

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации ТЕРЕХОВА Ивана Сергеевича «Исследование эффектов в физике твердого тела и процессов передачи информации вне рамок теории возмущений», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика

Актуальность

В разных разделах фундаментальной и прикладной физики встречаются задачи, в которых нет малого параметра и решение нельзя записать в виде ряда теории возмущений. Численный расчет позволяет построить графики, но часто не дает возможности качественно разобраться, как результат зависит от параметров задачи. Поэтому важно развивать методы теоретической физики, дающие непертурбативные (или «точные») решения, хотя бы в специальных симметричных случаях. Такие формулы в сочетании с численными расчетами проясняют физическую картину явлений. Даже не слишком общие формулы позволяют получить наглядное представление о распределении полей по координатам, приблизительно оптимизировать систему, получить зависимость эффекта от физических параметров задачи в явной форме. Именно развитию точных методов посвящена диссертация И.С. Терехова, поэтому актуальность темы не вызывает сомнений.

Новизна

В работе точно решен целый ряд задач физики и теории информации, не содержащих малого параметра. Получены новые научные результаты, среди которых можно выделить два:

1. Методами квантовой электродинамики рассчитаны эффекты экранировки заряда примеси в графене электронным газом. Расчет выполнен точно по полю примеси. Найдена плотность индуцированного заряда и эффективный заряд экранированной примеси.
2. Предложен метод вычисления плотности условной вероятности для нелинейного оптического канала связи без дисперсии и с

аддитивным шумом. С помощью интеграла по траекториям найдена предельная пропускная способность канала точно по параметру нелинейности. Показано, что информационная емкость канала всегда ниже, чем в линейной теории Шеннона.

Научная новизна подтверждается 11 статьями в ведущих международных журналах Web of Science: *Physical Review Letters*, *Physical Review B, E*, а также докладами на многочисленных представительных международных конференциях.

Достоверность и обоснованность

Точное по параметру решение можно проверить, сравнивая предельный случай малого параметра с теорией возмущений. Можно также сопоставить результат с численным расчетом. То и другое сделано в диссертационной работе. Достоверность подтверждается также согласием с результатами других авторов в известных предельных случаях. В нескольких случаях результаты не совпали с известными из литературы, что интерпретируется как ошибки предыдущих публикаций. Большинство расчетов основано на методах, хорошо проверенных в квантовой теории поля, поэтому результаты можно признать обоснованными.

Содержание

Диссертация состоит из Введения, 5 глав, Заключения и Приложений, содержит 198 страниц, список литературы из 130 ссылок и 39 рисунков.

Во Введении описана постановка задач, приведен краткий обзор литературы и перечислены защищаемые положения. Глава 1 содержит решение задачи об экранировки примеси в графене электронами. Задача напоминает теорию экранировки поля ядра в квантовой электродинамике и решается с помощью точной функции Грина. Показано, что экранировка существенно уменьшает эффективный заряд примеси. Полученная зависимость индуцированного заряда от заряда

примеси существенно отличается от известных из литературы результатов численного расчета.

В главе 2 изучается эффект Бома — Аронова в графене. Подробно рассмотрены случаи, когда электрон проникает и не проникает в область отличного от нуля магнитного поля. Получена зависимость индуцированного тока от потока магнитного поля в соленоиде, которая оказалась периодической функцией.

В главе 3 рассмотрено взаимодействие двух электронов в графене. Рассмотрен случай, когда энергия электронов много больше энергии Ферми. Найдено уравнение Шредингера для двухчастичной волновой функции. Выполнено подробное исследование аналитических свойств решения в окрестности особых точек дифференциального уравнения. Показано, что вблизи классической точки поворота у волновой функции формируется узкий пик. Исследована эволюция такого локализованного состояния при учете электрон-дырочного взаимодействия. Установлено, что локализованное состояние постепенно распадается в набор следующих друг за другом волновых пакетов.

В главе 4 выполнен анализ перехода из фазы спиновых димеров в антиферромагнитную фазу в трехмерной решетке в самосогласованном борновском приближении и в рамках ренорм-группового подхода. В борновском приближении получены результаты для антиферромагнитной восприимчивости, индуцированной спином $1/2$. В ренорм-групповом подходе получены формулы для произвольного спина. Аккуратно исследован квазиклассический предел большого спина.

Глава 5 посвящена расчету информационной емкости бездисперсионного нелинейного оптического канала связи. Анализ искажений сигнала основан на нелинейном уравнении Шредингера с аддитивным гауссовым шумом. Все расчеты выполнены точно по параметру нелинейности. Плотность условной вероятности зарегистрировать на приемном конце сигнал Y , если на передатчике был сигнал X , представлена в виде континуального интеграла. Для его вычисления применялись методы, развитые и хорошо опробованные в квантовой теории поля. Выполнена также оценка информационной емкости канала связи как максимума взаимной информации. Найдено явное вы-

ражение функции плотности условной вероятности, точное по нелинейности и содержащее два старших члена разложения по отношению сигнал/шум. Показано, что асимптотически информационная емкость канала растет с мощностью P как $\log \log P$, т.е. медленнее, чем $\log P$ в линейной теории. Сравнение выражений для корреляторов с численным расчетом демонстрирует хорошее согласие.

В Заключении приведены список основных результатов работы. В Приложение вынесены вычисления условной вероятности, описание бездисперсионного канала связи и расчет поправок к корреляторам.

Замечания

1). В главе 2 зависимость индуцированного тока от потока магнитного поля в соленоиде имеет скачки производной, но не приведено объяснения такого неаналитического поведения.

2). Из главы 5 неясно, решена ли полная вариационная задача нахождения экстремума функционала взаимной информации или получена только нижняя граница информационной емкости нелинейного канала с шумом.

3). В каждой главе для получения непертурбативных решений применяются свои методы. Работа бы выиграла, если бы исходя из опыта своего решения многочисленных задач из разных областей физики автор добавил в Заключение общие рекомендации по выбору адекватного метода квантовой теории поля.

4). В диссертации отсутствует сравнение с экспериментом. По крайней мере желательно привести соображения по возможному эксперименту. Нужен ответ на вопрос: какие из предсказанных эффектов проще всего проверить?

Приведенные замечания носят частный характер, относятся скорее к отбору материала и оформлению рукописи, а не к содержанию диссертации, и не влияют на общую положительную оценку работы.

Выводы

Оценивая работу в целом, можно сделать вывод, что диссертационная работа И.С. Терехова представляет собой научно-квалификационную работу, в которой найдены решения ряда важных задач физики конденсированных сред и оптической связи за рамками теории возмущений. Работа написана ясным языком и на высоком научном уровне. Решены достаточно сложные задачи, что подтверждает высокую квалификацию соискателя. Основные результаты опубликованы в рецензируемых научных журналах и известны специалистам. Автореферат правильно и полно отражает основные идеи и выводы диссертации.

Учитывая актуальность темы, научную новизну результатов и достоверность выводов, можно заключить, что работа И.С. Терехова безусловно удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении учёных степеней, утвержденных постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а автор однозначно заслуживает присуждения степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

Доктор физ.-мат. наук, профессор

Шапиро

Шапиро Давид Абрамович

Заведующий лабораторией фотоники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института автоматики и электрометрии Сибирского отделения РАН.

Проспект академика Коптюга, д. 1, 630090, Новосибирск, ИАиЭ СО РАН,
тел. +7-383-3309021, e-mail: shapiro@iae.nsk.su

Подпись д.ф.-м.н. Д.А. Шапиро з а в е р я ю:

Ученый секретарь ИАиЭ СО РАН

к.ф.-м.н.

Е.И. Донцова

