

НОВЫЕ СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ МОДИФИКАЦИИ ВИСМУТА

М.А.Ильина, Е.С.Ицкевич

Бриджмен в свое время установил по измерениям объемной сжимаемости наличие у висмута пяти полиморфных превращений под давлением при комнатной температуре. Определенные им величины давления превращений составляли: $P_{I-II} = 25,3 \text{ кбар}$; $P_{II-III} = 27,0 \text{ кбар}$; $P_{III-IV} = 44,8 \text{ кбар}$; $P_{IV-V} = 65,0 \text{ кбар}$; $P_{V-VI} = 79,8 \text{ кбар}$ [1].

Изменение объема $\Delta V/V_0$ при превращениях III–IV и IV–V было малым и составляло примерно 0,5%. Последующие исследования P - T -диаграммы висмута не подтвердили наличие трех последних превращений. Затем Банди обнаружил большой скачок сопротивления выше давления перехода V–VI [2].

Цейтлин и Брайман, используя кубический пресс и большую длину образца, недавно измерили электросопротивление висмута под давлением при комнатной температуре и обнаружили скачки сопротивления соответствующие пяти превращениям, которые они приписали переходам I–II, II–III, III–IV, IV–V, полученным Бриджменом, и переходу найденному Банди и обозначенному ими как V–VI [3]. Величина относительного изменения электросопротивления, полученного в [3] для перехода III–IV составляет $1 + 3\%$, для перехода IV–V – $1 + 2\%$.

Модификации $Bi II$ и $Bi III$ [4–6] и $Bi VI$ ¹⁾ [7] являются сверхпроводящими. Нами были проведены исследования висмута в области давлений 30–100 кбар с целью обнаружения сверхпроводимости модификаций $Bi IV$ и $Bi V$.

Измерения велись на установке с фиксированным давлением [8]. Методика была модернизирована за счет использования камеры высокого давления нового типа ²⁾. Камера позволяла вести измерения на вертикально поставленном образце. В качестве среды передающей давление использовались пиррофилит и хлористое серебро.

1) Мы, в соответствии с работой [3] обозначаем через $Bi VI$ модификацию, которая у Банди [2] обозначалась как $Bi VIII$.

2) Авторы благодарны Л.Ф.Верещагину, Л.Г.Хвостанцеву и А.П.Новикову за предоставление разработанной ими камеры.

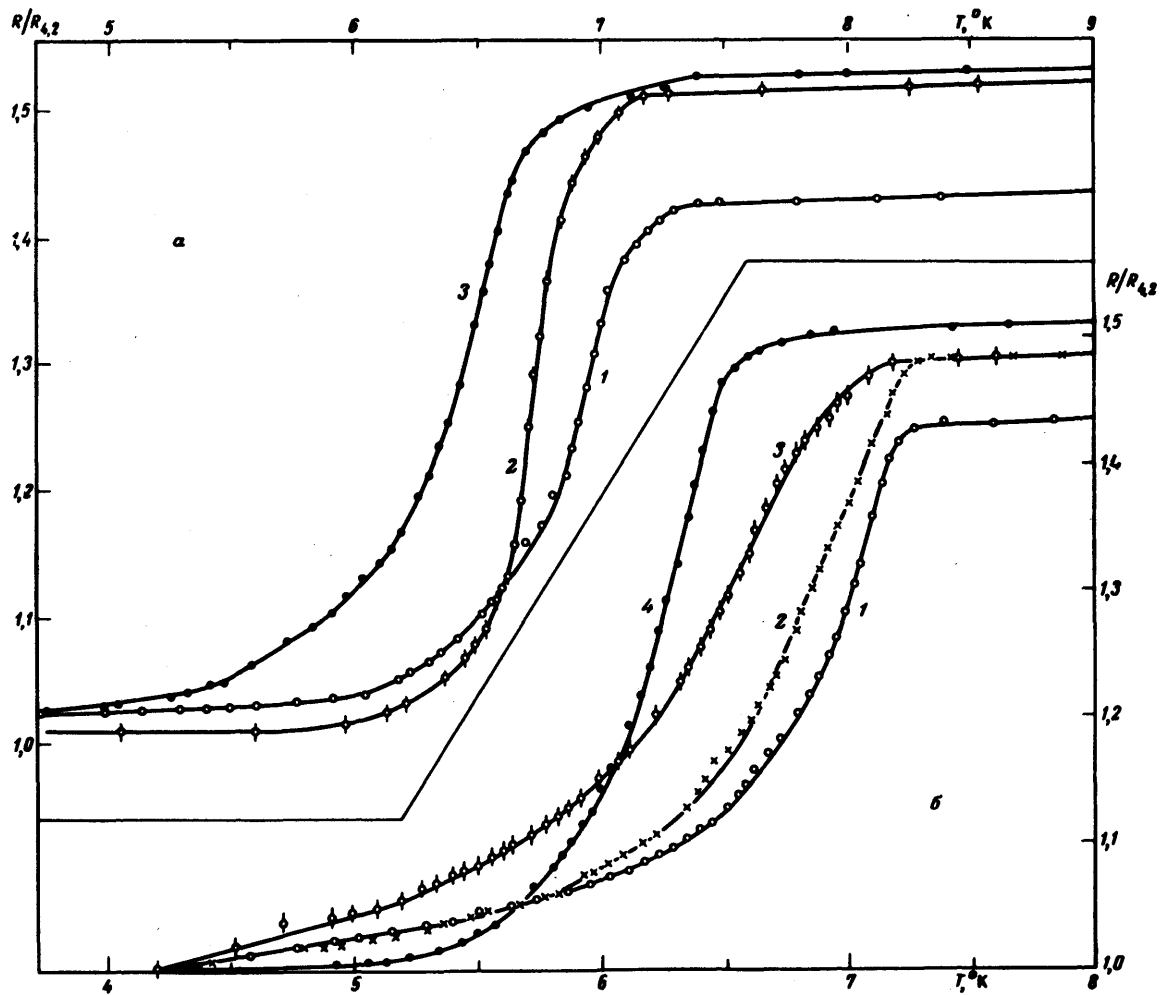


Рис. 1. Изменение электросопротивления образцов висмута при переходе в сверхпроводящее состояние в области давлений — 30 — 60 кбар. а — BiIII: 1 — 28,5 кбар; 2 — 33,5 кбар; 3 — 39,5 кбар; б — BiIV: 1 — 43,5 кбар; 2 — 47,5 кбар; 3 — 53,5 кбар; 4 — 58,5 кбар

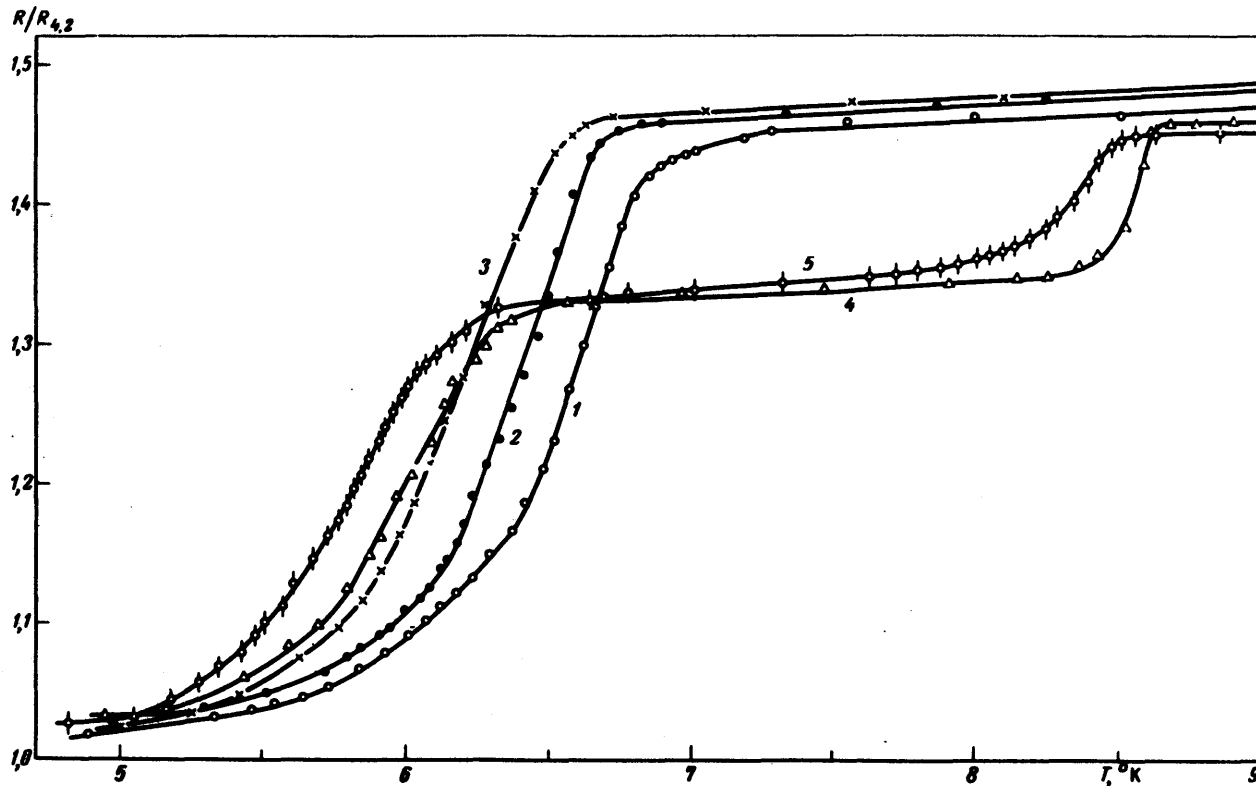


Рис. 2. Изменение электросопротивления образцов висмута при переходе в сверхпроводящее состояние в области давлений 60 – 100 кбар. Bi V – 1 – 68,5 кбар ; 2 – 77,0 кбар; 3 – 83,0 кбар; Bi V и Bi VI – 4 – 91,0 кбар; 5 – 97,5 кбар

Мы использовали шкалу давления Кеннеди – Ла Мори [9].

Образцы представляли собой проволочку из Bi, выдавленную через фильеру из исходного материала чистоты 99,999%. Переход в сверхпроводящее состояние фиксировался по резкому падению электросопротивления. Температура в области от 4,2°K и выше достигалась при отогреве холодного мультипликатора [8] над уровнем жидкого гелия и определялась с помощью термпары медь – сплав золота с железом. Мы применяли быстрое охлаждение холодного мультипликатора для получения метастабильных фаз высокого давления III и VI.

На рис. 1 и 2 изображены полученные температурные зависимости приведенного электросопротивления $R/R_{4,2}$ при различных давлениях. Во всей исследованной области давлений имеют место переходы в сверхпроводящее состояние. Однако, функция $T_K(P)$ не непрерывна, а распадается на несколько частей. Мы полагаем, что эти части соответствуют сверхпроводимости модификаций III – VI.

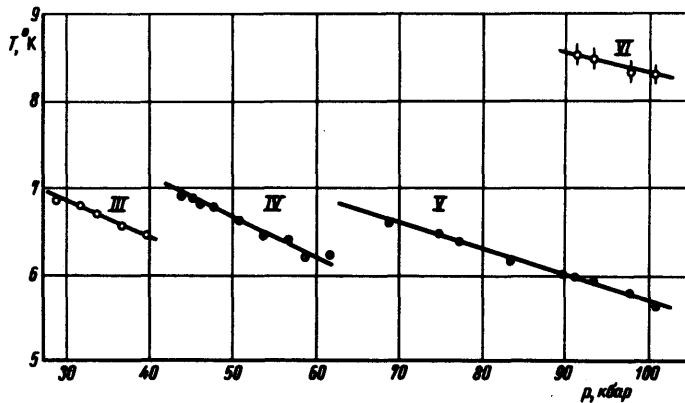


Рис. 3. Зависимость температуры сверхпроводящего перехода различных модификаций висмута от давления. Римскими цифрами обозначены номера соответствующих модификаций

На рис. 3 приведены зависимости температуры перехода T_K от давления для всех исследованных модификаций. В области давлений 90 – 100 кбар существуют, как видно, две модификации – Bi V и Bi VI.

Модификация Bi III имеет $T_K = 7,00^\circ\text{K}$ при $P = 27$ кбар и $dT_K/dP = -(4 \pm 0,5) \times 10^{-5}$ град · бар⁻¹. Величина T_K для Bi III удовлетворительно согласуется с данными [4 – 6]. Модификация Bi IV имеет $T_K = 7,0^\circ\text{K}$ при $P = 43$ кбар и $dT_K/dP = -(4,6 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$ град · бар⁻¹. Модификация Bi V имеет $T_K = 6,7^\circ\text{K}$ при $P = 68$ кбар и $dT_K/dP = -(3 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$ град · бар⁻¹. Для Bi VI $T_K = 8,55^\circ\text{K}$ при $P = 90$ кбар, $dT_K/dP = -(2,3 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$ град · бар⁻¹, что достаточно удовлетворительно согласуется с данными [6 – 7].

Следует отметить, что Эйхлер и Биттиг в работе [6] приводят кривую электросопротивления для образца висмута сжатого до давления превращения в модификацию VI, содержащую два перехода в сверхпроводящее состояние: первый при $T_K = 8,55^\circ\text{K}$ и авторы приписывают его Bi VI и второй при $T_K = 6,2^\circ\text{K}$, который они приписывают Bi III. Последнее значение хорошо ложится на полученную нами кривую $T_K(P)$ для Bi V при соответствующем давлении.

Обнаруженная нами сверхпроводимость модификации Bi IV и Bi V , также как ранее полученные данные по сверхпроводимости новой модификации бария [10], позволяют сделать вывод, что переход в сверхпроводящее состояние является хорошим тестом для нахождения полиморфных превращений в металлах при малых объемных и резистивных эффектах.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить академика Л.Ф.Верещагина за поддержку и ценные советы и Н.В.Барышева за помощь в проведении экспериментов.

Институт физики
высоких давлений
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
18 февраля 1970 г.

Литература

- [1] P.W.Bridgman. Proc. Am. Acad. Arts. Sci., 81, 165, 1952.
- [2] F.P.Bundy. Phys. Rev., 110, 314, 1958.
- [3] A.Zeitlin, J.Brayman. ASME publikation 62-WA-265.
- [4] Н.Б.Брандт, Н.И.Гинзбург. УФН, 85, 485, 1965; 98, 95, 1969.
- [5] E.M.Compy. Phys. Lett., 18, 228, 1965.
- [6] A.Eichler, J.Wittig; Z.Angew. Phys., 25, 319, 1968.
- [7] J.Wittig. Zs. Phys., 195, 228, 1966.
- [8] Л.Ф.Верещагин, М.А.Ильина, Е.С.Ишкевич. ПТЭ. №1, 219, 1969.
- [9] G.C.Kennedy, P.N.L.La Mori. Progr in Veri High. Press. Rev., 1961, p.304, New York-London.
- [10] М.А.Ильина, Е.С.Ишкевич. Письма в ЖЭТФ, 11, 26, 1970.