

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель Директора по научной работе
Петербургского Института Ядерной Физики
им. Б.П.Константинова НИЦ «КИ»
д.ф.-м.н. В.В.Воронин

(Ф.И.О. ректора, директора, заместителя)

« 07 » Октября 2015 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

– Петербургского Института Ядерной Физики им. Б.П.Константинова
Национального Исследовательского Центра «Курчатовский институт» –
на диссертацию **Воронюка Вадима Владимировича**

«Анализ коллективных эффектов, возникающих при столкновениях тяжелых ионов, в модели PHSD и возможность их исследования на проектируемой установке MPD/NICA», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 — физика атомного ядра и элементарных частиц.

Диссертация Воронюка В.В. **«Анализ коллективных эффектов, возникающих при столкновениях тяжелых ионов, в модели PHSD и возможность их исследования на проектируемой установке MPD/NICA»** посвящена изучению сильных электромагнитных полей, возникающих при столкновениях релятивистских тяжелых ядер, и исследованию их возможного влияния на коллективные свойства среды, формируемой в зоне взаимодействия ядер. Интерес к этой проблеме возник сразу после открытия на Релятивистском Коллайдере тяжелых ионов (РИК) нового экстремального состояния ядерного вещества – Кварк-Глюонной Плазмы (КГП) - высокотемпературной, насыщенной глюонами, сильновзаимодействующей материи в состоянии деконфайнмента с восстановленной киральной симметрией. Более того, наблюдение зависящей от центральности столкновения значительной импульсной анизотропии потоков адронного вещества, характерных для гидродинамики, означает, что сформированная среда обладает признаками почти идеальной жидкости с низким, близким к унитарному пределу, отношением сдвиговой вязкости к энтропии. Это открытие стимулировало появление и развитие множества ярких, оригинальных идей. В частности, особенно привлекательной выглядит идея о возможности наблюдения эффекта локального нарушения четности в сильных взаимодействиях, обусловленного нетривиальной топологической структурой КХД вакуума. Идея основана на том, что при нецентральных столкновениях релятивистских тяжелых ионов в зоне взаимодействия, в которой формируется КГП, в течение очень короткого времени, примерно равного времени прохождения друг сквозь друга лоренц-сжатых сталкивающихся ядер, действует сильное магнитное поле (10^{19} - 10^{20} Гаусс), созданное движущимися релятивистскими зарядами. В столь сильном магнитном поле созданный локальным нарушением четности в КГП избыток

кварков определенной киральности, например, превышение количества правых кварков над левыми, приводит к разделению электрических зарядов – кварки с противоположными зарядами, а, соответственно и адроны, возникшие в результате их адронизации, движутся в противоположных направлениях вдоль оси магнитного поля. Это явление, обусловленное квантовыми КХД и КЭД аномалиями, так называемый «Киральный магнитный эффект» (КМЭ), в принципе, может быть экспериментально измерено. Действительно, в экспериментах STAR на РИК и ALICE на БАК эффект разделения зарядов был обнаружен, однако однозначной интерпретации этого наблюдения к настоящему времени еще не существует.

Киральный Магнитный Эффект, как один из способов исследования фундаментальной проблемы нарушения четности в сильных взаимодействиях и непертурбативной природы КХД вакуума, по определению, возникает на самой ранней стадии формирования КГП в течение короткого промежутка времени существования интенсивных электромагнитных полей. При последующей эволюции КГП его признаки могут существенно размываться. Поэтому особую важность приобретает теоретическое моделирование электромагнитных полей, формирующихся и действующих в столкновениях релятивистских ядер, и анализ различных фоновых явлений, которые могут приводить к разделению зарядов и к корреляционным эффектам, обнаруженным в экспериментах. **Именно это является основной целью диссертации, определяет научную новизну данного исследования и его безусловную актуальность.**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения. Полный объем диссертации 142 страницы текста с 70 рисунками и 3 таблицами. Список литературы содержит 181 наименование.

Введение содержит обоснование актуальности темы исследования и описание целей работы: изучение электромагнитных полей, возникающих в ион-ионных столкновениях и их учет в рамках микроскопической ковариантной транспортной модели, основанной на немассовых уравнениях Каданова-Бейма для функций Грина; изучение потоковых коэффициентов и азимутальных угловых корреляций (фона для кирального магнитного эффекта) в присутствии самосогласованного электромагнитного поля и/или партонной фазы; моделирование и физический анализ этих явлений в рамках программы моделирования детекторной установки *MPD/NICA*.

В первой главе дано краткое описание основных компонент используемой партон-адрон-струнной модели – микроскопической ковариантной транспортной модели, основанной на немассовых уравнениях Каданова-Бейма для функций Грина. Как следует из анализа публикаций, диссертант принимал активное участие в создании этого подхода. В первой главе выписаны основные уравнения модели и ее составных частей. В частности, для описания партонной фазы использована динамическая квазичастичная модель (ДКМ), в рамках которой, как видно из рис. 1.3, динамические массы кварков и глюонов достигают значений 0.5 – 1 ГэВ, а время жизни квазичастиц (0.5 – 1) фм/с. Эта модель была подогнана так, чтобы воспроизвести результаты расчетов КХД на решетке, включая уравнение состояния для партонов в термодинамическом равновесии, и используется при описании эволюции партонной среды с момента ее формирования до адронизации. Согласно данным, полученным на РИК для центральных столкновений ультрарелятивистских ядер, созданная в области взаимодействия партонная среда приходит в изотропное и равновес-

ное состояние за времена порядка (0.3 - 0.5) фм/с. На этой стадии эволюции, то-есть за время, сравнимое с временем жизни квазичастицы в ДКМ, в сверхплотной неравновесной системе, характеризуемой малой константой взаимодействия, но сильными глюонными полями, возможны различного рода неустойчивости (к примеру, вейбелевская нестабильность) и флуктуации, которые остаются вне рамок используемой динамической квази-частичной модели.

Вторая глава посвящена изучению электромагнитного поля, возникающего в столкновении тяжелых ионов. Показано, как это поле меняется в зависимости от изменения параметров, характеризующих столкновения: энергии сталкивающихся ядер, прицельного параметра. Исследовано влияния электромагнитного поля на движение частиц. Продемонстрирована заметная компенсация действия электрической и магнитной компонент. Проведено сравнение с другими подходами и обсуждаются причины расхождений. **Разработанный подход и результаты, представленные в этой главе, безусловно важны для продолжения исследований роли сильных электромагнитных полей в столкновении релятивистских ядер.**

В третьей главе в рамках микроскопической ковариантной транспортной модели проведен анализ данных, полученных в экспериментах на РИК, включающий вычисление распределений заряженных пионов и каонов по быстрой и поперечному импульсу, коллективных прямых, эллиптических и триангулярных потоков, азимутальных угловых корреляций одноименно и разноименно заряженных пионов. Исследовано, как меняются эти распределения в зависимости от энергий сталкивающихся ядер, от учета только адронных и адронных+партонных степеней свободы. Рассмотрено влияние электромагнитного поля на эти распределения. Результаты сравниваются с имеющимися экспериментальными данными. Показано, что электромагнитное поле практически не влияет на изученные наблюдаемые и в рамках использованного подхода не удается объяснить наблюдаемый в экспериментах на РИК и БАК эффект разделения зарядов. **Полученные результаты безусловно важны для последующих анализов, нацеленных на проявление Кирального Магнитного Эффекта. Несомненным плюсом диссертации является проведенное в этой главе сравнение результатов вычисления коллективных потоков, возникающих при столкновении ядер с энергиями 3-7 ГэВ/нуклон, с данными, полученными на РИК в рамках программы сканирования по энергии. Это сравнение делает обоснованными предсказания коллективных эффектов для исследований, запланированных на УК NICA.**

В четвертой главе представлено общее описание детектора MPD для изучения столкновений релятивистских ядер на строящемся в ОИЯИ (г. Дубна) ускорительном комплексе NICA.

В пятой главе изложены результаты проведенного диссертантом моделирования детектора MPD. Эти результаты представляют несомненную практическую ценность с точки зрения оптимизации детектора MPD и формулирования программы исследований на комплексе NICA.

В Заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Безусловным достоинством диссертации является изучение роли электромагнитных полей и анализ коллективных эффектов в широком интервале энергий сталкивающихся ядер от 3.5 ГэВ/нуклон до 100 ГэВ/нуклон. Это позволяет в рамках одного подхода рассмотреть, как меняются изучаемые эффекты при переходе от высокотемпературного режима (с низкой барионной плотностью) к режиму высоких барионных плотностей при сравнительно невысокой температуре. Ожидается, что в первом случае деконфайнмент реализуется через фазовый переход типа кроссовер, во втором, как фазовый переход первого рода. Согласно теоретическим предска-

ниям, критическая точка на фазовой диаграмме, в которой переход первого рода сменяется кроссовером, может быть обнаружена в интервале энергий сталкивающихся ионов на ускорительном комплексе NICA, что придает дополнительную научную и практическую ценность работе, проведенной диссертантом.

В феноменологических работах по ядерной физике и физике высоких энергий всегда можно найти не вполне строго обоснованные гипотезы, равно как и недостатки. Есть они и в диссертации В.В. Воронюка. В частности, можно отметить, что многие представленные в диссертации результаты в значительной степени основаны на использовании динамической квазичастичной модели, параметры которой получены из фитирования результатов вычислений на решетке. Известно, что точность решеточных вычислений, проведенных к настоящему времени, не слишком высокая, а результаты, полученные разными группами, для ряда характеристик могут отличаться в полтора-два раза. Естественно возникает вопрос о зависимости представленных в диссертации результатов от неопределенности решеточных вычислений. В диссертации ответ на этот вопрос отсутствует.

В качестве формальных замечаний по тексту диссертации можно отметить следующее. В тексте диссертации, конечно, имеются грамматические и синтаксические ошибки, опечатки. Иногда встречаются жаргонные выражения. К примеру, на стр. 38 - «система расширяется, она принимает форму сосиску». Или на стр.58 - вместо простого русского слова «участники» использовано слово «патисипанты». На стр. 77 имеется опечатка, в результате которой текст выглядит следующим образом (цитата) : «Это можно легко понять, так как нечетные моменты пространственной анизотропии возникают чисто из-за флуктуаций, в то время как нечетные комбинируют эффекты флуктуаций и геометрии» . В списке литературы в ссылке 78 отсутствует название журнала.

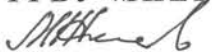
Эти недостатки не меняют общей положительной оценки представленной работы. В диссертации получены интересные результаты, важные для понимания фундаментальных проблем физики сильных взаимодействий и для практической реализации проекта NICA.

Основные результаты диссертации являются новыми, оригинальными и опубликованы в ведущих рецензируемых российских и зарубежных журналах, неоднократно докладывались на семинарах, на российских и международных конференциях. Тема исследований, проведенных в диссертации, соответствует заявленной специальности. Достоверность полученных результатов обеспечивается сравнением с имеющимися экспериментальными данными.

Автореферат диссертации правильно и полностью отражает ее содержание.

В.В.Воронюк выступил с докладом по теме диссертации на научном семинаре Отделения Физики Высоких Энергий ПИЯФ, в ходе которого он ответил на многочисленные вопросы по результатам своих исследований. **Общий вывод участников семинара – квалификация докладчика, уровень и объем результатов, представленных в диссертации, превышают требования к кандидатской диссертации.**

Таким образом, диссертационная работа Воронюка Вадима Владимировича «Анализ коллективных эффектов, возникающих при столкновениях тяжелых ионов, в модели RHSD и возможность их исследования на проектируемой установке MPD/NICA» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержатся решения задач, важных для понимания фундаментальных проблем физики сильных взаимодействий и для практической реализации проекта NICA. Диссертационная работа соответствует всем требованиям и критериям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук, установленным в п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842(ред. от 30.07.2014) , а ее автор, Воронюк Вадим Владимирович, безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Отзыв составлен по итогам обсуждения доклада Воронюка В.В. на научном семинаре Отделения Физики Высоких Энергий ФГБУ «ПИЯФ» 22.09.2015г. Отзыв составил в.н.с. ФГБУ «ПИЯФ», к.ф.-м.н.  М.Б. Жалов

Руководитель структурного подразделения:
Зам.Руководителя ОФВЭ ФГБУ «ПИЯФ»
г.н.с. , д.ф.-м.н.

 Г.Д. Алхазов

Подпись, заверяю 

Зам. начальника  Отдел
отдела кадров  Зиновьева А.Н.

Сведения о ведущей организации:

Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский Институт»
ФГБУ Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова
Россия, 188300, Ленинградская обл., г.Гатчина, Орлова роща,
ФГБУ «ПИЯФ»
телефон +78137146025
e-mail: dir@pnpi.spb.ru

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ
ФБГУ ПИЯФ ИМ Б.П.КОНСТАНТИНОВА НИЦ КИ
по теме диссертации В.В.Воронюка

«Анализ коллективных эффектов, возникающих при столкновениях тяжелых ионов, в модели PHSD и возможность их исследования на проектируемой установке MPD/NICA».

ПИЯФ является участником коллаборации PHENIX на Релятивистском Коллайдере Тяжелых Ионов и коллаборации ALICE на Большом Адронном Коллайдере. Сотрудники ПИЯФ входят в список авторов публикаций этих коллабораций: PHENIX (Баублис В., Рябов В., Рябов Ю., Комков Б., Самсонов В., Ханзадеев А.), ALICE (Жалов М., Крышень Е., Никулин В., Рябов В., Рябов Ю., Самсонов В., Ханзадеев А.), в частности, и в список авторов перечисленных ниже публикаций, которые непосредственно связаны с темой диссертации Воронюка В.В.:

1. **Elliptic flow of identified hadrons in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV**
ALICE Collaboration (Betty Bezverkhny Abelev (LLNL, Livermore) *et al.*).
Published in **JHEP** **1506 (2015) 190**
2. **Directed Flow of Charged Particles at Midrapidity Relative to the Spectator Plane in PbPb Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV** ALICE Collaboration (Betty Abelev (LLNL, Livermore) *et al.*).
Published in **Phys.Rev.Lett.** **111 (2013) 23, 232302**
3. **Charge correlations using the balance function in PbPb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV**
ALICE Collaboration (Betty Abelev (LLNL, Livermore) *et al.*).
Published in **Phys.Lett.** **B723 (2013) 267-279**
4. **Net-Charge Fluctuations in PbPb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV**
ALICE Collaboration (Betty Abelev (LLNL, Livermore) *et al.*).
Published in **Phys.Rev.Lett.** **110 (2013) 15, 152301**
5. **Charge separation relative to the reaction plane in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV**
ALICE Collaboration (Betty Abelev (LLNL, Livermore) *et al.*).
Published in **Phys.Rev.Lett.** **110 (2013) 1, 012301**
6. **Elliptic flow of charged particles in Pb-Pb collisions at 2.76 TeV**
ALICE Collaboration (K Aamodt (Bergen U.) *et al.*). Nov 2010. 10 pp.
Published in **Phys.Rev.Lett.** **105 (2010) 252302**
7. **Systematic Study of Azimuthal Anisotropy in Cu+Cu and Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=62.4$ and 200 GeV**
PHENIX Collaboration (A. Adare (Colorado U.) *et al.*). Dec 2, 2014. 20 pp.
Published in **Phys.Rev.** **C92 (2015) 3, 034913**
8. **Deviation from quark-number scaling of the anisotropy parameter v_2 of pions, kaons, and protons in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV**
PHENIX Collaboration (A. Adare (Colorado U.) *et al.*). Mar 2012. 16 pp.
Published in **Phys.Rev.** **C85 (2012) 064914**
9. **Effective Lagrangian for the Polyakov line on a lattice**
Dmitri Diakonov (St. Petersburg, INP & St. Petersburg Acad. U.), Victor Petrov (St. Petersburg, INP), H.-P. Schadler, Christof Gattringer (Graz U.).
Published in **JHEP** **1311 (2013) 207**
10. **Evidence for nuclear gluon shadowing from the ALICE measurements of PbPb ultraperipheral exclusive J/ψ production**
V. Guzey, E. Kryshen (St. Petersburg, INP), M. Strikman (Penn State U.), M. Zhalov (St. Petersburg, INP). May 8, 2013. 6 pp.
Published in **Phys.Lett.** **B726 (2013) 290-295**
11. **Coherent rho and J/ψ photoproduction in ultraperipheral processes with electromagnetic dissociation of heavy ions at RHIC and LHC.**
V. Rebyakova, M. Strikman, M. Zhalov, . Sep 2011. 16pp.
Published in **Phys.Lett.** **B710 (2012) 647-653**