

Ответ на комментарий В. П. Минеева и М. Е. Житомирского “Comment on “Order parameter of A -like ${}^3\text{He}$ phase in aerogel”

И. А. Фомин

Институт физических проблем им. П. Л. Капицы РАН, 119334 Москва, Россия

Поступила в редакцию 28 февраля 2005 г.

Доводы Минеева и Житомирского основаны на неоправданном пренебрежении вкладом флуктуации в свободную энергию сверхтекучего ${}^3\text{He}$ в аэрогеле.

PACS: 67.57.-z

Случайное тензорное поле $\eta_{jl}(\mathbf{r})$, введенное в работах [К5–К7] (буквой К обозначены ссылки комментария), вызывает пространственные флуктуации параметра порядка, который удобно разбить на две части: $A_{\mu j}(\mathbf{r}) = \bar{A}_{\mu j} + a_{\mu j}(\mathbf{r})$, где $\bar{A}_{\mu j} \neq 0$ есть среднее значение параметра порядка. Свободную энергию сверхтекучего ${}^3\text{He}$ при этом также можно представить в виде суммы:

$$F = F_0(\bar{A}_{\mu j}) + F_{fl}(\bar{A}_{\mu j}, a_{\mu j}),$$

где $F_0(\bar{A}_{\mu j})$ получается подстановкой $\bar{A}_{\mu j}$ в функционал Гинзбурга и Ландау, а оставшаяся часть энергии F_{fl} содержит отличные от нуля средние от флуктуационных добавок $\overline{a_{\mu j}}, \overline{a_{\nu e}}$ и т.п.

Минеев и Житомирский игнорируют существование F_{fl} и, следуя аргументам Имри и Ма [К4] и Воловика [К3], приходят к выводу об энергетической невыгодности предложенных в работах [К5–К7] квазиизотропных A -подобных фаз. В обсуждаемом случае, однако, именно вклад флуктуаций в энергию является определяющим. В этом легко убедиться оценив оба вклада. Понижение энергии $F_0(\bar{A}_{\mu j})$ достигается за счет подстройки ориентации параметра порядка под флуктуации случайного поля на некотором масштабе L . Масштаб этот для сверхтекучего ${}^3\text{He}$ - A был оценен Воловиком [К3]. В терминах поля η_{jl} это $L \sim \xi_0/\eta^2$. Энергия F_0 при такой подстройке понижается на величину $\delta F_0 \sim N(0)\tau T_c^2 \eta^4$, где $N(0)$ – плотность состояний, а $\tau = (T_c - T)/T_c$.

При оценке флуктуационного вклада в энергию следует различать флуктуации вдоль направлений, по которым параметр порядка вырожден, и в ортогональных им направлениях. Вклад флуктуаций второго типа по существу не отличается от соответствующего вклада для сверхпроводников со скалярным параметром порядка ψ . Если разбить его на среднее $\bar{\psi}$ и флуктуационную добавку ξ , то, согласно Ларкину и Овчинникову [1], $\bar{\xi}^2 \sim \bar{\psi}^2(\eta^2/\sqrt{\tau})$, а соответствующая добавка к энергии $\delta F_{\perp} \sim N(0) \cdot \tau^{3/2} T_c^2 \eta^2$.

Уже эта добавка велика по сравнению с δF_0 в меру $\sqrt{\tau}/\eta^2$ (условие $\eta^2/\sqrt{\tau} \ll 1$ необходимо для того, чтобы флуктуации параметра порядка оставались малы по сравнению с его средним значением).

Вклад в энергию от флуктуаций в направлении вырождения параметра порядка содержит дополнительный большой множитель $\sim \frac{1}{\xi_0} \int \frac{dk}{k^2}$, где k – волновой вектор соответствующих флуктуаций. Расходящийся на нижнем пределе интеграл следует обрезать на масштабе l_{Δ} , при котором флуктуации параметра порядка будут порядка его самого, то есть $l_{\Delta} \sim \xi_0(\sqrt{\tau}/\eta^2)$. Флуктуационные члены при этом могут конкурировать с членами 4-го порядка в энергии $F_0(\bar{A}_{\mu j})$, и равновесный параметр порядка не обязан совпадать с минимумом $F_0(\bar{A}_{\mu j})$. Предложенный в [К5–К7] критерий выбора фаз является условием исключения расходящихся членов в флуктуационной энергии, что дает значительно больший выигрыш, чем тот, о котором идет речь в Комментарии. Применение указанного критерия выделяет семейство квазиизотропных A -подобных параметров порядка, которые и предлагаются в качестве нулевого приближения для наблюдаемой A -подобной фазы.

Следует заметить, что для векторного параметра порядка, использованного в качестве примера в статье Имри и Ма [К4], исключение расходящихся членов возможно только за счет обращения в нуль среднего значения параметра порядка.

В силу сказанного аргументы, приведенные в “Комментарии...” Минеева и Житомирского, не дают оснований для пересмотра результатов работ [К5–К7].

Я благодарен Е. И. Кацу и Д. Е. Хмельницкому, за полезное обсуждение и Институту им. Лауэ и Ланжевена в Гренобле за гостеприимство.

1. А. И. Ларкин, Ю. Н. Овчинников, ЖЭТФ **61**, 1221 (1971).