

Н. Е. АЛЕКСЕЕВСКИЙ

К ВОПРОСУ О СКОРОСТИ ПЕРЕХОДА МЕТАЛЛА ИЗ НОРМАЛЬНОГО В СВЕРХПРОВОДЯЩЕЕ СОСТОЯНИЕ

(Представлено академиком Л. Д. Ландау 2 II 1948)

Вопросы, связанные с кинетикой перехода сверхпроводников, до сих пор в литературе освещались недостаточно. Поэтому представляло интерес рассмотреть некоторые особенности сверхпроводящих переходов и прежде всего определить скорость перехода из несверхпроводящего в сверхпроводящее состояние, осуществляемую в реальных условиях опыта.

Для измерения скорости был использован прибор, состоявший из монокристалльного оловянного образца длиной 80 мм и диаметром 3 мм, помещенного в эбонитовой ампулке, на середине которой была расположена катушка, соединявшаяся с малоинерционным гальванометром. Длина катушки 10 мм, внешний диаметр 10 мм. Она имела 25 000 витков эмалированной проволоки диаметром 0,03 мм. Для того чтобы устранить возникновение термо-эдс, образующихся из-за понижения уровня гелия при откачке, подводящие провода пропускались через двухстенную трубку, у которой в пространстве между стенками автоматически образовывался вакуум после того, как она оказывалась в жидком гелии. Эбонитовая ампулка с образцом и катушкой окружалась стеклянной рубашкой, заполнявшейся газообразным гелием и соединявшейся с внешней гелиевой проводкой через двухстенную трубку, служившую одновременно для вывода проводов. Наличие такой рубашки давало возможность использовать ее в качестве газового термометра и, таким образом, измерять истинную температуру образца. Кроме того, применяя такую рубашку, можно было быть более уверенным в том, что градиент температуры будет направлен вдоль радиуса образца. Измерительная катушка включалась на малоинерционный гальванометр, имевший период 0,01 сек., внутреннее сопротивление 55 Ω и чувствительность $6,9 \cdot 10^{-7}$ А/мм на 1 м; зайчик гальванометра записывался на барабан с фотопленкой. Последовательно с гальванометром и измерительной катушкой включалось эталонное сопротивление R_n , равное 0,01 Ω . Возникавшая на этом сопротивлении разность потенциалов, при пропускании через него тока, служила для градуировки гальванометра.

Отсчет времени производился закрытием пучка света шторкой, сидевшей на валу синхронного мотора, который вращался со скоростью 10 об/сек. Магнитное поле создавалось соленоидом, дававшим 355 Г/А. Такой соленоид имел однородное, с точностью до 1,5%, поле на участке 14 см. Снимки производились в постоянном поле при изменении температуры.

Опыт проводился следующим образом. Через соленоид пропускался ток, создававший магнитное поле нужной напряженности, затем пони-

жалась температура настолько, чтобы до перехода образца в сверхпроводящее состояние оставалось 0,02—0,03°; эта температура поддерживалась постоянной несколько минут, в течение которых на барабане с фотопленкой записывался градуировочный отброс гальванометра, затем резко включалась максимальная откачка и на фотопленке записывался отброс, вызванный переходом образца в сверхпроводящее состояние. На рис. 1 приведены снимки, полученные этим методом.

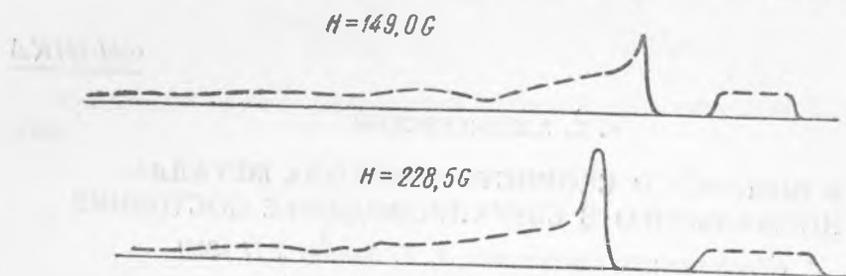


Рис. 1

Максимальное значение скорости перехода при охлаждении может быть весьма просто определено из величины максимального отброса гальванометра. Для рассматриваемого случая

$$\frac{dr}{dt} = \frac{(\alpha/\gamma_n) I_n R_n \cdot 10^8}{2\pi r_0 H n}$$

где I_n — ток градуировки, α_n — величина отклонения гальванометра при градуировке, α — максимальное отклонение гальванометра при переходе образца в сверхпроводящее состояние, n — число витков катушки *, r_0 — радиус образца. Полученное таким образом значение скорости для разных температур приведено на рис. 2.

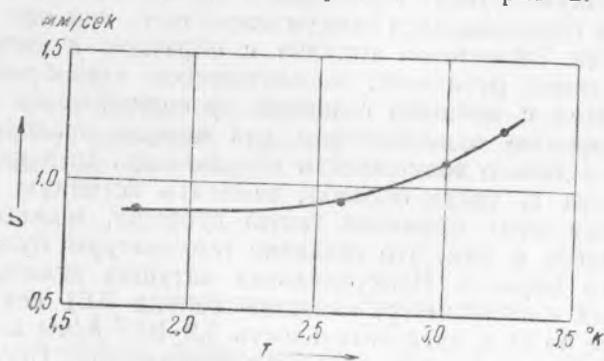


Рис. 2

Кривые, полученные для нагревания, указывают на большее значение скорости и имеют плавный, лишенный скачков вид. Однако, так как переходы, происходящие при нагревании всего гелия в дьюаре, вследствие малой скорости этого процесса приводили к ничтожно малым отбросам гальванометра, то приходилось производить нагрев впускаям теплого гелия в ампулку, а в этом случае, конечно,

* Для определения эффективного значения n измерялся отброс баллистического гальванометра при переходе образца в сверхпроводящее состояние в известном магнитном поле. В этом случае, зная магнитный момент и сечение образца, можно найти n .

направление градиента могло быть иным, чем при охлаждении. Нагрев гелия в дюаре электрическим нагревателем был недопустим. Он приводил к дрожанию и паразитным скачкам гальванометра. Так как можно было предположить, что отсутствие непосредственного контакта между образцом и жидким гелием может сказаться на скорости перехода, был произведен опыт, в котором стеклянная рубашка была удалена (в этом случае измерения были проделаны на монокристалле свинца). Полученная осциллограмма показала, что скорость перехода для свинца также не велика — она составляет 0,3 мм/сек.

Если рассматривать переход в сверхпроводящее состояние цилиндра, находящегося в продольном однородном магнитном поле, то при понижении температуры рост сверхпроводящей фазы должен начаться с периферии, однако в этом случае поле в центре будет заперто и по мере продвижения границы вглубь поле на ней будет возрастать, пока не достигнет критического значения. Следовательно, такая картина роста невозможна, и скорее всего процесс перехода будет протекать с образованием промежуточного состояния. Аналогичное явление должно иметь место и при уменьшении поля, так как в этом случае из-за возникновения токов Фуко минимальное значение поля также будет на периферии.

Такая картина перехода должна была бы дать скачки на осциллограммах, которые действительно и наблюдаются. При нагревании промежуточное состояние возникать не должно, что качественно действительно подтверждается на опыте.

Так как сверхпроводящие переходы в магнитном поле являются переходами первого рода, то причина, уменьшающая скорость перехода, будет заключаться в образовании теплоты перехода и в возникновении токов Фуко при движении границы, причем влияние токов Фуко будет выражаться в создании обратного поля и выделении джоулева тепла при их затухании. Выделение джоулева тепла при затухании будет увеличивать скорость перехода при нагреве и уменьшать при охлаждении. Таким образом, скорость при нагреве должна быть всегда больше скорости при охлаждении. Малая скорость распространения при сверхпроводящих переходах может, вероятно, также объяснить большие времена временных эффектов (time effect) (1).

Наличие большого числа промежуточных состояний, как то: промежуточного состояния в неоднородном поле (2), промежуточного состояния при разрушении током (3), промежуточного состояния, вызванного формой образца (4), промежуточного состояния в центре диска, имеющего остаточный момент (5), и, наконец, промежуточного состояния при охлаждении цилиндра в однородном поле — заставляет предположить, что промежуточное состояние не есть некое исключение, а наоборот, является естественным при переходах сверхпроводников, тогда как переходы без промежуточного состояния, если они и осуществляются, происходят только в исключительных условиях.

Поступило
31 I 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. В. Шубников, В. И. Хоткевич, А. М. Шепелев и Ю. Н. Рябинин, *Sov. Phys.*, **10**, 165 (1936); *ЖЭТФ*, **7**, 221 (1937). ² Н. Е. Алексеевский, *J. of Phys.*, **9**, 217 (1945). ³ Н. Е. Алексеевский, *ЖЭТФ*, **8**, 342 (1938), ⁴ А. И. Шубников, *J. of Phys.*, **9**, 202 (1945); Л. Д. Ландау, *ЖЭТФ*, **11**, 592 (1941). ⁵ Н. Е. Алексеевский, *ЖЭТФ*, **16**, 870 (1946).