

## Теплопроводность монокристаллов $(VO)_2P_2O_7$

© А.В. Прокофьев, И.А. Смирнов, В. Ассмус\*, Ф. Бюллесфельд\*, А. Ежовский\*\*

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,  
194021 Санкт-Петербург, Россия

\*J.W. Goete Universität,  
60054 Frankfurt a.M., Germany

\*\*Institute of Low Temperature and Structure Research Polish Academy of Sciences,  
53-529 Wrocław, Poland

(Поступила в Редакцию 15 мая 1998 г.)

В интервале температур 4–300 К измерена теплопроводность ( $\kappa$ ) монокристалла  $(VO)_2P_2O_7$ . В районе 200 К, в области перехода от размытого по температуре (200–4 К) антиферромагнитного упорядочения к классическому парамагнетику ( $T = 200–300$  К), наблюдается излом на зависимости  $\kappa(T)$ . При низких температурах (4–200 К) можно ожидать дополнительного вклада в  $\kappa(T)$  от маглонной составляющей теплопроводности.

В последние годы наблюдается повышенный интерес к исследованию материалов с нестандартными магнитными свойствами (см., например, [1]). Большое число работ посвящено изучению  $(VO)_2P_2O_7$ .  $(VO)_2P_2O_7$  (в дальнейшем будем обозначать его как VOPO) является одним из представителей низкоразмерных спиновых систем.

VOPO имеет орторомбическую структуру с моноклинным искажением, пространственная группа  $P2_1$ , параметры решетки:  $a = 7.73 \text{ \AA}$ ,  $b = 16.59 \text{ \AA}$ ,  $c = 9.58 \text{ \AA}$ ,

$\beta = 89.98^\circ$ . В слоистой структуре VOPO пары ионов ванадия в слоях располагаются друг под другом в направлении  $\langle 100 \rangle$ , образуя "лестницу" ионов  $V^{+4}$ .

Первые экспериментальные результаты по измерению магнитной восприимчивости ( $\chi$ ) VOPO [2] интерпретировались как с позиции спиновой лестницы, так и с позиции антиферромагнитных гейзенберговских цепочек с чередующимся магнитным порядком. Впоследствии эксперименты по импульсному неупругому рассеянию

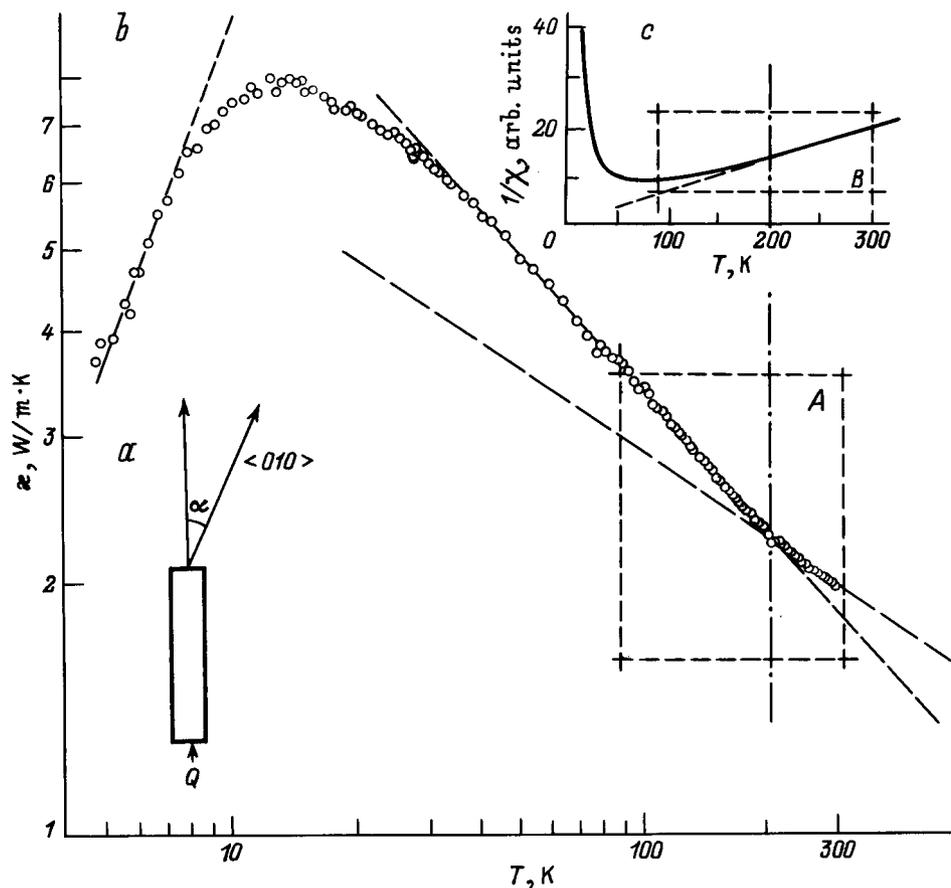
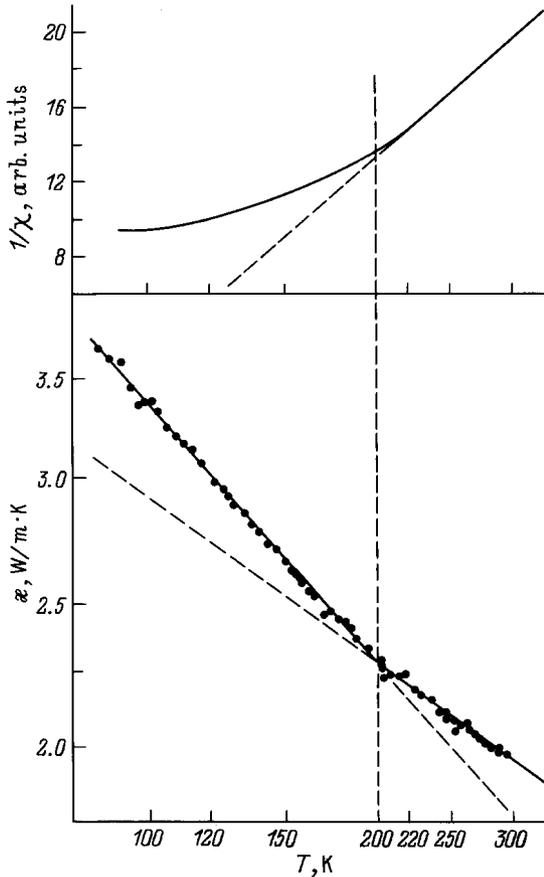


Рис. 1. а) Геометрия исследованного образца; б)  $\kappa(T)$  монокристалла  $(VO)_2P_2O_7$ ; в)  $1/\kappa(T)$  VOPO по данным [2,6].



**Рис. 2.**  $1/\chi(T)$  (область B) и  $\kappa(T)$  (область A) VOPO, показанные на рис. 1, в увеличенном масштабе.

нейтронов, полученные на порошках, подтвердили модель спиновой лестницы [3]. Однако данные по неупругому рассеянию нейтронов, выполненные позднее [4] на сборке из 200 ориентированных кристалликов, вошли в противоречие с моделью спиновой лестницы в направлении  $\langle 100 \rangle$ , но подтвердили модель антиферромагнитных цепочек в направлении  $\langle 010 \rangle$ . Таким образом, вопрос о модели, адекватно описывающей магнитные свойства VOPO, остается дискуссионным.

Недавно авторами настоящей работы была разработана методика получения достаточно больших по размеру монокристаллов VOPO [5], что открыло возможности для измерения на них новых свойств.<sup>1</sup>

Данные для магнитной восприимчивости, полученные на монокристаллах VOPO, были опубликованы в [6]. Согласно [6], в интервале температур 200–300 К  $1/\chi(T)$  имеет вид, характерный для стандартных парамагнетиков. При  $T < 200$  К вид  $1/\chi(T)$  указывает на то, что в VOPO начинается постепенное антиферромагнитное упорядочение, которое наблюдается не при фиксированной  $T$ , а происходит в широком интервале температур (200–4) К.

<sup>1</sup> Все опубликованные в литературе данные для VOPO (за исключением настоящей работы и [6]) были получены из измерений на порошках и поликристаллах.

В настоящей работе мы приводим предварительные данные о теплопроводности VOPO. В литературе такие данные отсутствуют, однако они крайне необходимы при проведении термодинамических расчетов для этого материала.

Теплопроводность  $\kappa$  VOPO была измерена на монокристалле в интервале температур 4–300 К. Монокристалл был выращен по технологии [5]. Размер образца был  $5 \times 3 \times 2$  мм, тепловой поток направлялся вдоль длинной стороны кристалла, расположенной под углом  $25^\circ$  относительно направления  $\langle 010 \rangle$  (рис. 1, a). Измерения  $\kappa$  проводились на установке, аналогичной [7]. VOPO является изолятором. Поэтому измеренная в эксперименте  $\kappa$  относится к теплопроводности кристаллической решетки.

Целью работы было: 1) определить в широком интервале температур величину теплопроводности VOPO; 2) посмотреть, как будет вести себя  $\kappa(T)$  VOPO в области размытого по температуре антиферромагнитного упорядочения (4–200 К) и на границе перехода от этой области к области классического парамагнетика ( $\sim 200$  К).

Полученные экспериментальные результаты для  $\kappa(T)$  представлены на рис. 1 и 2. Видно, что в районе 200 К наблюдается излом на зависимости  $\kappa(T)$ , который, вероятно, обусловлен влиянием на нее в интервале температур 200–4 К магной подсистемы [4]. Здесь возможны два варианта ее проявления: 1) дополнительная теплопроводность за счет переноса тепла магнонами ( $\kappa_m$ ); 2) уменьшение теплопроводности за счет фонон-магнойного рассеяния. Вид температурной зависимости  $\kappa$  (излом в районе 200 К и последующее увеличение  $\kappa$  с ростом температуры), скорее всего, свидетельствует в пользу наличия в интервале температур 200–4 К дополнительного вклада в измеряемую теплопроводность от  $\kappa_m$ . Однако оценить этот вклад пока что не реально, поскольку трудно даже выбрать расчетную формулу для оценки  $\kappa_m$  в системе с сильно размытым антиферромагнитным переходом, к которой относится VOPO. Более определенные выводы можно будет сделать лишь после проведения исследования  $\kappa(T)$  в магнитном поле, к которому мы сейчас и приступаем.

## Список литературы

- [1] E. Orignac, T. Giamarchi. Phys. Rev. **B57**, 10, 5812 (1998).
- [2] D.C. Jonston, J.W. Johnson, D.P. Goshorn, A.J. Jacobson. Phys. Rev. **B35**, 1, 219 (1987).
- [3] R.S. Eccleston, T. Barnes, J. Brody, J.W. Johnston. Phys. Rev. Lett. **73**, 2626 (1994).
- [4] A.W. Garrett, S.E. Nagler, D.A. Tennant, B.C. Sales, T. Barnes. Phys. Rev. Lett. **79**, 4, 745 (1997).
- [5] A.V. Prokofiev, F. Büllfeld, W. Assmus. Cryst. Res. Technol. **33**, 2, 155 (1998).
- [6] A.V. Prokofiev, F. Büllfeld, W. Assmus, H. Schwenk, D. Wichert, U. Löw, B. Lüthi. European Phys. J. B, in press (1998).
- [7] A. Jezowski, J. Mucha, G. Pompe. J. Phys. D: Appl. Phys. **20**, 1500 (1987).