

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук К. Э. Нагаева
на диссертационную работу Островского Павла Михайловича
"Электронные свойства неупорядоченного графена",
представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук
по специальности 01.04.02 - теоретическая физика

Диссертация П. М. Островского направлена на теоретическое исследование переноса заряда в графене. В ней рассматривается влияние различных типов беспорядка на его среднюю проводимость, дробовой шум и квантовый эффект Холла в нем. Графен представляет собой моноатомный слой углерода с гексагональной кристаллической решеткой, и его электрические свойства вблизи точки зарядовой нейтральности радикально отличаются от других двумерных проводящих систем, поскольку электроны в нем обладают нулевой эффективной массой.

Диссертация состоит из шести глав, введения, заключения и двух приложений. В первой главе строятся модели беспорядка в графене и исследуются его электронный спектр и транспортные свойства вдали от точки Дирака. Во второй главе рассматриваются транспортные свойства графена со слабым беспорядком вблизи точки Дирака. В третьей главе вычисляются распределение прозрачностей и полная статистика переноса заряда при произвольном положении уровня Ферми относительно точки Дирака. В четвёртой главе рассматриваются транспортные свойства графена в случае резонансного рассеяния на примесях и переход от баллистического к диффузионному режиму, когда уровень Ферми находится вблизи точки Дирака. В пятой главе рассматриваются общие вопросы локализации в киральных двумерных металлах на основе репличной нелинейной сигмамодели. В шестой главе вычисляется плотность состояний в двумерном киральном металле с вакансиями.

В диссертации получен ряд очень важных результатов, касающихся минимальной проводимости графена в точке Дирака. В частности, в ней объясняется, почему в этой точке не происходит локализация носителей заряда даже при сильном беспорядке. Оказывается, что такая локализация возможна лишь при наличии рассеяния носителей из одной долины в пространстве квазимпульсов в другую, которое может обеспечиваться

лишь дефектами с короткодействующим потенциалом, например, вакансиями в графене. Другой важный результат - объяснение различий в поведении неупорядоченного графена и двумерного металла со случайным спин-орбитальным взаимодействием. Хотя гамильтонианы обеих систем имеют одинаковую симметрию, в двумерном металле при малой проводимости происходит переход в изолирующее состояние, а в графене - нет. В диссертации построена квантово-полевая теория неупорядоченного графена и показано, что по сравнению со случаем обычного металла со спин-орбитальным взаимодействием, в его эффективном действии возникает дополнительный топологический член, который и препятствует переходу в изолирующее состояние. Отдельно следует упомянуть представленные в диссертации результаты по дробовому шуму в графеновом проводнике конечных размеров при переходе от баллистического к диффузионному режиму. В диссертации получено, что отношение дробового шума к шуму классического пуассоновского процесса, называемое фактором Фано, имеет немонотонную зависимость от размеров проводника. В баллистическом режиме, когда размеры проводника меньше длины свободного пробега, фактор Фано равен $1/3$. Затем он убывает, проходит через минимум при промежуточных размерах, и вновь возвращается к $1/3$ в диффузионном режиме, когда размеры проводника становятся много больше длины свободного пробега. Такое поведение фактора Фано радикально отличается от его поведения в обычных металлических проводниках, в которых он монотонно увеличивается с ростом размеров от нуля до $1/3$.

Большим достоинством диссертации является разнообразие теоретических методов, которые использовались в ней для анализа одного и того же явления. Проводящие свойства графена рассматривались в ней с помощью нелинейной сигмамодели, обычной диаграммной техники и просто с помощью численных методов. Следует отметить высокий технический уровень диссертации.

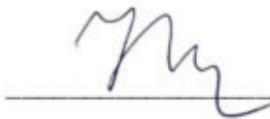
Диссертация написана хорошим языком и легко читается.

В качестве недостатка диссертации можно указать некоторую неполноту решения проблемы проводимости графена. Неупорядоченный графен рассматривается в ней как макроскопически однородный материал, и при этом игнорируются плавные флуктуации химического потенциала, связанные со случайностью распределения дефектов. Между тем, эти флуктуации могут играть важную роль вблизи точки Дирака. Также в

диссертации не содержится оценки величины минимума в зависимости фактора Фано от размеров графенового проводника.

Указанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают ценность диссертации. Она является завершённой научно-квалификационной работой, посвящённой актуальной проблеме. Основные результаты диссертации опубликованы в ведущих международных журналах и широко цитируются. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК, автореферат полностью соответствует её содержанию. Таким образом, по форме и содержанию она отвечает п. 9 Положения о присуждении учёных степеней ВАК РФ, а её автор Островский Павел Михайлович заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика

Официальный оппонент, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, доктор физико-математических наук
Нагаев Кирилл Эдуардович



К. Э. Нагаев
7 июня 2019 г.

Адрес: 125009, Москва, ул. Моховая 11, корп.7

Тел.: +7 (495) 629 3574

E-mail: kirill.nagaev@gmail.com

Подпись Нагаева К. Э. удостоверяю,

учёный секретарь ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН

к. ф.-м.н. Чусов Игорь Иванович



И. И. Чусов
7 июня 2019 г.