

НЕИЗБЕЖНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУР В КВАЗИДВУМЕРНЫХ ПЛАНАРНЫХ МАГНЕТИКАХ И СВЕРХПРОВОДНИКАХ ВТОРОГО РОДА

Е. Б. Коломейский, А. П. Леванюк

Приводятся доводы в пользу того, что в квазидвумерных сверхпроводниках переход в нормальное состояние происходит через промежуточную несоразмерную фазу, представляющую собой одномерную решетку нормальных плоскостей. Аналогичные заключения верны для квазидвумерных ХУ-магнетиков.

Фазовые переходы, обусловленные спонтанным рождением дефектов, неоднократно обсуждались в литературе (см., например, ¹). Хорошо известным примером такого рода является переход несоразмерная—соразмерная фаза, связанный с образованием доменных стенок (солитонов). В недавних работах ^{2, 3} Фридель обратил внимание на то, что в квазидвумерных сверхпроводниках область существования сверхпроводящей фазы ограничена той температурой, при которой начинается спонтанное рождение вихревых петель, локализованных между проводящими плоскостями. Эта температура для квазидвумерных систем оказывается существенно более низкой, чем температура двумерного сверхпроводящего перехода (совпадающая по порядку величины в приближении среднего поля с температурой объемного фазового перехода). Аналогичные соображения верны и для квазидвумерных ХУ-магнетиков. Для определенности мы будем говорить лишь о сверхпроводниках.

Ниже мы покажем, что найденная Фриделем температура может быть интерпретирована как температура спонтанного рождения плоскостей нормальной фазы и речь, таким образом, идет о фазовом переходе соразмерная—несоразмерная фаза. Мы обсудим аномалии при таком переходе, а также влияние эффектов дискретности кристаллической решетки и дефектов на свойства этой фазы.

Рассмотрим квазидвумерный сверхпроводник с константами связи: в плоскости — J_{\parallel} , между плоскостями — J_{\perp} и соответствующими корреляционными длинами ξ_{\parallel} и ξ_{\perp} . В квазидвумерном пределе $\alpha = J_{\parallel}/J_{\perp} = \xi_{\parallel}/\xi_{\perp} \gg 1$. Температура $T_c \propto J_{\parallel}/\ln \alpha$, найденная Фриделем, соответствует спонтанному рождению вихревой петли размером порядка ξ_{\parallel} . Поскольку возможны петли обоих знаков, то взаимодействие между ними знакопеременно и при $T = T_c$ можно ожидать рождения множества петель, образующих плоскость, свойства которой близки к свойствам нормальной фазы. Определить более точно характер корреляций в плоскости не удается (для дальнейшего это несущественно). При переходе через плоскость фаза параметра порядка меняется на π . Такие плоскости, локализованные на двумерных дефектах, были рассмотрены ранее Андреевым ⁴ и еще

раньше Гудманом ⁵ в связи с обсуждением возможной структуры смешанного состояния сверхпроводников. Различные плоские дефекты отгалькиваются на больших расстояниях как и обычные доменные стенки (по закону $\exp(-l/\xi_1)$, l — межсолитонное расстояние), поэтому можно ожидать, что переход будет фазовым переходом второго рода. Как и при обычном переходе соразмерная—несоразмерная фаза различного рода аномалии должны наблюдаться со стороны несоразмерной фазы (см., например, обзор ⁶). Межсолитонное расстояние будет меняться по обычному логарифмическому закону с соответствующими аномалиями теплоемкости и других величин ⁷. Нижнее критическое поле $H_{c1\parallel}$ обращается в нуль по закону $H_{c1\parallel} \sim T_c - T$, а $H_{c1\perp} \sim (1 - \text{const } \xi_1/L)$, то есть имеет особенность в производной. Угловая зависимость H_{c1} в такой системе фактически найдена Андреевым ⁴, где также показано, что вихри, перпендикулярные плоскостям структуры могут разрываться нормальными плоскостями на участки. Это означает, в частности, что эффекты пиннинга весьма ослаблены. Тепловые флуктуации в такой системе вихрей будут гораздо более сильными, чем в обычном смешанном состоянии и поэтому здесь можно ожидать образования различных вихревых фаз, предсказанных Нельсоном ⁸, с большей вероятностью, чем в обычном смешанном состоянии. Естественно, что при повышении температуры плотность плоскостей увеличивается и в конце концов расстояние между ними сравнивается по порядку величины с их шириной ("синусоидальный" режим), вслед за чем происходит переход в нормальную фазу. В рассмотрении Фриделя фактически содержится указание на то, что плоскости рождаются в выделенных местах (между двумерными проводящими плоскостями). Это вполне согласуется с тем, что температура перехода плоскости в шероховатое состояние составляет, как можно показать, величину порядка J_H , то есть существенно превышает температуру T_c . Таким образом несоразмерная фаза представляет собой последовательность соразмерных фаз ("дьявольскую лестницу").

Обсудим теперь влияние дефектов. Последние делают доменную стенку шероховатой на больших расстояниях и, следовательно, сглаживают эффекты дискретности. Учет влияния дефектов на стенку отражается соотношением

$$w \approx AL^\xi,$$

где w — характерное поперечное смещение участка стенки размером L , ξ — индекс шероховатости, A — зависит от типа и концентрации дефектов ⁶. В рассматриваемой системе возможны лишь дефекты типа случайной температуры, для которых с хорошей точностью $\xi = 2/5$ ⁶. Используя методы, развитые в ⁶, можно показать, что температура перехода будет ниже T_c на величину, пропорциональную $c^{2/5}$, межсолитонное расстояние меняется по закону $1/l \sim (T - T_c)^\beta$, $\beta = 1/3$ с очевидными изменениями температурных зависимостей теплоемкости и других величин. Все сказанное выше о зависимостях критических полей остается в силе.

Представляется, что наиболее простым методом обнаружения рассматриваемой здесь несоразмерной фазы было бы наблюдение уширения линий ядерного магнитного или квадрупольного резонанса.

Авторы признательны В.Л.Инденбому за полезные дискуссии.

Литература

1. Kosterlitz J.M., Thouless D.J. J. Phys. C, 1973, 6, 1181.
2. Friedel J. J. Phys. France, 1988, 49, 1561.
3. Friedel J. J. Phys. France, 1988, 49, 1769.
4. Андреев А.Ф. Письма в ЖЭТФ, 1987, 46, 463.
5. Goodmann B.V. Rev. Mod. Phys., 1964, 36, 12.

6. *Nattermann T., Villain J.* Phase Transitions, 1988, 11, 5.

7. *Дзялошинский И.Е.* ЖЭТФ, 1964, 47, 992.

8. *Nelson D.R.* Phys. Rev. Lett., 1988, 60, 1973.

Институт кристаллографии им А.В.Шубникова
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
4 января 1989 г.