

Письма в ЖЭТФ, том 14, стр. 289 – 291

5 сентября 1971 г.

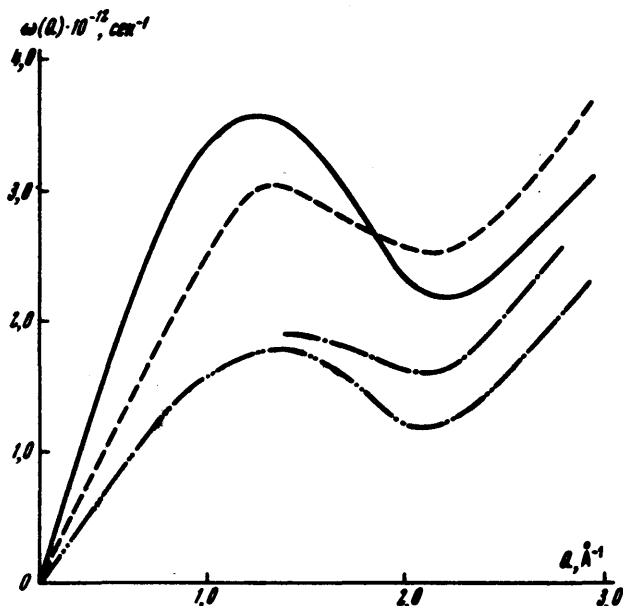
О СПЕКТРЕ КОЛЛЕКТИВНЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ В ЖИДКОМ ${}^4\text{He}$

В. М. Сысоев

Эксперименты по неупругому когерентному рассеянию холодных нейтронов простыми классическими жидкостями показывают наличие вполне определенных элементарных возбуждений типа флуктуаций плотности в области частот $\omega \sim 10^{12} \text{ сек}^{-1}$ и волновых чисел $Q \sim 1 + 3\text{Å}$ в простых жидкостях [1, 2]. Теоретические расчеты спектра элементарных возбуждений для жидкого аргона проводились в работах [3, 4]. С другой стороны в работе [5] установлено, что спектр элементарных возбуждений в сверхтекучем жидком гелии сохраняет свой вид, подобный спектру элементарных возбуждений в простых классических жидкостях при переходе через λ -точку, при этом только несколько увеличивается затухание элементарных возбуждений.

Поэтому представляется возможным провести вычисления спектра коллективных возбуждений в жидком ${}^4\text{He}$ в области высоких частот и

больших волновых чисел, где гидродинамическое описание не применимо [6], а существенную роль играют квазикристаллические свойства жидкости, что и является целью данной работы.



Пользуясь методом уравнений движения для двухвременных функций Грина типа "смещение-смещение" был получен спектр коллективных возбуждений в жидком ${}^4\text{He}$ в рамках квазикристаллической модели жидкости [7]. Коллективные движения в жидкости рассматриваются как колебания атомов в положениях равновесия, распределение которых в пространстве описывается функцией $g(R)$. Для учета сильного ангармонизма, обусловленного большими нулевыми колебаниями, использовались методы самоогласованной теории ангармонических кристаллов, позволяющие учесть все четные порядки ангармонизма [8]. Существенные для твердого и жидкого гелия корреляции типа твердых сердцевин учитывались на основе приближенного решения уравнения для T -матрицы, описанного в [9]. В результате были получены следующие выражения для продольной частоты колебаний:

$$\omega^2(Q) = \frac{2\pi\rho}{m} \int_0^\infty dR R^2 \int_{-1}^1 dt \Phi(R) t^2 (1 - \cos QRt), \quad (1)$$

где m — масса атома гелия, $\rho = N/V$ — плотность частиц, $\Phi(R)$ — продольная составляющая псевдогармонической силовой постоянной:

$$\Phi(R) = g(R) \left(\frac{\partial^2}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \right) \int \frac{d^3r}{(2\pi/\alpha^2)^{3/2}} f(r) \exp \left[-\frac{1}{2} \alpha^2 (r - R)^2 \right] \phi(r), \quad (2)$$

где $g(R)$ — функция распределения положений равновесия, которая приближенно полагается равной радиальной функции распределения,

полученной в работе [10], $\phi(r) - (6 - 12) \frac{1}{a}$ потенциал Ленарда - Джонса с параметрами $\epsilon = 10,22^\circ\text{K}$ и $\sigma = 2,556 \text{ \AA}$, $1/a^2 = \langle (u(0) - u(R))^2 \rangle$ - средний квадрат относительного смещения атомов из положения равновесия, который определяется самосогласованным образом по спектру частот, $f(r)$ - решение уравнения Бете - Голдстоуна [9], позволяющее учесть корреляции типа твердых сердцевин.

При выполнении расчетов спектра элементарных возбуждений α для $T = 0^\circ\text{K}$ находится из условия минимума энергии основного состояния $E(\alpha)$. Расчеты проводились на ЭВМ. Дисперсионная зависимость для $T = 0^\circ\text{K}$ показана на рисунке (сплошная линия), где для сравнения приведены экспериментальная кривая из [5] (пунктирная линия) и результаты расчетов работ [11] (штриховая линия) и [12] (штрих-пунктирная линия). Как видно, полученные результаты находятся в удовлетворительном согласии с экспериментом, что, по-видимому, свидетельствует о применимости квазикристаллической модели жидкости для описания спектра элементарных возбуждений не только в классических жидкостях [3, 4], но и в квантовой жидкости ^4He при учете соответствующих поправок, обусловленных большими нулевыми колебаниями.

В заключение считаю своим приятным долгом поблагодарить Н.М.Плакиду и В.Б.Приезжева за помощь в работе и за ценные обсуждения.

Киевский
государственный университет
им. Т.Г.Шевченка

Поступила в редакцию
12 июля 1971 г.

Литература

- [1] K.Sköld, K-E.Larsson. Phys. Rev., 161, 102, 1967.
- [2] K-E.Larsson. The fourth IAEA Symposium on Neutron Inelastic Scattering, Copengagen 1968, SM-104/200, p.397.
- [3] В.Б.Приезжев. Препринт ОИЯИ Р4-4502, Дубна, 1969.
- [4] C.Murase. J. Phys. Soc. Jap., 29, 549, 1970.
- [5] R.A.Cowley, P.A.H.Woods. Can. J. Phys., 49, 177, 1971.
- [6] И.М.Халатников. Введение в теорию сверхтекучести. М., 1965.
- [7] K.S.Singwi in "The Theory of Condensed Matter", IAEA, Viena, 1968.
- [8] N.M.Plakida, T. Siklós. Phys. Stat. Sol., 33, 103, 1969.
- [9] H.Horner. Phys. Rev., 1A, 1712, 1722, 1970.
- [10] E.K.Achter, L.Meyer. Phys. Rev., 188, 291, 1969.
- [11] R.P.Feynman. Phys. Rev., 94, 262, 1954.
- [12] R.P.Feynman, M.Cohen. Phys. Rev., 102, 1189, 1956.