

Отзыв

**на 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) описывает сильное взаимодействие элементарных частиц. Как известно, в лагранжиан КХД входят триплет кварков, составляющих фундаментальное представление цветовой группы $SU(3)$, для каждого аромата кварка, и октет калибровочных векторных бозонов – глюонов, образующих присоединённое представление цветовой группы $SU(3)$. Константа взаимодействия КХД логарифмически уменьшается на малых расстояниях и растёт на больших. В области высоких энергий (порядка 2 ГэВ) константа связи КХД достаточно мала, поэтому можно использовать стандартную теорию возмущений. Некоторые результаты, полученные таким образом, подтверждаются экспериментально. В области больших расстояний константа связи КХД велика, и стандартная теория возмущений, использующая константу связи в качестве параметра разложения, неприменима. Например, к области сильной связи относятся состояния наблюдаемых адронов и для их описания необходимо использовать непертурбативные методы. Одним из таких методов является метод вакуумных корреляторов. В данном подходе вакуум КХД описывается через калибровочно-инвариантные вакуумные средние значения глюонных полей, известных как корреляторы. Ключевым упрощением этого метода является предположение о гауссовой доминантности (о стохастической природе) вакуума КХД: при вычислении какой-либо физической наблюдаемой величины основной вклад вносит двухточечный (билокальный) коррелятор, что подтверждается результатами решеточных измерений. Особенность данного метода заключается в том, что конфайнмент реализуется естественным образом, а основная размерная характеристика, называемая натяжением струны, появляется в виде интеграла от скалярной функции, выступающей одним из коэффициентов биллокального коррелятора. Известно, что в $SU(N)$ неабелевых калибровочных теориях при конечной температуре происходит фазовый переход конфайнмент-деконфайнмент из «глобальной»/адронной фазы в фазу глюонной/кварк-глюонной материи. Также известно, что при переходе из одной фазы в другую, в точке этого фазового перехода, термодинамические характеристики системы, такие как, плотность энергии, теплоемкость, масштабная аномалия и др. существенно меняют свое поведение.

В диссертационной работе Лукашова М.С. проведён детальный расчёт давления, энтропии и масштабной аномалии для глюодинамики в рамках описанного выше метода корреляторов. Также в рамках корреляторного формализма учтены вклады кварков в термодинамические потенциалы в области до 1 ГэВ . Полученные зависимости для термодинамических величин демонстрируют хорошее согласие с результатами вычислений на решетках, что свидетельствует об эффективности выбранного подхода. Используя тот факт, что свободная энергия кварка в фазе деконфайнмента связана с Поляковской линией, был проведен анализ динамики фазового перехода конфайнмент/деконфайнмент, что позволило не только описать экспериментальные данные, но и проанализировать ключевые механизмы, лежащие в непосредственной основе перехода между фазами.

Особое внимание в работе было уделено различию между «хромозлектрическим» конфайнментом, который обеспечивает невылетание цвета, но исчезает при температуре выше критической, и «хромагнитным» конфайнментом, который остается даже при $T > T_c$, что и приводит далее к линейному росту магнитной дебаевской массы. В свою очередь, влияние хромозлектрических полей в области температур выше T_c связан с вкладом Поляковской линии, который слабо зависит от температуры. Кроме того, проведённая «сшивка» кривых давления для системы, состоящей из «глоболов» и глюонов, позволила определить температуру фазового перехода первого рода, что безусловно имеет важное значение для дальнейших исследований в области квантовой хромодинамики. Результаты научно-исследовательской работы, выполненной Лукашовым М.С., получили признание в научном сообществе и были опубликованы в рецензируемых отечественных и зарубежных журналах, что подчеркивает их вклад в развитие нашего понимания свойств КХД.

Также в рамках метода вакуумных корреляторов обсуждается флакс-тьюб, возникающий между статическими кварком и антикварком. Эта структура, является прямым следствием механизма конфайнмента, представляет особую научную ценность (особенно при сравнении различных моделей описания конфайнмента): так производится сопоставление с предсказаниями известной модели дуального сверхпроводника.

Стоит, однако, отметить некоторые недостатки работы. Например, в работе проводятся сравнения результатов, полученных в рамках метода вакуумных корреляторов, только с данными решеточных расчетов. Соответствие хорошее, но, к сожалению, не хватает сравнений результатов, полученных в рамках других феноменологических подходах (например, модели молекулярной квантовой

динамики или модели голографической КХД). Такие сравнения было бы интересно проделать в дальнейшем.

В целом, материал диссертации изложен ясно, последовательно и хорошо структурирован. Приведенные ссылки на литературу и апробацию результатов ясно демонстрируют личный вклад автора. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации. Исходя из всего этого, можно заключить, что диссертация «Непертурбативная кварк-глюонная термодинамика при конечной температуре» автора Лукашова Михаила Сергеевича в полной мере соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», которые предъявляются к кандидатским диссертациям, и сам автор заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. – Теоретическая физика.

Начальник сектора физики адронной материи ЛТФ им. Н.Н. Боголюбова ОИЯИ,
профессор РАН, доктор физ.-мат. наук (01.04.02 – Теоретическая физика)
Тел.: +74953348885

Эл.адрес: vvbraguta@theor.jinr.ru

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

Брагута Виктор Валериевич

Дата: Бр-
« 6 » февраля 2025 г.

Подпись Брагута В.В. удостоверяю
Ученый секретарь ЛТФ им. Н.Н. Боголюбова ОИЯИ

Андрей А. В.

Дата: « 6 » февраля 2025 г.



Лаборатория теоретической физики имени Н.Н. Боголюбова
Международной межправительственной организации
«Объединенный институт ядерных исследований»
РФ 141980, Московская область, гор. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6.