание термодинамических свойств мезонов и их корреляций потребовало выхода за пределы приближения среднего поля, что, несомненно, поднимет ценность проведенных автором исследований.

Третья глава диссертации посвящена изучению процессов рассеяния, происходящих при конечной температуре. Конечная температура, близкая к температуре фазового перехода, позволяет предположить одновременное сосуществование в среде свободных кварков и их связанных состояний — мезонов. При таких условиях проведенное автором исследование упругого рассеяния кварков на пионах является обоснованным. В диссертации представлены амплитуды упругого рассеяния кварков на кварках, антикварках и пионах, а также вычислены полное и дифференциальное сечения этих процессов и построены зависимости этих сечений от полной энергии сталкивающихся частиц и температуры среды.

В приложениях автор приводит детали вычислений большого термодинамического потенциала в модели НИЛП с векторным взаимодействием и интегралов, входящих в поляризационные операторы частиц модели.

В заключении к диссертации указаны основные результаты, полученные А. В. Фризен, и положения, выносимые на защиту.

Диссертационная работа представляет собой законченное исследование в области современной физики, связанное с изучением термодинамических свойств возбужденной ядерной материи при конечных температурах и плотностях. Результаты, полученные автором, хорошо проиллюстрированы многочисленными графиками, приведенными в диссертации. Автор уместно приводит ссылки, что говорит о его хорошем знании излагаемого материала.

Оригинальность и новизна результатов, представленных в диссертации, подтверждается их своевременным опубликованием в российских и зарубежных журналах (5 статей). На их основе делались доклады на российских и международных конференциях, а также на научных семинарах. Обоснованность полученных результатов обусловлена применением апробированных методов квантовой теории поля вообще и квантовой хромоди-

намики, в частности. Автор приводит сравнение результатов, полученных в его работах, с экспериментальными данными, где это возможно, а также с работами других авторов, в частности, анализируются имеющиеся расхождения с результатами, полученными в КХД на решетке. Работа автора интересна еще и тем, что полученные в ней результаты могут быть полезны не только при изучении столкновений тяжелых ионов, в частности, на ускорителе LHC в CERN (Швейцария) и в планируемом эксперименте NICA-MPD в ОИЯИ (Дубна, Россия), но также и в других областях современной физики, например, в массивных нейтронных звездах и сверхновых, где возможно существование материи, находящейся в условиях экстремальных плотностей и температур.

Диссертация соответствует п. 6 паспорта ВАК специальности 01.04.16 — Физика атомного ядра и элементарных частиц. Текст автореферата полностью отражает содержание диссертации.

Диссертация, однако, не лишена недостатков. В первую очередь следует отметить некоторую небрежность при оформлении текста диссертационной работы. Более значимые приведены ниже:

1. При определении линии и типа фазового перехода как в модели НИЛ (стр. 26–27), так и в модели НИЛП (стр. 42–43) используются условия экстремума большого термодинамического потенциала, кваркового потенциала и петли Полякова по параметрам системы, а также кварковая восприимчивость (80). Было бы целесообразно дать четкое и, по возможности, простое истолкование этих условий и величин.
2. В первой и второй главах диссертации показано, что термодинамика кварк-мезонной системы, в частности, тип фазового перехода зависят существенно как от выбора параметров модели и метода регуляризации, так и от параметризации эффективного потенциала поля петли Полякова. Не ясно, как при такой зависимости физических величин можно сравнить теоретические предсказания, полученные автором, с результатами будущих экспериментов, например, NICA-MPD.
3. В третьей главе при исследовании упругого рассеяния кварка на кварке и антикварке для мезонного пропагатора автором выбрано полюсное приближение (уравнение (142)). Представляет интерес проанализировать поправку к сечению, обусловленную использованием мезонного пропагатора в его оригинальной форме (уравнение (141)).
4. В вычислении сечений неявно предполагался стандартный закон дисперсии для кварков и антикварков. Однако, для материи, находящейся

в условиях больших плотностей и температур, закон дисперсии легких фермионов, к которым относятся рассматриваемые в работе u - и d -кварки, может отличаться от вакуумного. Данный аспект не нашел должного отражения в диссертации.

Все эти замечания не являются принципиальными и не снижают ценность проделанной автором работы.

Заключение о соответствии диссертационной работы требованиям ВАК Минобрнауки России.

Диссертационная работа Фризен Александры Вадимовны «Термодинамические свойства материи в эффективных киральных моделях КХД» полностью соответствует требованиям пп. 9–14 Постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения учёных степеней», предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор несомненно заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 — Физика атомного ядра и элементарных частиц.

Отзыв подготовлен профессором кафедры теоретической физики, доктором физико-математических наук, доцентом А. А. Гвоздевым по итогам выступления А. В. Фризен на научном семинаре кафедры теоретической физики.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры теоретической физики ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова» 17 июля 2015 г., протокол заседания кафедры № 12 (присутствовало 8 сотрудников кафедры, отзыв одобрен единогласно).

Зав. кафедрой теоретической физики
физического факультета
ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный
университет им. П. Г. Демидова»,
кандидат физ.-мат. наук, доцент



А. Я. Пархоменко

Адрес ведущей организации:
Россия, 150000, г. Ярославль, ул. Советская, д. 14
тел.: +7 (4852) 72-82-56, +7 (4852) 79-77-02
факс: +7 (4852) 25-57-87
email: rectorat@uniyar.ac.ru

