

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Солдатова 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».

Исследование сверхтекучести и сверхпроводимости является одной из важнейших задач в физике конденсированного состояния. В сверхтекучем ^3He триплетное спаривание приводит к сложному виду волновой функции и широкому разнообразию сверхтекучих свойств. Изучение влияния примесей на такую систему является актуальным и представляет большой интерес с фундаментальной точки зрения. Полученные знания могут быть полезны для объяснения сверхпроводимости в нестандартных сверхпроводниках, где всегда присутствуют примеси. В качестве примесей в сверхтекучем ^3He используют высокопористый материал – аэрогель. Известно, что если аэрогель изотропный, то наблюдаемые сверхтекучие фазы ^3He остаются прежними (А и В фазы), и имеет место заметное подавление температуры сверхтекучего перехода. При использовании же сильно анизотропного аэрогеля – нематического аэрогеля (состоящего из нитей почти параллельных друг другу) – ситуация должна измениться. Вблизи температуры сверхтекучего перехода должна быть выгодна новая сверхтекучая фаза ^3He – полярная фаза. Ее сверхтекучая щель обращается в 0 на экваторе сферы Ферми (в плоскости, перпендикулярной направлению нитей), а не в полюсах, как в А фазе.

Диссертация А.А. Солдатова посвящена исследованию как нормального, так и сверхтекучего ^3He в нафене – новом типе нематических аэрогелей с нитями кристаллического Al_2O_3 . Сначала в экспериментах по измерению спиновой диффузии нормального жидкого ^3He А.А. Солдатовым была измерена величина анизотропии эффективной длины пробега квазичастиц ^3He в различных образцах нафена, что дает информацию о величине глобальной анизотропии используемых образцов. Далее проведены исследования сверхтекучего ^3He в образцах нафена различной плотности методами непрерывного и импульсного ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Приведен подробный анализ данных и доказано существование полярной фазы в нафене. Исследование завершается работой, где показано влияние граничных условий на сверхтекучую фазовую диаграмму ^3He в нафене.

Структура диссертационной работы А.А. Солдатова полностью соответствует рекомендациям ВАК и состоит из введения, пяти глав и

заклучения. Общий объем диссертации составляет 86 страниц и включает 32 рисунка, 2 таблицы, список публикаций и список литературы.

Материал диссертации изложен следующим образом:

Во введении дается краткое описание целей диссертационной работы, обоснование ее актуальности и новизны, дан список положений, выносимых на защиту, и сведения об апробации работы, перечислены основные результаты.

Первая глава является кратким обзором рассмотренных в диссертации проблем и является важной для понимания диссертационной работы в целом. Здесь приведены существующие представления об исследуемом объекте – сверхтекучем ^3He , рассмотрено влияние аэрогеля и его анизотропии на сверхтекучие свойства ^3He . Также кратко дан вывод теоретических формул для сдвига частоты ЯМР, ожидаемых в нематическом аэрогеле сверхтекучих фаз, что используется в дальнейшем для идентификации наблюдаемых сверхтекучих фаз в нафене.

Вторая глава посвящена описанию экспериментальной установки и особенностям работы при сверхнизких температурах. Описаны образцы нематического аэрогеля, которые использовались в экспериментах, и приведены схемы спектрометров ЯМР.

В третьей главе приведены результаты экспериментов по спиновой диффузии нормального жидкого ^3He в некоторых образцах нафена. Измерена величина анизотропии коэффициента спиновой диффузии в нафене в пределе нуля температур, что дает информацию о степени глобальной анизотропии используемых образцов нафена.

В четвертой главе описываются эксперименты по непрерывному и импульсному ЯМР в ^3He образцах нафена плотностью 90 и 243 мг/см³. Несмотря на то, что используемые образцы нафена сильно отличаются по плотности, детально показано, что в обоих образцах реализуется полярная фаза: в менее плотном образце она находится вблизи температуры сверхтекучего перехода, а в более плотном образце занимает всю область фазовой диаграммы ниже температуры сверхтекучего перехода.

В пятой главе рассматривается влияние граничных условий для рассеяния квазичастиц ^3He на сверхтекучесть ^3He в нафене. В отличие от экспериментов в третьей и четвертой главах, где использовалось предварительное покрытие нитей нафена 2.5 атомными слоями ^4He , здесь приводятся результаты экспериментов в чистом ^3He в различных образцах нафена. В этом случае на поверхности нитей аэрогеля возникает слой твердого парамагнитного ^3He , что влияет на граничные условия. Показано,

что полярная фаза уже не наблюдается в чистом ^3He , а подавление температуры сверхтекучего перехода заметно больше, чем в случае с предварительным покрытием нитей нафена несколькими монослоями ^4He .

В диссертационной работе получен ряд новых и важных открытий. Наиболее ярким результатом является **первое наблюдение полярной фазы** (а по сути дела открытие новой фазы сверхтекучего ^3He научной группой академика Дмитриева В.В.), которая в объемном ^3He невыгодна и ранее не наблюдалась. Также важным оказалось то, что для стабилизации полярной фазы в нафене необходимо покрывать нити нафена пленкой ^4He , чтобы создать (почти) зеркальные граничные условия для отражения квазичастиц ^3He на поверхности нитей. Таким образом, новизна полученных результатов не вызывает сомнений. Успеху исследований А.А. Солдатова способствовало то, что был использован широкий спектр методов ЯМР и ряд образцов, отличающихся по плотности (пористости). При этом использовались разные ориентации магнитного поля, что особенно важно в проведенных исследованиях, так как из-за анизотропии аэрогеля свойства ЯМР сильно от этого зависят.

Обоснованность и достоверность основных выводов диссертации определяется высоким уровнем использованной экспериментальной техники, тщательной подготовкой образцов и всесторонним анализом результатов на базе имеющихся теоретических подходов, которые хорошо согласуются с независимыми экспериментальными данными. Автору удалось продемонстрировать высокий уровень экспериментальной работы, эффективность применяемых методов. Отмечу, что экспериментальные исследования при сверхнизких температурах являются трудоемкими. Несмотря на это, описанные в работе эксперименты были проведены в широком диапазоне температур, давлений и магнитных полей, причем использовались разнообразные методы ЯМР.

В целом диссертационная работа оставляет очень хорошее впечатление, хотя у меня и есть некоторые замечания по оформлению и изложению:

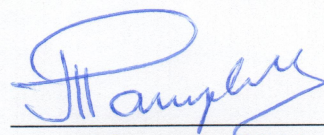
1. На странице 6 указано, что измерена анизотропия спиновой диффузии ^3He в образцах нафена, но не указано при каких температурах.
2. На странице 14 приведено гиромантическое отношение для ядер гелия-3 со знаком плюс, когда как на самом деле знак минус. Казалось бы ничего страшного, так как резонансные частоты ЯМР получаются правильные, однако знак минус означает тот факт, что ядерный спин гелия-3 будет ВСЕГДА направлена против приложенного поля. А это обязательно надо учитывать при рассмотрении ЯМР ^3He в анизотропных средах, таких как нематический аэрогель.
3. На странице 22 на определен третий угол Эйлера - гамма.

4. На странице 33 нет объяснения тому, что "изотоп ${}^4\text{He}$ замещать твердый ${}^3\text{He}$ на поверхности твердотельного субстрата"

Отмеченные замечания, однако, не являются существенными. Я считаю, что диссертационная работа А.А. Солдатова является законченной научно-исследовательской работой и представляет актуальный цикл исследований, выполненный на самом современном международном научном уровне. Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям диссертации, а основные результаты опубликованы в ведущих мировых и отечественных научных журналах, докладывались на основных международных и отечественных конференциях по физике квантовых жидкостей и низких температур и уже получили мировое признание. Полученные в диссертации результаты могут быть использованы в ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН, ИФТТ РАН, ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, ИФМ РАН, ФИ РАН, ННГУ им. Н.И. Лобачевского.

Таким образом, диссертация А.А. Солдатова полностью соответствует всем требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.09 – "Физика низких температур".

*Заведующий кафедрой
Казанского (Приволжского)
федерального университета,
доктор физ.-мат. наук, профессор*


М.С. Тагиров
« 15 » мая 2019 г.

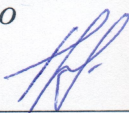
Почта: 420008, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18,
Учебное здание №01 (Главный корпус университета)
Тел.: 2-33-73-55
E-mail: murat.tagirov@gmail.com

Подпись профессора М.С. Тагирова подтверждаю.

Ведущий документовед

*Казанского федерального
университета*





Габдурахманова А.Р.

« 15 » мая 2019 г.