

*Публикуемая ниже статья из № 6 журнала «Электричество», 1915 г., к сожалению, неизвестного автора, по всей вероятности, является одной из первых отечественных научных публикаций по проблеме сверхпроводимости.*

## Супра-проводники

Давно известно, что сопротивление металлических проводников уменьшается при понижении температуры. Зависимость сопротивления от температуры выражается довольно близко линейной функцией, и поэтому можно было ожидать, правда, экстраполируя несколько смело, что при некоторой низкой температуре сопротивление обратится в нуль.

Однако опыты не подтвердили этого предположения; закон изменения сопротивления перестает быть линейным при низких температурах, еще довольно далеких от абсолютного нуля, и сопротивление проводников начинает постепенно приближаться к некоторой малой доле первоначального, — при  $0^{\circ}\text{C}$  (например, для Pt около 0,12, для Hg — порядка 0,03, для Au — тоже 0,03). Надо заметить, что этих величин сопротивления достигают при температурах от  $5^{\circ}$  до пригл.  $15^{\circ}$  абсолютной шкалы (т.е. —  $268$  до —  $258^{\circ}\text{C}$ ). Электронная теория дала основание думать, что при дальнейшем опускании температуры сопротивление должно снова расти. До сравнительно недавнего времени вопрос на этом останавливался и считалось установленным, что удельное сопротивление проводников при низких температурах достигает лишь некоторого минимума и от дальнейшего понижения температуры уже не может во всяком случае спускаться ниже.

В прошлом году вышло подробное описание работ голландского физика Kammerlingh-Onnes над сжижением благородных газов (за свои работы в этой области он получил Нобелевскую премию 1913 г.), производившихся в течение последних 30 лет в физической лаборатории Лейденского Университета. В этих исследованиях Каммерлинг-Оннесу удалось подойти чрезвычайно близко к абсолютному нулю — именно достигнуть в кипящем под давлением в 0,2 мм гелии температуры  $1^{\circ}$ ,  $15$  абсолютной шкалы (шкалы Кельвина, как ее обычно называют). Имея возможность относительно легко получать и поддерживать такие низкие температуры, Каммерлинг-Оннес, между прочим, занялся исследованием свойств проводников при температурах, весьма близких к  $0^{\circ}\text{K}$ .

Первые же опыты над платиной показали, что предлагаемое электронной теорией увеличение сопротивления после достижения минимума не наблюдается, а сопротивление остается постоянно

равным минимальному, как бы металл не охлаждался. Повторный опыт над абсолютно чистой Pt дал еще более поразительный результат, что сопротивление ее совершенно исчезает при температуре кипения гелия. Совершенно то же наблюдалось и в золоте: достигнув минимума сопротивление оставалось постоянным при дальнейшем понижении температуры. То что сопротивление Au не достигает нуля было приписано Каммерлинг-Оннесом неполной чистоте имевшегося у него образца, и потому он взялся за металл, который легче приготовить в совершенно чистом виде — именно ртуть.

Результат получился следующий: сопротивление ртути падает сначала приблизительно так же, как и других металлов, достигая при  $4,2^{\circ}\text{K}$  0,002 первоначальной величины при  $0^{\circ}$ , но здесь происходит внезапный скачок, и сопротивление при ничтожно малом понижении температуры падает до 0,000001 первоначальной величины. При  $1,5^{\circ}\text{K}$  величина сопротивления ртути не достигает и 0,00000001 начального при  $0^{\circ}\text{C}$ .

Совершенно подобные же явления наблюдаются для олова и свинца, причем скачок сопротивления для Sn лежит при  $3,8^{\circ}\text{K}$  и для Pb при  $6^{\circ}\text{K}$ .

Каммерлинг-Оннес предлагает называть проводники в этом особом состоянии «супра-проводниками».

Особенностью supra-проводников будет то, что при пропускании через них тока на концах нельзя будет заметить никакой разности потенциалов, что выделения Джоулева тепла в них не может происходить, а следовательно, в пределе в них можно достигать какой угодно плотности тока, что даже при самом ничтожном коэффициенте самоиндукции ток при замыкании будет устанавливаться очень долгое время (если и источник тока имеет нулевое сопротивление) и что при замыкании катушки из supra-проводника с установившимся уже током накоротко ток не прекратится, а будет течь еще довольно значительное время. Электрические колебания, возникшие раз в цепи из supra-проводника, не прекратятся весьма долгое время. Пользуясь возможностью достигать огромных плотностей тока в supra-проводнике, можно было бы при помощи небольшой катушки добиться неслыханных напряжений магнитного поля, не пользуясь железом.

Не надо, конечно, забывать, что супра-проводник существует пока только в тройном Дьюаровском сосуде, в котором при чрезвычайно пониженном давлении кипит жидкий гелий при температуре в несколько градусов Кельвина. Но, оказывается, и в этих условиях супра-проводники нельзя еще считать вполне совершенными.

Каммерлинг-Оннесу удалось произвести опыты с катушкой, имевшей на 1 см длины 1000 витков проволоки в  $1/70$  мм<sup>2</sup>. Через эту катушку пропускался ток в 0,8 А, что дает плотность в 56 А/мм<sup>2</sup>. Однако очень далеко дальше пойти оказалось не легко. Свинцовая проволока, оставшаяся супра-проводником до плотности в 420 А/мм<sup>2</sup>, при большей плотности потеряла свойства супра-проводника и расплавилась при плотности тока 940 А/мм<sup>2</sup>.

Каммерлинг-Оннес предполагает, что это изменение свойств происходит следующим образом: в некотором месте, быть может благодаря случайной неоднородности в проволоке, по достижении достаточной плотности тока происходит нагревание выше температуры превращения обыкновенного проводника в супра-проводник. В этом месте начинается выделение Джоулева тепла, сопровождающееся дальнейшим повышением температуры не только в данном месте, но и в соседних, благодаря теплопроводности. Тогда «зараза» быстро распространяется по всему проводнику, все его точки последовательно достигают температуры перехода в «обыкновенное» состояние, количество выделяющегося тепла при громадной плотности тока быстро увеличивается, температура повышается до плавления проволоки.

Таково одно возможное объяснение, но мыслимы и другие, и только дальнейшие опыты могут решить, которое вернее.

Являются и дальнейшие вопросы. Известно, что магнитное поле влияет на сопротивление проводников, увеличивая его. Намеченное выше получение сильных магнитных полей с помощью катушек из супра-проводников подвержено поэтому сомнению в том смысле, что собственное магнитное поле, создаваемое катушкой, может увеличить сопротивление супра-проводника до заметной величины. Опыты, произведенные с вышеописанной маленькой катушкой, как будто указывали, что этого нечего бояться: судя по полученным данным, можно было ожидать, что до напряжения в 100000 гауссов нет основания опасаться увеличения сопротивления от собственного поля.

Но дальнейшие опыты показали, что дело не столь просто. До известного напряжения поля все идет хорошо, а затем внезапно начинает проявляться сильнейшее влияние поля на супра-проводник, и притом растущее быстрее увеличения напряжения. Это непредусматриваемое теорией препятствие надо отнести к числу еще неисследованных свойств супра-проводников.

Разумеется, мы еще очень мало знаем о супра-проводниках и практического значения они пока не имеют. Получение их связано с операциями, требующими исключительно хорошо и богато обставленной лаборатории и особо опытного персонала. Но необыкновенные перспективы, открываемые ими, возбуждают большой интерес, и кто знает, не будут ли со временем найдены средства сделать получение супра-проводников более доступным.