

## Теплоемкость $\text{LuZnCu}_4$

© А.В. Голубков, И.А. Смирнов, D. Włosewicz\*, H. Misiorek\*, A.I. Krivchikov\*\*

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

\* Trzebiatowski Institute of Low Temperature and Structure Research, Polish Academy of Sciences,  
50-950 Wrocław, Poland

\*\* B. Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering, National Academy of Sciences of Ukraine,  
61103 Kharkov, Ukraine

E-mail: igor.smirnov@mail.ioffe.ru

(Поступила в Редакцию 25 октября 2006 г.)

В интервале температур 3.0–250 К измерена теплоемкость при постоянном давлении  $C_p$   $\text{LuZnCu}_4$ . Определена величина параметра  $\gamma$  — коэффициента при линейном члене по температуре электронной составляющей теплоемкости. Из литературных данных по теплоемкости  $\text{YbZbCu}_4$  и полученных экспериментальных значений для  $\text{LuZnCu}_4$  оценен вклад магнитной составляющей теплоемкости в  $C_p(T)$   $\text{YbZbCu}_4$ .

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 05-02-17775) и проводилась в рамках двустороннего научного соглашения между Польской и Российской академиями наук.

PACS: 65.40.Ba, 67.80.Gb

В ведущих лабораториях США, Японии и ряда европейских стран не ослабевает интерес к изучению физических свойств соединений  $\text{YbM}\text{Cu}_4$  и  $\text{LuM}\text{Cu}_4$  ( $M = \text{Ag}, \text{Au}, \text{Cd}, \text{In}, \text{Mg}, \text{Tl}, \text{Zn}$ ) [1–6]. Соединения, входящие в группу  $\text{YbM}\text{Cu}_4$ , относятся к классу „легких“ и „умеренных“ тяжелофермионных материалов с гомогенной переменной валентностью иона Yb, а соединения  $\text{LuM}\text{Cu}_4$  являются металлами.

При исследовании физических параметров  $\text{YbM}\text{Cu}_4$  соединения  $\text{LuM}\text{Cu}_4$  часто используются в качестве эталонных, реперных немагнитных материалов. Однако изучение физических свойств  $\text{LuM}\text{Cu}_4$ , относящихся к группе нестандартных металлов, имеет и самостоятельное значение.

Настоящая работа посвящена исследованию в интервале температур 3.0–250 К теплоемкости при постоянном давлении  $C_p$   $\text{LuZnCu}_4$ .

$\text{LuZnCu}_4$  кристаллизуется в гранцентрированной кубической решетке типа  $\text{AuBe}_5$ , (структура  $C15b$ , пространственная группа  $F\bar{4}3m$  ( $T_d^2$ )). Согласно данным работы [2], параметр его элементарной ячейки составляет 7.034 Å, а величина  $\gamma$  — коэффициента при линейном члене по температуре электронной составляющей теплоемкости — равна  $7.2 \text{ mJ/mol} \cdot \text{K}^2$ .  $\text{LuZnCu}_4$  является достаточно хорошим металлом. Константа Холла у него остается постоянной в интервале 4.2–300 К и равной  $-(0.3–1.0) \cdot 10^{-10} \text{ m}^3/\text{C}$  [1,2]. Величина и температурная зависимость его коэффициента термоэдс также характерны для металлов [7]. В единственной работе [2] проводилось измерение теплоемкости  $\text{LuZnCu}_4$  в интервале температур 1.5–20 К. Однако кроме сведений о параметре  $\gamma$  никаких других данных, например о величине  $C_p$ , ее температурной зависимости, в [2] не приводится.

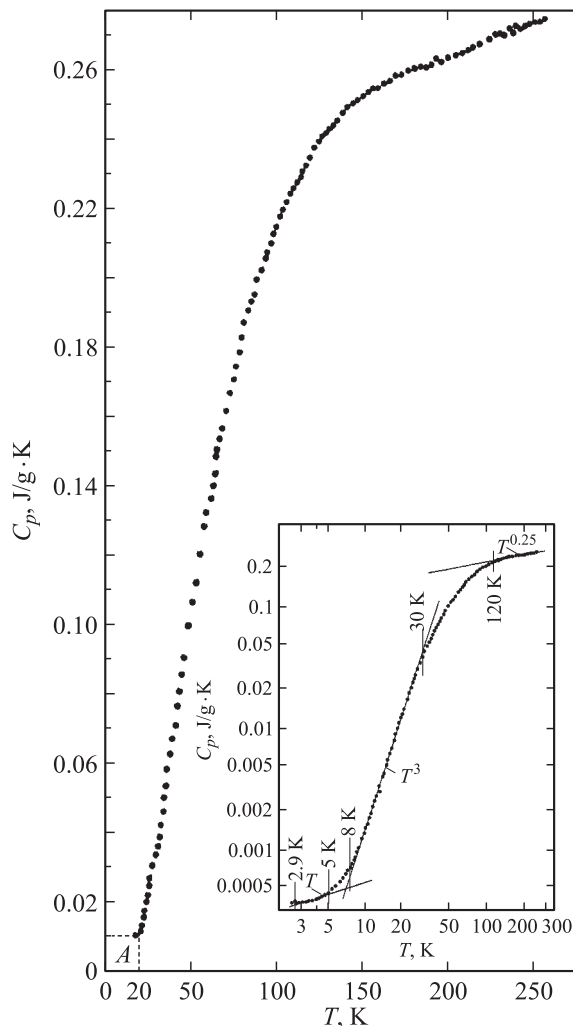
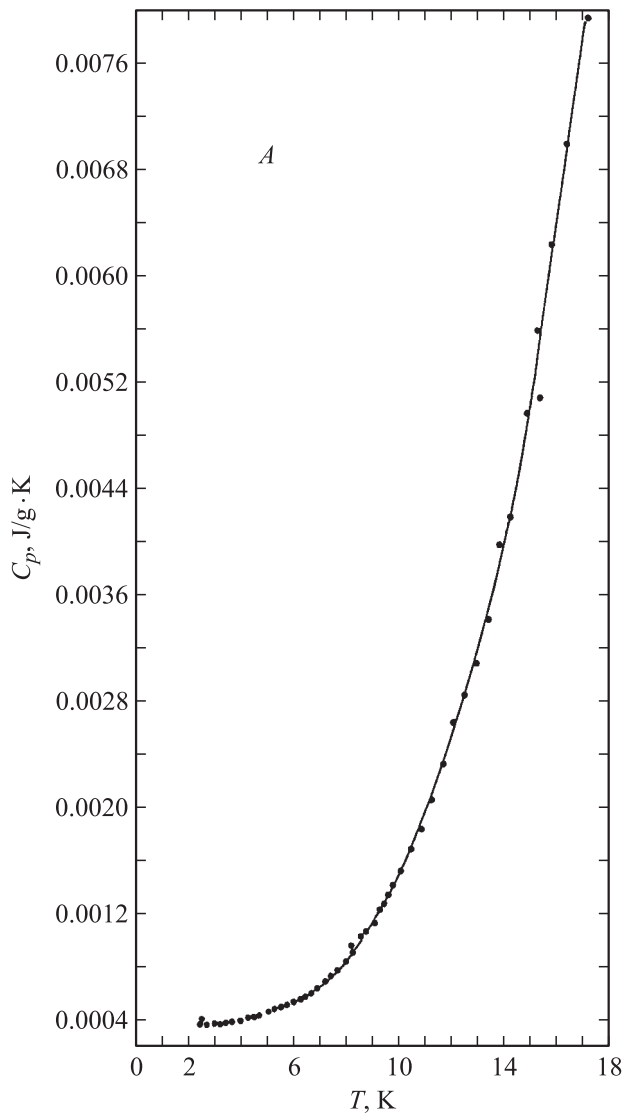
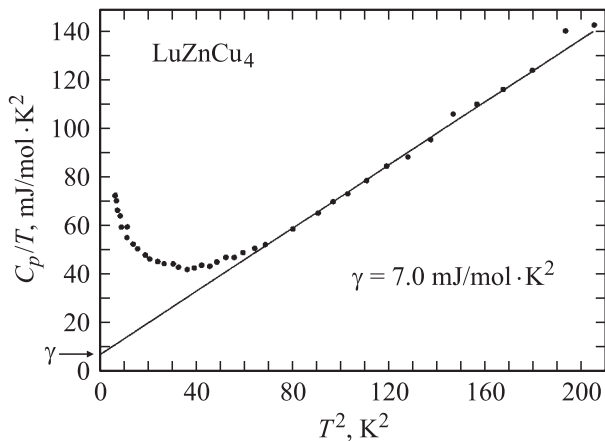


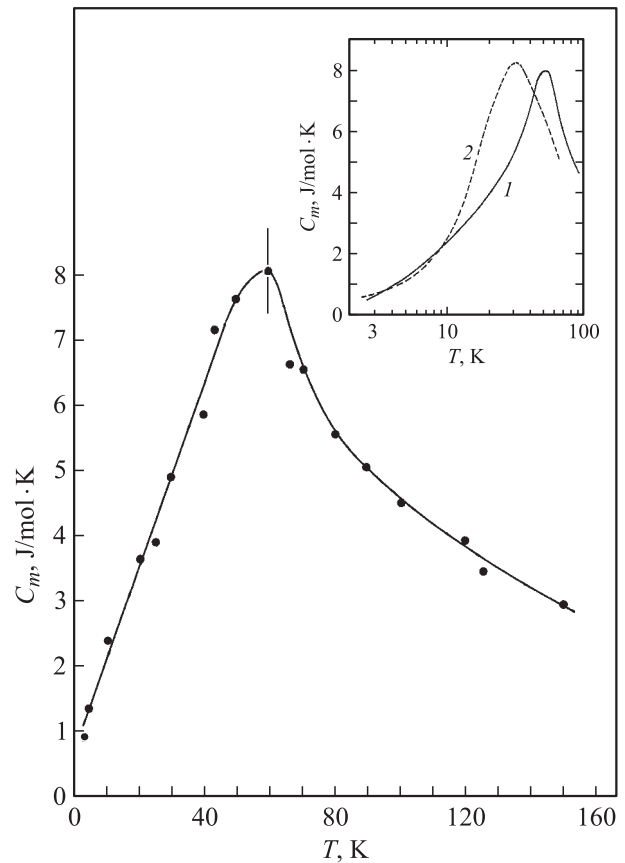
Рис. 1. Температурная зависимость  $C_p$  для  $\text{LuZnCu}_4$ . На вставке — температурная зависимость  $C_p$   $\text{LuZnCu}_4$  в координатах  $\lg C_p - \lg T$ . Объяснение участка А дано на рис. 2.



**Рис. 2.** Низкотемпературный участок (A на рис. 1) зависимости  $C_p$  образца  $\text{LuZnCu}_4$ .



**Рис. 3.** Зависимость  $C_p/T$  от  $T^2$  для  $\text{LuZnCu}_4$ .



**Рис. 4.** Температурные зависимости магнитных составляющих теплоемкости  $C_m$ . Точки — расчетные значения  $C_m(T)$ , полученные из усредненных кривых  $C_p(T)$   $\text{YbZnCu}_4$  и  $\text{LuZnCu}_4$ . На вставке: 1 — для  $\text{YbZnCu}_4$  (результаты нашего эксперимента), 2 — для  $\text{YbAgCu}_4$  [13].

Литые поликристаллические образцы  $\text{LuZnCu}_4$  готовились по методике, описанной в [7,8]. Компоненты сплава в стехиометрическом соотношении переплавлялись в откачанном до  $\sim 10^{-4}$  мм рт.ст. тонкостенном (толщина стенок  $\sim 0.1$  мм) заваренном танталовом контейнере. Плавление образцов проводилось в высокочастотной печи. Полученные образцы проходили рентгеноструктурный анализ на установке ДРОН-2 (в  $\text{CuK}\alpha$ -излучении). Определялся параметр его элементарной ячейки  $a$ . Для полученных образцов  $\text{LuZnCu}_4$  он оказался равным  $7.036 \text{ \AA}$ , что близко к величине  $a$  для этого соединения, определенного в [2] ( $7.034 \text{ \AA}$ ).

Измерение  $C_p$   $\text{LuZnCu}_4$  проводилось в интервале 3.0–65 К с помощью импульсного квазиadiaбатического метода [9], а при 80–250 К — на автоматическом адиабатическом калориметре [10].

Полученные экспериментальные результаты для  $C_p$   $\text{LuZnCu}_4$  представлены на рис. 1 и 2. На вставке к рис. 1 эти данные приведены в координатах  $\lg C_p - \lg T$ . Из рисунка можно видеть, как изменяется величина  $n$  в зависимости  $C_p = f(T^n)$  в различных температурных участках  $C_p$ . На рис. 3 в координатах  $C_p/T - T^2$  пред-

ставлены низкотемпературные данные для теплоемкости  $\text{LuZnCu}_4$ . Из зависимости  $C_p/T = \gamma + \beta T^2$  (рис. 3) был определен параметр  $\gamma$  для  $\text{LuZnCu}_4$ . Он оказался равным  $7.0 \text{ mJ/mol} \cdot \text{K}^2$ , что практически совпало с величиной  $\gamma$ , полученной в [2] ( $7.2 \text{ mJ/mol} \cdot \text{K}^2$ ). Надо отметить, что величина параметра  $\gamma$  для  $\text{LuZnCu}_4$ , определенная нами и авторами работы [2], близка к значению  $\gamma$  для металла Lu [11] —  $11.27 \text{ mJ/mol} \cdot \text{K}^2$ . На рис. 4 (кривая 1) приведена температурная зависимость магнитной составляющей теплоемкости  $C_m(T)$  „умеренной“ тяжелофермионной системы  $\text{YbZnCu}_4$ , полученной путем вычитания из  $C_p(T)$   $\text{YbZnCu}_4$  [12] значений теплоемкости  $\text{LuZnCu}_4$ . Для сравнения на рис. 4 (кривая 2) приведена  $C_m(T)$   $\text{YbAgCu}_4$  [13], вычисленная также с помощью использованной выше процедуры. Из рисунка видно, что  $C_m(T)$   $\text{YbAgCu}_4$  и  $\text{YbZnCu}_4$  ведут себя аналогичным образом.

Авторы выражают благодарность Н.Ф. Картенко и Н.В. Шаренковой за проведение рентгеноструктурного анализа образцов  $\text{LuZnCu}_4$ .

## Список литературы

- [1] E. Figueroa, J.M. Lowrance, J.L. Sarrao, Z. Fisk, M.F. Hundley, J.D. Thompson. *Solid State Commun.* **106**, 347 (1998).
- [2] J.L. Sarrao, C.D. Immer, Z. Fisk, C.H. Booth, E. Figueroa, J.M. Lowrance, R. Modler, A.L. Cornelius, M.F. Hundley, J.H. Kwei, J.D. Thompson, F. Bridges. *Phys. Rev. B* **59**, 6855 (1999).
- [3] J.M. Lowrance, P.S. Riseborough, C.H. Booth, J.L. Sarrao, J.D. Thompson, R. Osborn. *Phys. Rev. B* **63**, 054 427 (2001).
- [4] H. Sato, K. Hiraoka, T. Taniguchi, Y. Nishikawa, F. Nagasaki, H. Fujino, Y. Takeda, M. Arita, K. Shimada, H. Namatame, A. Kimura, K. Kojima. *J. Phys.: Cond. Matter* **14**, 4445 (2002).
- [5] T. Kojima, M. Matsumoto, T. Tanaka, H. Ishida, T. Mito, S. Wada, J.L. Sarrao. *Phys. Rev. B* **66**, 014 420 (2002).
- [6] V.N. Antonov, M. Galli, F. Marabelli, A.N. Yeresko, A.Ya. Perlov, E. Bauer. *Phys. Rev. B* **62**, 1742 (2000).
- [7] А.В. Гольцев, А.В. Голубков, И.А. Смирнов, Н. Мисиорек, Ch. Sulkovski. *ФТТ* **48**, 583 (2006).
- [8] А.В. Голубков, Т.Б. Жукова, В.М. Сергеева. *Изв. АН СССР. Неорганические материалы* **2**, 77 (1966).
- [9] A.I. Krivchikov, B.Ya. Gorodilov, A. Czopnik. *Proc. Conf. Low Temperature Thermometry and Dynamic Temperature Measurement. IL Tand SR, Wroclaw* (1997). P. V7.
- [10] D. Włosewicz, T. Plackowcki, K. Rogacki. *Cryogenics* **32**, 265 (1992).
- [11] L.J. Sundström. *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths / Eds K.A. Gschneidner, L. Eyring. North-Holland Publ. Comp., Amsterdam–N.Y.–Oxford* (1978). V. 1. P. 379.
- [12] А.В. Голубков, Л.С. Парфеньева, И.А. Смирнов, D. Włosewicz, H. Misiorek, J. Mucha, A. Jezowski, A.I. Krivchikov, G.A. Zvyagina. *ФТТ* **49**, 194 (2007).
- [13] M.J. Besnus, P. Haen, N. Hamdaoui, A. Herr, A. Meyer. *Physica B* **163**, 571 (1999).