

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР
ИМЕНИ Б.И.ВЕРКИНА

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

ЧЕРВАНЕВ АЛЕКСАНДР ИГОРЕВИЧ

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
НЕРАВНОВЕСНЫХ СОСТОЯНИЙ
СВЕРХТЕКУЧИХ РАСТВОРОВ ИЗОТОПОВ ГЕЛИЯ

01.04.02-ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

ХАРЬКОВ-1995

530.1

АВ 33. 567

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00761383 (S)

Диссертацией является
Работа выполнена в Харь

Научный руководитель
- доктор физико-математических наук, профессор

Игорь Николаевич АДАМЕНКО

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

Сергей Иванович ШЕВЧЕНКО
(ФТИНТ НАНУ, Харьков);

доктор физико-математических наук

Дмитрий Вячеславович ФИЛЬ
(НТК Институт Монокристаллов, Харьков)

Ведущая организация:

НАЦИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ХАРЬКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Защита диссертации состоится "5" декабря 1995 г. в 16³⁰ час.
на заседании Специализированного совета Д. 02.35.02
при ФТИНТ НАН Украины (310164, Харьков-164, пр. Ленина 47).
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФТИНТ НАНУ.
Автореферат разослан "3" ноября 1995 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СОВЕТА Д. 02.35.02
ДОКТОР ФИЗ.-МАТ. НАУК

А.С. КОБАЛЕВ

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

Общая характеристика работы:

Актуальность темы. Объектом исследования данной диссертационной работы являются сверхтекучие растворы ^3He - ^4He , которые образуют смесь ферми- и бозе-жидкостей. Уникальные физические свойства этих растворов обуславливают их применение в различных областях науки и техники.

Сверхтекучие растворы ^3He - ^4He - пока единственная система, в которой экспериментально исследуются свойства квантового ферми-газа сколь угодно малой плотности при сверхнизких температурах. Исследование физических свойств сверхтекучих растворов ^3He - ^4He позволило создать эффективную холодильную машину, называемую рефрижератором растворения, которая надежно работает, обладает высокой хладопроизводительностью, позволяет получать и поддерживать температуры вплоть до 10^{-2} К в течение сколь угодно длительного времени.

Большое количество экспериментальных и теоретических работ, посвященных изучению сверхтекучих растворов изотопов гелия, связано не только с уникальностью их физических свойств, но и с тем, что успехи этой ветви фундаментальных исследований приводят к прогрессу многих других областей науки и техники (ядерной физики, квантовой электроники, астрофизики и др.)

Несмотря на огромный прогресс, достигнутый в изучении свойств сверхтекучих жидкостей, ряд наблюдаемых явлений не получил должного теоретического объяснения. К последним относятся кинетика зародышеобразования новой фазы при распаде метастабильного состояния раствора и процессы установления стационарных неравновесных состояний в сверхтекучих растворах ^3He - ^4He . Теоретическому исследованию указанных явлений посвящена настоящая диссертационная работа.

Цель работы

1. Построение теории распространения первого звука в сверхтекучем растворе ^3He - ^4He , содержащем наряду с атомами и макроскопические капли ^3He , которая позволила бы по имеющимся экспериментальным данным исследовать кинетику зародышеобразования новой фазы при распаде метастабильного состояния раствора.
2. Расчет эффективного взаимодействия примесонов, обусловленного обменом виртуальными фононами, и определение его вклада в термодинамические характеристики раствора.
3. Исследование стационарных неравновесных состояний сверхтекучих растворов ^3He - ^4He с учетом взаимодействия примесонов и отклонения их энергетического спектра от квадратичного закона.

4. Сопоставление теоретических результатов, полученных в диссертации, с экспериментальными данными.

Научная и практическая значимость работы

В диссертации развита теория распространения первого звука в сверхтекучих растворах ^3He - ^4He , которая позволила по имеющимся экспериментальным данным детально исследовать динамику распада метастабильного состояния и переход раствора в стабильное состояние.

Корректный учет нелокального взаимодействия примесонов исходя из гидродинамического гамильтониана позволил объяснить наблюдаемые концентрационную и температурную зависимости осмотического давления, химического потенциала и инертной массы примесонов. Эти результаты инициировали серию экспериментов по измерению осмотического давления во ФТИНТ НАН Украины.

Удовлетворительное согласие экспериментальных данных и рассчитанных термодинамических характеристик газа примесонов, с учетом их взаимодействия и отклонения энергетического спектра от квадратичного закона, позволяет говорить о возможности полного описания примесонов в рамках модели гидродинамического гамильтониана.

Теоретически исследовано течение газа по капиллярам при произвольном соотношении между его шириной и длиной свободного пробега примесона. Развита теория установления стационарного состояния в сверхтекучих растворах ^3He - ^4He , заполняющих два сосуда, соединенных между собой капилляром произвольной ширины.

Получено аналитическое выражение для коэффициента теплового скольжения, которое исследовано для случаев классического и вырожденного газов.

Впервые высказана идея о возможности существования эффекта Кнудсена в газе примесонов сверхтекучих растворов ^3He - ^4He и проведено теоретическое исследование этого явления.

Апробация результатов работы и публикации

Основные результаты диссертации докладывались:

- на XXX совещании по физике низких температур (Дубна, 1994),
- на II конференции по физике твердого тела (ХГУ, 1995),
- на конференции по физике фононных систем (Киев, 1995),
- на семинарах ФТИНТ НАН Украины.

Они были представлены на международной конференции *GCCMD - 14* (Мадрид, 1994) и опубликованы в 8 печатных работах.

Личный вклад соискателя

Соискатель выполнил основную часть вычислений, результаты которых приведены в диссертации, полностью провел численные расчеты по полученным формулам и сопоставил их с имеющимися экспериментальными данными.

Соискатель принимал участие в обсуждении постановки цели и результатов исследований, неоднократно докладывал на конференциях и семинарах научные работы, отражающие содержание диссертации.

Соавторам работ [2,3, 6] Михееву В.А., Рудаевскому Э.Я., Чаговцу В.К., Шешину Г.А. принадлежат все результаты экспериментальных исследований, приведенных в указанных публикациях. Соавторы Немченко К.Э. и Цыганок В.И. являются исполнителями НИР ХГУ, в рамках которой проводились научные исследования, составившие основу диссертационной работы. Последние участвовали в обсуждении цели и методики исследований, в выполнении ряда расчетов и оценке результатов.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Развитие теории распространения первого звука в сверхтекучем растворе ^3He - ^4He , содержащем наряду с атомами и макроскопические капли ^3He , которая позволила по имеющимся экспериментальным данным восстановить динамику распада метастабильного состояния раствора.

2. Корректный расчет нелокального фонон-обменного взаимодействия примесонов и определения его вклада в различные термодинамические характеристики газа примесонов.

3. Результаты вычислений химического потенциала, осмотического давления и инертной массы примесонов с учетом их взаимодействия и отклонения энергетического спектра от квадратичного, которые дали возможность объяснить экспериментальные данные.

4. Результаты теоретических исследований процесса установления неравновесного стационарного состояния в сверхтекучем растворе, заполняющем два сосуда, соединенных между собой капилляром произвольной ширины.

5. Теория эффекта Кнудсена в газе примесонов сверхтекучих растворов изотопов гелия.

Структура диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав основного текста с рисунками, заключения и списка цитируемой литературы.

Во введении обоснована актуальность темы исследований, сформулированы цель работы, основные положения, выносимые на защиту, охарактеризована теоретическая и практическая ценность и новизна исследований, дана структура диссертации и кратко изложено содержание глав.

Первая глава диссертации посвящена изучению динамики образования и роста новой фазы в процессе расслоения сверхтекучих растворов. Указанные теоретические исследования были инициированы результатами экспериментов, проведенных во ФТИНТ НАН Украины, где одновременно измерялись акустические и диэлектрические свойства метастабильных пересыщенных растворов ${}^3\text{He}-{}^4\text{He}$. Такой подход потребовал теоретического решения задачи о распространении первого звука в сверхтекучем растворе ${}^3\text{He}-{}^4\text{He}$, содержащем наряду с атомами ${}^3\text{He}$ образования новой фазы - капли практически чистого ${}^3\text{He}$. В результате получены общие выражения для перенормировки скорости и коэффициента поглощения звука, обусловленных наличием в растворе атомов ${}^3\text{He}$ и неоднородностей - макроскопических включений ${}^3\text{He}$.

Сопоставление результатов теории, развитой в диссертации, с экспериментальными данными позволило детально проследить динамику образования зародышей и переход пересыщенного раствора в стабильное состояние.

В разделе 1.1. изложена краткая история вопроса и обоснована необходимость использования нового метода для изучения свойств в области низких и сверхнизких температур метастабильного пересыщенного раствора ${}^3\text{He}-{}^4\text{He}$: одновременного измерения его акустических и диэлектрических характеристик в процессе расслоения. Показано, что анализ полученных таким путем экспериментальных данных требует специального теоретического рассмотрения задачи о прохождении электромагнитных и акустических волн через содержащий атомы и капли чистого ${}^3\text{He}$ сверхтекучий раствор ${}^3\text{He}-{}^4\text{He}$.

Раздел 1.2. посвящен описанию методики и обсуждению результатов эксперимента по определению величины пересыщения метастабильного раствора как функции времени, начиная с момента его распада. Описаны две реализующиеся в эксперименте ситуации: 1) случай однородного раствора, включающий как стабильное, так и метастабильное состояния, существующие вплоть до начала фазового расслоения; 2) случай метастабильного неоднородного раствора, когда часть избыточной концентрации выделяется в капли практически чистого ${}^3\text{He}$, а часть находится в растворе в виде атомов ${}^3\text{He}$.

В разделе 1.3. получены общие формулы и оценки для критического - минимально возможного радиуса зародыша новой фазы и характерного размера капель ${}^3\text{He}$, соответствующего среднему вре-

мени распада метастабильного состояния, которое было зафиксировано в эксперименте.

Раздел 1.4 посвящен решению задачи о распространении плоской монохроматической волны в растворе ^3He - ^4He , содержащем наряду с атомами ^3He образования новой фазы - капли практически чистого ^3He . Исходными при этом являлись уравнения гидродинамики растворов, дополненные соответствующими граничными условиями на поверхности капли. В результате расчетов получено общее выражение для амплитуды рассеяния, давшее возможность определить перенормировку скорости и коэффициента поглощения звука на каплях. При расчетах было учтено наличие двух механизмов рассеяния - диссипативного, связанного с вязкостью, теплопроводностью, диффузией и другими свойствами капель и раствора, и недиссипативного, обусловленного переизлучением звука каплями.

В разделе 1.5 найдены предельные выражения для перенормировки и коэффициента поглощения звука в случае малых капель, подробно рассмотрено рэлеевское поглощение звука на них и произведено сопоставление выражения для перенормировки скорости звука, обусловленной наличием капель в растворе с хорошо известной аналогичной величиной, вычисленной для атомов ^3He . Совпадение указанных выражений при соответствующем переобозначении параметров говорит в пользу развитой теории. В случае капель большого размера - в ситуации, соответствующей геометрической оптике - можно воспользоваться асимптотическим разложением по обратному радиусу капли. При этом нулевой член в асимптотике коэффициента поглощения звука оказывается равным суммарному поперечнику рассеяния капли, а перенормировка скорости звука обращается в нуль. Следующие члены разложения даются по приближению Хюрльста. Численные оценки для полученных величин, соответствующие условиям эксперимента, показали, что образование и рост капель может привести к резкому увеличению поглощения звука, что легко может быть использовано для экспериментального изучения метастабильного состояния раствора.

Раздел 1.6 посвящен анализу экспериментальных данных и сопоставлению их с теоретическими расчетами. Согласно результатам разделов 1.4-1.5, перенормировку скорости звука и, аналогично, изменение диэлектрической проницаемости можно представить в виде суммы двух слагаемых, обусловленных соответственно присутствием капель и атомов ^3He в растворе. Наличие двух независимых условий позволяет, таким образом, выразить искомые "капельную" и "атомную" части пересыщения через известные из эксперимента величины и тем самым определить их зависимость от времени, прошедшего после начала распада метастабильного состояния раствора. Численные расчеты показали, что диэлектрическая проница-

мость, в отличие от скорости звука, оказывается малочувствительной к образованию капель, в силу чего одновременные исследования акустических и диэлектрических свойств позволяют проследить динамику распада метастабильного состояния (рис. 1).

Вторая глава диссертации посвящена изучению стационарных неравновесных состояний раствора ^3He - ^4He и его различных термодинамических характеристик с учетом взаимодействия примесей и отклонения их энергетического спектра от квадратичного.

В разделе 2.1 кратко изложены результаты, полученные до настоящего момента, введены некоторые необходимые в дальнейшем определения и понятия, очерчены рамки предстоящего исследования.

Раздел 2.2 посвящен уравнению состояния сверхтекучего раствора и получению с его помощью условия стационарности - соотношения между плотностью числа примесей, давлением P и температурой T раствора. Исходным при этом являлось соотношение между дифференциалами давления и выбранных трех независимых термодинамических переменных: химического потенциала ^4He в растворе, плотности числа примесей и температуры раствора. Такой подход позволил получить выражение для давления в указанной системе переменных аддитивным образом выделив в нем вклады сверхтекучего фона при $T = 0$, газов примесей и тепловых возбуждений.

Показано, что полученное соотношение, с учетом отсутствия конвективного потока сверхтекучей компоненты, представляет собой необходимое условие существования стационарного состояния в растворе. При вычислении осмотического давления газа примесей оказывается существенным учет их взаимодействия, расчет которого произведен в рамках модели гидродинамического гамильтониана. При этом впервые корректно учтен вклад во взаимодействие, обусловленный обменом виртуальными фонами.

В разделе 2.3 непосредственно получены общие выражения для химического потенциала и осмотического давления примесей с учетом их взаимодействия и отклонения энергетического спектра от квадратичного, применимые в области температур и концентрации, где справедливо квазичастичное описание. Рассмотрены предельные случаи высоких и низких температур. Произведено сопоставление полученных результатов с уже имеющимися теоретическими расчетами и экспериментом.

В разделе 2.4 получено общее выражение для инертной массы примесей с учетом их взаимодействия и отклонения энергетического спектра от квадратичного. Рассмотрены предельные случаи высоких и низких температур. Произведено сопоставление концентрационной (рис. 2) и температурной зависимостей инертной массы с имеющейся теорией и экспериментальными данными. Показано, что

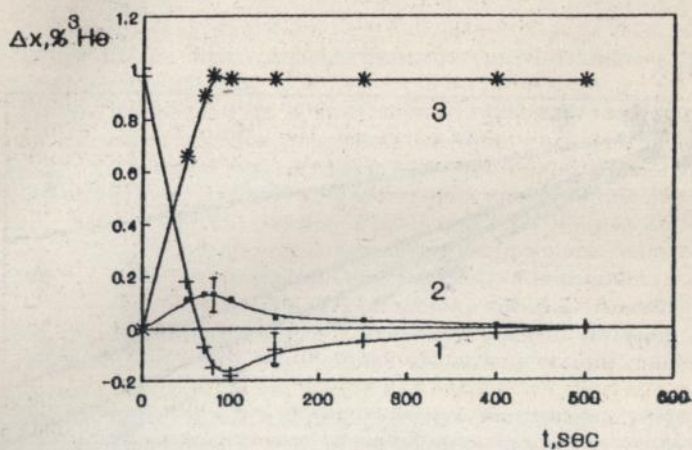


Рис. 1. Зависимость от времени, прошедшего после начала фазового расслоения, пересыщения, обусловленного наличием в растворе: **1** - атомов, **2** - капель ^3He ; **3** - количество избыточного ^3He , идущего на формирование новой фазы.

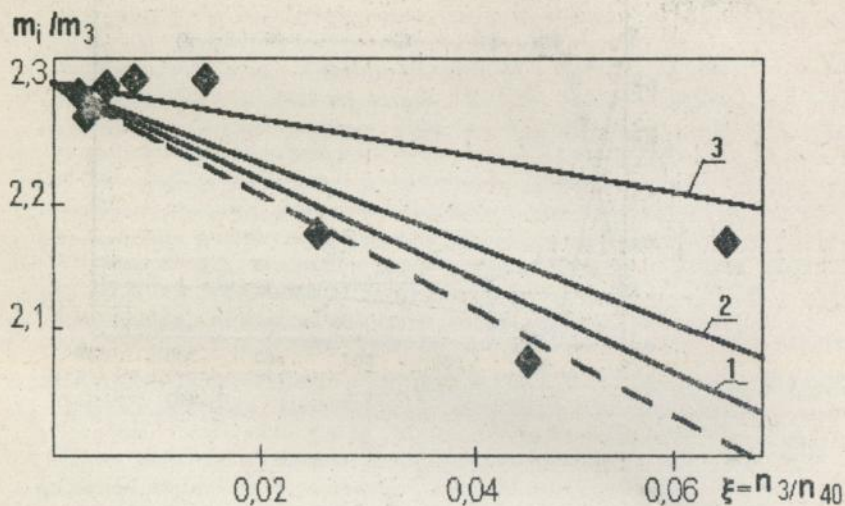


Рис. 2. Концентрационные зависимости инертной массы.

Варианты расчета: **1** - в диссертации,

2 - С. Ebner, D.O. Edwards, **3** - G. Baum, С Petchic.

Пунктир - сложенные значения (Л. А. Погорелов, Б.Н. Есельсон и др.)

Ромбы - экспериментальные данные (N.R. Brubaker, D.O. Edwards et al).

температурная зависимость инертной массы в области сверхнизких температур ($T < 40 \text{ мК}$), следующая из результатов экспериментов, может объясняться только возрастающей температурной зависимостью затравочной массы примесей.

Как следует из расчетов, в этом случае возможна необычная стационарная ситуация, когда в различных точках раствора температура разная, а давление и концентрация - одинаковые.

В третьей главе диссертации развита теория течения газа в цилиндрическом и плоско-параллельном капиллярах при произвольных соотношениях между их шириной и длиной свободного пробега квазичастиц. Исследовано установление стационарного неравновесного состояния в растворе, заполняющем два сосуда, которые соединены между собой цилиндрическим (плоско-параллельным) капилляром произвольной ширины. Получено общее аналитическое выражение для коэффициента теплового скольжения, которое исследовано для случаев классического и вырожденного газов. Рассмотрен эффект Кнудсена в газе примесей с учетом их взаимодействия и отклонения закона дисперсии от квадратичного.

Разделы 3.1 и 3.2 посвящены решению кинетического уравнения типа БГК с диффузным граничным условием на стенках плоско-параллельного (разд. 3.1) и цилиндрического (разд. 3.2) капилляров произвольной ширины. Найдены общие выражения для макроскопической скорости квазичастиц, справедливые в широкой области температур и концентраций. Исходя из общих соотношений исследованы предельные случаи малых и больших, по сравнению с длиной свободного пробега, поперечных размеров капилляра. Получено аналитическое выражение для коэффициента теплового скольжения, которое исследовано для случаев классического и вырожденного газов.

В разделе 3.3 получено достаточное условие существования стационарного неравновесного состояния в сверхтекучем растворе ^3He - ^4He , заполняющем два сосуда, которые соединены между собой капилляром произвольной ширины. Исследованы случаи плоско-параллельного и цилиндрического капилляров. Исходя из общих выражений подробно рассмотрен предельный случай больших значений отношений поперечных размеров к длине свободного пробега. Показано, что наблюдаемая в экспериментах со сверхщелью быстро устанавливающаяся связь между давлением, температурой и плотностью числа примесей за счет перетекания сверхтекучей компоненты, строго говоря, не является стационарным состоянием системы, а может быть названа квазистационарным состоянием, поскольку при этом есть поток примесей через сверхщель. В итоге медленный процесс перетекания газа примесей через сверхщель

приведет к истинному стационарному состоянию в системе двух сосудов, когда потока примесонев не будет.

В разделе 3.4 исследован эффект Кнудсена в газе примесонев сверхтекучего раствора $^3\text{He}-^4\text{He}$, заполняющего два сосуда, которые соединены предельно узким плоско-параллельным или цилиндрическим капилляром. Такая ситуация аналогична стационарному состоянию газа, разделенного перегородкой с порами, размеры которых меньше длины свободного пробега частиц газа (классический эффект Кнудсена). Показано, что квантовость системы, квазичастичные свойства примесонев и их взаимодействие приводят к результатам, существенно отличающимся от случая классического кнудсеновского газа.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы:

1. Найдены общие выражения для изменения скорости и коэффициента поглощения первого звука в растворе $^3\text{He}-^4\text{He}$, содержащем наряду с атомами и макроскопические капли ^3He .
2. Экспериментальные данные сопоставлены с результатами расчетов скорости звука и диэлектрической проницаемости раствора, что позволило детально исследовать динамику распада метастабильного состояния сверхтекучего раствора $^3\text{He}-^4\text{He}$.
3. Получено общее выражение, описывающее неравновесное стационарное состояние сверхтекучего раствора $^3\text{He}-^4\text{He}$.
4. В модели гидродинамического гамильтониана рассчитано эффективное взаимодействие примесонев, обусловленное обменом виртуальными фононами и определен его вклад в различные термодинамические характеристики газа примесонев. Такой расчет позволил объяснить экспериментальные данные.
5. Вычислены химический потенциал, осмотическое давление и инертная масса примесонев с учетом их взаимодействия и отклонения энергетического спектра от квадратичного.
6. Показано, что корректный учет нелокального взаимодействия позволяет объяснить наблюдаемую концентрационную зависимость инертной массы примесонев.
7. Показано, что в случае зависимости затравочной массы примесона от температуры возможна необычная стационарная

ситуация, при которой температура в различных точках раствора разная, а давление и концентрация - одинаковые.

8. Развита теория течения газа примесонов в капиллярах разн^{ой} геометрии при произвольном соотношении между их шириной и длиной свободного пробега квазичастиц.

9. Получено общее аналитическое выражение для коэффициента теплового скольжения, которое исследовано для случаев классического и вырожденного газов.

10. Показано, что в установлении стационарного состояния в растворе, заполняющем два сосуда, которые соединены сверхщелью, можно выделить два этапа: квазистационарный (быстрый) и истинно стационарный (медленный)

11. Впервые высказано предположение и теоретически обоснована возможность существования эффекта Кнудсена в газе примесонов сверхтекучего раствора ^3He - ^4He и получены аналитические выражения, описывающие указанное явление.

Основное содержание работы представлено в публикациях.

1. И.И. Агаменко, К.Э. Немченко, В.И. Цыганок, А.И. Черванев. Взаимодействие квазичастиц и стационарные состояния сверхтекучих растворов изотопов гелия// ФНТ.-1994.-Т.20, №7.-с.636-644.

2. I.N. Adamenko, V.K. Chagovets, A.I. Chervanyov, V.A. Mikheev, K.E. Nemchenko, Ya. Rudavskii, G.A. Sheshin and V.I. Tsyganok. Nucleation and Growth of the New Phase in the Supersaturated ^3He - ^4He Superfluid Mixtures// J.Low Temp. Phys.-1994.-V.96, № 5/6.-p.295-315.

3. I.N. Adamenko, V.K. Chagovets, A.I. Chervanyov, V.A. Mikheev, K.E. Nemchenko, E.Ya. Rudavskii, G.A. Sheshin and V.I. Tsyganok. Metastable State And Growth of the New Phase in Solution of Quantum Liquids// Proc. 14 General Conference GCCMD-14.-Madrid.- 1994, Abstracts.- p.335.

4. I.N. Adamenko, A.I. Chervanyov, K.E. Nemchenko, V.I. Tsyganok. Relaxation of Temperature And Concentration in ^3He - ^4He Superfluid Solution// Proc.14 General Conference GCCMD-14.-Madrid.-1994, Abstracts.-p.35.

5. I.N. Adamenko, A.I. Chervanyov, K.E. Nemchenko, V.I. Tsyganok. Osmotic Pressure and Stationary Nonequilibrium States in Quantum Liquids// Proc. 14 General Conference GCCMD-14.-Madrid.- 1994, Abstracts.-p.35 .

6. И.Н.Агаменко, К.Э.Немченко, В.И.Цыганок, А.И. Черванев, В.А. Михеев, Э.Я.Рудавский, В.К.Чаговец, Г.А.Шешин. Образование и рост новой фазы в процессе расслоения сверхтекучих растворов ^3He - ^4He // XXX Собрание по физике низких температур.- Дубна.- 1994, Тезисы докладов, часть 2.-с.4.
7. И.Н.Агаменко, К.Э.Немченко, В.И. Цыганок, А.И. Черванев. Стационарные состояния и термодинамические свойства растворов ^3He - ^4He с учетом взаимодействия примесей// XXX Собрание по физике низких температур.- Дубна.- 1994., Тезисы докладов, часть 2.- с. 2.
8. И.Н. Агаменко, К.Э.Немченко, А.И.Черванев. Стационарные состояния в системе квазичастиц// Тез. докл. 2 конф. ХГУ "Физические явления в твердых телах".- 1995.-с.21.
9. I. N. Adamenko, V. K. Chagovets, A. I. Chervanyov, K. E. Nemchenko, E. Ya. Rudavskii, G. A. Sheshin, The Influence of Confined Geometry on Stationary States of ^3He - ^4He Superfluid Mixtures//Proc. Symp. of Quantum Fluids and Solids.-Ithaca, New York.-1995.-Abstracts.-p.53.
10. I. N. Adamenko, A. I. Chervanyov, K. E. Nemchenko, Quantum and Classical Gases in Confined Geometry //Proc. of Intern. Work Shop on Stat. Phys. and Condensed Matter Theory.-Lvov.-1995.-Abstracts.-p.58.

ABSTRACT

A.I. Chervanyov. Steady nonequilibrium states of superfluid solution of helium isotopes.

Manuscript

01.04.02. - theoretical physics

Kharkov States University

Kharkov, 1995

The general expressions for a change of sound velocity and coefficient of sound attenuation, caused by the presence of ^3He droplets in the ^3He - ^4He superfluid mixture have been obtained. Proceeding from the experimental data and theoretical results for the sound velocity and dielectric constant of such mixture, the dynamics of the new phase droplets growth and transition of the supersaturated mixture to the stable state have been elucidated.

The model of a hydrodynamic Hamiltonian is used to calculate the effective interaction of impuritons caused by the exchange of virtual phonons. The nonlocal phonon-exchange interaction of impuritons is taken into account consistently, and its contribution in various thermodynamical characteristics of the impuritons gas has been determined. The chemical potential and the osmotic pressure of impuriton gas are calculated by taking into account the interaction and the

departure of the energy-momentum relation from quadratic dependence. Theoretical results allow to explain the experimental data.

The theory of gas flow in the capillary with arbitrary relation between its width and length of the freepath of quasiparticles has been developed. A general expression describing the steady states in superfluid ^3He - ^4He solution has been obtained, and establishment of the steady states in the mixture, filling two volumes, connected with capillary of arbitrary width has been investigated.

The Knudsen's effect is studied in the quantum gas of impurities by taking into account the interaction and the departure of the energy-momentum relation from the quadratic dependence.

АНОТАЦІЯ

Черваньов О.І. Теоретичне дослідження нерівноважних станів надплинних розчинів ізотопів гелію.

Рукопис

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук по спеціальності 01.04.02-теоретична фізика
Харківський державний університет
Харків, 1995.

Отримані загальні вирази для зміни швидкості і коефіцієнту поглинання першого звуку у надплинному розчині ^3He - ^4He , у якому разом з атомами містяться і макроскопічні краплі ^3He . Виходячи з наявних експериментальних даних і результатів розрахунку швидкості звуку і діелектричної проникності такого розчину досліджена динаміка росту нової фази і переходу розчину у стабільний стан.

У рамках моделі гідродинамічного гамільтоніану розрахована ефективна взаємодія домішків, зобумовлена обміном віртуальними фононами. Зроблено коректний розрахунок нелокальної фонон-обмінної взаємодії домішків та визначення її внеску у різноманітні термодинамічні характеристики газу домішків. Розраховано хімічний потенціал, осмотичний тиск та інертна маса домішків з урахуванням їх взаємодії і відхилення енергетичного спектру від квадратичного. Результати розрахунків дали можливість пояснити експериментальні дані.

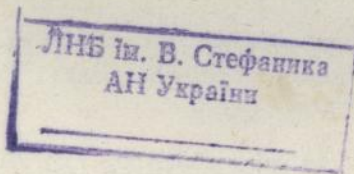
Розвинута теорія течії газу домішків в капілярах різної геометрії при довільному співвідношенні між їх шириною та довжиною вільного пробігу квазічастинок.

Отримано загальний вираз, який описує нерівноважний стаціонарний стан надплинних розчинів ^3He - ^4He , і досліджено встано-

446007

влення нерівноважного стаціонарного стану у надплинному розчині, що заповнює дві судини, поєднані поміж собою капіляром довільної ширини. Вивчений ефект Кнудсену у газі домішків надплинних розчинів ^3He - ^4He , з урахуванням їх взаємодії і відхилення енергетичного спектру від квадратичного.

Ключові слова: гелій, надплинний, домішок, фонон, зародкування, метастабільний.



ОТВЕТСТВЕННЫЙ ЗА ВЫПУСК В.К. ЧАГОВЕЦ

Подписано к печати 06.10.95 г.

Уч.-изд. л. 1.0

ЗАКАЗ № 39

Физ. п. л. 1.0

ТИРАЖ 100 экз.

РОТАПРИНТ ФТИНТ НАН УКРАИНЫ, 310164 ХАРЬКОВ-164, ПР. ЛЕНИНА, 47