

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ**

им. Л.Д. ЛАНДАУ

РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

142432, Московская обл., г. Черноголовка,

просп. Академика Семенова, д. 1-А

тел.: +7 (495) 702-93-17

e-mail: office@itp.ac.ru

"УТВЕРЖДАЮ"

Временно исполняющий
обязанности директора

Института теоретической физики
им. Л.Д. Ландау РАН

И.В. Колоколов



7 » мая 2019 г.

О Т З Ы В

ведущей организации на диссертационную работу

Солдатов Аркадия Александровича

«Полярная фаза ^3He в нематическом аэрогеле»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.09 – «Физика низких температур».

Сверхтекучесть жидкого ^3He объясняется куперовским спариванием атомов ^3He со спином пары и угловым орбитальным моментом, равными 1. Это приводит к разнообразию его свойств и возможности существования до 18 различных сверхтекучих фаз. В объемном ^3He в отсутствие магнитного поля реализуются только две из них – А и В фазы. Жидкий ^3He является идеальным объектом для исследования влияния примесей на такую нестандартную сверхтекучесть: его поверхность Ферми имеет вид идеальной сферы, а сверхтекучие свойства объемного ^3He хорошо изучены и хорошо согласуются с теорией. В первых экспериментах для изучения влияния примесей на сверхтекучий ^3He использовались изотропные кремниевые аэрогели, где было установлено, что фазовая диаграмма претерпевает лишь количественные изменения, по сравнению со случаем объемного ^3He . Первыми, кто стал использовать сильно анизотропные аэрогели, оказались члены экспериментальной группы во главе с В.В. Дмитриевым из Института физических проблем им. П.Л. Капицы РАН. Они стали изучать ^3He в так называемом нематическом аэрогеле, который состоит из нитей, ориентированных преимущественно вдоль одного направления. В первых экспериментах использовались образцы нематического аэрогеля, состоящие из нитей аморфного гидроксида алюминия (синтезированные в г. Обнинск). Было обнаружено, что в этом аэрогеле сверхтекучая фазовая диаграмма претерпевает качественные изменения, и становятся выгодными новые фазы – полярноискаженные А и В фазы. Согласно теории Аоямы и Икеды,

топологически новая сверхтекучая фаза – полярная фаза – должна стать выгодной вблизи температуры сверхтекучего перехода ^3He в нематическом аэрогеле. Однако, степень глобальной анизотропии обнинского аэрогеля оказалась недостаточной, для того чтобы ее наблюдать. Полярная фаза отличается от ранее открытых сверхтекучих фаз тем, что имеет линию нулей в спектре фермионных квазичастиц в объеме и уникальный бездисперсионный спектр поверхностных Майорановских мод.

Диссертационная работа А.А. Солдатова, посвящена экспериментальному исследованию нормального и сверхтекучего ^3He в новом наноматериале, который называется нафен. Нафен – это нематический аэрогель, состоящий из нитей кристаллического оксида алюминия. Измерения анизотропии коэффициента спиновой диффузии нормального ^3He в образцах нафена, выполненные А.А. Солдатовым, показали, что нафен более анизотропный, чем обнинский аэрогель. В результате экспериментов по непрерывному и импульсному ядерному магнитному резонансу (ЯМР) в ^3He в нафене А.А. Солдатовым были найдены неопровержимые доказательства существования полярной фазы. Ключом к этому открытию явилось использование в экспериментах образцов нафена различной пористости. Также было установлено, что граничные условия для отражения квазичастиц ^3He на поверхности нитей играют важную роль для стабилизации полярной фазы в нафене.

Структура диссертации А.А. Солдатова полностью соответствует рекомендациям ВАК. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения. Общий объем диссертации составляет 86 страниц, включая 32 рисунка, 2 таблицы, список публикаций и список литературы. Оригинальные результаты, выносимые на защиту, содержатся в 3-5 главах.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели, приведены положения, выносимые на защиту, отмечены научная новизна и значимость результатов работы, даны сведения об апробации работы.

В первой главе рассмотрено устройство параметра порядка сверхтекучего ^3He , приведены фазовая диаграмма объемного ^3He и параметры порядка А и В фаз. Описаны свойства А, полярноискаженной А и полярной фаз, принадлежащих к классу Equal Spin Pairing (ESP). В ESP фазе проекция спина куперовской пары на выделенное направление может принимать только значения +1 или -1. Выписаны основные уравнения спиновой динамики ESP фаз сверхтекучего ^3He в нематическом аэрогеле, необходимые для обработки экспериментальных результатов и идентификации сверхтекучих фаз.

Во второй главе описан криостат ядерного размагничивания для получения сверхнизких температур и цикл работы с ним. Приведены схема экспериментальной ячейки, условия эксперимента и характеристики

используемых образцов аэрогеля. Описаны схемы спектрометров непрерывного и импульсного ЯМР, которые используются в экспериментах.

В третьей главе приведены результаты экспериментов по измерению коэффициента спиновой диффузии нормального жидкого ^3He в разных образцах нафена в пределе нуля температур. Обнаружено, что диффузия ^3He вдоль нитей нафена в 3-8 раз больше, чем поперек нитей (в зависимости от образца), что говорит о величине глобальной анизотропии используемых образцов.

В четвертой главе построены фазовые диаграммы сверхтекучего ^3He в разных образцах нафена при предварительном покрытии нитей нафена 2.5 атомными слоями ^4He . Последнее позволяет убрать слой парамагнитного твердого ^3He с поверхности нитей, который мешает интерпретации экспериментов. Подробно доказывается существование полярной фазы в нафене. При охлаждении в ^3He в образце нафена плотностью 90 мг/см³ происходит сверхтекучий переход в полярную фазу, а при дальнейшем охлаждении – переход 2-го рода в полярноискаженную А фазу. В более плотном образце нафена плотностью 243 мг/см³ полярная фаза занимает всю фазовую диаграмму. Также приводится новый аргумент в пользу того, что полярная фаза не наблюдалась в ранних экспериментах с обнинским аэрогелем.

В пятой главе показано, как фазовая диаграмма сверхтекучего ^3He в нафене меняется, если использовать изотопически чистый ^3He . В последнем случае квазичастицы жидкого ^3He имеют диффузный характер отражения от нитей и возникает еще и магнитный канал рассеяния. Показано, что полярная фаза в чистом ^3He в нафене уже не реализуется, а температура сверхтекучего перехода подавлена сильнее, чем в случае предварительного покрытия нитей нафена пленкой ^4He . Высказано предположение о том, что магнитный канал рассеяния может быть причиной наблюдаемых изменений.

В качестве замечаний можно упомянуть следующее:

На странице 51 отмечается, что отношение продольной и поперечной диффузии намного превышает единицу, что свидетельствует о зеркальном характере отражения квазичастиц сверхтекучего ^3He . Нам представляется, что конечная величина этого отношения позволяет сделать оценку неупорядоченности нитей аэрогеля, что в работе не сделано.

На странице 57 приводятся фазовые диаграммы сверхтекучего ^3He в нафене-243 и нафене-90, которые имеют существенно различный вид. Между тем, в диссертации отсутствуют оценки для зависимости области существования полярной фазы от плотности нафена, которые были бы полезны для понимания физических условий ее реализации.

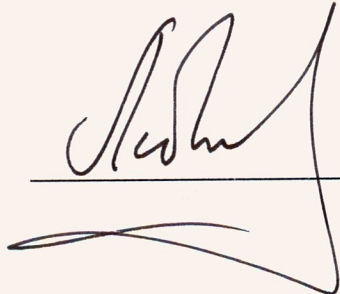
Эти замечания, однако, не влияют на общую высокую оценку работы А.А. Солдатова. Полученные результаты полностью актуальны, имеют фундаментальное значение для физики магнитных систем, физики сверхтекучих и сверхпроводящих систем с нетривиальным куперовским

спариванием и открывают новые направления исследований. Полученные в диссертации результаты могут быть использованы в ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН, ИФТТ РАН, ННГУ им. Н.И. Лобачевского, ИФМ РАН, ФИ РАН.

Диссертация А.А. Солдатова в целом представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу, которая выполнена на современном уровне научных исследований. Научные положения и выводы сформулированы на основе результатов, полученных в рамках общепринятой теории. Результаты работы соответствуют передовому мировому уровню, представлены в трех научных статьях в ведущих реферируемых научных журналах, докладывались на международных и российских конференциях и хорошо известны специалистам в России и в мире. Публикации автора достаточно точно отражают содержание и основные результаты диссертации. Все вышеперечисленное свидетельствует о достоверности полученных результатов и сделанных на их основании выводов. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации. Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.09 – “Физика низких температур”.

Отзыв был заслушан и утвержден на заседании Ученого совета Федерального Государственного Бюджетного Учреждения Науки Института теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН 17 мая 2019 г., протокол № 17.

Отзыв составил
Главный научный сотрудник
ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН,
доктор физ.-мат. наук,
член-корреспондент РАН
E-mail: lebede@itp.ac.ru
Тел.: +7-495-7029317



В.В. Лебедев

Подпись В.В. Лебедева удостоверяю.

Ученый секретарь
ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН,
кандидат хим. наук



С.А. Крашаков