

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ВАНАДИЯ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Б.К.Чакальский, В.М.Ажажа, Н.А.Редько,
С.С.Шалыт

Приводятся экспериментальные данные о теплопроводности чистого ванадия при низких температурах $T < 125\text{K}$. Из сопоставления теплопроводностей в нормальном и сверхпроводящем состоянии определена ширина энергетической щели ($\Delta = 9,5\text{K}$). Сопоставление экспериментальных данных позволяет заключить о принадлежности ванадия к сверхпроводникам со слабой связью.

Имеющиеся в литературе данные [1] о теплопроводности ванадия относятся к весьма нечистым образцам, у которых теплопроводность вблизи температуры сверхпроводящего перехода ($T_c = 5,4\text{K}$) на два порядка меньше теплопроводности образца, исследованного в настоящей работе. Сведения о технологии очистки, о составе примесей и более подробные экспериментальные данные об электрических свойствах нашего крупнозернистого, поликристаллического образца, с диаметром $1,5\text{ мм}$ и отношением сопротивлений $\rho_{293}/\rho_{4,2} = 1570$ приведены в [2]. Теплопроводность измерялась методом стационарного потока с помощью угольных термометров сопротивления и медь-константановых термопар.

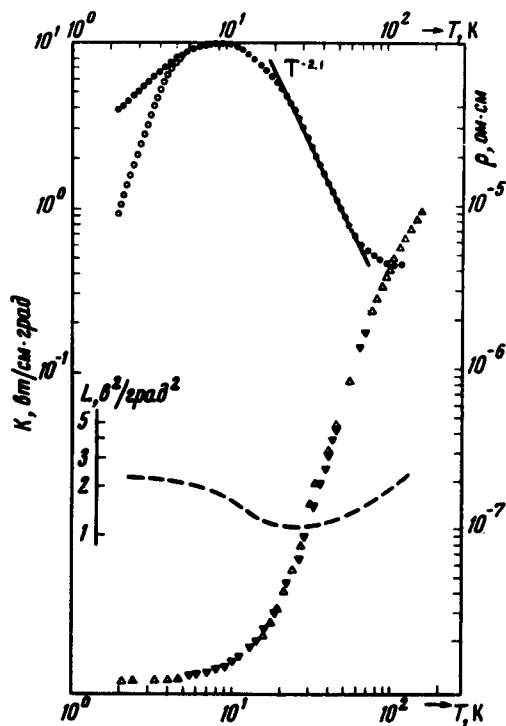


Рис. 1. Температурные зависимости теплопроводности K , электросопротивления ρ и соотношения Видемана – Франца $L = K\rho/T$ (пунктирная линия). Δ – данные настоящей работы, ∇ – из работы [2], \bullet – K_n , \circ – K_s

На рис. 1 представлены результаты измерения теплопроводности K и электросопротивления ρ , а также вычисления, на основании этих данных, соотношения Видемана – Франца $L = K\rho/T$ в области $T = 2 - 125\text{K}$.

При $T < 5,4\text{К}$ исследованный образец V переходил в сверхпроводящее состояние (S) и для восстановления нормального состояния (n) (при $T < 5,4\text{К}$) использовалось продольное магнитное поле H . Так как V является сверхпроводником второго рода, то при восстановлении ρ_n поле H превышало H_{c3} (критическое поле для поверхностной сверхпроводимости), а при восстановлении K_n поле H превышало H_{c2} . При дальнейшем увеличении H вплоть до удвоенных значений H_{c3} и H_{c2} изменения величин ρ_n и K_n не наблюдалось.

По величине числа Лоренца L на рис. 1, не превышающего его зоммерфельдовского значения $L_0 = 2,4 \cdot 10^{-8} \text{ e}^2 / \nu \text{ rad}^2$, можно заключить, что теплопроводность в исследованном образце V во всей области температур $2 - 125\text{К}$ обусловлена электронами. По ходу $\rho(T)$ в области $T < T_c$ можно заключить, что в этой области электроны рассеиваются на примесях. Для сравнения с теорией необходимо предварительно еще оценить константу связи для V.

Если для температуры Дебая Θ принять ее низкотемпературное значение по теплоемкости $\Theta = 380\text{К}$ [3], то для константы связи $g = \left[\ln \frac{1,14\Theta}{T_c} \right]^{-1}$ получается значение $0,23$ [4], позволяющее в первом

приближении отнести V к группе сверхпроводников со слабой электрон-фононной связью. Соответствующая этому случаю, при рассеянии носителей тока на примесях, формула Гейликмана [5] определяет теплопроводность в сверхпроводящем состоянии

$$K_S = \frac{2}{3} \frac{P_F^3 \tau_0}{\Pi^2} F(T),$$

где

$$F(T) = \frac{\Delta^2(T)}{T} \left[\exp\left(\frac{\Delta}{T}\right) + 1 \right]^{-1} + 2T \sum_{s=1}^{\infty} \frac{(-1)^{s+1}}{s^2} \exp\left(-\frac{s\Delta}{T}\right) + 2\Delta \ln \left[1 + \exp\left(-\frac{\Delta}{T}\right) \right] \quad (1)$$

а Δ — полуширина энергетической щели. При $\Delta = 0$ формула (1) определяет теплопроводность нормального состояния:

$$K_n = \frac{P_F^3 \tau_0}{9m} T \quad (2)$$

P_F и m — фермиевский импульс и эффективная масса электронов, τ_0 — время релаксации.

При расчете K_S зависимость $\Delta(T)$ учитывалась с помощью таблицы [6], соответствующей случаю слабой связи.

На рис. 2 в приведенных координатах представлен ход теоретической кривой Гейликмана при подобранном значении $\Delta = 9,5 \pm 0,05\text{К}$, обеспечивающем удовлетворительное приближение к экспериментальным данным. В пользу заключения о слабой электрон-фононной связи в V из данных по теплопроводности свидетельствует и полученное соотношение между $\Delta = 9,5\text{К}$ и $T_c = 5,4\text{К}$: $\Delta/T_c = 1,76$ [4].

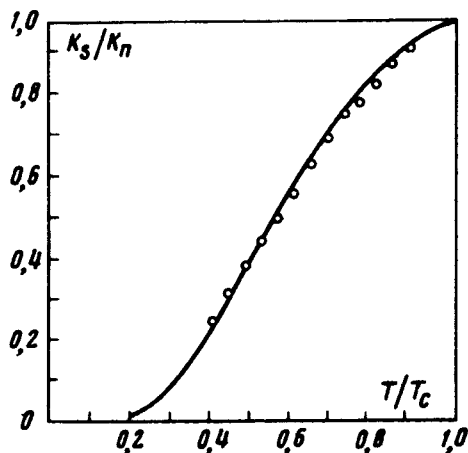


Рис. 2. Сопоставление теоретической кривой для отношения теплопроводностей K_S/K_n (сплошная линия) с экспериментом — O

Интересно обратить внимание еще на один экспериментальный факт, не связанный со сверхпроводимостью V . Температурный ход теплопроводности в области фононного рассеяния электронов (25 – 60К) соответствует выводу стандартной теории: $K \sim T^{-2}$. Слева от максимума теплопроводности K ($T < 5,4\text{К}$) имеет место $K_n \sim T^{0,9}$; $K_S \sim \exp(-\delta, 1/T)$.

В заключение выражаем благодарность Ю.М.Гальперину и Э.Б.Сони-ну за обсуждение полученных результатов.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
21 марта 1976 г.

Литература

- [1] K.D.Chaudhuri, K.Mendelssohn, M.W.Thompson. Cryogenics, 1, 47, 1960; A.Calverely, K.Mendelssohn, P.M.Rowell. Cryogenics, 2, 26, 1961.
- [2] Б.Н.Александров, Е.Д.Семенова, О.И.Петрова, Б.Н.Черный, В.М.Ажа-жа. Физика низких температур, 1, 388, 1975.
- [3] E.S.R. Copal. Specific heats at low temperatures, Heywood, London, 1966.
- [4] П.Де Жен. Сверхпроводимость металлов и сплавов. М., изд. Мир, 1968 стр. 115, 126.
- [5] Б.Т.Гейликман. ЖЭТФ, 34, 1042, 1958.
- [6] В.Mühschlegel. Z. Physik, 155, 313, 1959.