

ИНСТИТУТ МОНОКРИСТАЛЛОВ АН УКРАИНЫ

На правах рукописи

НЕМЧЕНКО КОНСТАНТИН ЭДУАРДОВИЧ

ДИССИПАТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЗВУК  
В СВЕРХТЕКУЧИХ РАСТВОРАХ  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$

01.04.02 - теоретическая физика

А В Т С Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Харьков-1992

Работа выполнена на кафедре  
Харьковского государственного уни

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00820098 (R)

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ: доктор физико-математических наук,  
профессор  
И. Н. АДАМЕНКО

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ: доктор физико-математических наук,  
профессор  
А. С. БАКАЙ

кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник  
В. А. ХЛУС

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ: Физико-технический институт низких  
температур им. Б. И. Веркина АН Украины,  
г. Харьков

Защита состоится " 24 " марта 1993 г.

в 15<sup>00</sup> часов на заседании специализированного совета  
К 138.01.01 в Институте монокристаллов АН Украины (310001  
г. Харьков-001, пр. Ленина, 60)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института  
монокристаллов АН Украины.

Автореферат разослан " 17 " февраля 1993 г.

Ученый секретарь специализированного  
совета К 138.01.01  
кандидат технических наук

*Вирсуз*

Л. В. АТРОЩЕНКО

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

Актуальность проблемы. Сверхтекучий  $^4\text{He}$  и растворы его изотопов  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$  обладают уникальными физическими свойствами, что позволяет использовать их в целом ряде областей науки (для охлаждения сверхпроводящих устройств и получения сверхнизких температур) и техники (в криоэлектронике, счетно-вычислительной радиотехнике). Сверхтекучие растворы  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$  представляют собой систему, в которой наиболее ярко в макроскопическом масштабе проявляются квантовые закономерности. Так, например, растворы квантовых жидкостей - единственная в настоящее время система, позволяющая изучать вырожденный ферми-газ. Сверхтекучие растворы  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$  описываются в модели трехкомпонентного газа слабовзаимодействующих квазичастиц. Это обстоятельство позволяет построить полную теорию сильно взаимодействующей системы  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$  и сопоставить ее с экспериментальными данными.

Экспериментальные и теоретические исследования, выполненные в последние годы, позволили понять физику релаксационных явлений в фонон-примесонной системе, реализующейся при низких температурах, когда вкладом ротонов можно пренебречь. Это служит основой для дальнейшего развития кинетической теории растворов, справедливой для общего случая, когда необходимо учитывать вклад всех квазичастиц. К стимулам для построения такой теории, в частности относится необходимость объяснения многочисленных экспериментальных данных о кинетических свойствах сверхтекучих растворов. Все вышеизложенное определяет актуальность теоретических исследований сверхтекучих растворов  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$ .

Цель работы является:

1. Вычисление всех диссипативных коэффициентов сверхтекучих растворов  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$ .
2. Получение дисперсионного уравнения первого звука, справедливого в широкой области частот, температур и давлений.
3. Получение дисперсионного уравнения второго звука и исследование различных частотных режимов его распространения.
4. Сопоставление результатов теоретических расчетов с экспериментальными данными.

Научная новизна. Впервые на основе гидродинамической модели исследовалось взаимодействие ротонов и примесоннов, вычислены ротон-примесонные времена взаимодействия и их вклад в диссипативные процессы. В результате расчетов диссипативных коэффициентов были обнаружены новые механизмы диффузии, термодиффузии и теплопроводности, меняющие прежние представления о процессах теплопереноса и диффузии в сверхтекучих растворах  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$ . Полученные в работе выражения для коэффициентов второй вязкости позволили объяснить экспериментальные данные по поглощению как первого, так и второго звуков в гидродинамическом режиме.

Впервые объяснен ряд явлений, наблюдаемых при рассмотрении первого звука – колоколообразная зависимость скорости звука и наличие пика поглощения звука. Вычислено время абсорбционного поглощения длинноволнового фонона ротон-примесонной подсистемой. Предсказана возможность распространения второго звука по ротон-примесонной подсистеме и найдены выражения для скорости и поглощения ротон-примесонного второго звука. Объяснена природа максимума на кривой температурной зависимости коэффициента поглощения второго звука.

Достоверность результатов работы подтверждается следующим:

1. Полученные в работе расчетные значения согласуются с имеющимися экспериментальными данными.
2. Все новые результаты в соответствующих предельных случаях переходят в известные ранее.
3. Все полученные результаты находятся в соответствии с общими положениями современной теоретической физики.

Научная и практическая значимость работы. Разработанная теория кинетических явлений в сверхтекучих растворах  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$  позволила объяснить наблюдавшиеся явления и предсказать новые.

Приведенные в работе расчеты свидетельствуют о существовании принципиально новых, неизвестных ранее механизмов теплопередачи и диффузии в сверхтекучих растворах  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$ .

Проведенные в диссертации исследования акустических свойств сверхтекучих жидкостей позволили объяснить наблюдавшиеся явления и предсказать новые, инициируя тем самым постановку новых экспериментов.

## Основные положения, выносимые на защиту:

1. Найдены новые диссипативные вклады в коэффициенты диффузии, термодиффузии и теплопроводности, меняющие прежние представления о процессах теплопереноса и диффузии в сверхтекучих растворах  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$ .

2. Вычислены коэффициенты второй вязкости и собственная вторая вязкость ротонного газа, которые позволили объяснить экспериментальные данные по поглощению как первого, так и второго звуков в гидродинамическом режиме.

3. Найдены на основе гидродинамического гамильтониана времена ротон-примесонного взаимодействия, определяющие первую вязкость -  $\tau_{23\eta}$ , вторую вязкость -  $\tau_{23\zeta}$  и диффузию -  $\tau_{23D}$ . Установленное в диссертации различие указанных времен  $\tau_{23\zeta} \gg \tau_{23D} \gg \tau_{23\eta}$  подтверждается экспериментом.

4. Получены выражения для скорости и коэффициента поглощения первого звука при произвольных частотах и различных давлениях справедливые во всей области температур, где применимо квазичастичное описание. Объяснены наблюдаемые в экспериментах пик поглощения и колоколообразная зависимость перенормировки скорости первого звука.

5. Вычислены скорость и коэффициент поглощения второго звука в гидродинамическом, кинетическом и переходном режимах. Предсказаны частотная дисперсия звука и возможность наблюдения ротон-примесонного второго звука. Объяснение наблюдаемого в эксперименте пика поглощения второго звука и описание перехода от кинетического режима к гидродинамическому.

Апробация результатов работы и публикации. Материалы диссертации докладывались на XXVI Всесоюзном совещании по физике низких температур (Донецк, 1990), на 29 совещании по физике низких температур (Казань, 1992), на XL и XLI научно-технических конференциях молодых исследователей ФТИИТ АН УССР (Харьков, 1989, 1990 г.г.), на Всесоюзной конференции "Современные проблемы статистической физики" (Харьков, 1991). Основное содержание работы изложено в 10 научных работах.

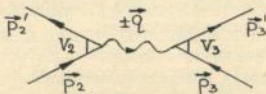
Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав основного текста с 14-ю рисунками, заключения и списка цитируемой литературы. Общий объем диссертации составляет 97 страниц машинописного текста.

Во введении обосновываются актуальность следования, цель работы, обсуждается соответствие полученных результатов с данными других экспериментальных и теоретических работ, выполненных в близких направлениях. Сформулированы основные результаты, выносимые на защиту.

Первая глава диссертация посвящена разработке кинетической теории сверхтекучих растворов  $^3\text{He}-^4\text{He}$  во всем интервале температур, где справедливо квазичастичное описание. Исходными являются кинетические уравнения для функций распределения квазичастиц. Результатами вычислений являются явные выражения для кинетических коэффициентов растворов, что позволяет провести сравнение теоретических расчетов с экспериментальными данными.

В разделе I.1. решена система кинетических уравнений в случае малого отклонения от состояния равновесия. При этом вводится математический формализм операторных матриц и операторов-проекторов, позволяющих записать решение в компактном виде.

В разделе I.2. подробно исследуется характер взаимодействия квазичастиц друг с другом. Ротон-примесонное взаимодействие изучается исходя из гидродинамического гамильтониана, содержащего фонон-ротонное и фонон-примесонное взаимодействия. На рисунке приведена диаграмма, описывающая ротон-примесонное взаимодействие за счет обмена виртуальными фононами.



Вычисленная плотность вероятности перехода, соответствующая приведенной диаграмме, позволит далее определить вклад ротон-примесонного взаимодействия в диссипативные процессы.

В разделе I.3. вычисляется коэффициент первой вязкости сверхтекучих растворов  $^3\text{He}-^4\text{He}$ . При этом разрабатывается методика, используемая в дальнейшем для нахождения других диссипативных коэффициентов. Проводится расчет времен ротон-примесонного взаимодействия, дающих вклад в первую вязкость:

$$\tau_{23}^{-1} \eta = A \sqrt{T} n_3 \quad (1)$$

где  $n_i$  - плотность квазичастиц,  $A$  - константа, зависящая от параметров ротоного и примесонного спектров. Полученные выражения для коэффициента первой вязкости сравниваются с результатами предыдущих теоретических исследований, а также с имеющимися экспериментальными данными.

В разделе 1.4. исследуются диффузные процессы в сверхтекучих растворах  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$ , вычисляется коэффициент диффузии и находится термодиффузионное отношения. В общем случае коэффициент диффузии оказывается зависящим не только от частот соударений тепловых возбуждений с примесями, но и от фонон-ротоной релаксации. В предельных случаях быстрого или медленного установления равновесия между фононами и ротонами для коэффициента диффузии получаются принципиально разные результаты, не содержащие в итоге время взаимодействия тепловых возбуждений.

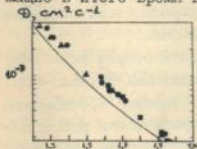


Рис. 1.

Температурная зависимость коэффициента диффузии. Сплошная линия - результаты расчета. Точки - экспериментальные данные.

На рис. 1. приведено сравнение расчетных и измеренных значений коэффициента диффузии при  $T > 1,2$  К. В этой области температур основной вклад дает ротон и коэффициент диффузии определяется рото-примесонной релаксацией. Согласие теории с экспериментом свидетельствует в пользу того, что рассмотренный в работе механизм взаимодействия ротонов и примесоннов путем обмена виртуальными фононами дает основной вклад. При этом рассчитанное время рото-примесонных столкновений

$$\tau_{23D} = \frac{2}{3} \frac{P_0^2}{m_3^* T} \tau_{23\eta} \quad (2)$$

определяющее коэффициент диффузии, на порядок превышает время  $\tau_{23\eta}$ , входящее в первую вязкость. (Здесь  $P_0$ ,  $m_3^*$ , - параметры спектров квазичастиц.) Это отличие связано со специфич-

кой закона дисперсии ротоннов.

Для коэффициента термодиффузии получено выражение, которое зависит не только от термодинамических характеристик раствора, но и от релаксационных процессов в газе квазичастиц.

В разделе 1.5. вычислен коэффициент теплопроводности сверхтекучих растворов  $^3\text{He}-^4\text{He}$ , который определяется двумя слагаемыми

$$\kappa = \sum_{i=1}^3 \kappa_i + \kappa_{123} \quad (3)$$

Первое соответствует аддитивному вкладу фононов, ротоннов и примесоннов в общую теплопроводность и в этом смысле аналогично результату для смеси классических газов. Второе слагаемое  $\kappa_{123}$  обусловлено спецификой газа тепловых возбуждений, число которых не сохраняется. Это слагаемое определяет неаддитивный вклад в теплопроводность, соответствующий последовательному включению механизмов теплопроводности, и не имеет аналога в классическом случае. Полученные выражения для коэффициента теплопроводности сравниваются с результатами предыдущих теоретических исследований и с имеющимися экспериментальными данными.

В разделе 1.6. вычисляются коэффициенты второй вязкости трехкомпонентного газа квазичастиц. В предельных случаях фонон-примесонной системы и чистого гелия найденные соотношения переходят в результаты предшествующих теоретических работ. Обнаружена собственная вторая вязкость ротонного газа, обусловленная специфическим законом дисперсии ротоннов.

В этом разделе вычисляется время ротон-примесонной релаксации

$$\tau_{235} = \frac{5}{2} \frac{\Delta^2}{T^2} \tau_{23\eta} \quad (4)$$

дающее вклад в коэффициенты второй вязкости. (Здесь  $\Delta$  - параметр ротонного спектра.) Время  $\tau_{23\zeta}$  отличается от времен  $\tau_{23\eta}$  и  $\tau_{23\theta}$  так, что  $\tau_{23\zeta} \gg \tau_{23\theta} \gg \tau_{23\eta}$ .

Во второй главе диссертации решается задача о распространении и поглощении первого звука произвольной частоты во всей области температур, где справедливо квазичастичное описание.

В разделе 2.1. исходя из системы кинетических уравнений и уравнений непрерывности и сверхтекучего движения получено

общее выражение для дисперсионного уравнения первого звука. При этом вводятся вектора, скалярные произведения которых определяют вклад кинетических процессов в изменение скорости первого звука и его поглощение.

В разделе 2.2. исходя из дисперсионного уравнения найдены общие выражения для перенормировки скорости  $\Delta u_1/u_1$  и коэффициента поглощения  $\alpha_1$  первого звука. Проведенные при этом вычисления позволили выделить термодинамический вклад, определяемый температурой, концентрацией и давлением, и вклады различных диссипативных процессов в изменение скорости звука и его поглощение. Частотная зависимость  $\Delta u_1/u_1$  и  $\alpha_1$  определяется характером взаимодействия квазичастиц друг с другом.

В разделе 2.3. подробно исследуется гидродинамический режим распространения первого звука, когда выполняется неравенство  $\omega\tau \ll 1$  для всех времен релаксаций. В этом случае перенормировка скорости  $\Delta u_1/u_1$  не зависит от диссипативных процессов, а коэффициент поглощения по форме записи совпадает с выражением, следующим из полной феноменологической системы гидродинамических уравнений. Найденные при этом выражения для диссипативных коэффициентов совпадают с результатами, полученными в первой главе путем прямых вычислений.

В разделе 2.4. получены общие выражения для перенормировки скорости и коэффициента поглощения первого звука, справедливые при произвольных частотах. Для решения этой задачи используется метод, разработанный в первой главе при вычислении диссипативных коэффициентов. При этом  $\Delta u_1/u_1$  и  $\alpha_1$  определяются термодинамическими характеристиками растворов и известными временами взаимодействия квазичастиц.

В разделе 2.5. изучается распространение первого звука в кинетическом пределе, когда выполняется неравенство  $\omega\tau \gg 1$  для всех времен релаксации. В этом случае звук распространяется по сверхтекучему фону, а перенормировка его скорости обусловлена зависимостью гамильтонианов квазичастиц от плотности раствора и скорости сверхтекучей компоненты. Коэффициент поглощения выражается в виде суммы фононного и ротон-примесонного вкладов:

$$\alpha_1^{(\kappa)} = \alpha_{ph}^{(\kappa)} + \alpha_{23}^{(\kappa)} \quad (5)$$

Рис. 2.

Температурная зависимость перенормировки скорости первого звука при  $f = 10$  МГц в растворе с концентрацией  $x = 5 \cdot 10^{-4}$ . Точки - экспериментальные данные; сплошная линия - результаты расчета.

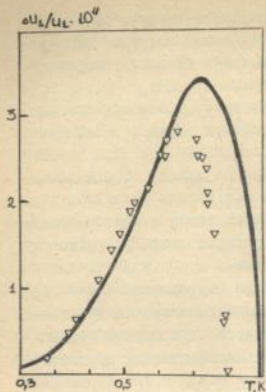
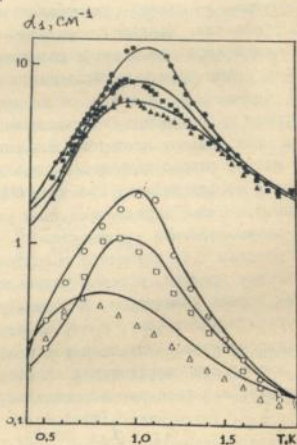


Рис. 3.

Температурная зависимость коэффициента поглощения первого звука при  $f = 14$  МГц в растворах с  $x = 3,2 \cdot 10^{-3}$  (○),  $1,6 \cdot 10^{-2}$  (□),  $5,2 \cdot 10^{-2}$  (△) и при  $f = 50$  МГц в растворах с  $x = 1,3 \cdot 10^{-2}$  (●),  $2,9 \cdot 10^{-2}$  (■),  $5 \cdot 10^{-2}$  (▲). Сплошные линии - результаты расчета.



Ротон-примесонная часть коэффициента поглощения  $\alpha_{23}^{(к)}$  не зависит от частоты и обратно пропорциональна временам релаксации. Это соответствует прямому поглощению кванта первого звука ротонами и примесонами вследствие уширения их энергетических спектров за счет взаимодействия друг с другом. Таким образом,  $\alpha_{23}^{(к)}$  определяет частоту абсорбции  $\tau_a^{-1}$  фонона ротон-примесонной системой

$$\tau_a^{-1} = 2U_1 \alpha_{23}^{(к)} \quad (6)$$

Выражение для  $\tau_a$  переходит в результаты, полученные ранее для случаев чистого  ${}^4\text{He}$  (фонон-ротонная система) и для раствора при  $T < 0,6 \text{ K}$  (фонон-примесонная система). В общем случае зависит от времени установления равновесия между ротонами и примесонами. Полученное время  $\tau_a$  в основном определяет кинетику фононной системы при высоких давлениях, когда фононный спектр становится нераспадным.

В разделе 2.6. рассматривается переходная область частот, для которой имеется относительно много экспериментальных данных по перенормировке скорости первого звука в  $\text{He II}$  и растворах  ${}^3\text{He}$ - ${}^4\text{He}$ . Исходя из общего результата для  $\Delta U_1/U_1$  находятся относительно простые выражения, справедливые в той области частот, температур и концентраций, где имеются экспериментальные данные. Сравнение теории и эксперимента (рис. 2) позволило объяснить наблюдаемую колоколообразную зависимость  $\Delta U_1/U_1$  от температуры, которая оказалась вызванной конкуренцией фононного и ротонного вкладов, имеющих противоположные знаки и переходом от кинетического режима к гидродинамическому.

В разделе 2.7. проводится сравнение результатов расчета коэффициента поглощения первого звука с экспериментальными данными в широкой области частот, температур, давлений и концентраций. При этом (рис. 3) наблюдается хорошее согласие теории и эксперимента. Наличие пика на кривой поглощения связано с переходом от кинетического режима к гидродинамическому, а основной вклад в области максимума дает процесс установления равновесия по энергиям между фононами и ротон-примесонной подсистемой, который в гидродинамике определяет вторую вязкость.

В третьей главе диссертационной работы решена задача о распространении второго звука в сверхтекучих растворах  ${}^3\text{He}$ - ${}^4\text{He}$ . В широкой области температур, где необходимо учитывать вклад

всех квазичастиц. Получено дисперсионное уравнение, описывающее различные режимы распространения второго звука и проводится сравнение с экспериментальными данными.

В разделе 3.1. получено решение системы кинетических уравнений для функций распределений квазичастиц в случае распространения второго звука. Найденное дисперсионное уравнение выражается через коэффициенты, определяемые диссипативными процессами в примесном газе и скалярными произведениями векторов, относящихся к фонон-ротонной подсистеме. Для нахождения этих скалярных произведений использовался метод, подробно разработанный в первой главе при вычислении диссипативных коэффициентов.

В разделе 3.2. рассматривается распространение второго звука в предельных режимах: кинетическом, когда выполняются соотношения  $u_2 k \tau_{1B} \gg 1$  и  $\omega \tau_{1T} \gg 1$ , и в гидродинамическом, когда справедливы обратные неравенства. Здесь  $\tau_{1B}$  и  $\tau_{1T}$  - времена установления равновесия соответственно по импульсам и по энергиям между фононами и ротон-примесонной подсистемой.

В гидродинамическом режиме было получено решение, совпадающее по форме записи с результатом, следующим из полной феноменологической системы гидродинамических уравнений. Найденные при этом выражения для диссипативных коэффициентов совпадают с результатами, полученными в первой главе прямыми вычислениями. Проводится сравнение с имеющимися экспериментальными данными и вычисляются парциальные вклады различных диссипативных процессов в поглощение звука.

В кинетическом режиме равновесие в газе фононов отсутствует и второй звук распространяется по ротон-примесонной подсистеме (ротон-примесонный второй звук) со скоростью

$$u_{\infty} = \left[ \frac{n_3 T}{\rho_{2n} + \rho_{3n}} + \frac{(S_2 + \frac{2}{3} C_3)^2 T}{(\rho_{2n} + \rho_{3n})(C_2 + C_3)} \right]^{1/2} \quad (7)$$

где  $\rho_{in}, C_i, S_i$  - соответственно плотность нормальной компоненты, теплоемкость и энтропия, обусловленные наличием  $i$ -го типа квазичастиц. Коэффициент поглощения звука определяется гидродинамикой ротон-примесонной системы и кинетикой фононной системы. При этом фононная часть коэффициента поглощения оказывается независимой от частоты и обратно пропорциональна времени релаксации, что соответствует прямому поглощению кванта второ-

го звука фононами за счет уширений их энергетического спектра, обусловленного взаимодействием фононов с ротонами и примесонами.

В разделе 3.3. исследуются различные виды дисперсии второго звука: пространственная и временная, наличие которых обусловлено медленным процессом установления равновесия ( $\tau_{11}^{-1} \ll \tau_{12}^{-1}$ ) по энергиям между фононной и ротон-примесонной подсистемами. Следствием этого, в частности, является существенная дисперсия скорости второго звука (рис.4). Достаточно полные экспериментальные данные о дисперсии скорости второго звука, к сожалению, отсутствуют. Исключением является одна экспериментальная работа, в которой наблюдалась зависимость скорости второго звука от частоты. Приведенное там численное значение согласуется с расчетом. Полученное выражение для коэффициента поглощения второго звука позволяет провести сравнение с имеющимися экспериментальными данными (рис.5). При этом оказалось, что поглощение второго звука имеет максимальное значение, когда частота звука порядка частоты соударений, приводящих к полному равновесию в фононной системе.

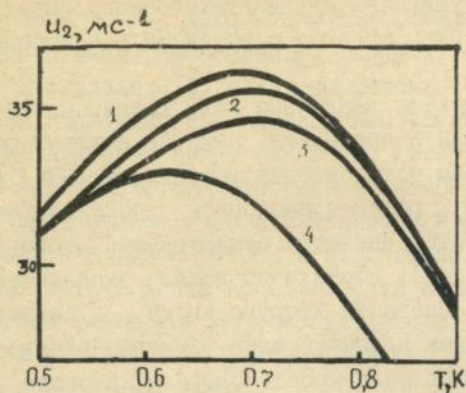
В заключении диссертации сформулированы следующие основные результаты работы:

1. Исходя из гидродинамического гамильтониана, содержащего фонон-ротонное и фонон-примесонное взаимодействия, найдены ротон-примесонные времена  $\tau_{23\zeta}$ ,  $\tau_{23\eta}$ ,  $\tau_{23\varnothing}$ , которые для различных диссипативных коэффициентов оказались разными, так что  $\tau_{23\zeta} \gg \tau_{23\varnothing} \gg \tau_{23\eta}$ . Рассчитанные значения согласуются с экспериментальными данными в области температур и концентраций, где существенным является ротон-примесонное взаимодействие. Из этого следует, что рассмотренная дальнодействующая часть ротон-примесонного взаимодействия является основной.

2. Найден коэффициент диффузии сверхтекучих растворов  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$ , который зависит от времени  $\tau_{12\varnothing}$  установления равновесия между фононами и ротонами. В предельных случаях  $\tau_{12\varnothing} \rightarrow 0$  или  $\tau_{12\varnothing} \rightarrow \infty$  получаются принципиально разные результаты, не содержащие в итоге этого времени.

3. Вычислена полная теплопроводность  $\kappa$ , которая обусловлена как параллельным, так и последовательным включением раз-

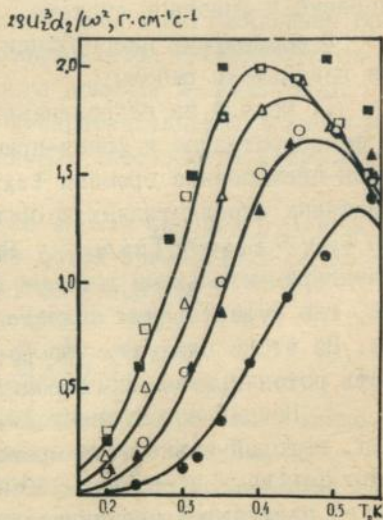
Рис. 4.



Расчет скорости второго звука для различных частот в гидродинамическом режиме (1), при  $f = 40$  МГц (2),  $f = 80$  МГц (3), в кинетическом режиме.

Рис. 5.

Температурная зависимость коэффициента поглощения второго звука в растворе с  $x = 10^{-3}$  при частотах  $f = 11$  ( $\bullet$ ); 5 ( $\blacktriangle, \circ$ ); 3 ( $\triangle$ ) и 2 ( $\square, \blacksquare$ ) кГц. Точки — экспериментальные данные; сплошная линия — результаты расчета.



личных механизмов теплопроводности в трехкомпонентном газе ква-  
зичастиц. Проведенные расчеты показали, что термодиффузионное  
отношение растворов зависит не только от термодинамических ха-  
рактеристик раствора, но и от релаксационных процессов в газе  
квазичастиц.

4. Вычислены коэффициенты второй вязкости растворов и об-  
наружена собственная вторая вязкость ротонного газа, обуслов-  
ленная специфическим законом дисперсии ротона, что позволило  
провести подробное сравнение теории с экспериментальными дан-  
ными по поглощению первого и второго звуков в гидродинамическом  
режиме.

5. Найдены скорость и коэффициент поглощения первого зву-  
ка при произвольных частотах и различных давлениях во всей об-  
ласти температур, где применимо квазичастичное описание. Это по-  
зволило объяснить наблюдаемые в экспериментах пик поглощения и  
колоколообразную зависимость перенормировки скорости первого  
звука. Проведено подробное сравнение расчетов с эксперимента-  
льными данными при повышенных давлениях, а также во области  
высоких и низких частот.

6. Вычислено время абсорбции фоновая ротон-примесонной си-  
стемой, которое определило кинетику фоновой системы в случае  
нераспадного фоновый спектр.

7. Получены выражения для скорости и коэффициента погло-  
щения второго звука в трехкомпонентном газе квазичастиц, спра-  
ведливые в широкой области частот, включающей наряду с гидро-  
динамическим и кинетический режим в фоновой системе. Рассмо-  
трены особенности распространения второго звука в кинетическом  
режиме и предсказана существенная дисперсия скорости второго  
звука. Дано объяснение существованию пика на кривой поглощения  
второго звука и описан переход от кинетического режима к гидро-  
динамическому.

Материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Адаменко И.Н., Немченко К.Э., Цыганок В.И. Диссипатив-  
ные процессы в сверхтекучих растворах  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$ // ЖЭТФ. -1989.-96,  
вып.4 (10).-С.1286-1300.

2. Адаменко И.Н., Немченко К.Э., Цыганок В.И. Кинетические

коэффициенты сверхтекучих растворов изотопов гелия // XX научно-техническая конференция молодых исследователей ФТИНТ АН УССР (тезисы докладов). Харьков. -1989.-С.158-159.

3. Адаменко И.Н., Немченко К.Э., Цыганок В.И. Второй звук в сверхтекучих растворах  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$  // ФНТ.-1990.-16, № 6.-С.689-701.

4. Адаменко И.Н., Немченко К.Э., Цыганок В.И. Второй звук и диссипативные процессы в сверхтекучих растворах  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$  // XXI научно-техническая конференция молодых исследователей ФТИНТ АН УССР (тезисы докладов). Харьков.-1990.-С.31-32.

5. Адаменко И.Н., Немченко К.Э., Цыганок В.И. Ротон-при-месионная релаксация и второй звук в растворах // XXVI Всесоюзная конференция по физике низких температур (тезисы докладов). Лонецк.-1990.-С.3-4.

6. Adamenko I. N., Nemchenko K. E., Tsyganok V. I. Dissipative Processes and Second Sound in  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$  Superfluid Mixtures // J. Low Temp. Phys. - 1990. - 81, N 5/6. - P. 233-262.

7. Адаменко И.Н., Немченко К.Э., Цыганок В.И. Кинетические коэффициенты и коллективные моды в сверхтекучих растворах квантовых жидкостей // Всесоюзная конференция "Современные проблемы статистической физики". Харьков.-1991.-С.1-2.

8. Адаменко И.Н., Немченко К.Э., Цыганок В.И. Кинетика распространения первого звука в невырожденных растворах  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$  // ФНТ.-1992.-18, № 2.-С.97-105.

9. Adamenko I. N., Nemchenko K. E., Tsyganok V. I. Kinetic Theory of First Sound in HeII and  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$  Superfluid Mixtures // J. Low Temp. Phys. - 1992. - 88, N 1/2. - P. 15-39.

10. Адаменко И.Н., Немченко К.Э., Цыганок В.И. Первый звук в сверхтекучих растворах  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$  при высоких частотах //XXIX совещание по физике низких температур (тезисы докладов). Казань.-1992.-С.7.

Немченко Константин Эдуардович

ДИССИПАТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЗВУК В СВЕРХТЕКУЧИХ  
РАСТВОРАХ  $^3\text{He}$  -  $^4\text{He}$

Ответственный за выпуск - канд. физ.-мат. наук Цыганок В. И.

---

Подписано к печати 25.12.92 г.  
Формат 60x84 1/16. Уч.-изд. л. 0,9.  
Тираж 100. Зак. 2. Бесплатно.

---

Ротапринт Института монокристаллов  
Харьков, пр. Ленина, 60  
30-70-97





Ab 26.850

**Ab 26.850**