

ИЗУЧЕНИЕ ДВУМЕРНОГО СМЕШАННОГО СОСТОЯНИЯ СВЕРХПРОВОДНИКОВ ПЕРВОГО РОДА

И. Л. Ландау, Ю. В. Шарвин

Как уже сообщалось [1], при разрушении сверхпроводимости полого цилиндрического образца протекающим по нему током на внутренней его поверхности образуется тонкий слой предсказанного Л. Д. Ландау "смешанного" состояния, в котором течет ток с плотностью значительно превосходящей плотность тока в нормальной фазе образца. В описанных ниже экспериментах были осуществлены условия, при которых цилиндрический слой подобного состояния можно было создавать не только на внутренней или наружной поверхности цилиндрического образца, но и внутри образца на произвольном расстоянии от оси. Поскольку смешанное состояние сверхпроводников первого рода имеет, по-видимому, всегда вид тонких слоев, мы, чтобы отличить его от смешанного состояния сверхпроводников второго рода, будем употреблять ниже термин "двумерное смешанное состояние" (д.с. состояние).

Образец представлял собой полный монокристаллический цилиндр с диаметрами $d_1 = 6,1$ мм и $d_2 = 7,7$ мм и длиной 55 мм, отлитый из индия с $\rho_{300^\circ} / \rho_{3,4^\circ} = 2,2 \cdot 10^4$. Тетрагональная ось кристалла была параллельна оси цилиндра. В полости образца был помещен свинцовый провод диаметром 4,5 мм, по которому пропускался постоянный ток I_b от сверхпроводящего трансформатора. Ток в образце I_0 возбуждался, как и в [1], сверхпроводящим генератором. Все токоподводы вблизи образца были аксиально симметричны. Для измерения токов использовались тороидальные датчики магнитного поля с сердечниками из пермаллоя [2]. При различных значениях токов I_0 и I_b определялось падение напряжения на образце V , для чего использовался сверхпроводящий модулятор. Кроме того, ко внутренней и внешней поверхности образца были прижаты катушки из медной проволоки диаметром 20 мкм в виде плоских однослойных спиралей с размерами 5×2 мм, с помощью которых можно было наблюдать изменения поверхностного импеданса образца на частотах порядка 10^6 гц при возникновении д.с. состояния на поверхности образца (измерялось изменение частоты сигнала генератора, к которому присоединялись катушки).

Наиболее интересным представляется случай, когда I_0 и I_b были направлены в противоположные стороны. На рис. 1 показана вольт-амперная характеристика $V(I_0)$ при фиксированном $I_b = -181$ а и $T^\circ = 2,95^\circ\text{K}$ (кривая 1.) и зависимость от I_0 импеданса наружной поверхности образца на частоте 4,8 Мгц в произвольном масштабе (кривая 2). Слева от кривой показан масштаб наблюдавшихся изменений частоты измерительного генератора. В условиях опыта $|I_b| > I_c$, где I_c - ток, создающий на наружной поверхности образ-

ца поле $H = H_c$. Вследствие этого в интервале $0 \leq I_0 < -I_b - I_c$ образец был полностью нормальным и его сопротивление V/I_0 и импеданс имели практически постоянное значение. При дальнейшем увеличении I_0 поле H становилось меньше H_c по абсолютной величине, на поверхности зарождался слой д. с. состояния, и импеданс начал резко падать, доходя практически до своего значения для чисто сверхпроводящей поверхности вблизи точки $I_0 = -I_b$, где $H = 0$. При увеличении I_0 в интервале $-I_b - I_c < I_0 < I_b + I_c$ напряжение на образце оставалось постоянным, следовательно оставался постоянным ток, текущий по нормальному металлу, и магнитное поле на границе между нормальным металлом и д. с. слоем оставалось равным H_c . В то же время ток в д. с. слое возрастал от 0 до $2I_c$, а поле H изменялось от $-H_c$ до H_c .

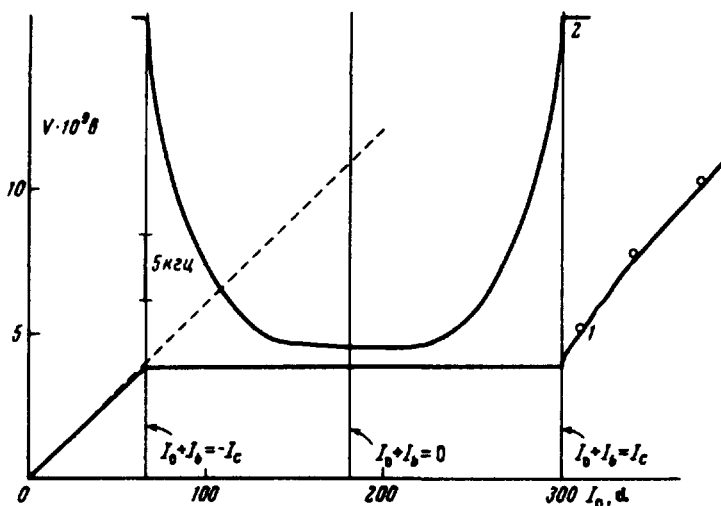


Рис. 1

В точке $I_0 = I_b + I_c$ поверхность образца переходила в нормальное состояние, как показывают измерения поверхностного импеданса; однако слой д. с. состояния, очевидно, не исчезал, а лишь начинал проремещаться в глубь образца, продолжая нести дополнительный ток по сравнению с вольт-амперной характеристикой нормального состояния, показанной на рис. 1 пунктиром. Приняв, что слой имеет форму цилиндра радиуса r и несет ток $I_{сл} = crH_c$, причем магнитное поле претерпевает на слое скачок от $-H_c$ до H_c , а в остальной части образца плотность тока постоянна можно легко выразить $I_{сл}$ через I_0 , I_b и I_c . Удовлетворительное совпадение полученных таким способом точек с экспериментальной кривой на рис. 1 служит подтверждением сделанных предположений.

В том случае, когда I_0 и I_b имели один знак, можно было наблюдать при помощи катушки, расположенной на внутренней поверхности образца, исчезновение д. с. слоя, когда I_b достигало значения $(d_1/d_2)I_c$, при котором поле на внутренней поверхности равнялось критическому.

Таким образом, в двусвязных образцах сверхпроводников второго рода возможно существование слоев д. с. состояния, которые являются, если пренебречь их толщиной, поверхностями разрыва магнитного поля. Скачок магнитного поля $\Delta H = 2H_c$, если слой находится внутри образца и $\Delta H \leq 2H_c$, когда слой находится на поверхности образца.

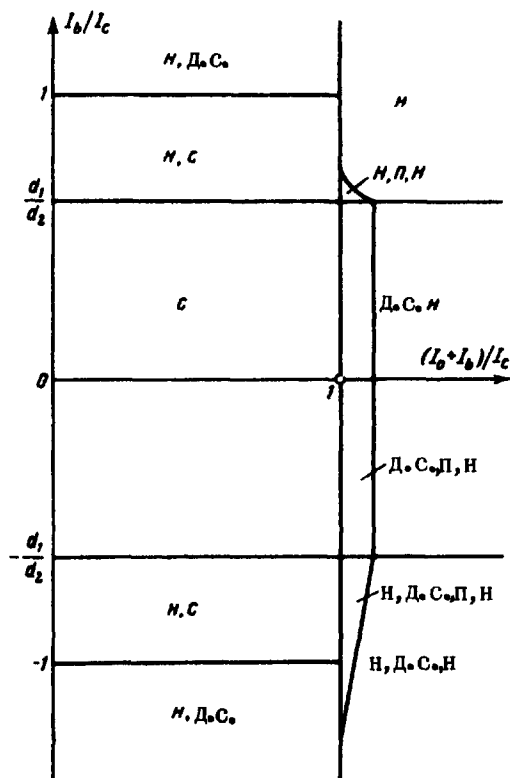


Рис. 2. Диаграмма состояний полого цилиндрического образца. Для каждой области состояния коаксиальных слоев в образце перечисляется от внутреннего слоя к наружному. с – сверхпроводящее состояние, н – нормальное, п – промежуточное, д.с. – двумерное смешанное состояние

Диаграмма состояний полого цилиндрического образца при различных значениях I_b и суммы $I_0 + I_b$ согласно этим представлениям должна иметь вид, показанный на рис. 2 (для токов I_0 малых по сравнению с током разрушения д. с. слоя, который в наших опытах превышал I_c в несколько десятков раз).

Мы благодарны А.Ф.Андрееву за обсуждение затронутых в статье вопросов.

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
8 декабря 1971 г.

Литература

- [1] И.Л.Ландау, Ю.В.Шарвин. Письма в ЖЭТФ, 10, 192, 1969.
- [2] Б.И.Перегуд. ПТЭ, №3, 64, 1957.