

Отзыв официального оппонента

*на диссертационную работу Степанова Николая Анатольевича
“ФЛУКТУАЦИОННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ И ПЛОТНОСТЬ СОСТОЯНИЙ
В НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКАХ”,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая
физика.*

В диссертации Н.А.Степанова, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика, приведены результаты теоретических исследований флуктуационных явлений в низкоразмерных сверхпроводящих системах. Два основных направления выполненных работ – это физика сверхпроводящих флуктуаций выше критической температуры и плотность состояний в сверхпроводниках со случайно – неоднородным параметром порядка. **Актуальность темы** данных исследований не вызывает сомнений, поскольку принципиальные особенности сверхпроводящих флуктуаций и их вклад в проводимость в нормальном состоянии и физика сверхпроводящего состояния с сильным беспорядком имеют большое фундаментальное значение и являются предметом исследования целого ряда экспериментальных и теоретических групп во всем мире. Работы по этой тематике постоянно появляются в ведущих российских и зарубежных изданиях. **Новизна результатов** также не вызывает сомнений, что подтверждается публикациями в ведущих журналах и имеющимся в тексте постоянным сравнением этих результатов с достижениями других авторов. **Оригинальность методов** заключается в разработке и использовании новых интересных математических подходов в рамках некоторой аналогии одномерной задачи Узделя со случайным параметром порядка и задачей о математическом маятнике, находящимся под действием случайной силы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы, состоящего из 101 наименования, и двух приложений. Она изложена на 136 страницах, включая 19 рисунков.

Во Введении обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цели работы, представлен краткий литературный обзор по рассматриваемой тематике.

В первой главе автор представляет результаты расчетов флуктуационной поправки к проводимости в сверхпроводниках с различной степенью беспорядка. Основной акцент здесь сделан на двумерном случае. Расчеты выполнены с использованием формализма Келдыша. Рассмотрены области вблизи критической температуры T_c сверхпроводящего перехода и вдали от нее. Также исследованы диффузный и баллистический случаи и переход между ними. Здесь следует отметить, что степень новизны данного раздела диссертации следует рассматривать в тесной увязке с предыдущими работами по этой тематике. В грязном пределе часть таких работ была выполнена с использованием мацубаровской техники и дальнейшего применения метода аналитического продолжения, а часть - также в формализме Келдыша (с использованием теории Узаделя или сигма-модели). При этом существенно, что результаты применения мацубаровского и келдышевского подходов оказываются различны, хотя в принципе такие отличия не должны возникать. В результате, эта часть диссертации содержит соответствующее полемическое обсуждение указанных расхождений. В грязном пределе результаты автора расходятся с ответами, полученными ранее с использованием мацубаровской техники, хотя расхождение это относится в основном к поправкам к ведущей асимптотике и сводится к отличиям в числовых коэффициентах. С переходом к чистому пределу расхождения с результатами работ, выполненными в мацубаровской технике становятся более существенными, поскольку они возникают теперь для ведущих асимптотических членов. **Новизна результатов** автора диссертации заключается в наличии несокращающегося вклада в проводимость, пропорционального произведению $T\tau$, где τ – время свободного пробега, а T – температура. Таким образом, автор получает существенно немонотонную зависимость проводимости от температуры выше критической температуры сверхпроводящего перехода. Далеко от критической температуры поправка к проводимости за счет сверхпроводящих флуктуаций оказывается растущей и в рамках использованной модели отсутствует насыщение или ограничение этого роста. Заметим, что предельный переход к бесконечному τ рассмотрен автором уже после устремления в ноль частоты отклика ω и в этом заключается очевидное отличие от предыдущих работ, основанных на методе аналитического продолжения (где сначала берется предел бесконечного τ , а уж затем нулевой ω).

Во второй и третьей главах автор переходит к задаче, постановка которой, по-видимому возникла в качестве формальной аналогии задаче о нахождении плотности

состояний в рамках теории Узаделя для одномерного сверхпроводника со случайно – неоднородным профилем параметра порядка. Речь здесь идет об уравнении, описывающем стохастическую динамику перевернутого маятника под действием случайной силы. Автору удалось предложить математически элегантный **новый подход** для описания статистики траектории управляемого перевернутого маятника под действием случайной горизонтальной силы со статистикой белого шума, который позволил получить полное решение задачи.

В четвертой главе рассмотрено обобщение подхода, развитого в главах 2 и 3 для решений одномерного уравнения Узаделя со случайным параметром порядка. Предложенный автором **новый метод** решения этой задачи представляется интересным и перспективным.

Достоверность основных выводов, сформулированных диссертантом, обеспечивается правильным выбором необходимых теоретических методов исследования, сравнением с предыдущими работами, а также апробацией работы на конференциях и семинарах в ведущих научных центрах. **Новизна и практическая значимость** полученных результатов подтверждаются публикациями в ведущих российских и зарубежных журналах.

Вместе с тем по диссертации можно сделать некоторые замечания.

1. Представляется, что полемическая часть первой главы могла бы быть расширена и сделана более конкретной. В частности, было бы полезно для читателя видеть в тексте сводку формул, полученных автором диссертации и предыдущими исследователями для одинаковых предельных случаев с явным указанием на возникающие расхождения. В какой мере отличия ответов (полученных в диссертации и в предыдущих работах) в чистом пределе связаны только с разным порядком пределов по ω и τ ?
2. Предсказанный в диссертации рост поправки к проводимости, связанной со сверхпроводящими флуктуациями, с увеличением температуры T в области $T \gg T_c$, требует, на мой взгляд, качественного физического объяснения. Представляется необычным, что роль сверхпроводящих корреляций растет при удалении от температуры сверхпроводящей неустойчивости нормального состояния. Какой механизм должен ограничить этот рост?

3. Одномерная теория Узалея, использованная автором содержит случайный сверхпроводящий параметр порядка, характерные масштабы которого предполагаются малыми по сравнению со сверхпроводящей длиной когерентности. В диссертации не учитывается то обстоятельство, что реальный параметр порядка в сверхпроводнике должен быть найден из уравнения самосогласования со случайной константой связи, которая действительно может обладать малыми пространственными масштабами. При этом, однако, пространственные масштабы собственно самосогласованного параметра порядка могут оказаться отнюдь не малыми и быть сравнимыми с длиной когерентности. Необходимо дать обоснование предположению о малости масштабов изменения параметра порядка по сравнению с длиной когерентности и устойчивости этого предположения к процедуре самосогласования.

Отмеченные недостатки, однако, не снижают общей высокой оценки представленной диссертации. В целом, следует отметить, что диссертационная работа Н.А.Степанова демонстрирует высокую квалификацию автора как физика-теоретика и является существенным вкладом в развитие теории флуктуационных явлений в сверхпроводящих системах с различной степенью беспорядка.

Диссертация и автореферат написаны хорошим и понятным языком. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Итак, результаты диссертации представляются достоверными и научно обоснованными, обладают научной новизной, теоретической и практической значимостью. Диссертация представляет собой законченную работу, которая соответствует всем критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней» утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., а её автор, Степанов Николай Анатольевич, заслуживает присвоения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – «теоретическая физика».

4 декабря 2020г.

Мельников Александр Сергеевич,
главный научный сотрудник,
заведующий отделом физики сверхпроводников,
доктор физико-математических наук



Институт физики микроструктур РАН - филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН), Мельников Александр Сергеевич, главный научный сотрудник, заведующий отделом физики сверхпроводников (телефон: +7 910 3929860, e-mail: melnikov@ipmras.ru). Почтовый адрес: 603087, Нижегородская область, Кстовский район, д. Афоново, ул. Академическая, д. 7, ИФМ РАН.

"Подпись А.С. Мельникова удостоверяю"

Ученый секретарь Института физики микроструктур РАН— филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН)

кандидат физико-математических наук



Д.М.Гапонова