Отзыв

официального оппонента кандидата физико-математических наук Шевченко Владимира Игоревича на диссертацию «Коллективные явления в киральных средах», представленную Хайдуковым Захаром Викторовичем на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика

В современной физике важнейшую роль играет понятие «среды». Это понятие возникает всякий раз, когда число элементарных объектов, рассматриваемых как цельная система, оказывается достаточно большим. Речь может идти как о твёрдых телах, о жидких или о газообразных средах в режиме, где доминируют законы классической физики, так и о таких явлениях в многочастичных системах, как сверхпроводимость, где определяющую динамическую роль играют квантовые законы.

В последнее время всё больший интерес вызывают работы, в которых анализируются те или иные свойства сред, элементы которых обладают киральными свойствами. С точки зрения физики частиц, прежде всего, имеется в виду кварк-глюонная материя в фазе деконфайнмента. Основной (и, в экспериментальном отношении, вероятно, единственной) физической системой, в которой реализуется деконфайнмент, является кварк-глюонная материя, образующаяся на короткое время после столкновения релятивистских тяжёлых ионов. Изучение соответствующей физики составляет содержание обширных экспериментальных программ, реализующихся на ускорителях LHC (CERN, Швейцария) и RHIC (BNL, США), и планирующихся на ускорительных комплексах FAIR (GSI, ФРГ) и NICA (ОИЯИ, Россия).

Другим известным классом объектов с выраженными киральными свойствами являются такие сравнительно недавно открытые физические системы, как графен, а также дираковские и вейлевские полуметаллы. В этом случае речь идёт о квазичастицах в таких средах, демонстрирующих линейный (т.е. квазирелятивистский) закон дисперсии для малых импульсов. Теоретические и экспериментальные исследования графеноподобных (как двумерных, так и трёхмерных) систем интенсивно ведутся в настоящее время во всем мире.

В свете вышесказанного, актуальность темы диссератационного исследования не вызывает сомнений. В диссертации рассматриваются несколько вопросов киральной динамики. В главе 2 изучается влияние индуцированной гравитации, вызванной деформацией графена, на вырождение нулевого уровня Ландау в индуцированном магнитном поле, причём выбирается специальный профиль деформаций, для которого индуцированное поле постоянно. Получено выражение для поправки к вырождению низшего уровня Ландау, интересной особенностью которого является т.н. «IR-UV mixing» - пропорциональность поправки произведению dR, где величина d порядка межатомного размера, а R - характерный размер образца. В главе 3 обсуждается возникновение аксиального тока в магнитном поле при конечном химическом потенциале. Как хорошо известно, вычисления в непрерывной теории с ненулевым химическим потенциалом содержат ряд тонкостей, и несомненным плюсом работы можно

/

считать предпринятую попытку разобраться в их «анатомии» с использованием методов хорошо определённой теории поля на решётке. Эта линия исследования продолжается в главе 4, где аксиальная аномалия анализируется на языке топологических инвариантов в импульсном пространстве, как в непрерывной теории, так и на решётке. Исследование связи между аномальным несохранением аксиального тока (и, в частности, тем фактом, что однопетлевой ответ для этого выражения совпадает с точным) и стабильностью соответствующей точки Ферми относительно малых изменений функции Грина в импульсном пространстве представляется оппоненту наиболее красивым фрагментом диссертации.

Наконец, в главе 5 рассматривается модифицированная модель конденсации топ-кварка со сверхтяжелым фермионом, псевдо-голдстоуновским бозоном массой 125 ГэВ и дополнительными тяжелыми скалярными бозонами. С теоретической точки зрения в данной схеме есть свои привлекательные стороны, но, как и для всякой модели, имеющей феноменологические претензии, лишь эксперимент способен внести окончательную ясность. Соискателем был проделан большой объём вычислений и получена связь основных параметров модели с экспериментально наблюдаемыми величинами, что позволяет установить соответствующие ограничения.

Несомненным достоинством работы является систематическое исследование в главе 3 и 4 таких нетривиальных квантовополевых эффектов как разделение киральностей и аксиальная аномалия для различных типов решёточных фермионов - наивных, вильсоновских, overlap, модифицированных overlap. Можно думать, что полученные результаты будут весьма полезны для будущих расчётных решёточных работ и помогут их авторам избежать разнообразных подвохов при работе с киральными фермионами на решётке, изученных в диссертации.

С содержательной стороны, оппоненту не хватило в главе 2 обсуждения экспериментальной стороны вопроса - коридор параметров, задаваемый одновременными условиями малости поправки и, в то же время, корректностью представления об уровнях Ландау, имеет вид $R^{-1} \lesssim HR \lesssim d^{-1}$, и было бы полезно на конкретных числах обсудить экспериментальные перспективы обнаружения эффекта в этом интервале. В главах 3 и 4 за рамками обсуждения остался такой важный аспект, как причинная структура выражений - в теории линейного отклика вычисляемый по формуле Кубо ток в момент времени t, как известно, определяется значениями поля лишь в предшествующие моменты времени $t' < t$, что не имеет места на решётке, где рассмотрение ведётся в евклидовой метрике. Наконец, в главе 5 недостаточно внимания уделено физической мотивации модели - какие именно проблемы Стандартной модели (или физики за её пределами) решает предложенная схема с тяжёлым фермионом, в чём её привлекательность? Также не было бы лишним обсуждение непротиворечивости модели - в частности, в смысле глобального сокращения треугольной аномалии между лептонным и кварковым секторами.

Говоря о формальных недостатках работы, к ним следует отнести ряд опечаток и небрежностей в оформлении: так, некоторые ссылки на формулы содержат неверные номера; имеются повторяющиеся фрагменты текста (вероятно, вследствие неаккуратного использования cut & paste); неточности в формулировках (например, взаимозаменяемо используются тер-

мины «решёточный» и «решётчатый»; термин «branching ratio» переведён в разделе 5.5.1 как «светимость»); загадочно выглядит формула (5.79) и т.п. Можно пожелать автору быть более внимательным при написании докторской диссертации.

Указанные недостатки не умаляют научное содержание диссертационной работы. Результаты, изложенные в диссертации, опубликованы в 4 статьях в ведущих рецензируемых журналах, имеются их цитирования другими исследователями. Автореферат верно отражает содержание диссертации. Полагаю, что диссертационная работа «Коллективные явления в киральных средах» полностью отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Хайдуков Захар Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика.

Первый заместитель руководителя
Курчатовского ядерно-физического комплекса
Федерального государственого бюджетного учреждения
Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
кандидат физико-математических наук
(специальность 01.04.02 - «теоретическая физика») В.И.Шевченко
Владимир Игоревич

Адрес: Москва 123182 площадь академика Курчатова, 1
Телефон: +7(499)196-77-48
Email: Shevchenko_VI@nrcki.ru

19 января 2018 года

Подлинность подписи
Шевченко В.И.
подтверждаю

Директор Департамента
по общим, кадровым и
социальным вопросам С.В. Андрущук