

K-592

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3 - 11327

КОЗЛОВ

Жоржик Александрович

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕЛИЯ II  
МЕТОДОМ РАССЕЯНИЯ НЕЙТРОНОВ

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Дубна 1978

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований, Дубна

Научный руководитель:

старший научный сотрудник

кандидат физико-математических наук

В.А.ПАРФЕНОВ

Официальные оппоненты:

старший научный сотрудник

доктор физико-математических наук

Н.М.ПЛАКИДА

старший научный сотрудник

кандидат физико-математических наук

С.Н.ИШМАЕВ

Ведущее предприятие:

Институт физических проблем АН СССР, Москва

Защита диссертации состоится " " 1978 г.

в " " часов на заседании Специализированного совета

Д.047.01.05 при Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна Моск. обл.).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " " 1978 г.

1978 г.

Ученый секретарь

Ю.В.ТАРАН

Прошло 40 лет с того времени, когда Капица открыл, что жидкий гелий при температуре ниже  $T_{\lambda}=2,18$  К становится сверхтекучим. Сверхтекучесть бозе-жидкости следует из предсказанной Ландау формы спектра элементарных возбуждений и может осуществляться при условии, если скорость течения жидкости меньше критической, определяемой из спектра возбуждений. Сверхтекучие свойства бозе-жидкости обычно связывают с Бозе-Эйнштейновской (БЭ) конденсацией, т.е. с наличием макроскопического числа атомов гелия в основном состоянии с импульсом  $\hbar\vec{p} = 0$ .

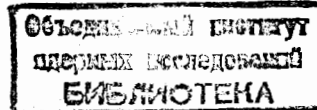
Цель работы. Данная работа посвящена исследованию в жидком гелии-4 спектров элементарных возбуждений и одночастичных возбуждений атомов гелия, поиску БЭ конденсата и измерению температурной зависимости относительной плотности БЭ конденсата.

Актуальность этой работы определяется задачами получения экспериментальной оценки плотности БЭ конденсата в гелии II и исследования корреляций между явлениями сверхтекучести и БЭ конденсации.

Новизна. Основным результатом диссертационной работы является впервые полученная по экспериментальным данным температурная зависимость относительной плотности БЭ конденсата, из которой следует, что температура БЭ конденсации, в пределах ошибок, совпадает с температурой перехода жидкого гелия-4 в сверхтекучее состояние, а характер зависимости качественно совпадает с температурной зависимостью плотности сверхтекучей компоненты в гелии II.

#### I. Экспериментальное обеспечение

Исследования свойств жидкого гелия-4 проводились методом неупругого рассеяния нейтронов на импульсном реакторе ИБР-30 с использованием спектрометра ДИН-1М. На рис. I схематично показано размещение основных узлов спектрометра ДИН-1М. Монохроматический пучок нейтронов, падающий на образец (7), формируется из вспышки импульсного реактора (1) механическим прерывателем (5) по методу времени пролета нейтронов первой базы ( $L_1 = 10,94$  м). Энергия нейтронов, рассеянных на образце на угол  $\theta$ , определяется по времени пролета второй базы ( $L_2 = 10,75$  м) между образцом и детектором (11). Жидкий гелий-4, используемый в качестве



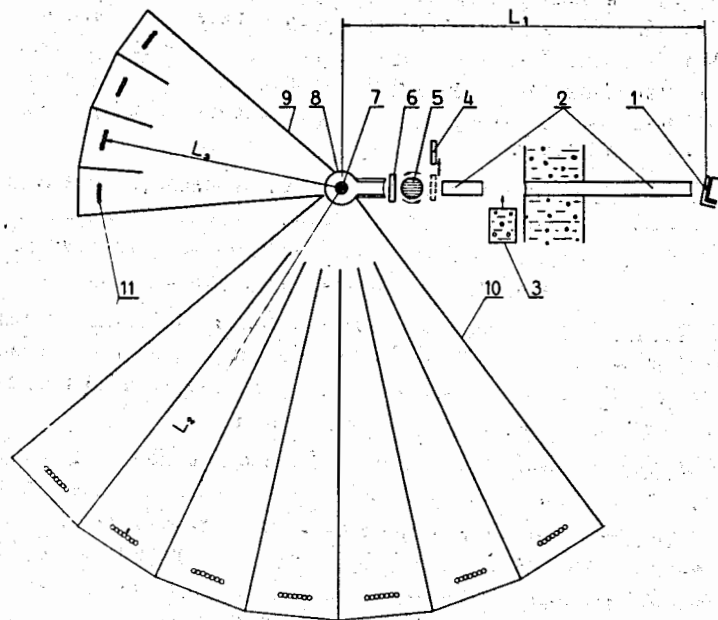


Рис. 1. Схема основных узлов спектрометра ДИН-ИМ.

1 - активная зона реактора с замедлителем, 2 - вакуумные нейтронотводы, 3 - защитный шибер, 4 - кадмиевая заслонка, 5 - механический прерыватель, 6 - мониторинговая камера, 7 - образец, 8 - камера образца, 9 - нейтронотводы малой базы, 10 - нейтронотводы большой базы, 11 - детекторы.

образца, находится в криостате (7). Температура образца регулируется скоростью откачки паров над жидкостью. Точность поддержания температуры составляет величину  $(0,01 \pm 0,02)$  К. Пропускание образца в ходе исследований не оставалось постоянным, но было не меньше 0,85. Измерения спектра нейтронов, рассеянных жидким гелием-4, при больших передатках энергии и импульса проводились по так называемой кадмиевой методике. С помощью кадмиевой заслонки

(см. 4 на рис. 1), установленной перед механическим прерывателем, имеется возможность перекрывать пучок тепловых нейтронов.

Фон от надтепловых и быстрых нейтронов  $J(\varphi_{он_2})$  - некоррелированный фон, связанный с рассеянием на жидком гелии и конструкционных материалах, измеряется в условиях, когда кадмиевая заслонка находится в пучке и жидкий гелий в криостате.

Фон от монохроматических нейтронов  $J(\varphi_{он_1})$  - коррелированный фон, связанный с рассеянием нейтронов на конструкционных материалах, измеряется с пустым криостатом по разности спектров, полученных с кадмиевой заслонкой вне пучка и в пучке нейтронов.

Интенсивность нейтронов, рассеянных жидким гелием-4, определяется выражением:

$$J(^4\text{He}) = [J(^4\text{He}, \varphi_{он_1}, \varphi_{он_2}) - J(\varphi_{он_2})] - [J(\varphi_{он_1}, \varphi_{он_2}) - J(\varphi_{он_2})].$$

Технически использование кадмиевой методики сводится к тому, что измерения как с жидким гелием, так и с пустым криостатом проводятся путем чередования двух режимов: с кадмиевой заслонкой вне пучка и в пучке нейтронов.

## II. Исследование спектров возбуждений гелия II

Спектры возбуждений жидкого гелия II условно можно разделить на три части (рис. 2): элементарные возбуждения (кривая 1), вихри (область 2) и одночастичные возбуждения атомов гелия (кривая 3). Поиски новых ветвей возбуждений пока не дали положительного ответа. Наблюдаемые возбуждения в области (4) можно рассматривать только как простую сумму элементарных возбуждений (многофононные возбуждения). Область вихревых возбуждений (2) на рисунке показана условно. В настоящее время с помощью нейтронов вихревые возбуждения не наблюдаются.

Исследования спектра элементарных возбуждений проводились в области волновых векторов  $q = (1, 2+4) \text{ \AA}^{-1}$ . Измерения велись одновременно для семи углов рассеяния нейтронов в области  $\Theta = 45 \pm 122^\circ$ . На рис. 3 показаны типичные спектры нейтронов, рассеянных жидким гелием-4 при температуре  $T=1,2$  К. Энергия монохроматических нейтронов, падающих на образец, равна 6,69 мэВ. Вертикальными линиями выделена область спектра, в которой счет в основном определяется коррелированным фоном. Пунктиром показана область, в основном определяемая некоррелированным фоном. Как вид-

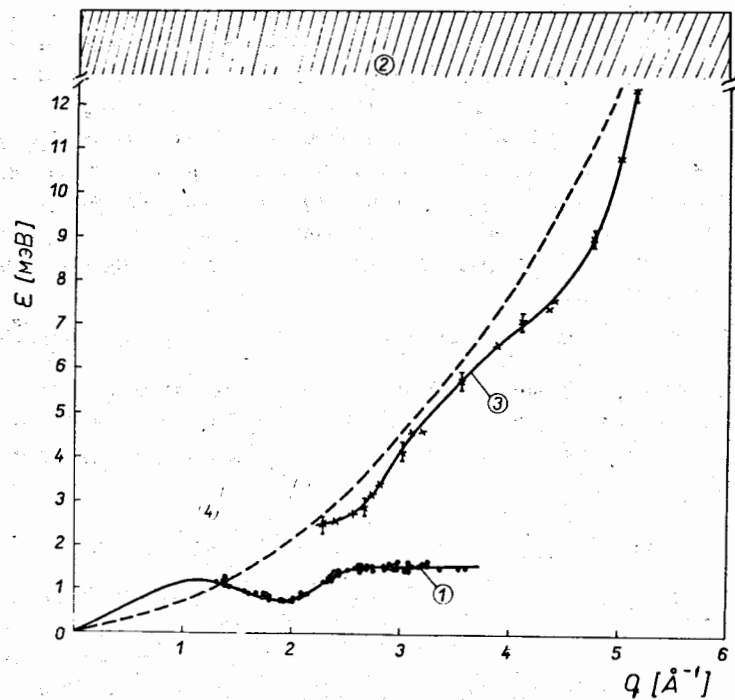


Рис. 2. Спектры возбуждений в гелии II при  $T=1,2$  К.  
 1 - элементарные возбуждения, 2 - вихри, 3 - одночастичные возбуждения атомов гелия, 4 - многофононные возбуждения. Пунктиром показан спектр возбуждений свободных атомов гелия.

но из рисунка, в спектре неупругого рассеяния нейтронов жидким гелием II в области волновых векторов  $q \approx 4 \text{ \AA}^{-1}$  наблюдаются два максимума: первый, с меньшей передачей энергии, относится к однофононному рассеянию нейтронов, второй, более высокоэнергетический, при  $q \approx 2 \text{ \AA}^{-1}$  объясняется рассеянием нейтронов с возбуждением отдельных атомов.

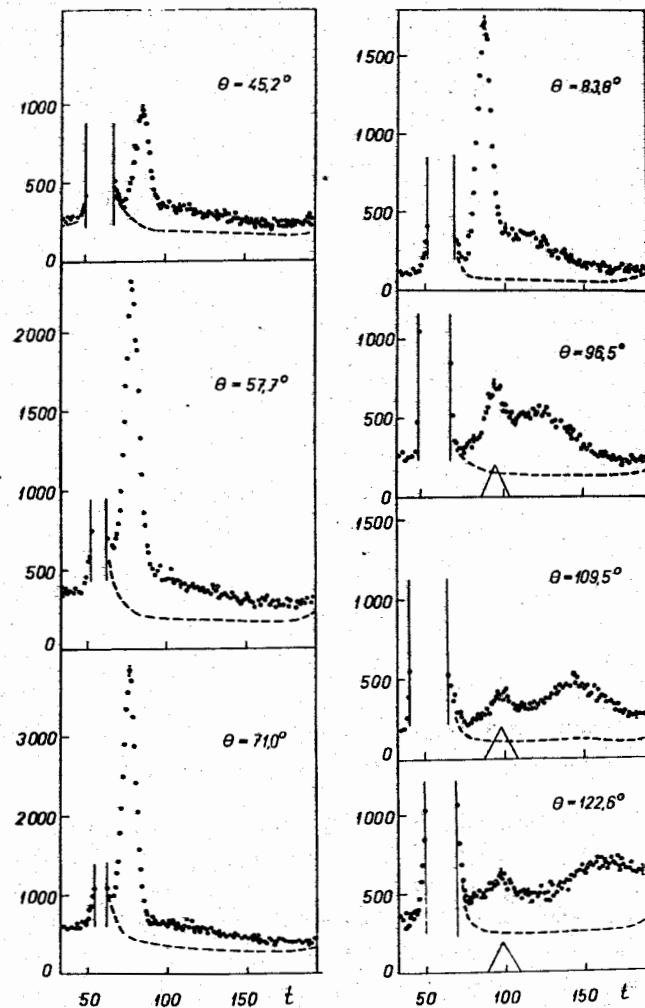


Рис. 3. Экспериментальные спектры нейтронов, рассеянные гелием II при  $T=1,2$  К для семи углов рассеяния  $\theta$ . Начальная энергия нейтронов 6,69 мэВ. Вертикальными линиями выделена область коррелированного фона. Уровень фона, показанный пунктиром, в основном связан с некоррелированным фоном.

Зависимость энергии однофононных возбуждений от волнового вектора  $\varepsilon(q)$  при температуре жидкого гелия II  $T=1,2$  К показана на рис. 4. Экспериментальные значения  $\varepsilon(q)$  получены при следующих энергиях падающих нейтронов:  $E_i$  (мэВ) = 6,69; 7,12; 7,21; 7,28; 7,36; 7,56; 9,09; 9,51; 12,94.

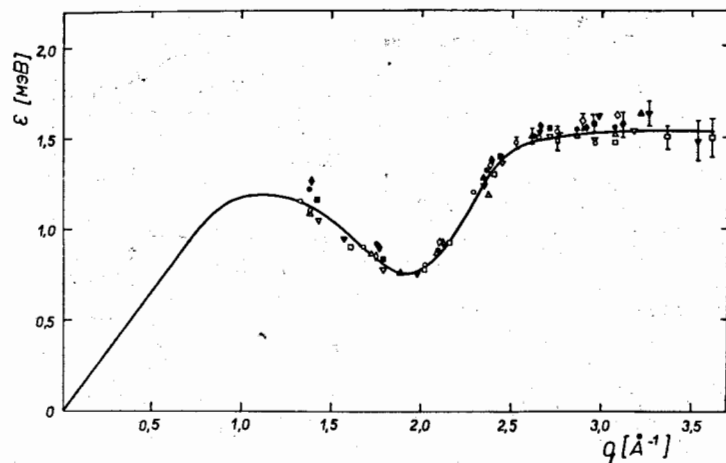


Рис. 4. Спектр элементарных возбуждений гелия II при  $T=1,2$  К, измеренный при различных энергиях падающих нейтронов

На рис. 5 представлены результаты измерений интенсивности однофононного рассеяния в зависимости от волнового вектора  $q$ , полученные при температуре  $T=1,2$  К. По оси ординат откладывается величина площади пика однофононного рассеяния, умноженная на отношение волновых векторов падающего и рассеянного нейтронов ( $I$ ).

Измерения показали, что спектр элементарных возбуждений при  $q_z = (1,93 \pm 0,02) \text{ \AA}^{-1}$  имеет так называемый ротонный минимум, а при  $q = 4 \text{ \AA}^{-1}$  достигает порогового значения, энергия возбуждения которого примерно равна удвоенной энергии возбуждений в ротонном минимуме  $\varepsilon = 2 \cdot \Delta$ .

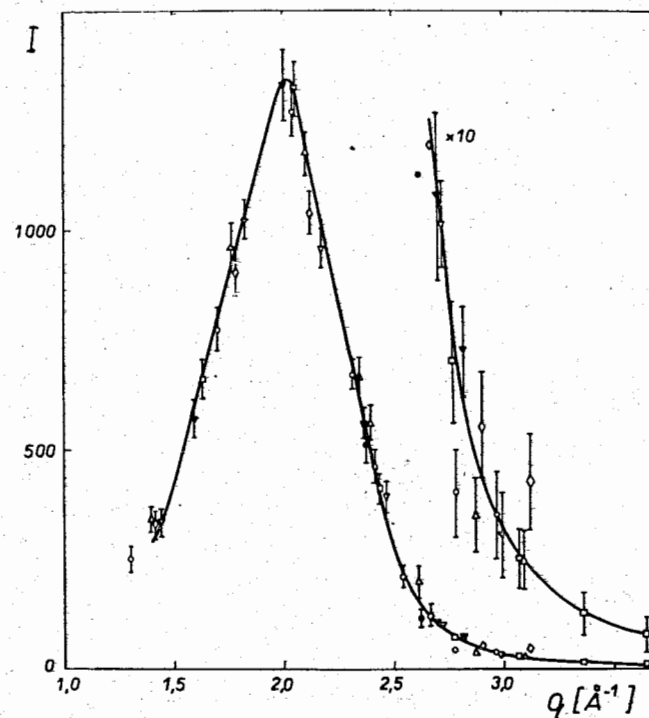


Рис. 5. Интенсивность однофононного рассеяния нейтронов в гелии II при  $T=1,2$  К.

Максимум интенсивности однофононного рассеяния нейтронов наблюдается при  $q = (2,03 \pm 0,02) \text{ \AA}^{-1}$ ; при приближении же к пороговому значению интенсивность уменьшается и практически равна нулю при  $q \approx 4 \text{ \AA}^{-1}$ .

Поиски новых ветвей связанного состояния двух ротонов были предприняты нами в области волновых векторов  $q \approx (0,8+3,2) \text{ \AA}^{-1}$  и энергий  $\varepsilon < 2\Delta$ . В работе Пятаевского предсказывается существование в этой области двух новых ветвей связанного состояния двух ротонов. Эти ветви являются строго незатухающими только при

температуре  $T=0$ . Поиски не дали положительных результатов. В пределах статистической точности экспериментов в спектре неупругого рассеяния нейтронов в гелии II при  $T=1,2$  К никаких особенностей не наблюдалось. Возможно, для наблюдения указанных ветвей связанного состояния двух ротонов требуются более низкие температуры.

Исследования спектров возбуждений в жидком гелии II показывают интересную особенность. Спектр одночастичных возбуждений атомов гелия в жидкости при энергиях  $\epsilon \leq 2$  мэВ быстро затухает и не имеет продолжения в область малых  $q$  и  $\epsilon$  (см. 3 на рис. 2). Это указывает на то, что в жидком гелии II имеется область энергий, в которой возбуждения носят только коллективный характер. При больших же энергиях ( $\epsilon \geq 2$  мэВ) кроме коллективных возбуждений наблюдаются и возбуждения отдельных атомов гелия.

Спектр одночастичных возбуждений атомов в жидком гелии-4 имеет заметные отклонения от кривой возбуждения свободного атома гелия при значениях  $q < 6 \text{ \AA}^{-1}$ . С увеличением передач энергии и импульса рассеяние нейтронов приближается к рассеянию на свободных атомах. На рис. 6 представлены экспериментальные результаты отношений энергии одночастичных возбуждений атомов в жидком гелии-4 к энергии свободного атома гелия:  $\eta = \epsilon / (\hbar^2 q^2 / 2M)$ , где  $M$  - масса атома гелия. Из рисунка видно, что с ростом  $q$  амплитуда осцилляции  $\eta$  уменьшается и при  $q > 6 \text{ \AA}^{-1}$   $\eta > 0,95$ .

### III. Поиск и исследование БЭ конденсата в жидком гелии-4

Экспериментальные оценки плотности БЭ конденсата в жидком гелии-4 стали возможны только с развитием метода неупругого рассеяния нейтронов.

Рассеяние нейтронов жидким гелием с большими передачами энергии и импульса ( $\epsilon \gg \Delta$ ,  $q \gg q_c$ ) происходит в основном некогерентно на отдельных атомах гелия, причем атомы при рассеянии ведут себя как квазисвободные. Закон рассеяния нейтронов в гелии II в импульсном приближении может быть представлен в виде суммы законов рассеяния на атомах БЭ конденсата и надконденсатных атомах

$$S(q, \omega) = \frac{n(0)}{n} \delta(\hbar\omega - \frac{\hbar^2 q^2}{2M}) + \frac{1}{n} \sum_{p \neq 0} n_i(\vec{p}) \cdot \delta(\hbar\omega - \frac{\hbar^2 q^2}{2M} - \frac{\hbar^2 \vec{p} \cdot \vec{q}}{M}),$$

где  $n(0)$  и  $n_i(\vec{p})$  - плотности БЭ конденсатных и надконденсатных атомов в жидком гелии.

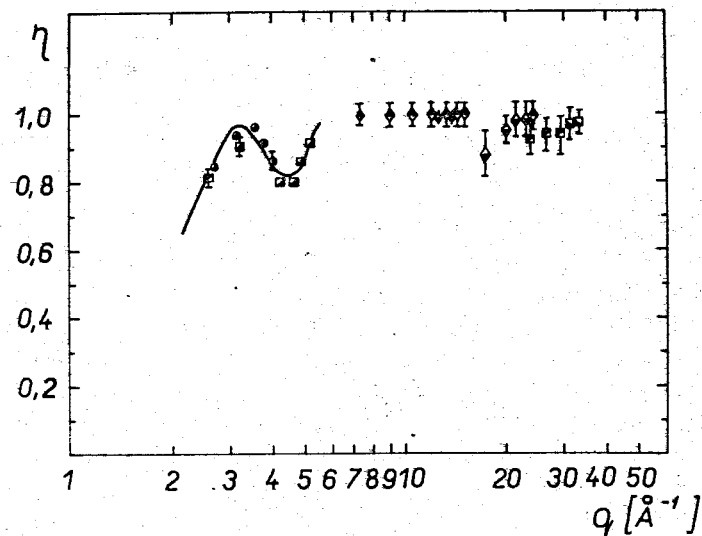


Рис. 6. Относительное отклонение спектра одночастичных возбуждений атомов в гелии II от кривой возбуждения для свободного атома гелия при  $T=1,2$  К.

При температуре жидкого гелия  $T < T_0$  ( $T_0$  - температура БЭ конденсации) в спектре рассеянных нейтронов на широком максимуме, связанном с рассеянием нейтронов на надконденсатных атомах, должен наблюдаться узкий пик, связанный с рассеянием нейтронов на БЭ конденсате. Ширина конденсатной части спектра определяется величиной взаимодействия в конечном состоянии и энергетическим разрешением спектрометра.

Измерения, выполненные при волновых векторах  $q \approx 14 \text{ \AA}^{-1}$ , не показали отчетливого разделения конденсатной и надконденсатной частей спектра. Поэтому при анализе экспериментальных данных использовался метод математического разложения спектра нейтронов,

рассеянных жидким гелием-4, с помощью двух гауссовских кривых с поправкой негауссовского вида (двухгауссовская модель)

$$\Psi(t) = E_f^2 \cdot A_1 \cdot \exp(P_1) + E_f^2 \cdot A_4 \cdot \exp(P_2) + (A_7 + A_8 \cdot t) \quad (I)$$

$$P_{1,2} = -(\hbar\omega - \hbar\omega_0 + A_{3,6})^2 (A_{2,5} \cdot q^2)^{-1}$$

где  $A_1 + A_8$  - параметры модели,  $t$  - номер канала временно-го анализатора,  $\hbar\omega_0$  - энергия возбуждения свободного атома гелия,  $E_f$  - энергия нейтронов после рассеяния.

Первый гауссиан описывает рассеяние нейтронов на надконденсатных атомах, второй гауссиан описывает рассеяние на атомах БЭ конденсата.

Введение третьего члена в выражение /I/ связано с тем, что модель с двумя гауссианами не описывает экспериментально наблюдаемого спектра в области больших передаточной энергии, то есть на "крыльях" пика одночастичных возбуждений атомов гелия. Природа этой части спектра остается неясной. Возможными причинами могут быть присутствие в распределении  $n(\vec{p})$  в области больших импульсов максимума либо монотонно-убывающей части.

Анализ всех экспериментальных данных проводился также без учета конденсатного члена ( $A_4=0$ ), т.е. с использованием одногауссовской модели

$$\Psi(t) = E_f^2 \cdot A_1 \cdot \exp(P_1) + (A_7 + A_8 \cdot t) \quad (2)$$

Свободными параметрами в выражениях /I/ и /2/ выбирались амплитуды гауссовских кривых  $A_1$  и  $A_4$ , квадраты ширин  $A_2$  и  $A_5$ , сдвиги искомого гауссианов  $A_3$  и  $A_6$  (в расчетах принимали  $A_3=A_6$ ) и параметры третьего члена  $A_7$  и  $A_8$ .

Экспериментальные спектры измерялись в условиях постоянного угла рассеяния нейтронов ( $q \neq const$ ). В этом случае значение волнового вектора  $q$  связано с конечной энергией нейтрона  $E_f$  и углом рассеяния  $\theta$  соотношением

$$q = \sqrt{2m} \cdot \hbar^{-1} \cdot (E_i + E_f - 2 \cdot \cos \theta \cdot \sqrt{E_i \cdot E_f})^{\frac{1}{2}}$$

где  $m$  - масса нейтрона.

Относительная плотность БЭ конденсата в жидком гелии-4 определялась из выражения

$$n(0)/n = S_{БК} / (S_{БК} + S_{НК}),$$

где  $S_{БК}$  и  $S_{НК}$  - площади спектров для конденсатной и надконденсатной частей соответственно.

Статистические ошибки параметров вычислялись с применением теории ошибок метода наименьших квадратов.

При обработке экспериментальных данных с помощью выражений (I) и (2) использовалась библиотечная программа "COMPILE, ОИЯИ С-401, Дубна".

Эксперименты по исследованию БЭ конденсата проводились одновременно для трех углов рассеяния нейтронов  $\theta = 96,5; 109,5; 122,6^\circ$ , при энергии падающих нейтронов вблизи 190 мэВ. На рис. 7 (а, б) показаны экспериментальные спектры нейтронов, рассеянных жидким гелием-4 при температурах  $T=1,2; 1,8; 2,11; 2,17; 2,35; 4,2$  К. Пунктирными линиями представлены расчетные кривые, относящиеся к конденсатной (кривая 1) и надконденсатной (кривая 2) частям. Сплошными линиями показаны кривые, рассчитанные с помощью выражения (I).

Проведенный анализ экспериментальных данных с помощью одногауссовской и двухгауссовской моделей показывает удовлетворительное описание спектров нейтронов, рассеянных жидким гелием-4. Усложнение двухгауссовской модели путем добавления новых гауссианов не улучшает описания измеренных спектров.

Сравнение одногауссовской и двухгауссовской моделей проводилось с точки зрения статистического критерия  $\chi^2/s$  ( $s$  - число степеней свободы, для одногауссовской модели  $s_1=116$  и для двухгауссовской модели  $s_2=114$ ):

$$\chi^2 = \sum_{t=1}^{121} \frac{[y(t) - \varphi(t)]^2}{\sigma_t^2}$$

где  $y(t)$  - экспериментальный счет в  $t$ -м канале временно-го анализатора,  $\sigma_t$  - стандартные отклонения.

В таблице I приведены значения  $\chi^2/s_1$  для одногауссовской модели и  $\chi^2/s_2$  для двухгауссовской модели, а также дисперсионное отношение  $(\chi^2/s_1)/(\chi^2/s_2)$  для двух углов рассеяния нейтронов при различных  $T$ .

Как видно из таблицы, экспериментальные данные, полученные при температурах  $T < T_\lambda$ , лучше описываются двухгауссовской моделью (дисперсионное отношение при уменьшении температуры увеличивается до  $\sim 1,2$ ), а при  $T > T_\lambda$  - одногауссовской моделью, так как доба-

Таблица I

T, K	$\Theta = 109,5^\circ$			$\Theta = 122,6^\circ$		
	$\chi_1^2/s_1$	$\chi_2^2/s_2$	$\frac{\chi_1^2/s_1}{\chi_2^2/s_2}$	$\chi_1^2/s_2$	$\chi_2^2/s_2$	$\frac{\chi_1^2/s_1}{\chi_2^2/s_2}$
1,2	1,03	0,86	1,20	0,86	0,71	1,21
1,8	1,02	0,83	1,23	1,34	1,17	1,15
2,11	1,13	1,10	1,03	1,06	1,00	1,06
2,17	0,83	0,79	1,05	0,79	0,75	1,05
2,35	1,18	1,19	0,99	1,05	1,06	0,99
4,2	0,57	0,58	0,98	0,57	0,56	1,02

Ширина гауссовской кривой для конденсатной части в данных экспериментах в основном определяется величиной энергетического разрешения спектрометра, которая в пределах нескольких процентов не зависит от угла рассеяния нейтронов. На рис. 8 показаны усред-

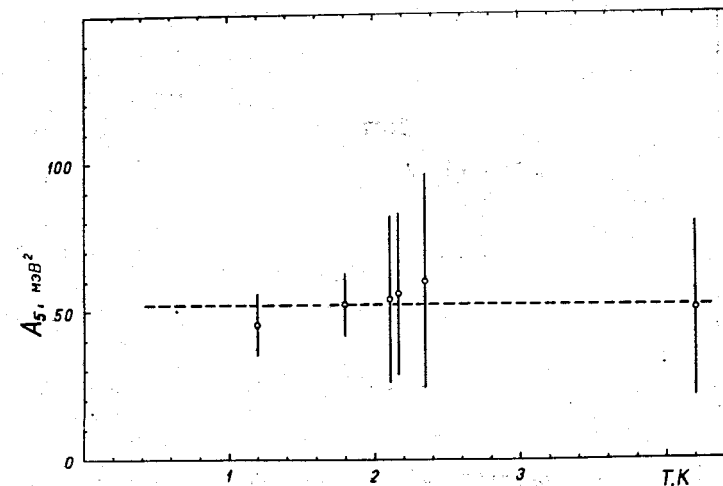


Рис. 8. Зависимость квадрата ширины конденсатного гауссиана  $A_5$  от температуры. Пунктиром показана величина, соответствующая квадрату ширины функции разрешения спектрометра.

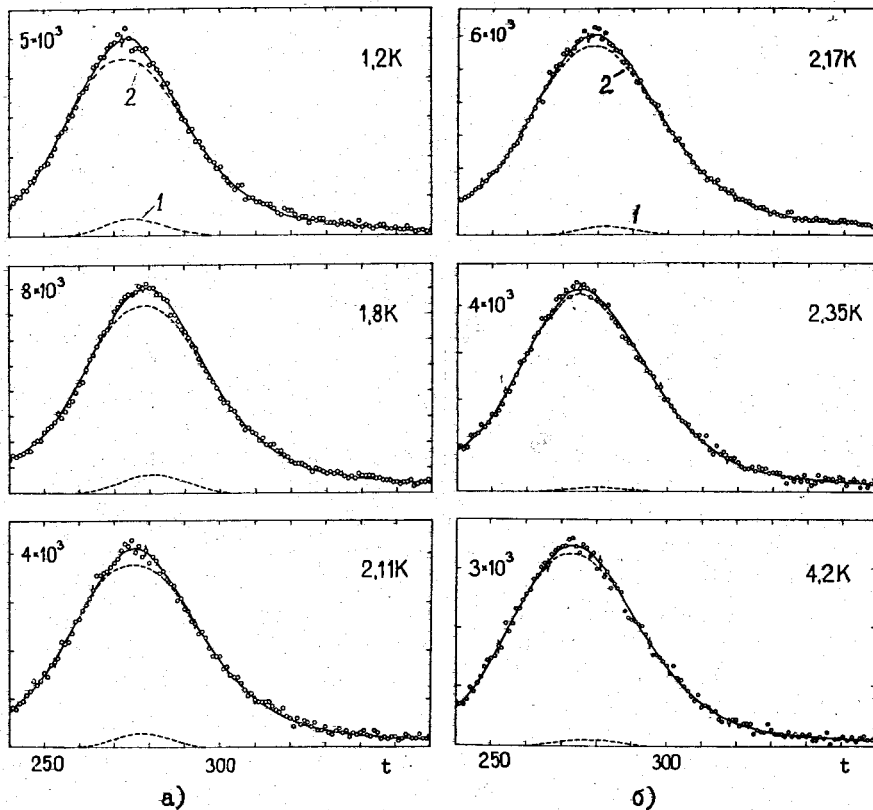


Рис. 7 а, б. Экспериментальные спектры нейтронов, рассеянных жидким гелием-4 при различных температурах для  $\Theta = 122,6^\circ$ . Расчетные кривые, относящиеся к конденсатной (кривая 1) и недонденсатной (кривая 2) частям, обозначены пунктиром. Сплошной линией показаны результаты расчетов с помощью выражения (1).

вление конденсатного гауссиана не улучшает описания экспериментального спектра (дисперсионное отношение равно  $\sim 1,0$ ).



ненные по углам значения параметра  $A_5$  при различных температурах образца. Пунктирной линией представлена величина, соответствующая энергетическому разрешению спектрометра. Как видно из рисунка, во всем интервале температур  $T=(1,2+4,2)$  К значение  $A_5$  не зависит от температуры и, в пределах ошибок, совпадает с квадратом ширины функции разрешения.

Сдвиги искомым гауссианов относительно кривой возбуждения для свободных атомов гелия, усредненные для различных температур, составляют величину  $(2+2,3)$  мэВ. Это означает, что переданная атому гелия в жидкости энергия при рассеянии нейтронов меньше передачи энергии на свободном атоме примерно на 2%.

Ширина спектра нейтронов, рассеянных жидким гелием-4, определяется средней кинетической энергией на атом гелия в жидкости  $\langle KE \rangle$  и величиной энергетического разрешения спектрометра. На рис. 9 показана температурная зависимость  $\langle KE \rangle$ , которая рассчитывалась из спектра нейтронов, описываемого гауссовскими кривыми. При температурах  $T > T_\lambda$  значения  $\langle KE \rangle$ , в пределах ошибок, совпадают для обеих моделей, а при  $T < T_\lambda$  значения  $\langle KE \rangle$ , полученные из одногауссовской модели, примерно на 1 К ниже.

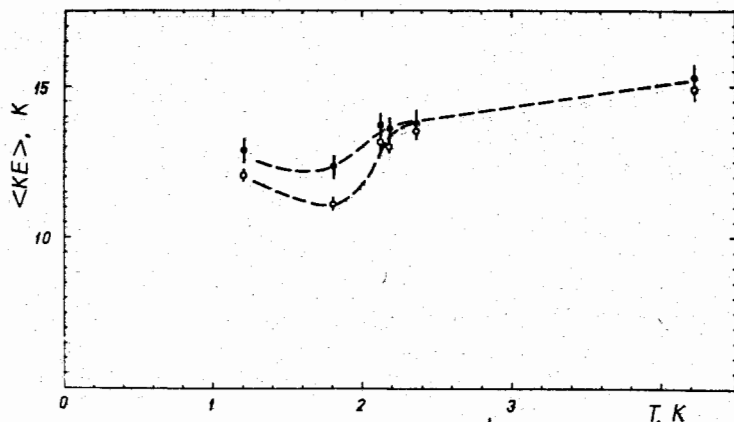


Рис. 9. Зависимость средней кинетической энергии на атом в жидком гелии-4 от температуры. Расчеты выполнены с использованием одногауссовской (белые кружочки) и двухгауссовской (черные кружочки) моделей.

Результаты анализа экспериментальных данных по определению относительной плотности БЭ конденсата в жидком гелии-4 в области температур  $T=(1,2+4,2)$  К представлены на рис. 10. Температурная зависимость  $n(0)/n$  имеет особенность при температуре  $T \approx T_\lambda$ . При температурах  $T > T_\lambda$  величина плотности БЭ конденсата, в пределах ошибок, не изменяется. Можно предположить, что полученная

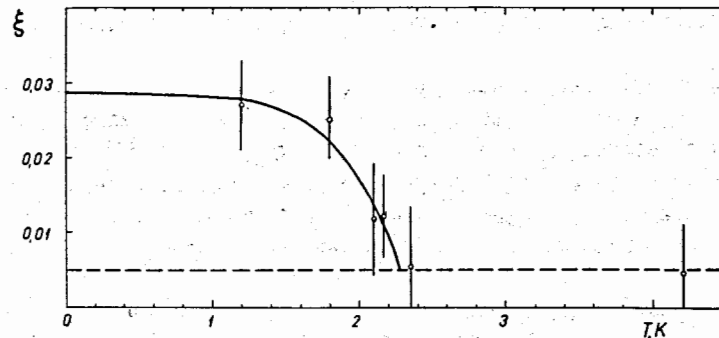


Рис. 10. Температурная зависимость относительной плотности БЭ конденсата в жидком гелии-4. Пунктирной линией показана величина систематической ошибки, сплошной линией обозначена зависимость (3) с параметрами (4).

величина  $n(0)/n$  при  $T > T_\lambda$  является систематической ошибкой, связанной с используемой экспериментальной методикой и с методом двухгауссовского разложения спектров нейтронов, рассеянных жидким гелием-4. Уровень систематической ошибки может быть оценен усреднением результатов  $n(0)/n$  при температурах  $T > T_\lambda$  ( $T=2,35$  и  $4,2$  К).

Значения относительной плотности БЭ конденсата при температурах  $T < T_\lambda$  описывались эмпирической формулой

$$\xi = \xi_0 \cdot [1 - (T/T_0)^m], \quad (3)$$

где  $\xi_0$  - относительная плотность БЭ конденсата при  $T=0$ ,  $T_0$  - температура БЭ конденсации. Свободные параметры  $\xi_0$ ,  $T_0$ ,  $m$

определялись методом наименьших квадратов

$$\xi_0 = (0,024 \pm 0,004)$$

$$T_0 = (2,29 \pm 0,12) \text{ К} \quad (4)$$

$$m = (5,6 \pm 4,0).$$

#### IV. Выводы

Приведем основные результаты, полученные в диссертационной работе:

1) Измерен спектр элементарных возбуждений в жидком гелии II. Получены зависимости положения и интенсивности пика однофононного рассеяния от волнового вектора в области  $q \approx (1,2 \pm 4) \text{ \AA}^{-1}$ .

2) Измерен спектр одночастичных возбуждений атомов в жидком гелии II. Получена зависимость энергии одночастичных возбуждений атомов гелия в жидкости от волнового вектора в области  $q \approx (2+33) \text{ \AA}^{-1}$ .

3) Получена зависимость средней кинетической энергии на атом гелия-4 в жидкости от температуры в области  $T = (1,2 \pm 4,2) \text{ К}$ .

4) Впервые по экспериментальным данным получена температурная зависимость относительной плотности БЭ конденсата в жидком гелии-4 в области  $T = (1,2 \pm 4,2) \text{ К}$ . При  $T < T_0$  с уменьшением температуры наблюдается увеличение количества БЭ конденсата, а при  $T > T_0$  в пределах точности эксперимента и математического анализа БЭ конденсат не обнаружен.

5) Впервые по экспериментальным данным получена температура БЭ конденсации

$$T_0 = (2,29 \pm 0,12) \text{ К},$$

которая, в пределах ошибок, совпадает с температурой перехода жидкого гелия-4 в сверхтекучее состояние.

6) Впервые по экспериментальным данным проведена оценка относительной плотности БЭ конденсата в жидком гелии-4 при температуре  $T \rightarrow 0$

$$\xi_0 = 0,024 \pm 0,004.$$

7) Получено, что характер температурной зависимости относительной плотности БЭ конденсата совпадает с температурной зависимостью плотности сверхтекучей компоненты в жидком гелии II.

#### Литература

1. Е.А.Козлов, В.А.Парфенов, Б.Сиджимов. ОИЯИ, РЗ-7519, Дубна, 1973.
2. Ж.А.Козлов, Л.Александров, В.А.Загребнов, В.А.Парфенов, В.Б.Приезжев. ОИЯИ, Р4-7895, Дубна, 1974.
3. Л.Александров, В.А.Загребнов, Ж.А.Козлов, В.А.Парфенов, В.Б.Приезжев, ЖЭТФ, 68, 1825 (1975).
4. Е.Б.Докукин, Ж.А.Козлов, В.А.Парфенов, А.В.Пучков. Письма в ЖЭТФ, 23, 497 (1976).
5. Ж.А.Козлов, В.А.Парфенов, Е.Б.Докукин, А.В.Пучков, препринт ФЭИ-710, Обнинск, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел  
21 февраля 1978 года.