

Вячеслав Борисович Приезжев

о жидком гелии и Бозе конденсации:

его наследие в этой области

В.А. Загребнов

Институт математики Марселя, Франция

Я расскажу об одной совместной работе по обнаружению Бозе конденсата в сверхтекучем гелии, об истории написания статьи и о дальнейшей её судьбе.

**ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ РАССЕЯНИЕ НЕЙТРОНОВ
И БОЗЕ-КОНДЕНСАТ В HeII**

*Л. Александров, В. А. Загребнов, Ж. А. Козлов,
В. А. Парфенов, В. Б. Приезжев*

Проводится анализ спектра глубоко неупругого рассеяния нейтронов ($k \approx 14,1 \text{ \AA}^{-1}$) на основе регуляризованного итерационного процесса Гаусса – Ньютона. В качестве математической модели используется форма с двумя гауссианами в соответствии с предположением, что закон рассеяния может быть представлен в виде двух гауссовых кривых, соответствующих вкладам от конденсатной и надконденсатной частей. С точки зрения статистического критерия при $T=4,2 \text{ К}$ лучшей является модель с одним гауссианом, что свидетельствует об отсутствии бозе-конденсата при этой температуре. При $T=1,2 \text{ К}$ лучшей оказывается модель с двумя гауссианами и с величиной фракции бозе-конденсата $\rho_0/\rho=0,036 \pm 0,014$.

Предыстория

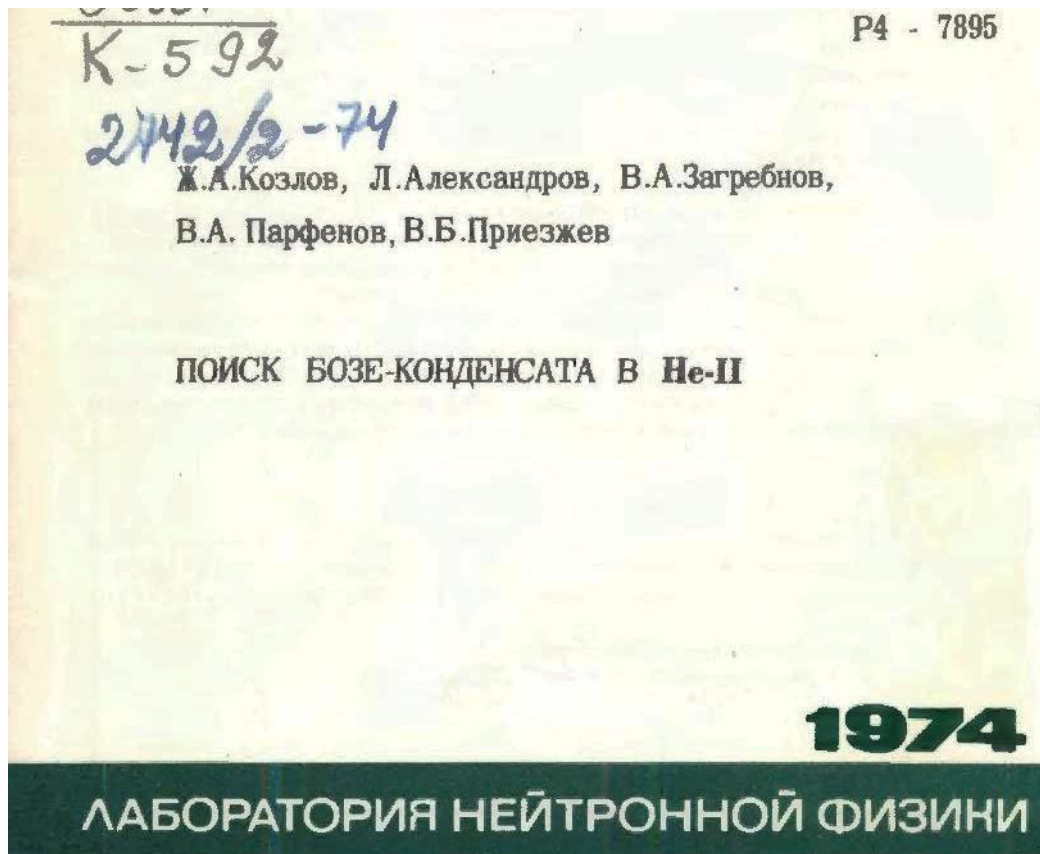
P4 - 7209

В.Б.Приезжев

**КВАЗИКРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ЖИДКОГО ГЕЛИЯ**

1973**ЛАБОРАТОРИЯ
ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ**

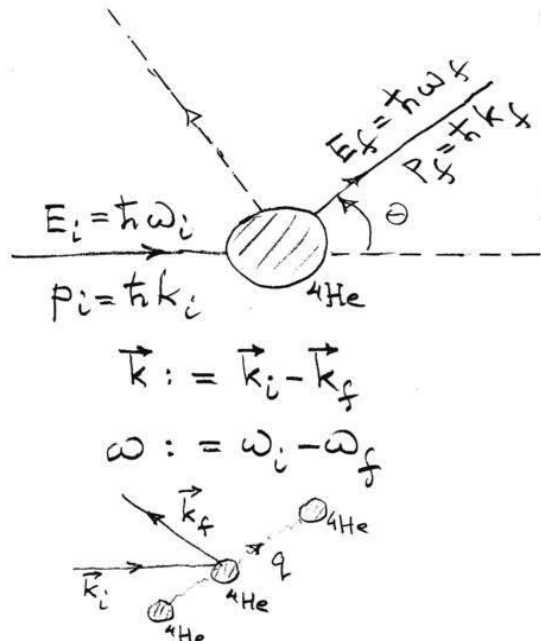
- - *Коллективные возбуждения в квазикристаллической модели жидкости.* Диссертация канд. физ-мат наук, 1973.
- - Отчёт-собрание нашей группы у В.Г.Соловьёва о сотрудничестве с ЛНФ.
- Первый результат :



①

(*) Проблема: Взаимодействие в конечных состояниях

ТЕОРИЯ



I. Какие нейтроны необходимы?

1. Рассеяние на индивидуальных атомах ${}^4\text{He}$:

$$\lambda_{\text{res}} = \frac{h}{p_i} \approx 1 \text{ \AA} \Leftrightarrow k_i > 6 \text{ \AA}^{-1}$$

2. Время рассеяния меньше времени между двумя столкновениями \Rightarrow информация об импульсе индивидуального атома ${}^4\text{He}$: $E_i \gg E_{\text{thermo}} \approx 0,5 \text{ meV} (\sim \frac{1}{2} E_{\text{rot}})$

3. Энергия отдачи после рассеяния $E_i - E_f \gg E_{\text{thermo}}$ что обеспечивает баллистическое движение атома ${}^4\text{He}$ как (почти) свободного \Leftrightarrow импульсное приближение (ИП) $\sim k \gg k_{\text{thermo}} (\sim k_{\text{rot}})$

$$\text{II. } \left(\frac{d^2\sigma}{d\omega d\Omega} \right) (k, \omega) \sim \int d\omega' e^{-i\omega't} \left\langle \sum_{q, q'} b_{q+k}^*(t) b_{q+k}(t) b_{q'+k}^*(0) b_{q'+k}(0) \right\rangle_{\text{ср}} e^{i\omega' t}$$

$$\text{(ИП)} \Rightarrow b_{q+k}(t) \sim e^{-iE(q+k)t} b_{q+k},$$

$$\hbar E(q+k) := \frac{\hbar^2}{2m_{\text{He}}} (q^2 + k^2 + 2\vec{q} \cdot \vec{k}) \Rightarrow$$

$$[*] [k \rightarrow \infty] \Rightarrow \left(\frac{d^2\sigma}{d\omega d\Omega} \right)_{\text{(ИП)}} \sim \int d\vec{q} \underbrace{\delta \left(\omega - \frac{\hbar k^2}{2m_{\text{He}}} - \frac{\hbar}{m_{\text{He}}} \vec{q} \cdot \vec{k} \right)}_{=: \delta_{\text{ИП}}(k, \omega)} n(q)$$

• Сдвиг энергии атома ${}^4\text{He}$ после рассеяния = энергия отдачи $\frac{\hbar^2 k^2}{2m_{\text{He}}}$ + Доплеровский сдвиг энергии атома ${}^4\text{He}$

• $n(q) := \left\langle b_q^* b_q \right\rangle_{\text{ср}} =$ средняя плотность атомов в моде q .

БОЗЕ КОНДЕНСАЦИЯ

III Температура $T < T_\lambda$: (d=3)

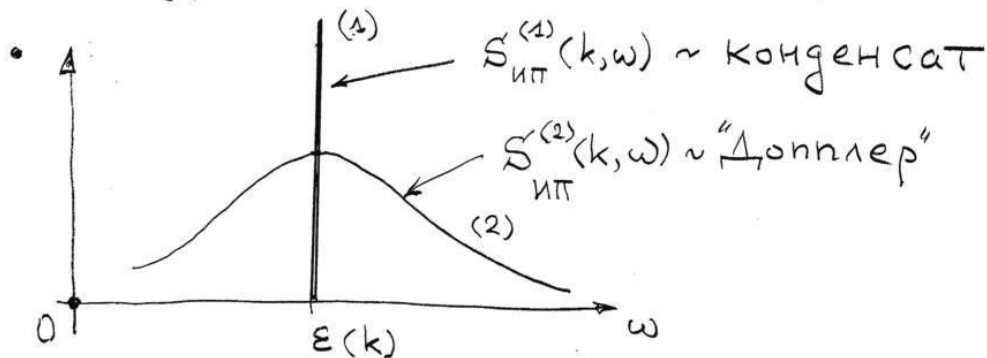
• $n(q) = n_0 \delta(q) + \tilde{n}(q) \Rightarrow n_0 \neq 0$

• $S_{ИП}(k, \omega) = \int d^3q \delta(\omega - \epsilon(k) - \frac{\hbar}{m_{He}} q k \cos(\hat{q}\hat{k})) n(q)$

$= 2\pi \int_0^\infty dq q^2 \int_0^\pi d\alpha \sin\alpha \delta(\omega - \epsilon(k) - \frac{\hbar}{m_{He}} q k \cos\alpha) \times$

$\times (n_0 \delta(q) + \tilde{n}(q)) = n_0 \delta(\omega - \frac{\hbar k^2}{2m_{He}}) +$

$+ \frac{2\pi m_{He}}{\hbar k} \int_0^\infty dq q \tilde{n}(q) \Delta(k, \omega)$, $\Delta(k, \omega) = \frac{|\omega - \epsilon(k)|}{\hbar k} m_{He}$



• NB: При $\hbar k \gg \dots \Rightarrow S_{ИП}^{(2)}(k, \omega) \rightarrow 0$

• ЖЭТФ 68 (1975) 1825, ОИЯИ Р4-7895 (1974)
 $E_c = 189,4 \text{ meV}$, $\theta = 122,62^\circ$

$k = 14,1 \text{ \AA}^{-1}$, $T_+ = 4,2 \text{ K}$, $T_- = 1,2 \text{ K} \Rightarrow$

$n_0/n = 0,036 \pm 0,014$

То, что мы увидели в эксперименте 1974 :

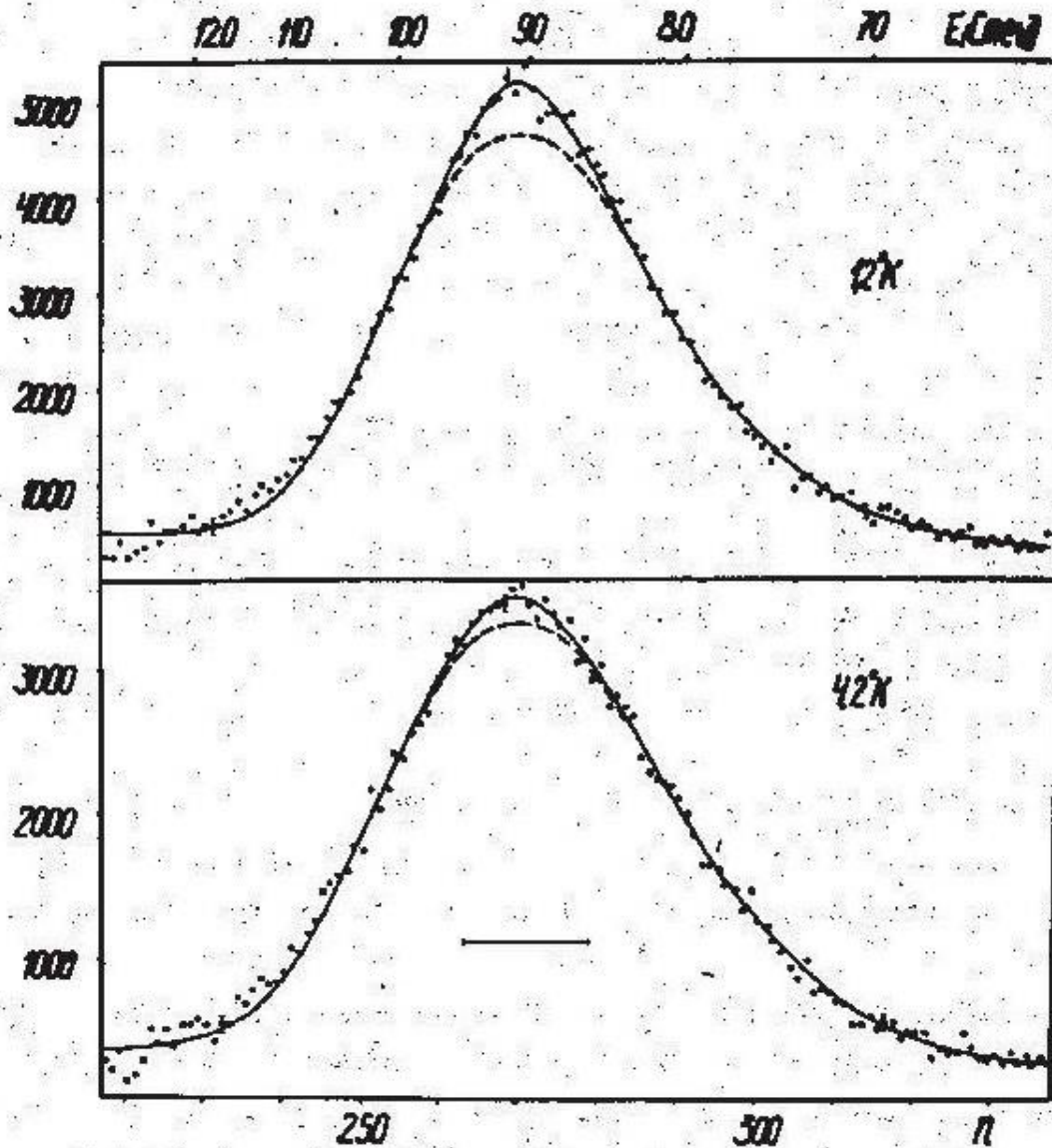


Рис. 1. Экспериментальные спектры рассеянных нейтронов жидким гелием при температурах 1,2 и 4,2 ° К / $E_1 = 189,4$ мэВ, $\theta = 122,62^\circ$, время измерения при одной температуре - около 100 час./-. Сплошной линией показана теоретическая кривая, состоящая из двух гауссианов с $\rho_0/\rho = 0,029$. Пунктиром обозначена кривая, относящаяся к надконденсатной фракции. n - номер канала анализатора.

Это сильно отличается от предсказания в рамках Импульсного Приближения.

Идея эксперимента со слабым раствором He-3 в He-4.

527700973

P17 - 9634

В.А.Загребнов, В.Б.Приезжев

К ПРОБЛЕМЕ ОБНАРУЖЕНИЯ
БОЗЕ-КОНДЕНСАТА В He II

1976

Для 5% раствора необходимо:

- на порядок увеличить интенсивность пучка;
- дополнительный отвод тепла из-за реакции



Температурная зависимость Бозе-конденсата

ЖЭТФ 75 (1978) 2273-2279

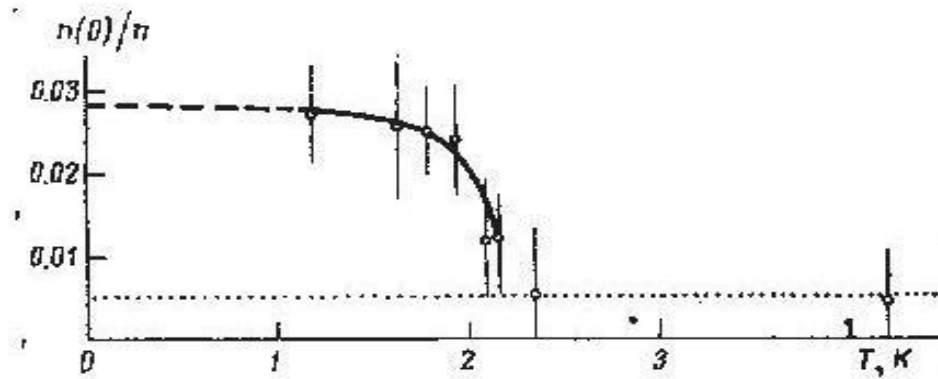


FIG. 6. Temperature dependence of the relative density of the Bose condensate in liquid helium. The dotted line is the systematic error, and the solid line is a plot of (3) with the parameters (4).

1148 Sov. Phys. JETP 48(6), Dec. 1978

At $T < T_\lambda$, the calculated values of the relative BC density were described by the empirical formula

$$\frac{n(0)}{n} = \xi_0 [1 - (T/T_0)^m], \quad (3)$$

where ξ_0 is the relative BC density at $T=0$; T_0 is the Bose condensation temperature. The values of the free parameters ξ_0 , T_0 , and m were determined by least squares:

$$\xi_0 = 0.022 \pm 0.002; \quad T_0 = 2.24 \pm 0.04; \quad m = 9 \pm 4. \quad (4)$$

Внимание: критическая температура 2,24 близка к $T_{\lambda} = 2,17$

Наследие

- К середине 70-х сложилось мнение (*ревизия* Джексона 1974), что результаты **всех** известных экспериментальных результатов методом глубоко неупругого рассеяния высокоэнергетических нейтронов согласуются **нулевой оценкой** конденсата в He-4. Работа ЖЭТФ 1975 впервые показала обратное. (Премия ОИЯИ 1976.)
- Работы в ЖЭТФ (1975-1978) вновь привлекли интерес к экспериментам по оценке конденсата в He-4 методом глубоко неупругого рассеяния высокоэнергетических нейтронов. Идея метода для оценки конденсата в He-4 была сформулирована в 1966, а подчёрпнута из физики высоких энергий, 1950.
- Эти работы довольно интенсивно обсуждались и цитируются до сих пор, в особенности, из-за расхождения в оценке конденсата для температур, близких к нулю, которые получаются другими группами и методами. Близость (совпадение) критической температуры для конденсации в He-4 и T_{λ} для сверхтекучести не оспаривается. Работа ЖЭТФ 1975 упоминается обычно как пионерская после критики Джексона 1974.
- Работа «Структура спектра возбуждений в жидком He-4» (1994) была последней, в которой участвовал Вячеслав Борисович, где опять же делались заключения о количестве конденсата в He-4.
- К началу 80-х Вячеслав Борисович значительно потерял интерес к этой тематике и переключился на математические вопросы статистической механики.