

## **ОТЗЫВ** **официального оппонента**

**о диссертации А.В.Садофьева "Макроскопические проявления киральной аномалии", представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 -- теоретическая физика**

Аксиальная аномалия является одним из важных и тонких эффектов квантовой теории поля, имеющим многочисленные приложения. В последнее время среди них появились новые, связанные с квантовыми макроскопическими эффектами в физике тяжелых ионов. При этом возникают проблемы сочетания общих свойств аномалии, в особенности ее неперенормируемости, со специфическими свойствами конкретных систем.

Диссертация посвящена последовательному решению ряда таких проблем.

Она написана в форме обзора, где оригинальные результаты достаточно гармонично сочетаются с последовательным изложением работ других авторов, и после некоторой доработки вполне может быть опубликована.

Диссертация А.В.Садофьева, объемом в 100 страниц, состоит из введения, пяти глав основного содержания, заключения и списка цитированной литературы из 71 наименования.

Во введении (Глава 1) описаны основные теоретические и экспериментальные аспекты диссертации, обоснована актуальность проведенных исследований, сформулирована их цель и кратко изложено содержание диссертации.

В главе 2 рассмотрены киральные эффекты для свободных фермионов. Приведен вывод выражений для киральных магнитного и вихревого эффекта с помощью формулы Кубо, при этом в качестве промежуточного шага получают формулы которые имеют изящную партонную интерпретацию, (которая может быть сделана еще более очевидной при выполнении интегрирования по частям в формуле для кирального магнитного эффекта) и позволяют получить температурно-зависимый вклад для кирального вихревого эффекта. Как известно, последний может быть связан с гравитационной аномалией, и автор позднее отмечает, что ее соответствие с данным подходом не очевидно. Для кирального магнитного эффекта рассмотрен также случай сильного поля, где тот же результат получен с помощью вычисления тока нулевых мод соответствующих уровней Ландау. Приведены энергетические соображения, показывающие связь вычисленного эффекта с аномалией.

Глава 3 посвящена рассмотрению аксиальной аномалии в эффективной теории поля. Показано, что аномалия в гидродинамике может быть получена добавкой слагаемого, пропорционального 4-скорости, к калибровочному полю.

Преобразование меры в континуальном интеграле приводит к несохранению как аксиального, так и векторного тока. Отмечается, что последнее может быть устранено переопределением токов, однако это интересное наблюдение носит лишь качественный характер. Подробно обсуждается связь между аномалиями фундаментальной и эффективной теорий и принцип соответствия т'Хофта, делается вывод, что он должен обеспечиваться безмассовыми бозонными модами. Здесь можно отметить, что аномалия при наличии внешнего размерного параметра может стать коллективным эффектом (как в случае виртуального фотона – см Phys.Lett. B695 (2011) 130-135), и появление безмассовых моды не является тогда неизбежным – интересно было бы обсудить и эту возможность. Обсуждается также киральная магнитная волна, делается вывод о независимости ее предсказания от регуляторов теории.

В главе 4 рассмотрена аномальная гидродинамика в режиме сильной связи с помощью AdS/CFT соответствия. Особое внимание уделяется току энтропии и вкладу в аксиальный ток пропорциональному квадрату температуры. Обсуждается его связь с гравитационной аномалией. Делается вывод, что связь с выводом с помощью формулы Кубо в гл. 2 остается пока открытой.

Центральная для диссертации глава 5 посвящена инфракрасным свойствам киральных эффектов. Основное внимание уделяется киральному вихревому эффекту в сверхтекучей жидкости. Следующий из Бозе-статистики для треугольной диаграммы дополнительный фактор 2 подтверждается непосредственным подсчетом нулевых мод. Рассмотрен вклад динамических фотонов в киральный магнитный эффект. Показано, что фотонный пропагатор приобретает после частичного суммирования динамический полюс, приводящий к обращению в нуль соответствующего киральному магнитному эффекту члена в корреляторе токов (мне кажется, представляет также интерес исследование того, насколько общим может быть вывод о нуллификации киральных эффектов за счет, в особенности, сокращения классического и аномального несохранения аксиальных токов). Рассмотрены возникающие неустойчивости и роль при этом решений уравнений Бельтрами.

В главе 6 рассмотрена физика киральных сред. Исследовано поведение аксиального заряда при наличии аномального полюса (при этом (6.13), при нормировке состояний из непрерывного спектра, должна относиться к нулевой компоненте тока). Делается вывод о необходимости малости масс на гидродинамических масштабах. Рассмотрена временная эволюция аксиального заряда и получены важные условия непротиворечивого соответствия фундаментальной и эффективной теории.

Заключение содержит обзор как полученных результатов, так и открытых вопросов.

Оценивая диссертацию А.В.Садофьева в целом, следует подчеркнуть, что все проведенные им исследования являются не только актуальными, выполненными на высоком теоретическом уровне, но и перспективными. Высказанные замечания не меняют высокой положительной оценки результатов, представленных в диссертации.

Диссертация А.В.Садофьева представляет научное исследование, содержащее важные полученные им впервые физические результаты. Работы автора, использующего современные методы теоретической физики, вносят значительный вклад в понимание физики тяжелых ионов. Они своевременно опубликованы в ведущих научных журналах и доложены на ряде Международных конференций и совещаний по теоретической физике. Диссертация написана ясным языком, хотя порой чересчур сжато и с англицизмами, чётко сформулированы основные результаты, полученные автором, и сделанные им выводы. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Значительный объем выполненных им исследований по актуальной и важной теме позволяет рассматривать представленную работу, как несомненно удовлетворяющую всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, и автора этих работ, Андрея Владимировича Садофьева, как заслуживающего присвоения ему искомой ученой степени.

Официальный оппонент,  
доктор физико-математических наук,  
начальник сектора Лаборатории теоретической  
физики им. Н.Н. Боголюбова ОИЯИ  
ул. Жолио-Кюри 6, 141980 Дубна, Московская область,  
(7-49621) 62-166, teryaev@theor.jinr.ru

Теряев Олег Валерианович

«1» июня 2015 г.

Подпись О.В.Теряева удостоверяю.  
Ученый секретарь ЛТФ ОИЯИ

С.Н.Неделько