

Отзыв на автореферат и диссертацию

Лукашова Михаила Сергеевича «Непертурбативная кварк-глюонная термодинамика при конечной температуре», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3.— Теоретическая физика.

Квантовая хромодинамика (КХД) — теория, описывающая сильные взаимодействия — является составной частью Стандартной Модели и продолжает динамично развиваться. В последние годы особое внимание уделяется изучению поведения сильновзаимодействующей материи под воздействием различных внешних факторов — таких как температура и барионная плотность. Эти параметры играют ключевую роль в реальных физических системах, включая эксперименты по столкновению тяжёлых ионов. При достижении энергий, соответствующих температурам порядка $T \approx 150$ МэВ (фактически, сравнимых с характерной шкалой в КХД) возникает возможность фазового перехода в кварк-глюонную плазму — новое состояние материи, в котором кварки и глюоны существуют как отдельные степени свободы в фазе так называемого деконфайнмента. Такие экстремальные условия существовали в начальной стадии эволюции Вселенной и реализуются на ускорителях в земных условиях. Считается, что через время порядка одной миллионной доли секунды после Большого Взрыва произошёл фазовый переход в адронную фазу, сопровождающийся ключевыми непертурбативными эффектами: конфайнментом и спонтанным нарушением киральной симметрии.

КХД, как квантовая теория поля, объединяет калибровочные поля Янга-Милса и фермионные поля кварков. Важнейшие открытия 1970-х годов —

асимптотическая свобода и топологическая структура вакуума неабелевых теорий – заложили основу для понимания непертурбативной динамики, к области которой относятся конфайнмент и спонтанное нарушение киральной симметрии. Для исследования динамики теории в непертурбативной области были разработаны принципиально новые методы, в частности, такие, как решёточные вычисления методом Монте-Карло.

Исследования вакуума КХД при ненулевой температуре, химическом потенциале или внешних полях выявили богатую фазовую структуру, включая переходы между адронной материей, кварк-глюонной плазмой и различными экзотическими состояниями.

Одним из наиболее разработанных аналитических подходов для исследования непертурбативной динамики является метод вакуумных полевых корреляторов, предложенный профессором Ю.А. Симоновым с коллегами. В рамках данной диссертации, предоставленной соискателем Лукашовым М.С., этот подход используется для анализа фазового перехода конфайнмент-деконфайнмент. Установлена ключевая роль цветомагнитного взаимодействия, которое сохраняется даже в условиях экстремально высоких температур. На основе полученных результатов предложен самосогласованный теоретический подход к описанию термодинамики данного перехода, дополнительный по отношению к методам решеточных расчетов Монте–Карло.

Можно выделить следующие результаты, выносимые на защиту:

1. Впервые в рамках формализма непертурбативных полевых корреляторов применен принцип минимума свободной энергии для описания фазового перехода конфайнмент-деконфайнмент в $SU(3)$ глюодинамике с высоким уровнем соответствия термодинамическим параметрам (давление, аномалия следа и энтропия).

2. Произведён систематический учёт эффектов цветомагнитного конфайнмента. Учтены вклады кварков и глюонов в описание термодинамических величин в диапазоне температур $150 \text{ МэВ} < T < 1 \text{ ГэВ}$. Результаты хорошо согласуются с решеточными данными.
3. Осуществлено систематическое описание структуры удерживающей струны («флакс-тьюба») с использованием формализма полевых корреляторов.

Полученные результаты работы ярко демонстрируют эффективность метода полевых корреляторов как универсального инструмента для изучения непертурбативных эффектов.

Достоверность полученных соискателем результатов подтверждена использованием хорошо апробированного метода полевых корреляторов и его верификацией через сравнение с данными решеточного моделирования. Результаты хорошо согласуются с данными ведущих групп.

Полученные результаты актуальны с учетом современных задач физики высоких энергий, таких, как изучение кварк-глюонной плазмы, формирующейся в экстремальных условиях (например, на установках RHIC и LHC, а также на NICA в Дубне) и для астрофизики, включая изучение поведения вещества в недрах нейтронных звезд

Результаты диссертации докладывались соискателем на научных семинарах, включая мероприятия, организованные НИЦ «Курчатовский институт», а также нашли отражение в публикациях. Соискатель был основным исполнителем в гранте РФФИ (проект № 16-12-10414) и в его продолжении. Отдельно стоит отметить, что у соискателя имеются и другие публикации, развивающие формализм корреляторов, которые не вошли в данную диссертацию.

В качестве основного замечания к работе можно назвать недостаточно чёткое выделение соискателем собственного вклада. Метод полевых корреляторов развивается достаточно давно, и в процессе чтения рецензенту было

не всегда понятно, где закончилось изложение результатов других авторов и начались собственные выкладки соискателя. Было бы полезно сделать подборку формул, которые были получены лично соискателем и впервые опубликованы именно в тех работах, которые вошли в диссертацию. Впрочем, этот недочёт отчасти компенсируется ясным изложением в разделе «Научная новизна» автореферата.

Также к замечаниям можно отнести некоторую перегруженность диссертации аббревиатурами (МВПК, МДС и тд), а также излишним, на взгляд рецензента, англицизмом «флакс-тьюб». Некоторые разделы диссертации содержат тавтологии и некоторые расхождения в обозначениях. К сожалению, не обошлось и без опечаток.

Вместе с тем, вышеперечисленные замечания несколько не снижают ценность и значимость диссертации соискателя. Автореферат диссертации, в целом, хорошо структурирован и ясно излагает основные результаты исследования.

На основании представленных автореферата и диссертации можно заключить, что диссертация «Непертурбативная кварк-глюонная термодинамика при конечной температуре» соискателя Лукашова М.С. в полной мере соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (в текущей редакции), которые предъявляются к кандидатским диссертациям, и сам автор заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. – Теоретическая физика.

**Ректор Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
доктор физико-математических наук (01.04.02–Теоретическая физика)**

Адрес: 115409, г. Москва,
Каширское шоссе, д. 31, Г-218
Тел.: +7 499 324-3384
Эл.адрес: rector@mephi.ru

Даю согласие на обработку персональных данных и публикацию отзыва на сайте НИЦ «Курчатовский институт».

Шевченко
Владимир Игоревич

Дата: «7» февраля 2025 г.

Подпись В.И. Шевченко заверяю

Дата: «10» февраля 2025 г.

Подпись удостоверяю
Заместитель начальника отдела
документационного обеспечения
НИЯУ МИФИ

