

Отзыв

официального оппонента о диссертации Давлатジョンовой Шукуфы Худжамбердиевны «Оптоакустическая спектроскопия сверхтекучего раствора ^3He – ^4He », представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния.

Диссертация Давлатジョンовой Шукуфы Худжамбердиевны посвящена решению проблемы оптоакустики сверхтекучего раствора ^3He – ^4He . Отметим, что, несмотря на достаточное количество публикации по физическим свойствам этого раствора, оказался до конца не раскрытым целый ряд механизмов, стоящих за протекающими неравновесными процессами. По-видимому, одной из возможных причин этого является трудность проведения прецизионных измерений физических параметров в области сверхнизких температур. Оптоакустика классических жидкостей является хорошо изученной, и экспериментальная реализация позволяет определить целый набор физических величин исследуемой системы. Применительно к сверхтекучему гелию или He-II теоретически подробно исследованы особенности оптоакустической генерации волн первого и второго звуков, как по тепловому, так и по стрикционному механизму. Для сверхтекучего раствора ^3He – ^4He ранее был исследован вклад стрикционного механизма, а в настоящей работе рассмотрен вклад теплового механизма, который является более эффективным по сравнению с стрикционным. Очевидно, что создание теории оптоакустической генерации сигналов первого и второго звуков в сверхтекучих растворах ^3He – ^4He по тепловому механизму является вполне актуальной задачей, которая и является предметом диссертационного исследования Давлатジョンовой Ш.Х.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, основных выводов и списка литературы. Содержание работы изложено на 121 страницах текста, включая 1 таблицу и 34 рисунка.

В введении обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы цель работы, раскрыта научная новизна и практическая ценность работы, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе, состоящей из трех разделов, изложен обзор теоретических исследований по теме диссертации. В разделе 1.1. вкратце изложен классический метод генерации звуковых волн первого и второго звуков в сверхтекучих системах. Анализ работ по оптоакустике теплового механизма сверхтекучих жидкостей проведен в разделе 1.2. В разделе 1.3 автор подробно излагает стрикционный механизм генерации звуковых

волн в сверхтекучих жидкостях, включая и сверхтекущий раствор ^3He - ^4He . Автор обращает внимание на отсутствие результатов исследования генерации ОА - импульсов в сверхтекучем растворе ^3He - ^4He импульсами прямоугольной, гауссовой и негауссовой форм лазерного луча, здесь же отмечается отсутствие теории генерации фотоакустического (ФА) сигнала сверхтекучим раствором ^3He - ^4He , когда регистрация генерируемого ФА – сигнал выполняется посредством буферного газа микрофонным способом. Обзор весьма подробный, что свидетельствует о хорошем понимании темы автором. Можно согласиться с формулировкой целей и задач диссертации, которые автор приводит в данном разделе.

Вторая глава посвящена созданию теории лазерной генерации импульсов первого и второго звуков в сверхтекучем растворе ^3He - ^4He по тепловому механизму различными видами импульса лазерного луча. Глава также состоит из трех разделов. В разделе 2.1 теоретически исследованы особенности генерации импульсов первого и второго звуков в сверхтекучем растворе ^3He - ^4He прямоугольным импульсом лазерного луча по тепловому механизму. Получены необходимые выражения для акустических возмущений давления и температуры, а также выполнен численный расчет формы этих импульсов. Выявлено, что сформировавшиеся ОА-импульсы являются двухполюсными и по мере сокращения длительности лазерного импульса происходит уменьшение амплитуды импульсов. Раздел 2.2 посвящен разработке теории лазерной генерации волн первого и второго звуков гауссовым импульсом по тепловому механизму. Показано, что в этом случае в растворе генерируются импульсы с цилиндрическим волновым фронтом. Обнаружено, что эти импульсы состоят из медленных и быстрых составляющих, фазы которых не зависят от диаметра поперечного сечения лазерного луча, а спад частотной зависимости амплитуды описывается гауссовой функцией. Вопросам генерации оптоакустических волн первого и второго звуков в сверхтекучем растворе ^3He - ^4He негауссовым лазерным импульсом тепловому механизму посвящен раздел 2.3 работы. Показано, что и в этом случае в сверхтекучем растворе одновременно генерируются импульсы первого и второго звуков, каждый из которых состоит из медленных и быстрых составляющих.

Третья глава состоит из 5 разделов и посвящена теоретическому исследований передаточных функций (ПФ) сигналов первого и второго звуков в ^3He - ^4He . В разделе 3.1 сформулирована математическая модель задачи. Явный вид частотной и временной зависимости всех элементов матрицы ПФ, в ситуации, когда система контактирует с твердым телом, т.е. имеет жесткую границу, получены в разделах 3.2 и 3.3, соответственно. Путем

численного расчета, выполненного для температуры 1.5К и молярной концентрации 0.25 установлена двухконтурность спектра всех элементов ПФ, описывающих возбуждаемый импульс. Параметры ПФ являются чувствительными к термодинамическому состоянию среды. Случай мягкой границы рассмотрен в разделах 3.4 и 3.5.

Четвертая глава состоит из четырех разделов и посвящена построению теории генерации ФА - сигнала сверхтекучим раствором ^3He - ^4He , граничащим в ФА-камере с газовым слоем. Раздел 4.1 посвящён рассмотрению особенностей формирования поля температуры в ФА-камере с исследуемым раствором. Получены выражения для поля температур в газовом слое, образце и подложке. Ввиду того, что сверхтекучая фаза раствора ^3He - ^4He ограничена достаточной узкой областью температур, автором получена оценка предельного значения интенсивности падающего луча, соблюдение которого обеспечивает выполнение ФА-эксперимента с сохранением сверхтекучей фазы раствора ^3He - ^4He . В разделе 4.2 выполнено упрощение граничного условия непрерывности потоков тепла на границе сверхтекучего раствора ^3He - ^4He -твердое тело.

Разработке теории генерации ФА-сигнала сверхтекучим раствором ^3He - ^4He , граничащим с газовым слоем в ФА-камеры, посвящён раздел 4.3. Автор исходит из системы уравнений теплопроводности для одномерной трехслойной модели ФА-камеры («буферный газ – сверхтекучий раствор – подложка»), совместное решение которых позволяет ей получить выражение для амплитуды колебания температуры поверхности газа, контактирующего с раствором. В дальнейшем, используя модели теплового акустического поршня, предложенной в работе Розенцвейга-Гершо, автор находит общее выражение для акустического возмущения давления в газовой среде.

Исследование особенностей частотной зависимости амплитуды и фазы ФА-сигнала, генерируемого сверхтекучим раствором ^3He - ^4He , выполнено в разделе 4.4. Автор рассматривает два существенно отличающихся случая: непрозрачный и прозрачный (слабопоглощающий) жидкие слои. Для обоих случаев получены общие выражения для амплитуды и фазы возмущения давления на входе микрофона. Далее приводятся результаты численного расчета частотной зависимости этих параметров для температуры 1К, из которой следует, что для случая непрозрачного раствора генерируемый ФА-сигнал представляет собой набор слабо затухающих гармоник, положение максимума которых зависит от скорости второго звука в жидком слое. Результаты численного расчета выявили, что для случая слабого поглощения раствора спад амплитуды ФА-сигнала с ростом частоты является нелинейным, а фаза ФА-сигнала при этом существенно не

изменяется. Подводя итоги этой главы, автор заключает, что появление набора гармоник или импульсов в частотном распределении амплитуды и фазы ФА-сигнала прямым образом обусловлено наличием слабозатухающего второго звука в сверхтекучем растворе ^3He - ^4He .

Диссертация не свободна от недостатков. Оппонент хотел бы отметить следующие недостатки:

1. В диссертации одновременно рассматриваются и оптоакустические эффекты, и фотоакустические. Это большая редкость для одной и той же работы, поэтому ожидалось бы, что в работе будут комментарии, ограничивающие один эффект от другого. Таких комментариев в работе нет.
2. В обстоятельном литературном обзоре источники зачастую объединяются в слишком большие группы, при этом теряется индивидуальность, например, «основные результаты [работ] достаточно полно изложены в [1-24]» (стр. 11). В дальнейшем, автор на эти 24 работы почти не ссылается. Представляется, что обзор выиграл бы, если бы автор, сократив число ссылок, более подробно описал те источники из этих 24-х, в которых даны свойства жидкого гелия и сверхтекучего раствора ^3He - ^4He , которые важны с точки зрения оптоакустических эффектов (это, например, работа [7]). Имеются и другие, неоправданно большие группы ссылок.
3. Отсутствует описание конфигурации воображаемого эксперимента, для которого делаются расчеты. Такое описание очень важно для оптоакустики. Дело в том, что профиль отклика зависит от взаимного расположения источника, приемника и формы области преобразования. В работе, в комментариях к некоторым формулам для профиля отклика сообщается, что они выведены для дальней волновой зоны, однако при этом также сообщается, что звуковой отклик имеет цилиндрический волновой фронт, характерный для ближней волновой зоны, стержневидной формы области преобразования и латерального приема. Четкость при описании воображаемого эксперимента в теоретической работе особенно важна, потому что рано или поздно экспериментаторам придется проверить выводы этой работы на практике.
4. Подробно рассматривается оптоакустическое преобразование в сверхтекучем растворе ^3He - ^4He в рамках теплового механизма. Какие условия по плотности энергии должны быть выполнены для наблюдения теплового механизма ОА-преобразования в сверхтекучем растворе ^3He - ^4He ? Такие границы следовало бы указать.

5. Характеристики ожидаемых звуковых откликов даны, в основном, в безразмерных единицах. Тем интереснее оценка уровня отклика на стр. 44, которая дает основание автору утверждать, что отклик «является вполне измеряемыми». Однако, в теоретической работе для такого утверждения нужно руководствоваться характеристиками приемника, уровнем шума приемной системы и конфигурацией системы «источник-приемник». Таким образом автор работы вышел на такое утверждение?

Указанные недостатки не умаляют достоинств диссертационной работы.

Диссертация Давлатджоновой Шукуфе Худжамбердиевны представляет собой заченную исследовательскую работу, в которой получены новые и актуальные физические результаты.

В целом, результаты, полученные автором, обладают научной новизной в области оптоакустики сверхтекучих жидкостей. Автором впервые :

1) разработана теория оптоакустической генерации импульсов первого и второго звуков в сверхтекучем растворе ^3He - ^4He лазерными импульсами различной формы по тепловому механизму;

2) получен явный вид элементов матрицы передаточной функции сигналов первого и второго звуков в сверхтекучем растворе ^3He - ^4He , возбуждаемых лазерным импульсом для случаев жесткой и мягкой границ. Выполнен численный расчёт передаточных функций;

3) предложена теория генерации ФА-сигнала сверхтекучим раствором ^3He - ^4He , граничащем с газовым слоем, когда регистрация сигнала осуществляется микрофоном.

Результаты диссертации можно считать обоснованными и достоверными. Автор корректно развивает математические модели сформулированных задач, использует хорошо зарекомендовавшие себя известные методы для решения поставленных задач. Результаты диссертационной работы отражены в авторитетных публикациях. Имеется аprobация результатов. По результатам диссертационной работы опубликовано 24 работы. Основные результаты опубликованы в 12 статьях в рецензируемых журналах из списка, рекомендованного ВАК РФ. Кроме того, результаты диссертации неоднократно докладывались на международных и республиканских конференциях. Содержание диссертации адекватно и полно отражено в автореферате.

Результаты работы имеют практическую значимость. Разработанная автором теория лазерной генерации акустических волн первого и второго звуков в растворе ^3He - ^4He посредством теплового механизма может стимулировать постановку целевых экс-

периментов по бесконтактному определению термодинамических и акустических параметров систем, в частности, на установках, использующих жидкий раствор ^3He - ^4He в больших объемах (например, в большом адронном коллайдере).

Оппонент считает, что диссертация Давлатジョンовой Шукуфы Худжамбердиевны «Оптоакустическая спектроскопия сверхтекучего раствора ^3He - ^4He » является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным на высоком научном уровне. Работа удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. за № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Давлатジョンова Шукуфа Худжамбердиевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент, заведующий отделением теоретической и прикладной акустики АО «Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева»,
доктор физ.-мат. наук, профессор

С.В.Егерев

Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева
Россия, 117036, г. Москва,
улица Швернича, 4;
телефоны: служебный +7(499) 126-74-01,
e-mail: egerev@akin.ru

Подпись профессора Егерева С.В. заверяю.
Начальник отдела кадров АО «Акустический институт
имени академика Н.Н. Андреева»



С.А.Золотарева

«28» 01