

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на диссертационную работу А.В.Лункина
“СТРУКТУРА НЕ-ФЕРМИЖИДКОСТНОГО ОТКЛИКА
В МОДЕЛИ САЧДЕВА-ЙЕ-КИТАЕВА С ВОЗМУЩЕНИЕМ”,
представленную на соискание учёной степени кандидата
физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика

Диссертация А.В. Лункина посвящена исследованию нескольких аспектов теории сильно-взаимодействующих фермионов, основанной на предложенной А.Ю.Китаевым в 2015 г. модели, получившей название SYK – сокращение от “Sachdev-Ye-Kitaev”. Это модель нейтральных (майорановских) фермионов, гамильтониан которых содержит только члены взаимодействия, а обычная квадратичная часть в нем отсутствует. Китаеву удалось развить метод точного решения этой модели, что привело к огромному интересу в различных областях теоретической физики. С точки зрения возможного подхода к теории электронных систем с сильными взаимодействиями, которые не описываются обычной теорией Ферми-жидкости, модель SYK нуждается в обобщении, т.к. полное пренебрежение квадратичными членами в гамильтониане нереалистично. Именно развитию такой обобщенной теории и посвящена диссертация А.В.Лункина. После общего Введения в предмет, в главе 1 представлен обзор метод Китаева и его развитие для чистой SYK модели, геометрически представляющую собой “квантовую точку”, т.е. систему с нулевой пространственной размерностью. В главе 2 излагаются ранее полученные диссертантом результаты относительно модели SYK с добавлением в гамильтониан квадратичных членов умеренной интенсивности, и показано, что задачу вычисления функционального интеграла полной модели можно свести к нахождению спектра некоторого уравнения типа Шредингера. Показано, что наличие не слишком слабого квадратичного возмущения приводит к появлению дискретного спектра этого уравнения и найдены соответствующие “уровни энергии”. Главы 1 и 2 имеют вводный характер. Основные результаты диссертации, выносимые на защиту, содержатся в главах 3, 4 и 5.

Глава 3 посвящена изучению модели SYK с квадратичным возмущением в ситуации, когда квадратичная часть гамильтониана подвержена периодической модуляции во времени. Автору удалось показать, что связанная с такой модуляцией гамильтониана диссипация имеет резонансный характер, с максимумом на частоте, которая соответствует расстоянию между основным и первым возбужденным уровнями выведенного в Главе 2 уравнения Шредингера. Таким образом, обнаружен физический смысл этой энергии возбуждения, ранее появившейся в теории чисто формальным образом. Более того, диссертанту удалось изучить нелинейный режим диссипации, то есть сосчитать влияние накачки на частоте резонанса на величину поглощения при низких частотах.

Глава 4 является обобщением Главы 3 по двум разным направлениям: здесь уже изучаются настоящие комплексные фермионы, полное число которых сохраняется; кроме того, теперь рассматривается протяженная система (размерности 1 или более), для которой можно поставить вопрос о вычислении ее транспортных характеристик – проводимости и теплопроводности. Этот вопрос был успешно решен, основными результатами здесь являются: а) вычисление числа Лоренца (отношение теплопроводности к проводимости, умноженной на температуру), которое оказывается существенно зависящим как от исходных параметров системы, так и от ее температуры, в отличие от универсального значения числа Лоренца, известного для Ферми-жидкости, а также б) вычисление дисперсии проводимости на высоких частотах и для переменного в пространстве электрического поля: $\sigma(\omega, q)$. Оказалось, что эта

величина содержит полюс при $\text{Re } \omega = \omega(q)$, где зависимость $\omega(q)$ линейная с точностью до логарифмического множителя, причем ее мнимая часть $\text{Im } \omega(q)$ параметрически меньше вещественной. Наличие такого полюса имеет, с чисто теоретической точки зрения, то же самое происхождение, что и наличие резонанса при параметрической накачке, найденного и исследованного в Главе 3. Физически этот результат соответствует наличию в сильно взаимодействующей системе коллективного возбуждения, подобного нулевому звуку в Ферми-жидкости, что само по себе является довольно неожиданным результатом.

Глава 5 диссертации содержит исследование характеристик квантового хаоса в пространственно распределенной майорановской версии модели SYK с квадратичным возмущением. Основная величина здесь – аномально упорядоченный во времени коррелятор четырех фермионных операторов, временная зависимость на малых временах экспоненциальная, а соответствующий показатель имеет тот же смысл что показатель Ляпунова для классической хаотической динамики. Асимптотика этого коррелятора на больших временах (превышающих время Эренфеста) ранее была вычислена для чистой SYK модели. Алексей Лункин впервые сумел провести такое вычисление для модели SYK с квадратичным возмущением; он показал, что распространение квантового хаоса в такой модели характеризуется фронтом, движущимся с некоторой скоростью (зависящей от параметров системы и от температуры). Подобные решения с фронтом распространения хаоса ранее были получены в квазиклассических системах со слабым взаимодействием, однако для модели типа SYK результат, полученный диссертантом, является совершенно пионерским.

В процессе выполнения диссертационной работы А. В. Лункин проявил себя инициативным и широко образованным ученым, умеющим эффективно использовать разнообразные методы современной теоретической физики. Диссертационная работа А. В. Лункина несомненно удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на степень кандидата физ.-мат. наук, а ее автор безусловно заслуживает присуждения таковой степени.

Главный научный сотрудник
Доктор физ.-мат. наук
Профессор
Фейгельман Михаил Викторович
142432, Моск.обл., г. Черноголовка
проспект академика Семенова, д.1-А
тел.(495)702-93-17
feigel@landau.ac.ru



« 7 » апреля 2022г.

Подпись Фейгельмана М.В. заверяю
Ученый секретарь ИТФ им. Л.Д.Ландау РАН



Крашаков С.А.