

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Я.В. Фомина «Взаимовлияние сверхпроводимости и магнетизма и особенности нечетных по частоте сверхпроводящих состояний», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика.

Диссертация Я.В. Фомина «Взаимовлияние сверхпроводимости и магнетизма и особенности нечетных по частоте сверхпроводящих состояний» состоит из введения, 4-х глав, заключения и 4-х приложений. Название диссертации ориентирует читателя на обсуждение общих вопросов физики макроскопических квантовых явлений, какими являются сверхпроводимость и магнетизм. Следует, однако, сразу заметить, что полученные результаты в большинстве относятся к конкретным объектам – контактам между слоями сверхпроводящих и ферромагнитных металлов, где взаимное влияние этих двух типов упорядочения осуществляется непосредственно, за счет эффектов близости. Тем самым тема диссертации конкретна и очень актуальна. Многие яркие события последних десятилетий в физике конденсированного состояния связаны именно с исследованием явлений на границах между сверхпроводниками и ферромагнетиками. Одним из недавних событий является обнаружение нечетных по частоте сверхпроводящих корреляций на такой границе.

Исследованию нечетных по частоте сверхпроводящих состояний целиком посвящена первая глава диссертации. На возможность существования таких состояний указал В.Л. Березинский в статье, опубликованной в журнале «Письма в ЖЭТФ» в 1974 году, вскоре после открытия сверхтекучести ^3He . В этой статье он предложил нечетное по частоте сверхтекучее состояние в качестве одной из возможных фаз жидкого ^3He именно из-за близости жидкого ^3He к ферромагнетизму. Дальнейшие эксперименты показали, что в однородном ^3He такие состояния не реализуются, однако отсутствие строгого запрета позволяет считать, что нечетное по частоте состояние может возникнуть под действием подходящего возмущения. Новый подъем интереса к нечетной по частоте сверхпроводимости связан с предсказанием и наблюдением триплетных куперовских корреляций на границе обычного (s-волнового) сверхпроводника с неоднородным ферромагнетиком (SF-контакт). Система такого типа рассмотрена в разделе 1.1 диссертации. Здесь изучены свойства дальнедействующей триплетной компоненты, наводимой в ферромагнитной части SF, SFS-контактов и мультikonтактов при наличии в ферромагнитных слоях неелевской доменной стенки. В этой связи очень интересны представленные результаты о протекании джозефсоновского тока через контакты, в частности результат о том, что при достаточной толщине ферромагнитной прослойки она является пи-контактом независимо от конкретной толщины прослойки.

Существование наведенной нечетной по частоте сверхпроводимости в настоящее время не вызывает сомнения. В то же время объемные сверхпроводники с нечетным по частоте куперовским спариванием не обнаружены. Разделы 1.2 и 1.4 посвящены теоретическому исследованию свойств нечетных по частоте сверхпроводников (сверхпроводников Березинского), которые качественно отличаются от аналогичных свойств обычных сверхпроводников. Эти свойства особенно важны для экспериментального распознавания таких сверхпроводников.

В разделе 1.2 изучены особенности андреевского отражения на границе нормальный металл-сверхпроводник Березинского, а в разделе 1.4 – динамический отклик нечетной по частоте компоненты на переменное электромагнитное поле.

Более общие вопросы, связанные с возможностью реализации сверхпроводимости Березинского, обсуждаются в разделе 1.3. Здесь предложена расширенная классификация допустимых симметрией сверхпроводящих состояний с учетом нечетного по частоте куперовского спаривания и возможности парамагнитного отклика ω -нечетных сверхпроводников на внешнее поле. Таких состояний оказалось 8 и для каждого из них обсуждаются возможности его реализации как в качестве устойчивого объемного состояния, так и в качестве наведенного благодаря эффекту близости. Такая классификация и анализ реализуемости разных состояний особенно актуальны в связи с продолжающейся в литературе дискуссией о возможности существования объемной сверхпроводимости Березинского. Точка зрения автора диссертации о невозможности физической реализации такой сверхпроводимости подкреплена вескими аргументами, которые, однако, нельзя считать исчерпывающим доказательством. Представляется, что в этом вопросе рано ставить точку.

Таким образом, в первой главе диссертации Я.В. Фомина получены важные новые результаты, существенно продвигающие современное понимание явления ω -нечетной сверхпроводимости и стимулирующие дальнейшее экспериментальное исследование этого явления.

Наведенная триплетная сверхпроводимость является существенным элементом также и в задачах, рассмотренных во 2-й главе диссертации, посвященной спиновым клапанам. В разделе 2.1 представлено решение задачи о спиновом клапане, в котором ферромагнитные слои находятся по одну сторону от сверхпроводящего. Более далекий ферромагнитный слой влияет на сверхпроводник как раз за счет дальнедействующей триплетной компоненты. Значительный интерес представляет как само решение, предсказывающее различные зависимости критической температуры клапана от взаимной ориентации ферромагнитных слоев, так и анализ совместных казанско-дрезденских экспериментов и последующее развитие теории. В результате достигнуто качественное согласие с экспериментом и дана ясная физическая интерпретация особенностей поведения такого клапана.

В разделе 2.3 представлены результаты теоретического исследования задачи о баллистическом джозефсоновском контакте через СКВИД с магнитными вставками. Такая система интересна как с прикладной, так и с фундаментальной точек зрения. Полуметаллические ферромагнитные вставки в плечах интерферометра позволяют создать ситуацию, когда ток через контакт осуществляется процессами с расщеплением и последующим восстановлением куперовских пар. Это проявляется, в частности в том, что периодичность критического джозефсоновского тока по магнитному потоку удваивается по сравнению с обычным СКВИДом.

В 3-ей главе рассмотрены явления, обязанные взаимному влиянию сверхпроводимости и неупорядоченного магнетизма, когда обменное поле неоднородное и почти во всех примерах (за исключением раздела 3.1) – случайное. Следует иметь в виду, что даже для простейшего случая борновских примесей теория Абрикосова и Горькова предсказывает существенное отличие влияния

магнитных примесей на свойства сверхпроводников от влияния потенциальных примесей. Учет неборновости примесей и конечных корреляций в их расположении приводит к технически сложным задачам, требующим для своего решения продвинутых математических методов. В этой главе диссертации применялись нелинейная сигма модель, уравнения Узаделя и диаграммная техника. Это позволило в частности, найти отклик диффузного сверхпроводника со слабыми неборновскими примесями на электромагнитное поле и исследовать влияние сильных магнитных примесей на плотность состояний в диффузных сверхпроводниках. Существенным достижением является исследование краев спектра за счет флуктуаций, произведенное с использованием инстантонов в технике репличной сигма-модели.

В четвертой главе рассматриваются эффекты кулоновского взаимодействия в гранулированных сверхпроводниках в присутствии магнитного поля. Здесь следует особенно отметить исследование магнитосопротивления гранулированной сверхпроводящей пленки при большой межгранульной проводимости. Интерес к этому вопросу был стимулирован экспериментальным наблюдением гигантского пика в низкотемпературном магнитосопротивлении поликристаллических и аморфных пленок. Рассмотренная в разделе 4.1 модель чередующихся сверхпроводящих и нормальных гранул с небольшим разбросом размеров гранул благодаря особенностям проявления кулоновской блокады в такой системе позволила качественно воспроизвести наблюдаемую зависимость сопротивления пленки от магнитного поля.

Значительный технический интерес представляет также решение задачи о влиянии магнитного поля и кулоновского взаимодействия на эффект близости для гранулы из нормального металла, находящейся в контакте со сверхпроводником. Это решение и полученные результаты составляют содержание раздела 4.2.

Диссертация написана ясным языком и хорошо оформлена. Каждый раздел имеет введение и заключение. Это способствует пониманию текста.

Имеются неизбежные и несущественные опечатки, но их мало. Отмечу лишь одну, которая повторяется и может вызвать непонимание. Слово, которое, как мне кажется, следовало бы писать как «пароразрушающий» (pair-breaking по-английски), пишется как «параразрушающий».

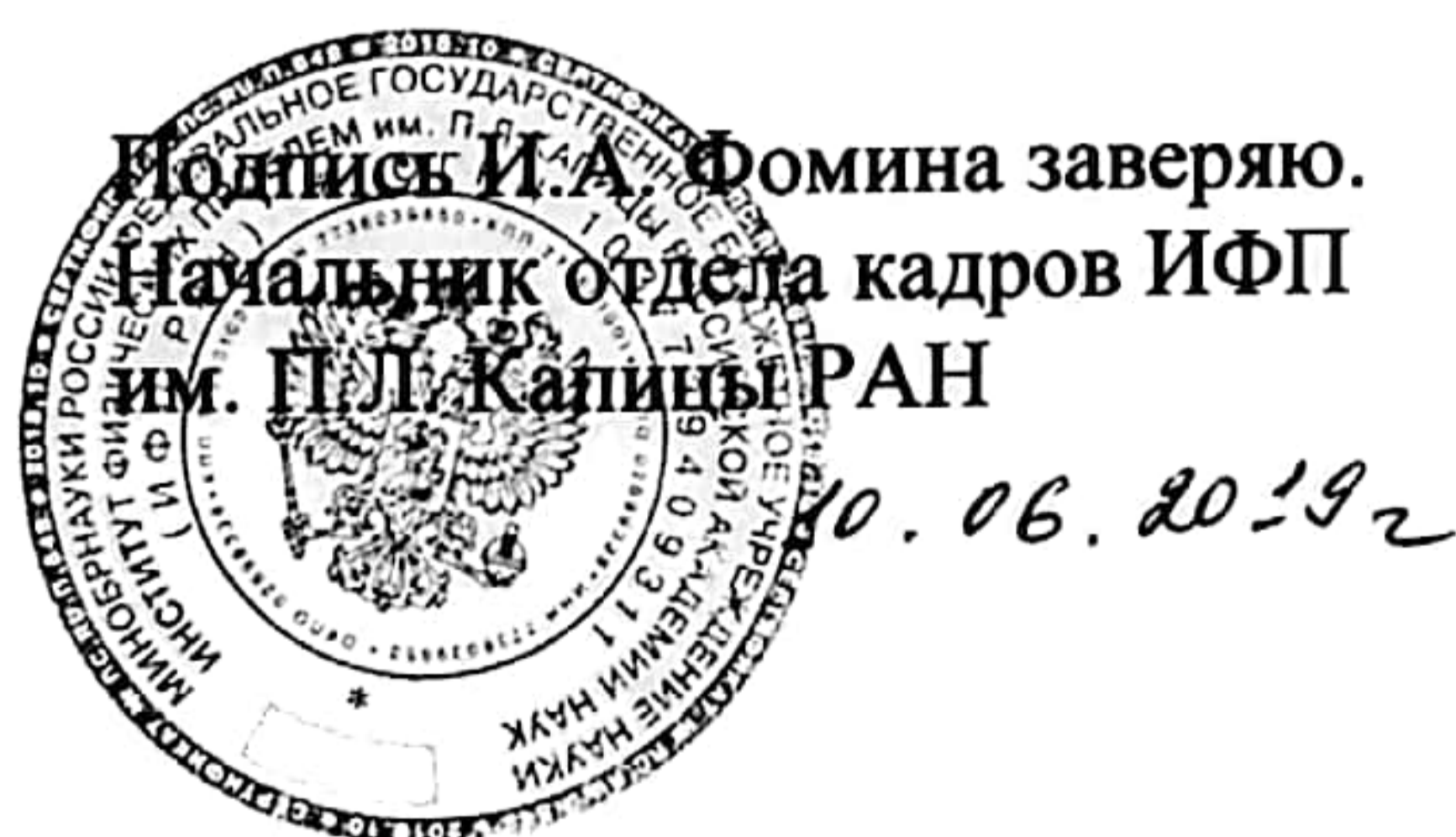
Несколько более существенным является следующее замечание. На стр. 39, перед формулой (1.85) аномальная часть функции Грина пропорциональна вектору в спиновом пространстве. В тексте предлагается считать, что этот вектор направлен вдоль оси z , однако, этот вектор вообще говоря – комплексный и выбор оси z может потребовать пояснений. Разумеется, выбор оси не может повлиять ни на полученный частный результат ни тем более на общую оценку диссертации. В диссертации Я.В. Фомина получены важные результаты в одной из наиболее актуальных областей физики конденсированного состояния. Об актуальности темы убедительно свидетельствует приведенная в диссертации библиография. Она насчитывает 314 названий и в основном состоит из работ, опубликованных за последние 2-3 десятилетия. Важность полученных в диссертации результатов определяется как их значением для фундаментальной науки, так и возможностью их практических применений. Результаты уже применяются и могут применяться в дальнейшем для интерпретации экспериментальных данных. Достоверность и

обоснованность результатов обеспечена применением современных математических методов (квазиклассические уравнения теории сверхпроводимости, функциональное интегрирование с использованием реплик и суперсимметрии и т.п.) и сравнением там, где это возможно, с экспериментом, а также с результатами численных расчетов и работами других авторов. Все вынесенные на защиту результаты являются новыми. Они опубликованы в виде 20 оригинальных статей в ведущих физических журналах (Phys. Rev. B; Phys. Rev. Letters; ЖЭТФ; Письма в ЖЭТФ и др.) и докладывались на представительных международных конференциях и семинарах. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

На основании сказанного считаю, что диссертация Я.В. Фомина «Взаимовлияние сверхпроводимости и магнетизма и особенности нечетных по частоте сверхпроводящих состояний» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к докторским диссертациям, а ее автор Я.В. Фоминов заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук.

10 июня 2019 г.

Фомин Игорь Акиндинович,
доктор физико-математических наук,
профессор, член-корреспондент РАН,
главный научный сотрудник
ФГБУН Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН,
119334, г. Москва, ул. Косыгина, д. 2.
Тел. +7 (499) 137 7985
e-mail: fomin@kapitza.ras.ru



Подпись И.А. Фомина заверяю.
Начальник отдела кадров ИФП
им. П.Л. Капицы РАН

10.06.2019 г.

/Л.Н. Модестова/