

## ОТЗЫВ

на выпускную квалификационную (бакалаврскую) работу Д. А. Борисова  
“Квантовая поправка к проводимости на конечном волновом векторе”

Бакалаврская работа Д. А. Борисова посвящена вычислению двухпетлевой квантовой поправки к проводимости двумерного металла унитарной симметрии на конечном импульсе. Это достаточно техническая работа, содержащая длинное но идейно простое вычисление многочисленных диаграмм для Хиками-боксов с учетом конечного внешнего импульса в токовых вершинах. Полученный результат содержит расхожимость, пропорциональную квадрату логарифма частоты, что несколько необычно для квантовых поправок, поскольку нарушает стандартную картину однопараметрического скейлинга для локализационных эффектов. Но сравнение полученных ответов со скейлинговой теорией нельзя провести непосредственно без еще некоторых дополнительных вычислений. Поэтому полученный ответ не находится в прямом противоречии с теорией локализации. Мне также кажется весьма необычным, что структура зависимости поправки от импульса имеет вид  $\delta_{ij}p^2 + 60p_i p_j$ . Было бы интересно понять, насколько такой вид универсален.

Бакалаврская работа написана аккуратно, очень ясным языком. Ее легко читать и достаточно просто проследить логику проделанных вычислений. Однако следует также указать на ряд существенных недостатков представленной работы. Наиболее важным недостатком, на мой взгляд, является тот факт, что в работе ни слова не говорится о ее научном контексте. Не обсуждается ни мотивация для решения конкретной задачи, ни исходная модель для вычислений, ни возможные следствия из полученных результатов. Вместо этого просто говорится, что работа основана на вычислениях из другой статьи, где была получена двухпетлевая поправка на нулевом внешнем импульсе, и расширяет ее за счет учета ненулевого внешнего импульса. Из-за такого подхода возникает сразу несколько нестыковок, которые могут существенно сказаться на научной достоверности результатов.

1. Вычисленная двухпетлевая поправка на конечном импульсе должна добавляться к результату нулевого порядка, то есть к формуле Друде для проводимости на конечном импульсе. Подобной формулы в дипломной работе попросту нет! Из-за этого невозможно даже до конца понять условия, при которых найденная поправка будет малой. На самом деле, зависимость друдевской проводимости от внешнего импульса целиком определяется вершинной поправкой к оператору тока, которая, в свою очередь, содержит полный диффузионный полюс, то есть существенно зависит как от импульса, так и от частоты.

2. В виду изложенного выше остается совершенно непонятно, почему в работе не учтены вершинные поправки к операторам тока в Хиками-буксах. Казалось бы, такие поправки должны быть еще более существенны, так как они будут содержать квадрат диффузионного полюса.

3. При этом инфракрасные расхожимости в интегралах по импульсам обрезаются конечной частотой, хотя в задаче уже есть другой инфракрасный масштаб, как раз задаваемый внешним импульсом. Следует ли считать, что частота предполагается большой по сравнению с  $Dp^2$ ? Что будет в противоположном случае?

3. Также не ясно, как именно выбирается оператор тока на конечном внешнем импульсе. Скорее всего, для этого нужно брать полусумму импульсов в двух функциях Грина, соединенных с токовой вершиной. В работе этот вопрос никак не обсуждается, но использованные формулы

скорее соответствуют просто пренебрежению разностью этих двух импульсов, то есть случаю, когда внешний импульс равен нулю!

4. Также не понятен выбор диаграмм для шестиугольного Хиками-бокса на рисунке 2. Такой выбор был обоснован для статьи о двухпетловом вкладе на нулевом импульсе, на основе которой написана данная работа. В той статье диаграммы вычислялись частично на баллистических масштабах, поэтому выбор примесных линий внутри Хиками-бокса диктовался предположением о том, в каком из двух диффузонов может проходить большой импульс. Однако в данной работе диффузоны всегда рассматриваются исключительно в пределе малых импульсов. Почему же тогда в шестиугольном Хиками-боксе не учтены другие варианты расположения внутренних примесных линий?

К сожалению, указанные недостатки достаточно существенны и могут поставить под вопрос достоверность полученных результатов. Поэтому требуется дополнительная работа для устранения недочетов и уточнения ответа для зависимости квантовой поправки от внешнего импульса. Тем не менее я считаю, что работа удовлетворяет всем требованиям к выпускной квалификационной работе для бакалавра, а Д. А. Борисов заслуживает присуждения степени бакалавра с оценкой хорошо (7).

Островский Павел Михайлович,  
доктор физ.-мат. наук,  
научный сотрудник  
Института теории конденсированного состояния  
Технологического института Карлсруэ, Германия  
12 июня 2023 г.

