

ПОВЕРХНОСТНОЕ СМЕШАННОЕ СОСТОЯНИЕ СВЕРХПРОВОДНИКОВ ПЕРВОГО РОДА

И.Л.Ландау, Ю.В.Шаргин

Рассматривая различные модели структур промежуточного состояния, Л.Д.Ландау указал на возможность возникновения на поверхности металла тонкого слоя, в котором сверхпроводящее (s -) и нормальное (n -) состояние "перемешаны" так тесно, что возникает некоторое новое состояние, названное им смешанным". Известно, что предположение [1, 2] о наличии смешанного состояния на поверхности образцов, помещенных в постоянное магнитное поле, не оправдалось (см. [3–5]).

Существует, однако, и другая отмеченная Ландау [6] возможность для возникновения смешанного состояния – в том случае, если разрушение сверхпроводимости происходит под действием тока, текущего по образцу, в то время как магнитное поле на рассматриваемом участке поверхности остается меньшим чем критическое поле H_c . Такие условия возни-

кают, например, в случае полого цилиндра с током I , текущим вдоль его оси. Поле при этом равно нулю внутри отверстия и остается малым и в самом металле вблизи внутренней поверхности цилиндра. Ввиду этого, нормальное состояние металла при $T < T_c$, здесь должно быть неустойчивым даже когда I значительно превышает критическое значение I_c , при котором поле на наружной поверхности равно H_c . С другой стороны, при $I > I_c$ образец обладает сопротивлением и образование сплошного s -слоя, вдоль внутренней поверхности, таким образом, исключается. Можно предположить, что на поверхности образуется тонкий слой (порядка 10^{-4} см) смешанного состояния, который должен обладать весьма высокой проводимостью, поскольку для того, чтобы металл, примыкающий к слою, находился в n -состоянии, поверхностная плотность тока в слое должна быть не меньше $sH_c/4\pi$ (если пренебречь влиянием электрического поля и тока на свойства нормальной фазы). В том случае, если часть объема цилиндра занята промежуточным состоянием, на внутреннюю поверхность могут выходить s -области, в то время как домены n -фазы должны быть покрыты слоем смешанного состояния.

Надо отметить, однако, что предположение [6] могло бы оказаться не реализуемым, как и [1, 2] в случае неустойчивости этой модели. Например, разрушение слоя в каком-либо месте, приводя к перераспределению тока, потере аксиальной симметрии и появлению поперечного поля в отверстии, могло бы прогрессировать под действием этого поля, что привело бы к образованию на внутренней поверхности обычного промежуточного состояния.

С целью выяснения этих вопросов нами были начаты экспериментальные исследования состояния полого монокристаллического цилиндра отлитого из индия с $R_{300^\circ\text{K}}/R_{0^\circ\text{K}} = 1,6 \cdot 10^4$ с диаметрами $d_1 = 5,65$ мм, $d_2 = 3,15$ мм и длиной 32 мм. Свинцовые токоподводы, припаянные к концам цилиндра, были аксиально симметричны и не искажали поле вблизи цилиндра. Ток I через образец создавался сверхпроводящим генератором с вращающимися магнитами, работающими по принципу "накачивания потока" [7]. Благодаря симметричной конструкции генератора создаваемое им напряжение было достаточно постоянным.

Для получения вольт-амперных характеристик образца $V(I)$ к цилиндру в его средней части были присоединены потенциальные провода на расстоянии 10 мм друг от друга. Зависимости $V(I)$ при температурах 1,39 и 3,16° представлены на рис. 1 (кривые 1 и 2). Зная проводимость мате-

риала образца в n -состоянии, из этих данных можно вычислить величину тока, текущего в поверхностном слое. Эти вычисления затрудняются, однако заметной зависимостью сопротивления использованного индия от температуры и магнитного поля измерительного тока. Ввиду этого, зависимости $V(I)$ были получены для нескольких температур выше T_c , что позволило с достаточной точностью экстраполировать эти данные к $T = 3,13^\circ$ и построить зависимость между V и током, текущим через n -фазу (кривая 3 на рис. 1). Разность абсцисс кривых 2 и 3 должна представлять собой таким образом ток, текущий в поверхностном слое, который в пределах точности эксперимента не зависел от I вплоть до $I = 10I_c$ и равнялся

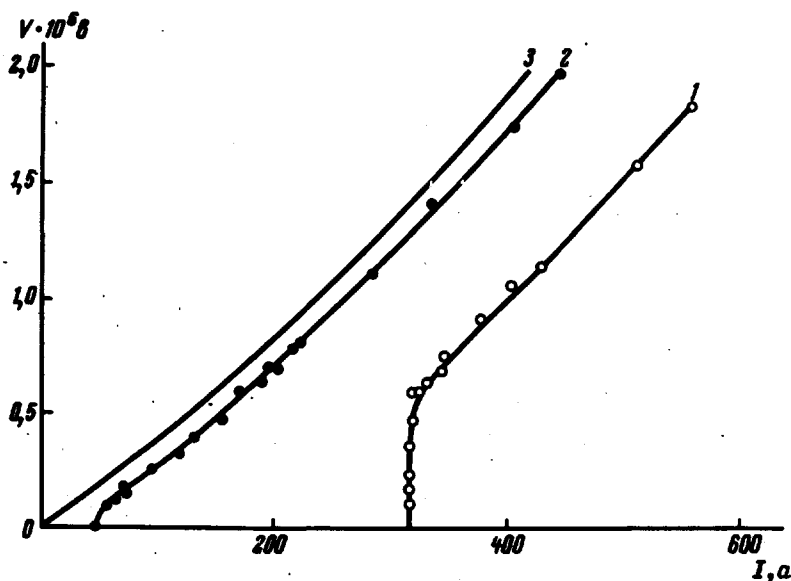


Рис. 1.

25–30 а, в то время как его расчетное значение $I_c = (d_2/t_1) = 26$ а. Существование значительного поверхностного тока близкого по величине к $I_c = (d_2/d_1)$ следует из вида кривых $V(I)$ и для более низких температур (кривая 1).

Для получения информации о состоянии внутренней поверхности цилиндра к ней были приварены тонкие ниобиевые проволочки, причем размеры контактов имели порядок 10^{-4} см. Подобные микроконтакты нами уже применялись ранее для исследования динамического промежуточного состояния [8,9]. Разность потенциалов v между образцом и проволочкой измерялась как функция тока i через проволочку при различных I . Мы могли также измерять величину dv/di (i) при помощи устройства, работающего на переменном измерительном токе частотой 15 кГц с чувствительностью усилителя около 10^{-7} в и замечать колебания dv/di с частотами до 1 кГц.

При нормальном образце ($T_c < T < 4,2^\circ$) характеристики $v(i)$ были линейными, сопротивление микроконтактов r_n имело порядок $10^{-2} - 10^{-3}$ ом, изменения T и l не влияли на r_n .

При сверхпроводящем образце ($T < T_c, l < l_c$) на кривой $v(i)$ появлялся участок с $v = 0$, разность потенциалов возникала при $i > i_c(T)$ (кривая 1 на рис. 2). При $l > l_c$ (мы доходили до $l \sim 10l_c$) на характеристиках при $0 < i < i_1(l)$ (где $i_1 < i_c$) сохранялся участок, где мы не могли обнаружить отклонения v от нуля (кривая 2 на рис. 2), что указывает на высокую проводимость поверхностного слоя. Вид характеристик различных микроконтактов различался, однако, указанные особенности прослеживались во всех случаях.

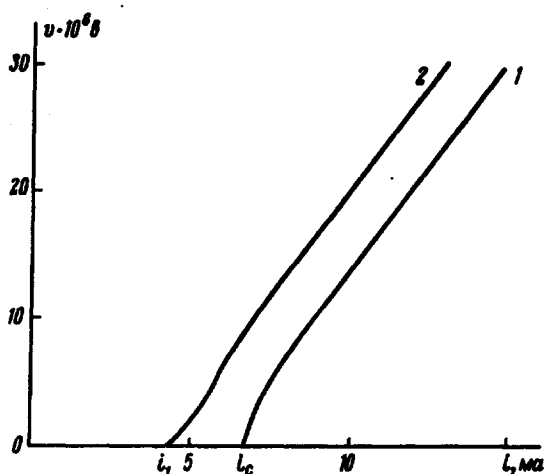


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики ниобиевого контакта (кривые получены на самописце ПДСО-21) $T = 3,02^\circ\text{K}$. Кривая 1- $l = 0$, кривая 2- $l = 610 \text{ \AA} = 8,2l_c$

Мы не наблюдали временных изменений характеристик $v(i)$ хотя если бы на поверхности имелась обычная движущаяся структура динамического промежуточного состояния, такие колебания при частоте меньше 1 кГц были бы несомненно обнаружены. Несколько скачков v от 0 до $r_n i$ и обратно наблюдались обычно после остановки генератора, когда по образцу дрейфовали остаточные участки n -фазы, уже не имевшие аксиально симметричного расположения.

Изложенные наблюдения, как нам кажется, показывают, что поверхностное смешанное состояние сверхпроводников первого рода устойчиво и возникает на внутренней поверхности полого цилиндрического образца с текущим по нему током. Аналогичные условия можно создать и при других конфигурациях - например, на внешней стороне того же цилиндра если в его полости находится коаксиальный провод с током $-I$ и пр.

Можно предполагать, что в слое существуют регулярно расположенные неоднородности с размерами порядка толщины слоя, которые, также

как и структуры промежуточного состояния в индии [6] должны перемещаться с дрейфовой скоростью электронов в слое (порядка 10^2 см/сек).

С целью дальнейшего изучения свойств слоя смешанного состояния мы предполагаем произвести измерения его поверхностного импеданса и поиски электромагнитного излучения, возможно, испускаемого этим слоем.

Мы благодарны А.Ф.Андрееву и Л.П.Горькову за обсуждение затронутых в статье вопросов.

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
18 июля 1969 г.

Литература

- [1] Л.Д.Ландау. *Nature*, 141, 866, 1938.
- [2] Л.Д.Ландау. *ЖЭТФ*, 13, 377, 1943.
- [3] А.Г.Мешковский, А.И.Шальников. *ЖЭТФ*, 17, 851, 1947.
- [4] Л.Д.Ландау. *ЖЭТФ*, 7, 371, 1937.
- [5] Е.М.Лифшиц, Ю.В.Шарвин. *ДАН СССР*, 79, 783, 1951.
- [6] Л.Д.Ландау. Частное сообщение Д.Шенбергу, см. *D.Shoenberg Superconductivity*, p. 59 Cambridge, University Press, 1938.
- [7] J.Volger, P.S.Admiraal. *Physics Lett.*, 2, 257, 1962.
- [8] Ю.В.Шарвин. *Письма в ЖЭТФ*, 2, 287, 1965.
- [9] Ю.В.Шарвин. Труды 10-й международной конференции по физике низких температур. М., ВИНТИ, 2В, 323, 1967.