

Отзыв официального оппонента
на диссертационную работу
Шарафутдинова Азата Ураловича
"Спиновые корреляции в квантовых точках и наночастицах",
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика

Исследование малоразмерных твердотельных систем является одной из наиболее актуальных научных проблем. За последние годы благодаря впечатляющим успехам в развитии технологий миниатюризации в этой области был достигнут замечательный прогресс. С одной стороны, наносистемы представляются исключительно перспективными в качестве элементной базы новых поколений приборов микро- и наноэлектроники. Это относится и к приложениям, основанным на использовании "тонких" квантовых технологий (например, квантовые компьютеры), которые, как ожидается, произведут новую техническую революцию в XXI веке. С другой стороны, сами эти системы, а также протекающие в них процессы отличаются чрезвычайным разнообразием, что делает их изучение весьма плодотворным с точки зрения фундаментальной науки и дальнейшего развития методов теоретической физики.

Квантовые точки являются типичными представителями наносистем. Одним из наиболее ярких явлений в квантовых точках может считаться мезоскопическая стоуновская неустойчивость, заключающаяся в появлении ненулевого полного спина системы. Наличие неустойчивости критическим образом зависит от типа обменного взаимодействия - она наблюдается для гейзенберговского взаимодействия, и отсутствует для изинговского. Несмотря на то, что стоуновской неустойчивости в квантовых точках посвящен целый ряд работ, многие вопросы еще остаются неизученными. В частности, плохо понятна роль, которую играет анизотропия обменного взаимодействия. Исследованию этого вопроса, а также смежных проблем и посвящена диссертационная работа А. У. Шарафутдинова. Таким образом, актуальность и своевременность работы не вызывают сомнений.

Основное содержание диссертации изложено в четырех главах. В первой главе диссертации приведен гамильтониан исследуемой системы. Это - так называемый универсальный гамильтониан с одноосевой анизотропией обменного взаимодействия. Данный гамильтониан используется в качестве модельного, поскольку он позволяет описать простейшим способом переход от гейзенберговского к изинговскому

обменному взаимодействию в квантовой точке. Следует отметить, что у этого гамильтониана нет полноценного микроскопического обоснования. Поэтому, возможно, в диссертации было бы полезно рассмотреть подробнее, какие результаты можно было бы ожидать при использовании более реалистичных моделей. Далее, в первой главе для данного гамильтониана выводятся точные выражения для статистической суммы в большом каноническом ансамбле, спиновых восприимчивостей, туннельной плотности состояний. Результаты верны для произвольного спектра одночастичных состояний. Данные результаты сами по себе представляют ценность, а также демонстрируют высокую степень владения аппаратом современной теоретической физики со стороны автора.

Во второй главе полученные результаты применяются к детальному анализу полученных формул для случая эквидистантного распределения одночастичных уровней энергии. Такое распределение является, конечно, определенной идеализацией, но тем не менее оно представляется удобной отправной точкой для последовательного анализа, поскольку позволяет отдельно исследовать влияние анизотропии обменного взаимодействия на мезоскопическую стоунеровскую неустойчивость. Наиболее интересными результатами этой главы представляются выводы о изменении спиновой восприимчивости как функции температуры - от фермижидкостной зависимости к зависимости типа Кюри с прохождением промежуточной области, которая характеризуется корневой зависимостью. Тем не менее, здесь можно указать на некоторый недостаток, связанный скорее со стилем изложения, чем с характером полученных результатов. А именно, в этой главе фактически отсутствует качественный анализ полученных результатов. Из наиболее нетривиальных выводов второй главы также стоит выделить результат, согласно которому туннельная плотность состояний имеет немонотонность в виде только одного пика, а не двух, как предсказывалось в одной из более ранних работ.

В третьей главе диссертации изучается вопрос о влиянии флуктуаций одночастичного спектра на результаты предыдущей главы. Исследуются только случаи гейзенберговского и изинговского взаимодействий, поскольку сам универсальный гамильтониан может быть строго обоснован лишь в этих случаях. Проблема сводится к вопросу о сходимости спиновой восприимчивости и ее моментов. В результате детального рассмотрения было показано, что флуктуации приводят к существенному уширению пиков мнимой части поперечной спиновой восприимчивости. В то же время,

переход Стоунера не испытывает смещений, так как моменты спиновой восприимчивости остаются конечными.

Четвертая глава, с мой точки зрения, стоит немного особняком и имеет несколько технический характер, что тем не менее не снижает ценности проведенного в ней рассмотрения. В этой главе изучается не изолированная квантовая точка, как в предыдущих главах, а квантовая точка, соединенная с резервуаром туннельным контактом. Для такой системы выведено действие типа Амбегаокара-Эккерна-Шона для полного спина квантовой точки, динамика которого не предполагается адиабатической. При этом приходится отказаться от сохранения стандартных фермионных граничных условий. В итоге, предложенный метод позволяет описывать электроны со взаимодействием через свободные частицы, а информация о взаимодействии сохраняется как раз в граничных условиях. Данные результаты представляют значительный научный интерес, поскольку с их помощью можно описывать динамику системы вне адиабатического приближения.

Достоверность сделанных в диссертации выводов не вызывает сомнений. Диссертант использовал надежные и хорошо подходящие для решения поставленных задач теоретические методы, а также успешно развил их. По результатам диссертации опубликовано три работы в *Physical Review B*. Результаты представлялись на международном симпозиуме «Топология и неравновесность в низкоразмерных электронных системах» (Лезуш, Франция, 2013), на XX Уральской международной зимней школе по физике полупроводников (Екатеринбург, 2014), на международном симпозиуме «Текущие достижения и перспективы в области скейлинга, мультфрактальности, взаимодействий, и топологических эффектов вблизи перехода Андерсона» (Дрезден, Германия, 2014), на международной конференции «Локализация, взаимодействия и сверхпроводимость» (Черноголовка, 2015), а также на ученом совете ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН. Всё это также говорит в пользу адекватности примененных подходов и правильности выводов. Научная и практическая ценности диссертации тоже несомненны, поскольку полученные результаты важны с точки зрения перспектив уменьшения электронных систем и устройств на их основе. Развитые в диссертации подходы (в особенности, в четвертой главе) имеют и самостоятельную научную ценность, так как могут служить основой для описания новых нестационарных явлений в наноструктурах.

Тем не менее, диссертация А.У. Шарафутдинова не лишена некоторых недостатков, по которым можно сделать следующие замечания:

1. В диссертационной работе используется подход, основанный на большом каноническом ансамбле. В то же время, известно, что большой канонический ансамбль для систем с малым числом частиц дает неточные результаты для некоторых величин. Каковы погрешности, связанные с использованием данного подхода, для тех величин, которые изучались в диссертации? Есть ли они?

2. Общее замечание к диссертации: в тексте недостаточное внимание уделено рассмотрению физики исследуемых явлений на качественном уровне. Слабо освещено современное состояние дел в данной области с точки зрения эксперимента, не говоря уже о соотношении полученных в работе теоретических результатов с экспериментами, их возможной проверке. Последняя глава диссертации выглядит несколько технической. Полученные результаты не применяются для решения каких-либо физических задач. Остается надеяться, что это будет сделано в будущем.

3. В диссертации утверждается, что выводы цитируемой работы [N. M. Kiselev, Y. Gefen, PRL (2006)] не являются правильными, поскольку расходятся с результатами вычислений автора. Наверное, следовало бы несколько более подробно остановиться на анализе данной работы, показав конкретно, где содержится ошибка или ошибки.

4. В диссертации с помощью достаточно сложных вычислений продемонстрировано, что флуктуации спектра одночастичных уровней не приводят к смещению стоуновской неустойчивости в случаях гейзенберговского и изинговского взаимодействий. Нет ли каких-либо качественных или иных соображений, которые позволили бы заранее предсказать этот результат? Каково качественное объяснение данного эффекта?

Высказанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации, выполненной на высоком научном уровне, и носят скорее технический характер. Научные выводы диссертации хорошо обоснованы и аргументированы. Диссертационная работа А. У. Шарафутдинова является научно-квалификационной работой, содержащей решение трех фундаментальных задач: 1) о точном решении универсального гамильтониана с анизотропией обменного взаимодействия; 2) о проявлении спиновых корреляций в различных физических характеристиках в случае эквидистантного распределения одночастичных уровней энергии; 3) о влиянии флуктуаций одночастичного спектра на спиновые корреляции. Рассмотренные в

диссертации задачи носят фундаментальный характер, а их решение имеет существенное значение для физики наноструктур и низкоразмерных систем.

Результаты работы могут быть рекомендованы к использованию в организациях, проводящих исследования в области физики твердотельных наносистем (Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН, Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, Институт физики твердого тела РАН, Институт радиоэлектроники им. В. А. Котельникова РАН, Московский государственный университет, Московский физико-технический институт, Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова РАН, Институт физики микроструктур РАН и т.д.).

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Диссертационная работа соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК России к кандидатским диссертациям, а ее автор, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика.

доктор физ.-мат.наук

ведущий научный сотрудник

Федерального государственного унитарного предприятия

"Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н. Л. Духова"

г. Москва, 127055

ул. Сущевская, д. 22

тел.: (499) 978-78-03; e-mail: pogosov@yandex.ru

Погосов Вальтер Валентинович

25 ноября 2015 г.

Подпись В.В. Погосова заверяю

Ученый секретарь ФГУП ВНИИА,

Кандидат техн. наук

Дубовицкий И.

