

«Утверждаю»
проректор МГУ имени М.В. Ломоносова,
профессор А.А. Федянин



«21» марта 2017 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации - Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» на диссертационную работу Григорьева Алексея Дмитриевича «Поверхностные состояния атомов гелия и нейтронов над жидким гелием», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния

Электронные системы над поверхностью жидкого гелия представляют собой идеальные электронные наносистемы, и их изучение продолжает оставаться **актуальным**. Пары гелия и все виды возбуждений на поверхности жидкого гелия оказывают влияние на время когерентности элементов электронных систем над поверхностью гелия. А.Д. Григорьевым предлагается исследование относительно нового вида поверхностных возбуждений, называемого сюрфонами. Кроме влияния на поверхностные электронные состояния, этот тип поверхностных возбуждений влияет на многие свойства поверхности жидкости. В работах А.Д. Григорьева построена теоретическая модель сюрфонов и проанализировано их влияние на коэффициент поверхностного натяжения обоих изотопов жидкого гелия. Аномальная температурная зависимость коэффициента поверхностного натяжения этих изотопов гелия оставалась нерешённой проблемой на протяжении нескольких десятков лет, и учёт влияния этого нового типа поверхностных возбуждений позволил найти её решение. Кроме того, изучение поверхности криогенной жидкости позволило предложить создание нового типа нейтронных ловушек. Предложенная в работе А.Д. Григорьева идея создания нейтронных ловушек, основанных на связанных состояниях ультрахолодных нейтронов над поверхностью жидкого He-4, а также приведённые теоретические оценки времени рассеяния связанных состояний ультрахолодных нейтронов над поверхностью жидкого гелия на всех типах поверхностных возбуждений, в том числе на сюрфонах, позволили обосновать перспективность этого типа нейтронных ловушек. В работах А.Д. Григорьева предложено единое, согласованное рассмотрение совокупности обозначенных проблем. Эти результаты составили содержание его диссертации.

Обоснованность научных положений, выводов, рекомендаций и заключений, полученных в диссертации, подтверждается публикациями результатов в рецензируемых журналах.

Первая глава диссертации даёт общее введение. В частности, описана проблема аномальной температурной зависимости жидкого гелия, введено понятие связанных состояний атомов гелия над поверхностью жидкости того же изотопа гелия (сюрфонов над гелием), а также описаны эксперименты и численные расчёты показывающие существование сюрфонов. Кроме того, даётся мотивация исследования поведения ультрахолодных нейтронов над поверхностью жидкого гелия.

Вторая глава диссертации посвящена построению и исследованию из первых принципов квантовой модели сюрфонов. Эта модель рассматривает связанное состояние атома гелия над поверхностью гелия в приближении непрерывной среды. После первичной оценки энергии активации сюрфона оценивается влияние образуемой сюрфоном лунки на поверхности жидкого гелия. При этом лунка не только оказывает влияние на энергию активации сюрфона, но и приводит к появлению у сюрфона эффективной массы отличной от массы атомов жидкости. Расчёты произведены для обоих изотопов гелия.

В **третьей** главе диссертации уточняется эффективная масса и энергия активации сюрфона, а также вычисляется температурная зависимость коэффициента поверхностного натяжения с учётом известной зависимости химического потенциала. Эти расчёты решают проблему аномальной температурной зависимости жидкого гелия и произведены для обоих изотопов гелия.

В **четвёртой** главе диссертации оценивается время жизни сюрфона исходя из главного канала рассеяния - рассеянии на риплонах. Скорость испарения сюрфонов быстро нарастает с повышением температуры, но во всём температурном интервале с большим запасом надёжности позволяет считать сюрфон квазичастицей.

В **пятой** главе диссертации рассматривается система со связанными состояниями ультрахолодных нейтронов над поверхностью жидкого $He-4$. Относительно недавно различными группами исследователей были проведены эксперименты, в которых были получены связанные состояния ультрахолодных нейтронов в потенциале ограниченном сверху гравитационным полем Земли. Эти эксперименты проводились над ровными, строго горизонтальными твёрдыми зеркалами, отталкивающими нейтроны. Из-за микроскопических неровностей и дефектов поверхности эти зеркала не очень надёжно удерживают нейтроны в связанном состоянии и мало подходят для создания нейтронных ловушек длительного действия. Предлагаемая в диссертации система со связанными состояниями ультрахолодных нейтронов над поверхностью жидкого $He-4$ имеет, по сравнению с системой со связанными состояниями над твёрдыми зеркалами, свои плюсы и минусы. К плюсам предлагаемой в диссертации системы можно отнести отсутствие примесей и дислокаций, строгую горизонтальную направленность вдали от стенок сосуда с жидким гелием, дешевизну и долговечность. К минусам можно отнести тепловую рябь на поверхности жидкого гелия (тепловые риплоны), присутствие паров гелия и сюрфонов, рыхлость поверхности, трудность очистки $He-4$ от примесей $He-3$, необходимость избегать малейших колебаний сосуда с жидким гелием и необходимость поддерживать очень низкую температуру. Для оценки возможности использования этой системы с жидким гелием для создания нейтронных ловушек в диссертации исследуется время рассеяния

ультрахолодных нейтронов в связанном состоянии над поверхностью He-4 на тепловых риплонах, на атомах пара гелия, на фононах, а также на сюрфонах (в приложении). Полученные результаты позволяют предложить в диссертации использование связанных состояний ультрахолодных нейтронов над поверхностью жидкого He-4 для создания нейтронных ловушек, пригодных для измерения времени жизни нейтрона.

В приложениях диссертации вынесены громоздкие вычисления и изложение некоторых вспомогательных вопросов, таких как оценка времени рассеяния ультрахолодных нейтронов в связанных состояниях над гелием 4 на сюрфонах, и т. п.

Оценивая содержание диссертации **в целом**, резюмируем следующее. Работы, составившие ее основу, стимулировались нарастающим интересом к электронным системам на поверхности жидкого гелия, актуальным для создания квантовых компьютеров, а также экспериментами со связанными состояниями нейтронов в гравитационном поле, позволяющих пронаблюдать гравитационные силы на микроскопических масштабах. Результаты диссертации дают основание говорить о появлении новых аспектов в понимании таких систем и её **завершенности, научной новизне и актуальности**.

Основой диссертации являются главы со второй по пятую. Здесь разрабатывается простая и полезная модель поверхности криогенной жидкости и решается давняя проблема аномальной температурной зависимости жидкого гелия. Здесь же предлагается использование связанных состояний нейтронов над поверхностью жидкого гелия в гравитационном поле для создания ловушки для нейтронов и оценивается время рассеяния нейтронов из такой ловушки. Все это в целом дает основание говорить о **значимости для науки и практики результатов** обсуждаемой диссертации. Содержание работ и диссертации отражают **высокую квалификацию** соискателя в области теоретической физики твердого тела.

Достоверность выводов диссертации гарантируется надежностью применявшихся методов расчета и реалистичностью выбранных феноменологических моделей, использованием нескольких перекрестных и взаимно дополняющих методов расчета, а также согласием с данными физических экспериментов и других более поздних теоретических исследований. Основные результаты диссертации широко обсуждались на международных конференциях по данной тематике.

В качестве **замечаний** можно отметить следующее.

1. В диссертации при рассмотрении свойств связанных состояний атомов (сюрфонов) и нейтронов на поверхности жидкого гелия не было учтено протяжённое и совсем не идеальное распределение плотности жидкого гелия вблизи поверхности.
2. В диссертации отсутствует расчет скорости погружения сюрфона в жидкость.
3. В диссертации нет оценки вклада в температурную зависимость поверхностного натяжения от других возможных типов поверхностных возбуждений со щелевым законом дисперсии, например, поверхностных ротонов.
4. Нет количественных оценок влияния мениска (искривления поверхности вблизи стенок сосуда) на время рассеяния нейтронов на поверхности жидкого гелия.

Данные замечания не влияют на общую положительную оценку работы, а, скорее, подчеркивают сложность поставленной диссертантом задачи единообразного аналитического описания поверхности криогенных жидкостей и связанных с ней явлений.

Результаты, полученные автором диссертации, имеют существенное значение для исследования систем на поверхности криогенных жидкостей, выводы диссертации достаточно обоснованы. Работа отвечает требованиям п.9 «Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. N 842, а А. Д. Григорьев заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 — физика конденсированного состояния.

Автореферат и опубликованные работы отвечают основному содержанию диссертации. Язык и стиль автореферата ясны и в меру лаконичны.

Отзыв на диссертацию обсужден и одобрен на научном семинаре кафедры физики низких температур и сверхпроводимости физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова 29 декабря 2016 года, протокол 2.

Зав. кафедрой физики низких температур и сверхпроводимости,
профессор, доктор физ.-мат. наук



А.Н. Васильев

Ученый секретарь кафедры,
профессор, доктор физ.-мат. Наук



О.С. Волкова

Москва, 119991, Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет, кафедра физики низких температур и сверхпроводимости, тел. 8 495 932 92 17, e-mail: vasil@mig.phys.msu.ru