

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию Николаева Александра Александровича
"Исследование решеточной квантовой теории поля с калибровочной
группой $SU(2)$ при ненулевой барионной плотности"
представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук
по специальности 01.04.02 – теоретическая физика

Сильные взаимодействия барионов на масштабах 10^{-13} см и меньше управляют свойствами ядер и определяют результаты столкновения ядер и барионов. Современная теория сильных взаимодействий опирается на квантовую хромодинамику кварков и глюонов. В столкновениях частиц и ядер при высоких энергиях предсказания КХД опираются на теорию возмущений и проверены с очень хорошей точностью. На низких энергиях, где происходит образование барионов и мезонов из кварков и глюонов, теория возмущений, как правило, не работает и расчеты спектров масс частиц и их рассеяния осуществляются методом эффективных лагранжианов, содержащих эмпирические параметры, которые не удастся вычислить аналитически. Поэтому для количественного описания ядерных систем в условиях, когда константа связи велика, требуются исследования, не опирающиеся на теорию возмущения по основной константе сильного взаимодействия. Эффективным оказывается метод компьютерных вычислений, использующий реализацию КХД на пространственно-временной решетке. В настоящее время этим методом удастся рассчитать спектральные характеристики адронной материи, связанные с невылетанием цветных зарядов, нарушением киральной симметрии за счет конденсации кварков и глюонов, изучить структуру фазовой диаграммы КХД, в частности, формирование кварк-глюонной

плазмы при больших температурах и новых фаз адронной материи при растущих барионных плотностях. Поэтому не вызывает сомнений актуальность исследования глюодинамики с двумя цветными степенями свободы при ненулевой барионной плотности на основе решеточной регуляризации, проведенного в диссертации А.А.Николаева.

Область фазовой диаграммы КХД, соответствующая малым температурам и большим значениям барионного химического потенциала, все еще недостаточно изучена, но представляет большой интерес для экспериментальных наблюдений. В частности, в RHIC(BNL, США) проводится программа "Beam Energy Scan"(BES), ставящая своей целью исследование области больших барионных плотностей. Создаются также новые коллайдеры: FAIR (Дармштадт, Германия) и NICA (Дубна, Россия), на которых планируются эксперименты CBM, BM&N и MPD, для изучения состояния барионной материи при относительно низких температурах и высоких ядерных плотностях.

В диссертационной работе представлены результаты исследования структуры фазовой диаграммы двухцветной КХД при помощи формализма квантовой теории поля на решетке. Рассмотрена теория с двумя ароматами динамических кварков и Вильсоновским калибровочным действием. Изучены фазовые свойства двухцветной КХД при нулевой температуре и ненулевом барионном химическом потенциале, также представлены результаты при конечной температуре и ненулевом барионном химическом потенциале. Были определены зависимости барионной плотности и дикваркового конденсата от барионного химического потенциала при нулевой температуре в двухцветной КХД на решетке; исследовано поведение кирального конденсата от барионного химического потенциала и затравочной массы кварков при нулевой температуре; исследована зависимость петли Полякова от барионного химического потенциала при нулевой и конечной температурах.

Диссертация состоит из Введения, 4 глав, Заключения и Приложения. Список литературы содержит 97 ссылок.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и аргументирована научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту научные положения.

В первой главе делается краткий обзор формулировки квантовой теории поля в рамках решеточной регуляризации, рассматриваются технические детали введения фермионов и барионного химического потенциала в решеточную теорию.

Во второй главе приводится краткий обзор современных теоретических методов исследования фазовой диаграммы КХД, сходства калибровочных теорий с различными калибровочными группами $SU(N_c)$, а также результатов, полученных ранее в рамках киральной теории возмущений для двухцветной КХД.

В третьей главе рассматривается формулировка двухцветной КХД на решетке и введение дикваркового конденсата. В работе используется фермионное действие в формулировке Когута-Сасскинда. Кроме того, в двухцветной КХД построен синглетный по цвету, локальный и калибровочно инвариантный дикварковый конденсат, что сделало возможным исследование сверхтекучего состояния материи при больших плотностях.

В четвертой главе приводятся результаты, полученные в рамках численного моделирования двухцветной КХД на решетке при нулевой и конечной температурах. В диссертации рассмотрена двухцветная КХД с двумя динамическими ароматами фермионов. Были определены зависимости барионной плотности, кирального и дикваркового конденсатов от барионного химического потенциала при нулевой температуре, а также исследованы зависимости петель Вильсона от барионного химического потенциала при нулевой температуре и петли Полякова от барионного

химического потенциала при нулевой и конечной температурах. Впервые в результате численного моделирования были получены все три фазы, предсказанные в теоретической работе. Впервые для случая двух ароматов при нулевой температуре было исследовано восстановление киральной симметрии в БКШ-фазе в киральном пределе.

Результаты диссертации, представленные на защиту, математически обоснованы, проверены численно и физически мотивированы, тем самым нет сомнений в их достоверности. Они могут быть использованы для моделирования фазовых состояний адронной материи при экстремальных условиях и впоследствии проверены в экспериментах при столкновениях тяжелых ионов (LHC, RHIC, FAIR, J-PARC, NICA).

В диссертации имеются некоторые недостатки. В частности, квантовая хромодинамика, сокращенно КХД, используется в среднем роде, в сочетании "двухцветное КХД". В автореферате утверждается, что в 4х работах по диссертации опубликованы результаты третьей главы, а в диссертации с этими работами соотносятся результаты четвертой главы. В работе [15], составляющей основу диссертации, сокращен список соавторов, что затрудняет формальную оценку вклада автора диссертации. Однако перечисленные недостатки не влияют существенно на научное содержание диссертации и не меняют высокой оценки диссертации А.А.Николаева.

Соискатель продемонстрировал хорошее владение аппаратом теоретической физики и его применениями в актуальных областях современной науки. В целом диссертация представляет собой фундаментальное научное исследование, выполненное на высоком математическом уровне. Её результаты являются новыми и оригинальными, своевременно опубликованы в научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, докладывались на конференциях и семинарах в ведущих научных центрах. Автореферат правильно и полно отражает положения, выводы и рекомендации,

содержащиеся в диссертации.

Таким образом, диссертация Александра Александровича Николаева "Исследование решеточной квантовой теории поля с калибровочной группой $SU(2)$ при ненулевой барионной плотности" соответствует требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика

Официальный оппонент –
доктор физ.-матем. наук,

✓ ✓ ✓ ✓

А.А. Андрианов
/ Александр Андреевич

профессор кафедры физики высоких энергий и элементарных частиц
физического факультета Санкт-Петербургского
государственного университета

Адрес: 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9

Эл.почта: a.andrianov@spbu.ru р.т.(812)4284553

28 апреля 2017 года

УТВЕРЖДАЮ

НАЧАЛЬНИК УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ЦЕНТРА

И.И. Мещеряков



Документ выдостоверен
в порядке исполнения
трудоустройства