

Национальная Академия наук Украины
ФИЗИКО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР
им. Б. И. Веркина

на правах рукописи

СОЛДАТОВ Александр Васильевич

ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ
С ВЫСОКОЙ СИММЕТРИЕЙ МОЛЕКУЛ

01.04.09 - физика низких температур

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Харьков - 1995



00778165 (Y)

Диссертация является рукописью.
 Работа выполнена в Физико-техническом институте низких температур им. Б. И. Веркина НАН Украины и на факультете экспериментальной физики университета г. Умео, Швеция.

Научные руководители: академик НАН Украины
 профессор В. Г. МАНЖЕЛИИ
 кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник
 А. Н. АЛЕКСАНДРОВСКИЙ

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор В. М. КОШКИН
 доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник
 А. И. ПРОХВАТИЛОВ

Ведущая организация: Харьковский государственный университет

Защита состоится "4" июля 1995 г. в 15⁰⁰ на заседании Специализированного ученого совета Д02.35.02 при физико-техническом институте низких температур им. Б. И. Веркина НАН Украины (310164, г. Харьков, пр. Ленина 47).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке физико-технического института низких температур им. Б. И. Веркина НАН Украины.

Автореферат разослан "1" июня 1995 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, с подписью, заверенной Гербовой печатью, просим направлять по адресу: 310164, г. Харьков, пр. Ленина 47, ФТИНТ им. Б. И. Веркина НАН Украины, ученому секретарю Специализированного ученого совета

Ученый секретарь
 Специализированного ученого совета

Доктор физ.-мат. наук

А. С. Ковалев

ЛНБ ім. В. Стефаніка
 НАН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований и цель работы.

Интерес к кристаллам с высокой симметрией молекул обусловлен рядом обстоятельств. Во-первых, высокая симметрия молекул позволяет в хорошем приближении разделить вклады в физические свойства кристаллов, обусловленные трансляционными и вращательными степенями свободы молекул. Во-вторых, высокая симметрия молекул и сопутствующая ей обычно высокая симметрия решеток облегчает интерпретацию вкладов обоих упомянутых составляющих молекулярного движения в тепловые свойства: трансляционный вклад определяется центральными силами, а задача о вращательном движении молекул в поле высокой симметрии сильно упрощается. В-третьих, высокая симметрия решеток уменьшает количество параметров, описывающих анизотропию физических свойств. В частности, в случае кубического кристалла такие свойства как тепловое расширение и теплопроводность, описываемые тензорами второго ранга, изотропны. Наконец, особый интерес представляют квантовые кристаллы с высокой симметрией молекул, обусловленной нахождением молекул в основном состоянии. Так, молекулы параводорода, дейтериевого водорода и ортодейтерия можно рассматривать как сферические [1].

Целью настоящей работы являлось исследование ангармонических свойств квантовых кристаллов изотопов водорода со сферической симметрией молекул ($p\text{-H}_2$, HD, $o\text{-D}_2$), и классического кристалла фуллерена C_{60} . В случае квантовых кристаллов мы остановили свой выбор на наименее исследованном при гелиевых температурах ангармоническом свойстве - тепловом расширении. В случае фуллерена C_{60} - на не изучавшейся ранее теплопроводности под давлением.

Хотя все изотопы водорода имеют ГПУ решетку, еще ранее было показано [2,3], что ниже 8-10К анизотропия теплового расширения становится несущественной. Это обстоятельство позволяло не заботиться об ориентации исследуемых монокристаллов. Особое внимание мы уделили двум проблемам: исследованию изотопического эффекта в тепловом расширении и исследованию влияния на тепловое расширение примесей спин - ядерных модификаций водорода с нецентральными силами взаимодействия. Именно в случае водородов следует ожидать максимального проявления изотопического эффекта. Влияние же примесей спин-

ядерных модификаций, вращательная волновая функция которых не имеет сферической симметрии, на коэффициент линейного теплового расширения (КЛТР) представляет самостоятельный интерес, поскольку позволяет судить об особенностях вращательного движения молекул с вращательным моментом $J=1$ в матрице, образованной сферическими молекулами ($J=0$).

Для надежного выделения изотопического эффекта необходимо распространить измерения КЛТР водородов в область низких ($\sim 1\text{K}$) температур. По оценкам из данных по $(\partial P/\partial T)_V$ для параводорода в этом температурном интервале коэффициенты линейного теплового расширения имеют величину $\sim 10^{-7}\text{K}^{-1}$. Поскольку использованный нами ранее dilatometer [4] позволяет проводить измерения при $T > 2\text{K}$, для прецизионных исследований при более низких температурах потребовалось создание нового оборудования.

В качестве классического кристалла для исследований был выбран фуллерен C_{60} . Этому необычному молекулярному кристаллу в настоящее время заслуженно уделяется чрезвычайно большое внимание. Буквально за несколько лет с момента обнаружения молекул C_{60} имеющих форму, близкую к сферической, опубликовано несколько тысяч оригинальных работ и ряд обзоров, посвященных фуллеренам и их соединениям.

Высокая симметрия молекул C_{60} обуславливает появление в ориентационно упорядоченной фазе двух энергетически близких состояний, отличающихся взаимной ориентацией соседних молекул в решетке. Такие особенности ориентационного порядка отсутствуют в других фуллеренах, а в C_{60} приводят к наблюдению целого ряда эффектов, и, в частности, к переходу в стеклоподобное состояние при температурах вблизи 90K [5]. Внешнее давление оказывает сильное влияние на взаимную ориентацию молекул C_{60} в низкотемпературной (ориентационно упорядоченной) фазе [6]. Исследования тепловых свойств C_{60} под давлением ранее не проводилось. В то же время такие исследования позволяют получить информацию о связи тепловых свойств с характером ориентационного порядка в фуллерене.

В связи с вышеперечисленным, можно сформулировать следующие основные цели диссертационной работы:

1. Разработка и создание прецизионного dilatometer, позволяющего распространить измерения КЛТР до температур $\sim 1\text{K}$.
2. Получение экспериментальных данных о КЛТР монокристаллов водородов, образованных сферически симметричными мо-

лекулами. Анализ на основе этих результатов изотопического эффекта в тепловом расширении.

3. Изучение вклада вращательной подсистемы (молекул с $J=1$) в КЛТР твердого дейтерия.

4. Исследование теплопроводности фуллерена C_{60} под действием высокого давления. Изучение влияния высокого давления на эволюцию ориентационного порядка в ПК фазе C_{60} .

Планируемые исследования потребовали разработки и использования сложной прецизионной аппаратуры. Был создан уникальный dilatометр, позволивший впервые распространить измерения КЛТР водородов до 0.9К. Для исследований фуллерена был использован и модернизирован уже получивший признание метод горячей нити. Для решения поставленных задач были проведены dilatометрические исследования $p-H_2$, HD, раствора $o-D_2+2.25\% p-D_2$ в интервале температур 0.9+5К, а также изучение теплопроводности C_{60} в температурном интервале 40+310К и при давлениях до 1 ГПа.

Научная новизна работы.

Создан оригинальный прецизионный dilatометр для измерений в области 0.8+20К. Экспериментальные данные о КЛТР твердого параводорода, дейтериеводорода и ортодейтерия при гелиевых температурах получены впервые. Впервые были исследованы тепловые свойства фуллерена C_{60} под давлением. В работе впервые получена зависимость температуры перехода в стеклоподобное состояние от давления.

Практическая ценность работы заключается в получении новых количественных данных о тепловых свойствах водородов и предложении способа количественных оценок соответствующих величин КЛТР для других изотопов водорода. Данные по $\lambda(T, P)$ фуллерена C_{60} могут найти применение при синтезе новых химических производных этого вещества.

Изготовлен прецизионный dilatометр, который может быть использован для измерений КЛТР кристаллов в интервале температур 0.8+20К.

Основные результаты и положения, выносимые на защиту.

1. Разработан и изготовлен новый прецизионный dilatометр для измерений КЛТР отвердевших газов в интервале температур 0.8+20К.

2. Проведены измерения КЛТР изотопов водорода при температурах 0.9+5.6К. Обнаружен изотопический эффект в тепловом расширении водородов с центральным взаимодействием.

3. На основе полученных экспериментальных данных о КЛТР раствора $o\text{-D}_2 + 2.25\% p\text{-D}_2$ определена дилатация решетки дейтерия при образовании парного кластера из $J=1$ молекул.

4. Исследованы теплопроводность и теплоемкость фуллере-на C_{60} под давлением до 1 ГПа при $T=40+310\text{K}$.

5. Установлена зависимость температуры перехода фуллере-на в стеклоподобное состояние от давления.

Структура диссертации. Диссертация состоит из Введения, двух частей (четырёх глав) и кратких выводов. Объем машинописного текста 129 страниц, в том числе 29 рисунков, 3 таблицы и библиография, включающая 128 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении приведена краткая характеристика предмета исследования, обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы постановка задачи и цели работы, показана ее научная и практическая ценность а также приведены основные положения, выносимые на защиту.

Первая часть диссертационной работы связана с дилатометрическими исследованиями твердых водородов.

Поставленная в данной диссертационной работе задача исследования КЛТР твердых водородов продиктовала необходимость создания нового высокочувствительного низкотемпературного дилатометра, конструкция и принцип работы которого описаны в первой главе первой части. Основные технические данные нашего дилатометра: рабочий интервал температур $0.8 \div 20\text{K}$, рабочий интервал частот $- 26 \div 28 \text{ МГц}$ чувствительность $- 1, 0 \cdot 10^8 \div 1, 2 \cdot 10^9 \text{ (Гц/см)}$, разрешающая способность $- 6 \cdot 10^{-9} \text{ см}$. Данный прибор является в настоящее время единственным в мире, позволяющим проводить измерения КЛТР отвердевших газов, включая криокристаллы водородов, при температурах $\approx 1\text{K}$. На рис. 1 представлена низкотемпературная часть дилатометра. Свободный от стенок образец выращивается методом конденсации исследуемого газа в стеклянной ампуле 2, что позволяет осуществлять визуальный контроль его качества. Перед измерением КЛТР измеритель малых перемещений 30 приводится в контакт с образцом, находящимся при постоянной температуре эксперимента, поддерживаемой с точностью 10^{-3}K . Затем меняют температуру образца, что вызывает изменение его

длины, передаваемое посредством штока 13 датчику измерителя

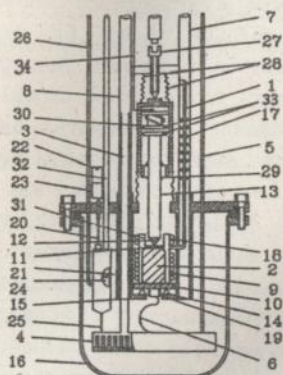


Рис. 1

Низкотемпературная часть
дилатометра

малых перемещений - конденсатору 33, изменение емкости которого регистрируется внешними приборами. Конструкция разработана таким образом, что детали измерительной ячейки не вносят вклада в изменение длины образца во всем рабочем диапазоне температур.

Вторая глава, состоящая из двух параграфов, посвящена описанию разработки методики измерений КЛТР твердых водородов и результатов изме-

рений α высокочистых водорода, дейтериевого водорода и дейтерия в интервале температур $0,9+5,6\text{K}$. В главе также приведен подробный анализ полученных экспериментальных данных.

В первом параграфе главы приведен краткий обзор основных свойств твердых водородов, обусловленных квантовой природой этих кристаллов, а также проанализированы результаты предыдущих измерений теплового расширения водородов.

Во втором параграфе главы описаны эксперименты по разработке методики измерений КЛТР твердых водородов. Наша методика исследования КЛТР предполагает использование достаточно жестких образцов. Однако согласно данным [7] понижение температуры от $4,2\text{K}$ до $1,8\text{K}$ приводит в параводороде к возрастанию скорости пластической деформации $\dot{\epsilon}$ монокристаллических образцов. При $T=1,8\text{K}$ авторы [7] наблюдали также формоизменение (стекание) некоторых свободно стоящих монокристаллов $p\text{-H}_2$ под действием собственного веса. В связи с вышесказанным нами были проведены эксперименты по исследованию механических (пластических) свойств монокристаллов сверхчистого параводорода, а также проделаны две попытки наблюдения эффекта стекания [7]. В первом эксперименте для выявления стекания использовались свободно стоящие образцы монокристаллического сверхчистого параводорода диаметром $1,7\text{ см}$ и высотой $2,7\text{ см}$, в другом эксперименте наблюдение велось за

формой капли твердого параводорода, сконденсированной на внутренней боковой поверхности стеклянной трубки. Оба эксперимента дали отрицательный результат: в интервале температур 1,8+6К в течение времени эксперимента (от 8 до 24 часов) изменений формы образцов не происходило. Предпринятая американскими исследователями [8] попытка зарегистрировать эффект стекания монокристаллов $p\text{-H}_2$ в поле силы тяжести, как и в нашем случае, не привела к успеху. В результате наших экспериментов по деформированию сжатием монокристаллических цилиндрических образцов $p\text{-H}_2$ было выявлено, что деформация образцов при одинаковых нагрузках уменьшается с понижением температуры. На основе данных результатов была разработана методика подготовки образцов водородов для проведения измерений КЛТР.

Далее во втором параграфе главы приводится описание результатов измерений КЛТР $p\text{-H}_2$, HD и раствора $o\text{-D}_2+2.25\% p\text{-D}_2$. При малых концентрациях модификации с $J=1$ коэффициент линейного теплового расширения α водородов представляется в виде: $\alpha = \alpha_{\text{lat}} + \alpha_{\text{rot}}$, где составляющая α_{lat} связана с трансляционными колебаниями молекул, а α_{rot} определяется вращательным движением в кластерах $J=1$ молекул. Путем предварительно проведенной конверсии в водородах удалось значительно уменьшить вклад α_{rot} в КЛТР и на основе этого надежно выделить составляющую α_{lat} , которая при $T \ll \infty$ описывается зависимостью [9]: $\alpha_{\text{lat}} = a_3 T^3 + a_5 T^5 + \dots$. Коэффициенты Грюнайзена γ_0 (при $T \rightarrow 0$) параводорода и ортодейтерия, рассчитанные с использованием полученных нами значений α_{lat} , имеют величину, близкую к 2.

В следующем разделе второго параграфа проведен анализ вклада α_{rot} в тепловое расширение раствора $o\text{-D}_2+2.25\% p\text{-D}_2$. На рис. 2 представлен вращательный вклад $\Delta\alpha = \alpha_{\text{rot}}$ в КЛТР дейтерия, полученный для всего исследованного интервала температур вычитанием из экспериментальных значений α решеточного вклада α_{lat} . В пределах погрешности эксперимента при $T > 1.5\text{K}$ наблюдается хорошее соответствие экспериментальных данных и расчетной зависимости α_{rot} (—), полученной нами с использованием вращательных спектров парных и тройных кластеров молекул с $J=1$ [10, 11]. В рамках существующих теоретических представлений мы не смогли найти удовлетворительного объяснения расхождения теории и эксперимента при $T < 1.5\text{K}$. Путем численного интегрирования экспериментальных значений $\Delta\alpha$

(рис. 2) определена величина дилатации решетки δv_0 в результате образования парного кластера из молекул $p\text{-D}_2$:

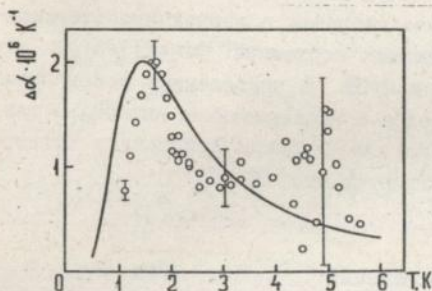


Рис. 2.

Вращательный вклад в КЛТР твердого дейтерия $\Delta\alpha = \alpha_{\text{rot}}$:

○ - данные, полученные вычитанием решеточного вклада из экспериментальных значений;
 — - α_{rot} расчет для концентрации $p\text{-D}_2$, равной 2.25%.

$\delta v_0/v_0 = (7 \pm 1) \cdot 10^{-3}$, хорошо согласующаяся с расчетным значением $8,2 \cdot 10^{-3}$, полученным без подгоночных параметров.

Коэффициенты a_3 при доминирующем при низких температурах члене в температурной зависимости КЛТР изотопов водорода не обнаруживают при равновесном давлении паров монотонной зависимости от молекулярного веса (см. таблицу). В то же вре-

Таблица. Коэффициенты a_3 водородов при давлении $P=0$; коэффициенты a_3 , приведенные к молярному объему дейтерия при $T=0$, $P=0$ ($V = 19.96 \text{ см}^3/\text{моль}$), а также исходные данные, используемые для расчета.

	P=0			V = 19.96 см ³ /моль	
	$a_3 \cdot 10^{-7}, \text{K}^{-4}$	θ_{00}, K	$V_{\mu}, \text{см}^3/\text{моль}$	$a_3 \cdot 10^{-7}, \text{K}^{-4}$	$\chi_T \cdot 10^{10} \text{Па}^{-1}$
H ₂	1.82	118.5	23.15	0.34	21.6
HD	1.38	115	20.95	0.86	27
D ₂	1.48	111.4	19.95	1.48	31.5

рия рассчитанные на основании уравнения Грюнайзена с использованием данных [1, 12, 13] значения α_3 для водородов при равном молярном объеме ($19,96 \text{ см}^3/\text{моль}$) демонстрируют большой изотопический эффект в тепловом расширении, маскируемый при нулевом давлении различием молярных объемов изотопов.

В последнем параграфе главы обсуждены возможности универсального описания КЛТР квантовых и классических кристаллов с центральным взаимодействием в рамках низкотемпературного закона соответственных состояний: $\alpha L_0 = f(T/\theta_{00})$, где L_0 - энергия сублимации при $T=0\text{K}$. В приведенных координатах квантовые кристаллы водородов в исследованном интервале температур ведут себя подобно классическим кристаллам (отвердевшим газам), что демонстрирует рис. 3.

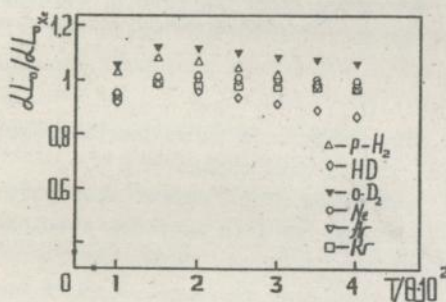


Рис. 3.

Температурная зависимость коэффициента линейного расширения кристаллов с центральным взаимодействием в приведенных координатах. L_0 - теплота сублимации при $T=0\text{K}$, θ_{00} - температура Дебая при $T=0$ и $P=0$.

Во второй части диссертации речь идет об исследованиях классического кристалла-фуллера C_{60} .

В первой главе второй части приведены данные о свойствах молекулы фуллера C_{60} , структуре ориентационно разупорядоченной (ГЦК) и ориентационно упорядоченной (ПК) фазы кристаллического C_{60} . Отдельно рассмотрены проблема ориентационных дефектов ПК фазы и переход в стеклоподобное состояние в C_{60} при замораживании ориентационного беспорядка. Проведен анализ предыдущих исследований теплопроводности C_{60} при $P=0$.

Во второй главе, состоящей из двух параграфов, представлены и проанализированы данные измерений теплопроводности C_{60} в температурном диапазоне $40+310\text{K}$ при давлениях до 1ГПа . Первый параграф главы посвящен описанию методики экс-

периментов по измерению теплопроводности λ под давлением (метод горячей нити) и специфике ее реализации в исследованиях поликристаллических образцов, полученных прессованием порошка C_{60} .

Во втором параграфе главы приведены основные экспериментальные данные. На рис. 4 представлены типичные зависимости $\lambda(T)$ при различных давлениях. Анализ температурной зави-

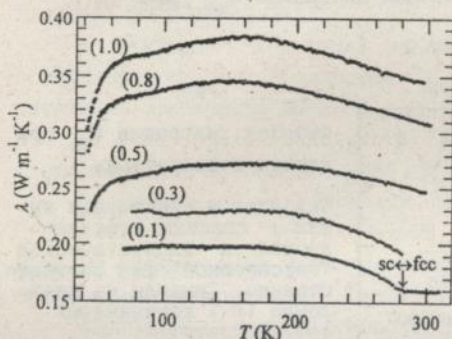


Рис. 4

Температурная зависимость изобарной теплопроводности C_{60} . Давления (в ГПа) указаны в скобках.

симости теплопроводности C_{60} и сравнение ее с $\lambda(T)$ монокристаллов [14], свидетельствует о сложном характере рассеяния фононов в ориентационно упорядоченной фазе и о существенной степени структурного беспорядка (дефектов) в наших образцах. Обсуждены особенности ориентационного фазового перехода ГЦК - ПК в поликристаллических образцах C_{60} под давлением.

Отдельный раздел второго параграфа посвящен детальному анализу наблюдавшихся аномалий $\lambda(T)$ фуллерена. Показано, что аномалии (на рис. 4 показаны стрелками вверх) температурной зависимости теплопроводности C_{60} являются признаками перехода в стеклоподобное состояние [5] и получена зависимость температуры этого перехода T_g от давления: $dT_g/dP = 54 \pm 60$ К·ГПа⁻¹. Другой тип аномалий (на рис. 4 показаны стрелками вниз) $\lambda(T)$, зависящих от предыстории образцов, предположительно связан с процессами релаксации ориентационной подсистемы C_{60} .

В заключительной части главы обсуждены возможности формирования при высоких давлениях "гексагональной" фазы в C_{60} . При увеличении давления относительное количество молекул, имеющих "гексагональную" взаимную ориентацию (пространственную конфигурацию, при которой двойные C=C связи молекулы фуллерена располагаются над центрами гексагонов соседних моле-

кул) возрастает [6]. Естественно предположить, что при достижении некоторого давления в C_{60} все или почти все молекулы будут иметь друг по отношению к другу "гексагональную" ориентацию. В этом случае регистрация перехода в стеклоподобное состояние должна быть сильно затруднена, что и показывают наши эксперименты при давлениях выше 0.7-0.8 ГПа. На основании полученных в данной работе результатов была предложена низкотемпературная фазовая диаграмма C_{60} (рис. 5).

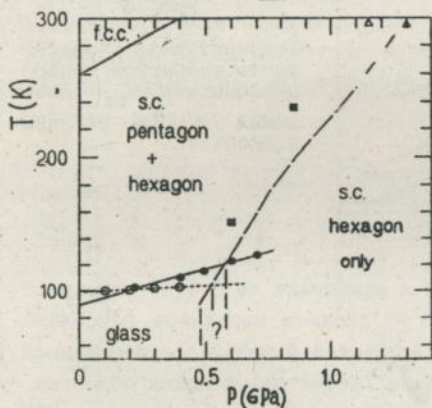


Рис. 5.

Фазовая диаграмма C_{60} при низких температурах.

Сплошная и пунктирная линии - границы стеклоподобной и гипотетической "гексагональной" фаз соответственно. Символы на диаграмме (P-T координаты) соответствуют:

- переходу C_{60} в стеклоподобное состояние;
- аномалиям упругого модуля;
- данным спектроскопических исследований [15, 16].

ВЫВОДЫ

1. Разработан и создан прецизионный емкостный dilatометр для измерений коэффициента линейного теплового расширения отвердевших газов в интервале температур 0.8+20К, имеющий максимальную чувствительность $1,2 \cdot 10^9$ Гц/см при разрешении $6 \cdot 10^{-9}$ см.

2. Наблюдения свободностоящих цилиндрических монокристаллов высокочистого параводорода в течение 24 часов в интервале температур 1,8+6К, равно как и эксперименты с "каплей" параводорода, проведенные в течение 12 часов при температурах 1,8+7К, не выявили формоизменения образцов под действием силы тяжести.

3. В интервале температур 0.9+5.6К исследован КЛТР высокочистых твердых параводорода, дейтероводорода и раствора

ортодейтерий - 2.25% парадейтерия. В тепловом расширении водородов с центральным взаимодействием обнаружен сильный изотопический эффект.

4. Показано, что КЛТР водородов с центральным взаимодействием описывается совместно с КЛТР отвердевших инертных газов универсальной зависимостью $\alpha L_0 = (T/q)$.

5. Выделен вклад вращательной подсистемы в КЛТР дейтерия и определена дилатация решетки при образовании парного кластера из молекул $J=1$.

6. Проведены измерения теплопроводности высокочистого поликристаллического фуллерена C_{60} под давлением до 1 ГПа в интервале температур $40+310\text{K}$.

7. Установлена зависимость температуры перехода C_{60} в стеклоподобное состояние T_g от давления: $dT_g/dP = 54+60 \text{ K}\cdot\text{ГПа}^{-1}$.

8. Показано, что аномалии поведения тепловых свойств C_{60} в ориентационно-упорядоченной фазе могут свидетельствовать о формировании фазы со специфическим ("гексагонным") ориентационным порядком.

Апробация. Результаты настоящей диссертационной работы докладывались на совещаниях по физике низких температур (Донецк -89, Алма-Ата -91, Казань-92), школе по физике фононов (февраль 1993, Карпач, Польша), конференции Еврофизического общества (март 1993, Регенсбург, Германия), Европейском совещании по физике высоких давлений (август 1994, Брно, Чехия), конференции Американского Материаловедческого общества (Ноябрь 1994, Бостон, США).

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Александровский А. Н., Кирьянова Е. А., Манхелий В. Г., Солдатов А. В., Толкачев А. М., Особенности пластической деформации твердого параводорода. // ФНТ.-1987. -13, N10, с. 1095- 1098.
2. Александровский А. Н., Солдатов А. В., Манхелий В. Г., Палей В. В. Тепловое расширение твердого параводорода при гелиевых температурах. // ФНТ.-1989. -15, N8. -с. 889-892.
3. Александровский А. Н., Палей В. В., Солдатов А. В., Парбузин В. С. Тепловое расширение твердого дейтериевого водорода при гелиевых температурах. // ФНТ.- 1990. -16, N11. - с.1383-1386.
4. Солдатов А. В., Кучнев В. И., Толкачев А. М., Александровский А. Н., Иванов А. Д., Минчина И. Я. Емкостный dilatометр для измерений в области температур 0.8 - 20 К. // Приборы

- и техника эксперимента. 1990-N4, с. 237-239.
5. Солдатов А.В., Александровский А.Н., Манжелий В.Г., Палей В.В., Стржемечный М.А.// О тепловом расширении твердых водородов. ФНТ, 1992, 18, с. 168-176.
 6. Sundqvist B., Andersson O., Lundin A. and Soldatov A., Phase diagram of C_{60} , structure and disorder.// Solid State Commun., 1995, 93, p. 109.

Литература

1. Манжелий В.Г., Стржемечный М.А. Криокристаллы, ч. I. Молекулярные квантовые кристаллы. Киев: Наук. думка, 1983.
2. Крупский И.Н., Прохвятилов А.И., Щербаков Г.Н., ФНТ, 1983, 9, с. 83.
3. Крупский И.Н., Прохвятилов А.И., Щербаков Г.Н., ФНТ, 1984, 10, с. 5.
4. Толкачев А.М., Александровский А.Н., Кучнев В.И., ПТЭ, 1974, №6, с.174.
5. Meingast C. and Gugenberger F., Modern Phys. Lett., 1993, B, 7, p. 1703.
6. David W.I.F. and Ibberson R.M., J. Phys. Condens. Matt. 1993, 5, p. 7923.
7. Алексеева Л.А., Крупский И.Н., 1984, 10, с. 327.
8. Xiong Q. and Maris H.J., J. Low Temp. Phys., 1990, 81, p.167.
9. Barron T.H.K., Collins J.G., White J., Adv. Phys., 1980, 29, p. 609.
10. Harris A.V., Berlinsky A.J., Hardy W.N., Can. J. Phys., 1977, 55, p.1180.
11. Miyagi H., Progr.Theor. Phys., 1968, 40, p.1448.
12. Багацкий М.И., Минчина И.Я., Манжелий В.Г. и др., ФНТ, 1990, 16, с.1009.
13. Веркин Б.И., Манжелий В.Г., Григорьев В.Н. и др. Свойства конденсированных фаз водорода и кислорода. Справочник, К.: Наукова думка, 1984, 240 с.
14. Yu R.C., Tea N., Salamon M.B., Lorents D. and Malhotra R., Phys. Rev. Lett., 1992, 68, p.2050.
15. Huang Y., Gilson D.F.R., Butler I.S., J.Phys. Chem. 1991, 95, p.5723
16. Jeon S.J., Kim D., Jeon I.C., J.Raman Spectr. 1992, 23, p.311.

Солдатов А. В. Тепловые свойства кристаллов с высокой симметрией молекул.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.09 "физика низких температур", Физико - технический институт низких температур им. Б. И. Веркина НАН Украины, Харьков, 1995.

Защищается 6 научных работ, которые содержат результаты экспериментальных исследований теплового расширения твердых водородов (H_2 , HD, D_2) в области гелиевых температур и теплопроводности фуллерена C_{60} в температурном интервале 40-310K при давлениях до 1 ГПа. В тепловом расширении твердых водородов с центральным взаимодействием обнаружен сильный изотопический эффект. Установлена зависимость температуры перехода C_{60} в стеклоподобное состояние от давления.

Soldatov A.V. Thermal properties of cryocrystals with high symmetry molecules.

The thesis is submitted for a degree of candidate of science in physics and mathematics, speciality 01.04.09 "low temperature physics", B.Verkin Institute for Low temperature physics & Engineering, NAS of Ukraine, Kharkov, 1995.

Six scientific papers containing the experimental results on thermal expansion studies of solid hydrogens (H_2 , HD, D_2) at helium temperatures and thermal conductivity investigations of fullerene C_{60} in the temperature range 40-310K and pressures up to 1 GPa are being presented. Strong isotopic effects was observed in the thermal expansion of solid hydrogens with central interaction. Pressure dependence of glass transition temperature was determined.

Ключові слова: теплове розширення, теплопровідність, ізотопи, фулерен, орієнтаційне скло

Ответственный за выпуск - канд. ф.-м. н. Городилов Б. Я.

Подписано к печати 19.05.95. Физ. п. л. 1,
учет. изд. л. 1, заказ N22. тираж 100 экз.

Ротапринт ФТИНТ НАН Украины, 310164, Харьков-164, пр. Ленина 47.

ЛНБ ім. В. Стефаньки
АН України

45326

AB 32.616