

Б. Г. ЛАЗАРЕВ и А. И. СУДОВЦОВ

**ОБ ИЗМЕНЕНИИ ОБЪЕМА ОЛОВА ПРИ СВЕРХПРОВОДЯЩЕМ  
ПЕРЕХОДЕ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

(Представлено академиком Л. Д. Ландау 9 IX 1949)

Обнаружение изменения свойств сверхпроводников под влиянием изменения объема<sup>(1)</sup> позволило на основании самых общих соображений заключить, что сверхпроводящий переход должен сопровождаться в свою очередь объемным изменением или изменением в ходе термического расширения.

Первая и неудачная попытка обнаружения этих эффектов была предпринята еще в 1931 г. Мак-Леннаном с сотр.<sup>(2)</sup> Эти авторы работали со свинцом, его изменение в объеме искали при помощи дилатометра с оптическим рычагом, эффекта не нашли и пришли к заключению, что относительное изменение объема при этом меньше чем  $3 \cdot 10^{-8}$ . До развития макроскопической теории сверхпроводимости этот результат не подвергался сомнению и на долгое время создал неправильное представление о неизмеримо малой величине указанного эффекта<sup>(3)</sup>.

Точное измерение влияния всестороннего сжатия на сверхпроводимость металлов<sup>(4)</sup> позволило подсчитать изменение объема металла при переходе его из сверхпроводящего состояния в нормальное или обратно в присутствии магнитного поля, и изменение его термического коэффициента расширения при переходе через критическую температуру.

Как известно, эти величины вытекают из термодинамического рассмотрения сверхпроводящего перехода. Объемное изменение металла при этом дается выражением

$$\frac{V_n - V_s}{V_n} = \frac{H_k}{4\pi} \left( \frac{\partial H_k}{\partial p} \right)_T,$$

где  $V_n$  — объем металла в нормальном состоянии,  $V_s$  — объем его в сверхпроводящем состоянии,  $H_k$  — критическое магнитное поле при температуре  $T$ ,  $\frac{\partial H_k}{\partial p}$  — изменение критического магнитного поля с давлением\*.

\* Выражение  $\frac{\Delta V}{V} = \frac{H_k}{4\pi} \left( \frac{\partial H_k}{\partial p} \right)_T + \frac{1}{V} \frac{H_k^2}{8\pi} \left( \frac{\partial V}{\partial p} \right)_T$ , даваемое Гинзбургом<sup>(5)</sup>,

как любезно указал нам проф. И. М. Лифшиц, имеет лишний член  $\frac{1}{V} \frac{H_k^2}{8\pi} \left( \frac{\partial V}{\partial p} \right)_T$ , описывающий магнестрикцию сверхпроводника в магнитном поле и не содержащийся в скачке объема, наблюдаемом на опыте.

Производная  $\frac{\partial H_k}{\partial p}$  и ее температурный ход подробно изучены для олова и индия (4), зависимость  $H_k$  от  $T$  для этих металлов также хорошо известна. Поэтому изменение объема можно точно подсчитать. Для олова такие данные приведены в табл. 1. При этом, так как  $H_k$  с понижением температуры растет, а  $\frac{\partial H_k}{\partial p}$  уменьшается, оба стремясь к насыщению при  $T = 0$ , то произведение их приводит к температурной зависимости с максимумом, правда, как видно из приведенной таблицы, весьма нерезко выраженным.

Из приведенных данных видно, что максимальное изменение объема олова при переходе в магнитном поле составляет  $9,1 \cdot 10^{-8}$ . Менее точно пока можно оценить эту величину для свинца, у которого максимальное изменение объема в  $\sim 2$  раза больше, чем у олова. Таким образом приходится заключить, что оценка чувствительности прибора, которым пользовались канадские физики, была ими сделана неправильно, так как эффект у свинца почти на порядок больше указанного ими нижнего предела для него.

Нам представлялось существенным произвести правильные измерения этого эффекта. Это оказалось возможным: было найдено изменение объема олова при сверхпроводящем переходе, был также измерен его температурный ход. Ниже излагаются предварительные результаты этих измерений.

Для измерения была использована большая чувствительность биметаллической ленты к изменениям температуры, т. е. к относительному изменению длины спаянных металлов. Как известно, на этом принципе построены многие чувствительные терморегуляторы (6).

Основной частью нашего прибора служила биметаллическая спираль из спаянных латуни и оловянной лент. При этом олово расположено на наружной стороне витков спирали. Производная  $\frac{\partial H_k}{\partial p}$  для олова имеет отрицательный знак — следовательно, олово при переходе в магнитном поле из нормального состояния в сверхпроводящее будет увеличиваться в объеме. Таким образом, если эта спираль охлаждена до температуры ниже критической температуры олова, то при включении магнитного поля выше критического значения и при его выключении спираль будет раскручиваться или закручиваться соответственно. Это движение передавалось зеркальцу, помещенному вне гелиевого дьюара, и отсчитывалось при помощи трубы и шкалы. Чувствительность прибора благодаря большой длине биметаллической ленты (около 4 м) оказалась очень высокой — при нагревании на  $1^\circ$  при комнатной температуре ход его составлял 96 делений шкалы. Так как коэффициенты термического расширения латуни и олова были известны \*, то можно было определить чувствительность прибора к относительному изменению длины обоих металлов — она составила  $3 \cdot 10^{-8}$  на 1 деление шкалы. Эта чувствительность позволила с ошибкой не более 10% измерить искомый эффект. На рис. 1 сплошная кривая изображает результаты четырех серий измерений (обозначенных различными значками), выполненных в разные дни с перемонтажем прибора между некоторыми измерениями. Пунктирная кривая проведена по расчетным данным табл. 1. Знак эффекта соответствует знаку производной  $\frac{\partial H_k}{\partial p}$ .

Результаты измерений, таким образом, находятся в очень хорошем согласии с расчетом.

\* Проф. Б. Я. Пинес любезно предоставил нам дилатометр для их определения, за что мы ему весьма признательны.

Следует упомянуть, что изложенные результаты показывают не-правильность теоретических представлений об этом эффекте, излагаемых Гейзенбергом в его работе по сверхпроводимости (7). Гейзенберг основную причину изменения объема видит в магнитоэлектричестве сверхпроводника в магнитном поле, т. е. описывает его членом  $\frac{H_k^2}{8\pi} \chi$  ( $\chi$  — коэффициент сжимаемости металла). Для олова при температуре  $2^\circ \text{K}$   $H_k \cong 200$  гаусс,  $\chi \cong \cong 1,7 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{кг}$  и  $\frac{\Delta V}{V} \cong 2 \cdot 10^{-9}$ .

Таблица 1

$T^\circ \text{ абс.}$	$\frac{\Delta V}{V} 10^9$	$T^\circ \text{ абс.}$	$\frac{\Delta V}{V} 10^9$
3,723	0	2,0	8,89
3,4	3,27	1,8	9,02
,0	6,05	1,6	9,07
,6	7,75	1,4	9,06
,2	8,65		

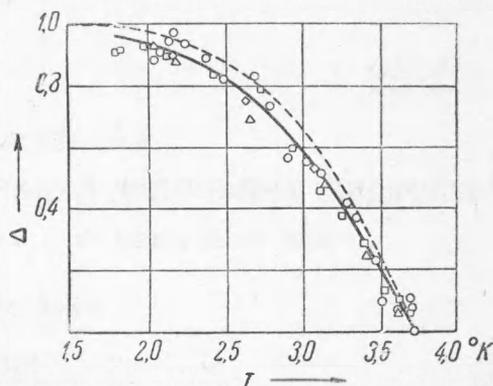


Рис. 1

Эта величина составляет лишь  $\sim 2\%$  эффекта рассчитываемого термодинамически и измеренного на опыте.

Примененный нами метод измерения не свободен от упреков. Основной из них — необходимость загрязнить, хотя и в тонком прилегающем к латуни слое, олово. Правда, из-за значительной толщины слоя олова ( $\sim 1$  мм) это загрязнение, как показывает опыт, невелико.

В настоящее время проводятся измерения на ряде металлов с использованием метода, свободного от этих возражений. Особый интерес представляет таллий, а также сплав  $\text{Bi}_3\text{Ni}$ , у которых знак производной  $\frac{\partial H_k}{\partial p}$  положительный (8). У подобных металлов можно ожидать знака объемного изменения при сверхпроводящем переходе, противоположного найденному у олова.

Физико-технический институт  
Академии наук УССР  
Харьков

Поступило  
5 VIII 1949

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> G. Sizoo, K. Onnes, Leiden. Comm., 180b; G. Sizoo, W. de Haas K. Onnes, Leiden. Comm., 180c. <sup>2</sup> J. C. McLennan, J. F. Allen and J. O. Wilhelm, Trans. Roy. Soc., Canada, 25, 3, 1 (1931). <sup>3</sup> Д. Шенберг, Усп. физ. наук, 20, 1 (1938). <sup>4</sup> Б. Лазарев и Л. Кан, ЖЭТФ, 14, 463 (1944); Л. С. Кан, Б. Г. Лазарев и А. И. Судовцов, ЖЭТФ, 18, 825 (1948). В. Л. Гинзбург, Сверхпроводимость, изд. АН СССР, 1946. <sup>6</sup> Ф. В. Дроздов, Детали приборов, 1948. <sup>7</sup> W. Heisenberg, Göttingen Nachr., 1, 23 (1947). <sup>8</sup> Л. С. Кан, Б. Г. Лазарев и А. И. Судовцов, ДАН, 69, № 2 (1949).