

Письма в ЖЭТФ, том 20, вып. 7, стр. 461 – 464 5 октября 1974 г.

НАБЛЮДЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОМЕЖУТОЧНОГО СОСТОЯНИЯ, СОЗДАВАЕМОГО ТОКОМ В ОЛОВЯННЫХ ЦИЛИНДРАХ

Я.С.Кан, В.А.Фролов

Измеряя распределение магнитной проницаемости вдоль находящегося в промежуточном состоянии цилиндрического сверхпроводника с током, удалось непосредственно наблюдать детали структуры промежуточного состояния.

Восстановление электрического сопротивления сверхпроводящих проволок током впервые экспериментально наблюдалось Шубниковым и Алексеевским [1]. В лондоновской теории [2], которая качественно объяснила наблюдаемое явление, предполагается, что при токе, большем критического, цилиндр радиуса a разбивается на нормально проводящий наружный слой ($r_0 < r < a$) и сердцевину ($r < r_0$), состоящую из ряда дискообразных сверхпроводящих доменов, чередующихся с областями нормальной фазы. Дальнейшие многочисленные исследования восстановления сопротивления током не противоречат такой модели. Более непосредственно структуру создаваемого током промежуточного состояния исследовал Макей [3] при помощи висмутового зонда, который двигался в узкой щели, сделанной в диаметральной плоскости ци-

линдра, подобно тому, как это впервые было сделано Мешковским и Шальниковым [4] на шаре. Опыты Макея, а также Риндерера [5] доказали существование сердцевин в промежуточном состоянии.

Следует отметить, что даже если в действительности осуществляется лондоновская структура, то наблюдать ее с помощью известных методик (порошковой, магнитооптической) трудно, так как при токе чуть большем критического промежуточное состояние уходит вглубь цилиндра. Известна лишь одна попытка прямого наблюдения слоистой структуры на поверхности цилиндра [6], в которой авторам пришлось "прижать" сердцевину к поверхности [5] поперечным магнитным полем, после чего она стала наблюдаемой при помощи порошка. К сожалению, поперечное поле (величиной $0,2 H_K$) искажало симметрию зада-

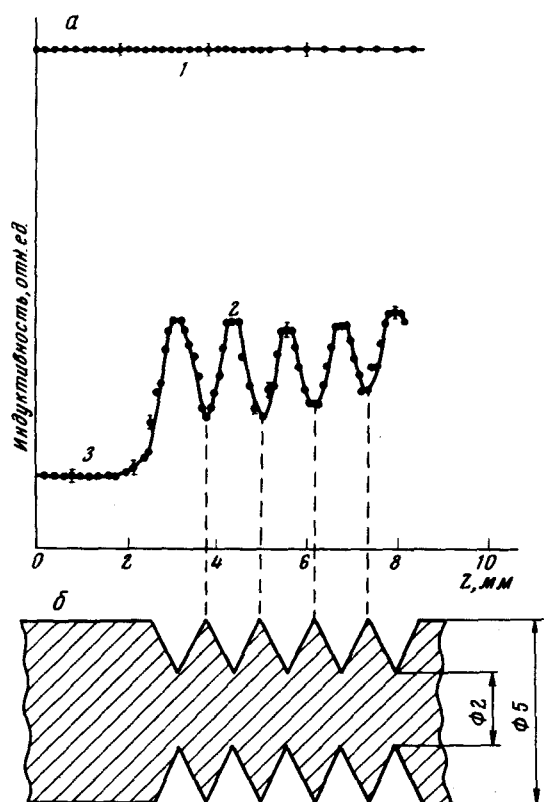


Рис. 1

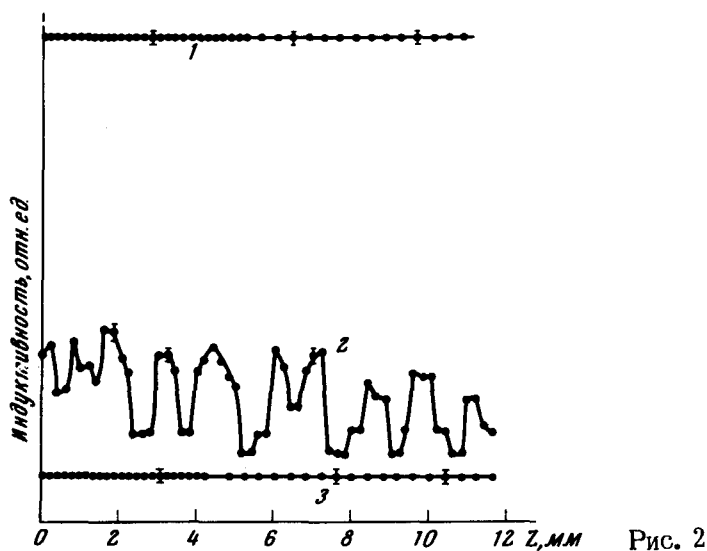
чи и возникает сомнение в сохранении первичной структуры сердцевин. Большим успехом авторов было установление статического характера структуры, что не подтверждало динамическую модель Гортера [7].

В последнее время, рассмотрев задачу с микроскопической точки зрения, Андреев [8] пришел к выводу, что наиболее выгодной является структура, промежуточная между лондоновской и гортеровской.

Мы попытались обнаружить структуру создаваемого током промежуточного состояния в цилиндрических сверхпроводниках, применив новую методику, заключающуюся в измерении распределения магнит-

ной проницаемости по длине цилиндра. Для этого проводились измерения самоиндукции короткой катушки, охватывавшей образец и перемещавшейся вдоль него. При наличии периодической структуры, т. е. периодического изменения магнитной проницаемости, самоиндукция катушки также периодически изменялась бы в зависимости от положения катушки на образце¹⁾.

Необходимая длина катушки могла быть ориентировочно оценена из [6], а также из теоретических работ [9, 10], по первой из которых на цилиндре диаметром 5 мм следовало ожидать период 2,88 мм, а по второй — 3,56 мм. В наших экспериментах катушка была длиной 0,5 мм. Зазор между образцом и катушкой составлял около 0,1 мм. Катушка могла перемещаться вдоль образца и устанавливаться в нужном положении при помощи микрометрического устройства. Шаг перемещения составлял 0,1 + 0,2 мм. Для проверки методики были изготовлены из олова три модели сверхпроводящей части лондоновской структуры при критическом токе с внешним диаметром 5 мм и периодами 3,6; 2,4; 1,2 мм (на рис. 1, б изображена модель с периодом 1,2 мм). Выше T_K олова самоиндукция катушки не зависела от ее положения на модели (рис. 1, а, кривая 1). Ниже T_K самоиндукция, естественно, уменьшалась и вдоль сплошной части также не зависела от положения катушки (рис. 1, а, кривая 3). При установке катушки над нарезной частью самоиндукция катушки изменялась с периодом модели (рис. 1, а, кривая 2).



Исследуемый образец представлял собой оловянный монокристаллический цилиндр²⁾ диаметром 5 мм, длиной 70 мм. О достаточной чистоте и совершенстве монокристалла можно судить по тому факту, что

1) Изложение методики прецизионных измерений малых индуктивностей будет описано позже.

2) Мы благодарны Б.Н.Александрову за предоставление монокристалла.

скачок магнитной проницаемости образца при сверхпроводящем переходе происходил в интервале 1 мК. Образец монтировался в дюаре вертикально. Эксперименты проводились вблизи T_K ($\Delta T \approx 13$ мК) при критических токах примерно 2 а. Выше T_K и ниже T_K при нулевом токе в образце самоиндукция катушки не зависела от ее положения на образце (рис. 2, кривые 1 и 3). Когда же по образцу протекал ток, несколько больший критического, то в этом случае распределение магнитной проницаемости образца вдоль оси обнаруживало достаточно четкую периодичность (рис. 2, кривая 2) с периодом $1,3 \pm 0,1$ мм, хотя структура была не столь геометрически правильной как на модели. Наблюдавшаяся картина до удивления хорошо воспроизводилась в течение дня и даже в разные дни. Характер кривой не изменялся, если мы компенсировали вертикальную составляющую земного поля и поле измерительной катушки. Указанные кривые снимались в течение различных промежутков времени — от 20 мин до 1 часа, в течение эксперимента температура поддерживалась с точностью 0,5 мК, а нестабильность тока в образце не превышала 5 ма.

Представляется, что в проведенных опытах удалось непосредственно наблюдать структуру промежуточного состояния, создаваемого током в оловянных цилиндрах. Она оказалась статической и подобна той, которую предполагал Лондон.

Мы глубоко признательны Б.Г.Лазареву за ряд ценных указаний, многочисленные плодотворные дискуссии и неизменный живой интерес к работе.

Харьковский
физико-технический институт
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
2 августа 1974 г.

Литература

- [1] Л.В.Шубников, Н.Е.Алексеевский. ЖЭТФ, 6, 1200, 1936.
- [2] F.London. Superfluids, 1, 120, New York — London, 1950.
- [3] Б.В.Макей. ЖЭТФ, 34, 312, 1958.
- [4] А.Г.Мешковский, А.И.Шальников. ЖЭТФ, 17, 851, 1947.
- [5] L.Rinderer. Helv. Phys. Acta, 29, 339, 1956.
- [6] L.Rinderer, F.Haenssler. Helv. Phys. Acta, 32, 320, 1959.
- [7] C.J.Gorter. Physica, 23, 45, 1957.
- [8] А.Ф.Андреев. ЖЭТФ, 54, 1510, 1968.
- [9] C.G.Kuper. Phil. Mag., 43, 1264, 1952.
- [10] D.C.Baird, B.K.Mukherjee. Phys. Rev. Lett., 21, 996, 1968.