

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу

Погосова Вальтера Валентиновича

**«Сверхпроводники и разреженные сверхтекучие бозе-системы:
от микро- к макроуровню»,**

представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 1.04.02 – Теоретическая физика.

Диссертационная работа В. В. Погосова посвящена теоретическому исследованию сверхпроводимости и родственных явлений в наноразмерных системах, а также пониманию того, как макроскопические свойства системы возникают по мере увеличения ее размеров.

Общая характеристика диссертации. Диссертация объемом в 332 страницы состоит из пяти глав, одного приложения, заключения и списка литературы (280 наименований). Главы диссертации носят наименования: (1) Введение; (2) Куперовское спаривание в подходе Ричардсона; (3) Вихревое состояние и флуктуации в системах малого размера; (4) Вихревые решетки в сверхпроводниках: намагниченность, пиннинг, структура; (5) Коммутационная техника для экситонов Френкеля.

По материалам исследований автором опубликовано 30 научных работ в рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК. Основные результаты неоднократно представлялись автором на отечественных и международных научных форумах.

Тема диссертации. Тема диссертационной работы связана с изучением нано-размерных и наноструктурированных бозе систем - сверхпроводников, бозе-конденсатов в разреженных газах атомов щелочных металлов в магнитных и оптических ловушках, молекулярных экситонов в органических агрегатах, высокотемпературных сверхпроводников и т. д.. Во многих из перечисленных случаев, в диссертации рассматриваются системы, находящиеся в переходном режиме от микро- к макроуровню.

Актуальность тематики. Эта тематика приобретает все большую актуальность в связи с бурным развитием методов миниатюризации и привлекает огромный интерес исследователей. Помимо интереса с точки зрения фундаментальной науки исследования в этом направлении, безусловно, перспективны и для технологических приложений (сверхпроводниковая электроника, органическая электроника, увеличение критического тока сверхпроводника за счет введения наноразмерных дефектов и т.д.).

Объектами исследования в диссертационной работе являются различные системы, имеющие прямое отношение к экспериментально изучаемым наноструктурам малого размера – сверхпроводникам и конденсатам разреженных газов атомов щелочных металлов в ловушках, одиночным вихрям и вихревым решеткам в сверхпроводниках второго рода, экситонам Френкеля (в частности, в органических полупроводниках). Объединяющей идеей при рассмотрении этого широкого круга объектов является выяснение вопроса о том как свойства систем меняются при переходе от микроуровня к макроуровню.

Новизна. В диссертации получено множество новых результатов. Автором предложен новый подход к нахождению решений уравнений Ричардсона в термодинамическом

пределе. Выведена формула для энергии основного состояния системы, применимая вдоль всего перехода от макро- до ультрамалых систем. Исследованы вихревые фазовые диаграммы мезоскопических сверхпроводников, гибридных структур “сверхпроводник-ферромагнетик” и бозе-конденсатов атомов щелочных металлов; предложен механизм проникновения вихрей в конденсат через образование пар “вихрь-антивихрь”; построена модель термоактивационного проникновения вихря в ультрамалый сверхпроводящий островок. Для конденсатов атомов щелочных металлов предсказано существование сильных температурных флуктуаций разностей фаз между различными компонентами параметра порядка. Рассчитаны температуры плавления вихревых кластеров в скалярных конденсатах и выявлена их сильная зависимость от симметрии таких кластеров. Проведен анализ пиннинга на вихрях и вихревых решетках в сверхпроводниках II рода, проанализированы динамические режимы, возникающие при пропускании через систему тока. Предложено многочастичное описание для экситонов Френкеля. Рассчитана энергия основного состояния системы в первом приближении по взаимодействию экситонов.

Полученные автором теоретические результаты имеют непосредственное отношение к экспериментам, объясняя существующие результаты (представлявшиеся ранее загадочными), либо предсказывая новые результаты, допускающие экспериментальную проверку. Так, например, дано объяснение экспериментально наблюдаемого подавления магнитного гистерезиса в ультрамалых островках из свинца. Предложенная вариационная модель может применяться для вычисления измеряемой в экспериментах обратимой намагниченности сверхпроводника второго рода, во всем диапазоне полей между первым и вторым критическими полями. Вычислено среднее время проникновения вихря, важное для работы сверхпроводников в динамическом режиме. Исследованы критические токи в присутствии периодической системы центров пиннинга с учетом межвихревого отталкивания, приводящего к существованию необычных фаз.

В *Главе 1 (Введение)* обоснована актуальность тематики, дан краткий исторический и литературный обзор, характеризующий этапы развития науки по соответствующим направлениям, сформулированы постановленные задачи, основные цели работы, показана их научная новизна и практическая значимость, приведены положения, выносимые на защиту, кратко изложена структура диссертационной работы.

В *Главе 2 (Куперовское спаривание в подходе Ричардсона)* описаны разработанные автором новые аналитические методы решения уравнений Ричардсона, которые могут применяться для изучения различных систем со спаренными фермионами. Метод Ричардсона позволяет найти точное решение многочастичного уравнения Шрёдингера для потенциала типа БКШ, в представлении с фиксированным числом частиц. Выявлено существование нового масштаба энергии, гораздо меньшего сверхпроводящей щели Δ . Для ультрамалых систем, как показано автором, этот дополнительный энергетический масштаб проявляется в явном виде и имеет ясный физический смысл энергии связи единичной пары.

В *Главе 3* диссертационной работы исследуются свойства сверхпроводников малых размеров и сверхтекучих конденсатов атомов щелочных металлов, размеры которых сопоставимы с длиной когерентности. Автор в этой главе развивает методы решения уравнений Гинзбурга-Ландау и Гросса-Питаевского для вихревого состояния в таких системах, основанных на использовании пробных функций. С их помощью исследуется целый ряд задач о равновесных свойствах систем малых размеров. В частности, рассматривается задача о магнитной точке в центре сверхпроводящего кольца. Теоретически объяснены эксперименты по изучению таких наносистем и обсуждено их возможное применение в низкотемпературной электронике. Рассмотрено

термоактивационное проникновение вихря в низкотемпературный сверхпроводник малых размеров, а также возможность преодоления поверхностного барьера вихрем за счет квантовых флуктуаций. Изучены механизмы формирования вихря во вращающихся конденсатах атомов щелочных металлов в ловушках. Все эти рассмотренные задачи имеют прямое отношение к экспериментам.

В *Главе 4* диссертационной работы изучаются свойства вихревых решеток в сверхпроводниках макроскопического размера. Автором предложена вариационная модель, позволяющая найти обратимую намагниченность сверхпроводника второго рода во всем диапазоне внешних полей между нижним и верхним критическими полями. Этот результат является одним из важнейших практических результатов работы и востребован для описания результатов измерений, которые проводятся, в частности, для определения глубины проникновения поля.

В *Главе 5* диссертационной работы рассматриваются экситоны Френкеля. С этой целью автором специально создана теории многих тел, развивающая теорию многих тел для экситонов Ванье-Мотта, в которой точно учитывается фермионная статистика для составляющих экситоны электронов и дырок. Показано, что в отличие от экситонов Ванье-Мотта, экситоны Френкеля имеют сходство с куперовскими парами, вследствие того, что они состоят из электронно-дырочных пар на одном узле в реальном пространстве, тогда как потенциал теории БКШ для куперовских пар спаривает электроны двух сортов со строго противоположными импульсами в импульсном, а не реальном пространстве.

В *Приложениях* приводятся детали проведенных вычислений.

В. В. Погосов. в диссертационной работе по всем перечисленным направлениям провел глубокие и обширные теоретические исследования, сочетая их с глубокой интерпретацией имеющихся экспериментальных данных. Важным достоинством диссертации Погосова является постоянное сопоставление полученных теоретических результатов с экспериментами и с имеющимися результатами численного моделирования, выявление недостатков предшествующих вычислений и анализ их причин. С этой точки зрения диссертация имеет большую педагогическую ценность. Замечательная особенность диссертации состоит в единообразном подходе к большому числу казалось бы разнородных задач, в которых автору удается выявить глубокие физические аналогии. Теоретические результаты автора не только объяснили ряд казавшихся загадочными экспериментальных результатов, но и служат стимулом для постановки новых экспериментов по проверке теоретических предсказаний автора. Последнее обстоятельство делает диссертационную работу особенно ценной для экспериментаторов в данной области. Достоверность полученных в работе результатов гарантируется надежностью применявшихся разнообразных аналитических методов, согласием с теоретическими результатами, полученными в других работах, и согласием с данными физических и численных экспериментов, выполненных другими авторами.

Некоторые замечания, которые можно сделать по тексту диссертации:

1. В главе 3 для исследования сверхпроводимости в мезоскопических образцах с размерами порядка длины когерентности используется теория Гинзбурга-Ландау. Остается не вполне ясным, насколько оправданно применение этой теории для столь малых образцов, и насколько велика привносимая ошибка.
2. В главе 4 было бы уместно сравнить результаты для обратимой намагниченности

сверхпроводника, полученные с использованием вариационного метода, с доступными из литературы экспериментальными данными.

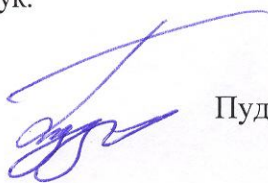
3. В разделе 3.2.2 (стр.103) рассматривается конкретный эксперимент, но его схема описывается словами, а не пояснена рисунком, что неудобно для читателя.
4. В разделе 4.2.2 на стр.218 упоминается вставка к рисунку 4.1, однако на этом рисунке вставки нет.
5. Не вполне корректно автор пытается вводить новые псевдо-русские термины вместо англоязычных. Так, например, вместо английского термина "pancake", для которого существует русский термин "блинчик", автор вводит нечто совсем неподобающее - "пенкэйк"

Эти замечания, однако, носят скорее характер пожеланий для развития теоретических исследований автора и для полировки текста, который мог бы составить монографию. Они несколько не умаляют общей высокой оценки диссертации, представляющей собой неординарное теоретическое исследование, открывающее новое направление в исследовании сильно-коррелированных наноразмерных систем с тенденцией к бозе-конденсации или сверхпроводящему спариванию. Результаты работы могут быть использованы в ведущих научных центрах, таких как Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, ИФП им. П. Л. Капицы РАН, ИФТТ РАН, Институт физики микроструктур РАН, Институт физики металлов УрО РАН, Институт физики полупроводников СО РАН, Московский Государственный Университет им. М. В. Ломоносова, Новосибирский Государственный Университет, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт». Основные результаты диссертации В. В. Погосова были опубликованы в 30 статьях в ведущих российских и иностранных научных журналах, включая Physical Review Letters, Europhysics Letters, Progress in Theoretical Physics, Physical Review A, Physical Review B, а также докладывались автором на многих российских и международных конференциях.

Автореферат правильно и полностью отражает содержание диссертации. Диссертация Погосова Вальтера Валентиновича «Сверхпроводники и разреженные сверхтекучие бозе-системы: от микро- к макроуровню», является выдающимся научным исследованием, соответствующим монографии по широте круга рассматриваемых вопросов и глубине их анализа. Диссертация полностью удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, безусловно, заслуживает присвоения Ученой степени доктора физико-математических наук.

Доктор физико-математических наук
Главный научный сотрудник,
Заведующий отделом
Отделения физики твердого тела
Физического института им. П.Н.Лебедева РАН

30 мая 2014 г.



Пудалов В.М.

Подпись В.М. Пудалова удостоверяю.
Ученый секретарь ФИАН,
д.ф.-м.н.



С.А. Богачев