

УТВЕРЖДАЮ

зам. директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе,
доктор физико-математических наук

П.Н. Брунков

8 июня 2022 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ
на диссертацию Лункина Алексея Владимировича
«Структура не-фермижидкостного отклика в модели Сачдева-Йе-Китаева
с возмущением»,
представленную к защите на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.02 — теоретическая физика

Поиск и исследование физических моделей, описывающих взаимодействующие частицы, является одной из важнейших задач современной физики. Для описания фермионов с отталкивающим взаимодействием широко используется модель ферми-жидкости, предложенная Л.Д. Ландау в 1950е годы, фермионы с притяжением часто описывают в рамках модели Дж. Бардина, Л.Н. Купера и Дж. Р. Шриффера. Особенno важны модели, допускающие аналитическое решение или эффективные комбинации аналитических и численных методов.

В последнее десятилетие внимание физиков-теоретиков оказалось приковано к модели Сачдева-Йе-Китаева, в простейшей версии которой рассматривается квантовая точка, заселенная фермионами Майораны. Эта модель допускает аналитическое решение и демонстрирует поведение, отличное от фермий жидкостного. В данной диссертации разрабатывается обобщение модели

Сачдева-Йе-Китаева на случай, когда к системе приложено возмущение, сни-мающее вырождение одночастичных состояний, а также на случай систем с ненулевой размерностью – массивов туннельно-связанных квантовых точек. Автор ставит своей целью теоретическое исследование свойств не-ферми-жидкостной модели, связанных с диссипацией, кинетикой и квантовым хаосом. Тем самым, тема исследований, выполненных в докторской работе, пред-ставляется весьма актуальной.

Значимость результатов докторской работы состоит как в раз-работке теоретического описания модели Сачдева-Йе-Китаева с возмущением, исследованием флюктуаций и отклика в такой модели, так и с потенциалом для применения полученных результатов в области квантовых технологий.

Содержание докторской работы. Докторская диссертация А.В. Лункина состоит из введения, пяти глав, заключения, приложения (состоящего из 6 пунктов и содержащего вспомогательные результаты и выкладки) и списка литературы, докторская содержит 4 рисунка.

Во *введении* обосновывается актуальность исследований, приводится обзор научной литературы по изучаемой проблеме, формулируются цель и задачи докторской работы, обоснована научная новизна и значимость полученных результатов.

Первая глава докторской диссертации посвящена введению в модель Сачдева-Йе-Китаева. Приведен вид функции Грина в рамках седлового приближения для действия и описан учет «сильных» флюктуаций, которые играют важную роль в дальнейших оригинальных исследованиях.

Вторая глава докторской диссертационной работы посвящена описанию модели Сачде-ва-Йе-Китаева с квадратичным возмущением. Показано, что такое возмущение приводит к подавлению флюктуаций, связанного с появлением локализованных уровней в эффективном флюктуационном гамильтониане. Две первые главы

диссертации носят вводный характер и не содержат существенных оригинальных результатов.

В *третьей главе* исследовано влияние флуктуаций на поглощение энергии системой при модуляции амплитуды квадратичного возмущения. Показано, что восприимчивость имеет резонансный вид, причем частота резонанса соответствует энергии перехода уровнями эффективного гамильтониана флуктуаций, представленного в предыдущей главе. Также изучено поглощение при наличии резонансной накачки.

Четвертая глава диссертации посвящена обобщению модели Сачдева-Йе-Китаева на случай системы с ненулевой размерностью. Цель этой главы – расчет кинетических коэффициентов: проводимости и теплопроводности, в том числе с учетом пространственной и временной дисперсии. Показано, что при низких частотах $\hbar\omega \ll T$, где T – температура, в системе наблюдается локальное равновесие и реализуется диффузионный режим переноса частиц и тепла. В случае высоких частот в системе могут существовать возбуждения с малым затуханием, одним из которых является волна плотности со спектром, близким к линейному.

В *главе 5* представлены результаты исследования эффектов хаоса, которые могут возникать в обобщенной модели Сачдева-Йе-Китаева. Предметом изучения этой главы является аномально упорядоченный во времени коррелятор, свойства которого характеризуют неустойчивости траекторий системы по отношению к малым изменениям начальных условий, т.е. так называемый эффект бабочки. Одним из важных результатов этой главы является вывод о том, информация о приложенном к системе возмущении распространяется в системе баллистически. Вычислена скорость распространения информации.

Заключение содержит краткий обзор полученных результатов и сделанных выводов.

Список цитируемой литературы весьма краткий, 39 наименований, однако он полностью соответствует тематике работы и адекватно представляет состояние исследований в мире в данной области.

Научная новизна основных результатов работы состоит в следующем:

1. Получен спектр поглощения в модели Сачдева-Йе-Китаева с квадратичным возмущением при модуляции амплитуды возмущения.
2. Найдены кинетические коэффициенты в зависимости от волнового вектора и частоты в обобщенной на случай систем ненулевой размерности модели Сачдева-Йе-Китаева. Предсказано существование медленно затухающих возбуждений.
3. Теоретически исследовано поведение аномально-упорядоченного во времени коррелятора в модели Сачдева-Йе-Китаева, обобщенной на случай систем с ненулевой размерностью. Определена скорость распространения информации о возмущении в такой системе.

Замечания:

- 1) Каков физический смысл затухания Ω_W , введенного в (3.11)? Описывает ли он неоднородное уширение резонанса или соответствующая диссипация необратима.
- 2) При расчете поглощения при наличии накачки автор пренебрегает «разогревом» системы [условие (3.22)]. Хотелось бы понять, какие физические эффекты приводят к изменению поглощения, сводятся ли они к перенормировке спектра системы, индуцированной накачкой? Возможна ли генерация отклика на комбинированных частотах ($\omega_p \pm \omega, 2\omega_p \pm \omega$)?
- 3) Результат (4.37) для статической проводимости кажется очень важным, однако, его детальный анализ отсутствует. В частности, $\sigma_0(T \rightarrow 0)$ расходится. Зависит ли этот результат от размерности системы, и как он относится к классическими представлениями об андерсоновской локализации?

В целом чтение диссертационной работы и понимание результатов несколько затрудняет наличие опечаток и жаргонных, а иногда и небрежных формулировок.

Впрочем, все высказанные замечания не носят принципиального характера, они связаны со сложностью сформулированных и решенных автором задач и являются в значительной мере предложениями для дальнейших исследований.

Достоверность и обоснованность положений, выносимых на защиту, и результатов диссертационной работы в целом обеспечивается применением современных методов теоретической физики, включая методы квантовой теории поля, а также сравнением с литературными данными.

Результаты работы опубликованы в 2 научных статьях в рецензируемых журналах, входящих в базы Web of Science, Scopus и рекомендованных ВАК РФ, а также в виде препринта.

Диссертационная работа может быть использована при проведении исследований в ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ФИАН, ИФП им. П.Л. Капицы РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, МФТИ и других научных учреждениях физического проффиля. Автореферат корректно отражает суть диссертации и основные результаты проделанной работы.

Диссертация А.В. Лункина «Структура не-ферми-жидкостного отклика в модели Сачдева-Йе-Китаева с возмущением» представляет собой законченное исследование, обладающее заметной актуальностью и новизной, достоверность полученных результатов несомненна. Диссертационная работа полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства РФ №842 (ред. от 01.10.2018), а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика (1.3.3. Теоретическая физика).

Доклад соискателя Лункина А.В. заслушан 9 декабря 2021 г. на общеинститутском “Чайном семинаре” ФТИ им. А.Ф. Иоффе. Отзыв на диссертацию составлен ведущим научным сотрудником Сектора теории квантовых когерентных явлений в твердом теле Центра физики наногетероструктур ФТИ им. А.Ф. Иоффе, член-корр. РАН, д. ф.-м. н. Глазовым Михаилом Михайловичем и одобрен на этом семинаре.

Глазов Михаил Михайлович,

член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук,

ведущий научный сотрудник

Сектора теории квантовых когерентных явлений в твердом теле

Центра физики наногетероструктур

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,

194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26,

тел. +7 911 913 0436,

эл. почта: glazov@coherent.ioffe.ru



Голуб Леонид Евгеньевич,

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий Сектором теории квантовых когерентных явлений в твердом теле Центра физики наногетероструктур Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук».

