

W (111) — для долинания. Таким образом, разные грани кристаллов при перестройке их поверхностей могут по-разному влиять на адсорбционные и эмиссионные характеристики адсистем.

Список литературы

- [1] Коноплев Ю. М., Наумовец А. Г., Федорус А. Г. // ФТТ. 1972. Т. 14. № 2. С. 326—333.
- [2] Гупало М. С., Медведев В. К., Смерека Т. П., Бабкин Г. В., Палюх Б. М. // ФТТ. 1977. Т. 19. № 10. С. 2955—2959.
- [3] Лозовый Я. Б., Медведев В. К., Смерека Т. П., Бабкин Г. В., Палюх Б. М., Васильчишин О. С. // ФТТ. 1986. Т. 28. № 12. С. 3693—3698.
- [4] Гончаров Ф. М., Смерека Т. П., Степановский С. И., Бабкин Г. В. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 12. С. 3541—3544.
- [5] Kolaczkiwicz J., Bauer E. // Surf. Sci. 1985. V. 154. N 2—3. P. 357—370.
- [6] Гончар Ф. М., Медведев В. К., Смерека Т. П., Лозовый Я. Б., Бабкин Г. В. // ФТТ. 1987. Т. 29. № 9. С. 2833—2836.
- [7] Медведев В. К., Смерека Т. П. // ФТТ. 1974. Т. 16. № 6. С. 1599—1605.
- [8] Палюх Б. М., Смерека Т. П. // Вісник Львівського університету, серія фізична. 1971. Вип. 6 (14). С. 74—79.
- [9] Палюх Б. М., Смерека Т. П. // ФТТ. 1971. Т. 13. № 3. С. 776—780.

Львовский государственный университет
им. Ив. Франко

Поступило в Редакцию
15 апреля 1991 г.
В окончательной редакции
27 июня 1991 г.

УДК 537.311.31

© Физика твердого тела, том 33, № 12, 1991
Solid State Physics, vol. 33, N 12, 1991

ЭФФЕКТ ХОЛЛА В TmS

Б. М. Бутаев, А. В. Голубков, А. В. Гольцев, И. А. Смирнов

Соединение Tm_xS в области гомогенности ($0.9 < x < 1.11$) обнаруживает свойства, типичные для таких кондовских систем, как соединения с переменной валентностью или Кондо-решетки [1]. В частности, эффект Холла в Tm_xS имеет аномальный характер по сравнению с нормальными металлами. С понижением температуры константа Холла (R_H) растет, достигая величин, много больших, чем в нормальных металлах [1]. Такое же аномальное поведение R_H наблюдается, например, и в соединениях на основе церия и урана [2]. На протяжении ряда лет аномальный эффект Холла в кондовских системах не находил последовательного теоретического объяснения. Попытки связать аномальный рост R_H при понижении температуры с изменением числа подвижных электронов не давали последовательной картины этого явления (обсуждение этого подхода дано например в [2]). Последовательное теоретическое описание аномального эффекта Холла в соединениях с тяжелыми фермионами было дано сравнительно недавно в работах [3, 4], где было показано, что в этих соединениях аномально большой вклад в R_H обусловлен так называемым косым рассеянием электронов проводимости на ионах с локализованным магнитным моментом. Особенностью косоугольного рассеяния является тот факт, что вероятности рассеяния из k в k' и из k' в k различны, т. е. имеется лево-правая асимметрия. Развитая в работах [3, 4] теория позволяет объяснить температурную зависимость аномального эффекта Холла как в области некогерентного рассеяния на кондовских атомах ($T > T_K$, где T_K — температура Кондо), так и в когерентной области $T < T_K$.

В настоящей работе мы представляем результаты, показывающие, что аномальный эффект Холла в соединении TmS хорошо описывается в рам-

как теории [4] для области температур $T > T_K$, т. е. в области некогерентного рассеяния.

Экспериментальные данные по температурной зависимости константы Холла R_H для стехиометрического состава TmS приведены на рис. 1. Как видно из этого рисунка, R_H аномально растет с понижением температуры. На рис. 2, а, б представлены экспериментальные данные для температурных зависимостей сопротивления ρ и магнитной восприимчивости χ (данные взяты из работы [1]). Экспериментальные данные, приведенные на рис. 1, 2, типичны для соединений с тяжелыми фермионами.

Согласно работе [4], в области некогерентного косоугольного рассеяния ($T > T_K$) температурное поведение константы Холла R_H описывается выражением

$$R_H(T) = R_H^{(0)} + \gamma \chi(T) \rho_K(T) / C, \quad (1)$$

где $R_H^{(0)}$ — обычная константа Холла, не зависящая от температуры. Второе слагаемое в (1) является вкладом косоугольного рассеяния. Здесь C —

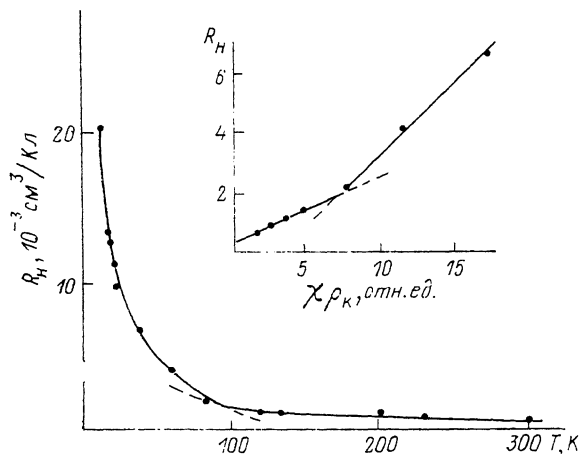


Рис. 1. Температурная зависимость константы Холла для TmS (точки).

Штриховая линия — температурная зависимость $R_H(T)$, полученная из формулы (1) с коэффициентом $\gamma_1 = 0.15$ град/Тл для $80 \text{ K} < T < 300 \text{ K}$ и $\gamma_2 = 0.33$ град/Тл для $10 \text{ K} < T < 60 \text{ K}$. На вставке — зависимость R_H от $\chi \rho_K$.

постоянная Кюри—Вейсса, а $\rho_K(T)$ — вклад в сопротивление от некогерентного кондоновского рассеяния электронов проводимости на ионах с локализованным моментом. Коэффициент γ связан с величиной фазового сдвига при косоугольном рассеянии электронов.

Для выделения вклада $\rho_K(T)$ полное сопротивление $\rho(T)$ представлялось в следующем виде:

$$\rho(T) = \rho_{\text{ост}} + \beta T + \rho_K(T), \quad (2)$$

где $\rho_{\text{ост}}$ — остаточное сопротивление, βT — фононный вклад в сопротивление. При $T \gg T_K$ величина $\rho_K(T)$ мала и температурная зависимость $\rho(T)$ определяется главным образом слагаемым βT . Поэтому анализ $\rho(T)$ при $T \gg T_K$ позволяет определить коэффициент β и величину остаточного сопротивления $\rho_{\text{ост}}$. Зная $\rho_{\text{ост}}$ и βT , из (2) определялись $\rho_K(T)$. Температурная зависимость $\rho_K(T)$ представлена на рис. 2, в.

Согласно (1), константа Холла R_H должна быть линейной функцией от величины $\chi \rho_K$. Как видно из рис. 1 (вставка), зависимость R_H от $\chi \rho_K$ имеет два линейных участка. Линейный участок при малых $\chi \rho_K$ соответствует области температур $80 \text{ K} < T < 300 \text{ K}$, а линейный участок при больших значениях $\chi \rho_K$ соответствует области температур $10 \text{ K} < T < 60 \text{ K}$ (с понижением температуры величина $\chi \rho_K$ растет). Из наклонов этих линейных участков мы оценили величину коэффициента γ : $\gamma_1 =$

≈ 0.15 град/Тл при $80 \text{ K} < T < 300 \text{ K}$, $\gamma_2 = 0.33$ град/Тл при $10 \text{ K} < T < 60 \text{ K}$.

Изменение коэффициента γ с понижением температуры можно связать со следующими причинами. Во-первых, согласно теории [4], коэффициент γ может расти при понижении температуры и усилении когерентных эффектов, приводящих к формированию максимума на зависимости $\rho_K(T)$. Так, например, оценки, сделанные в [4] для CeAl_3 , дают $\gamma_1 = 0.075$, $\gamma_2 = 0.097$ град/Тл. С другой стороны, для изучаемого соединения TmS дополнительным механизмом, обуславливающим существование двух температурных областей для γ , может являться расщепление вырожденного f -уровня ионов Tm за счет кристаллического поля. В пользу возмож-

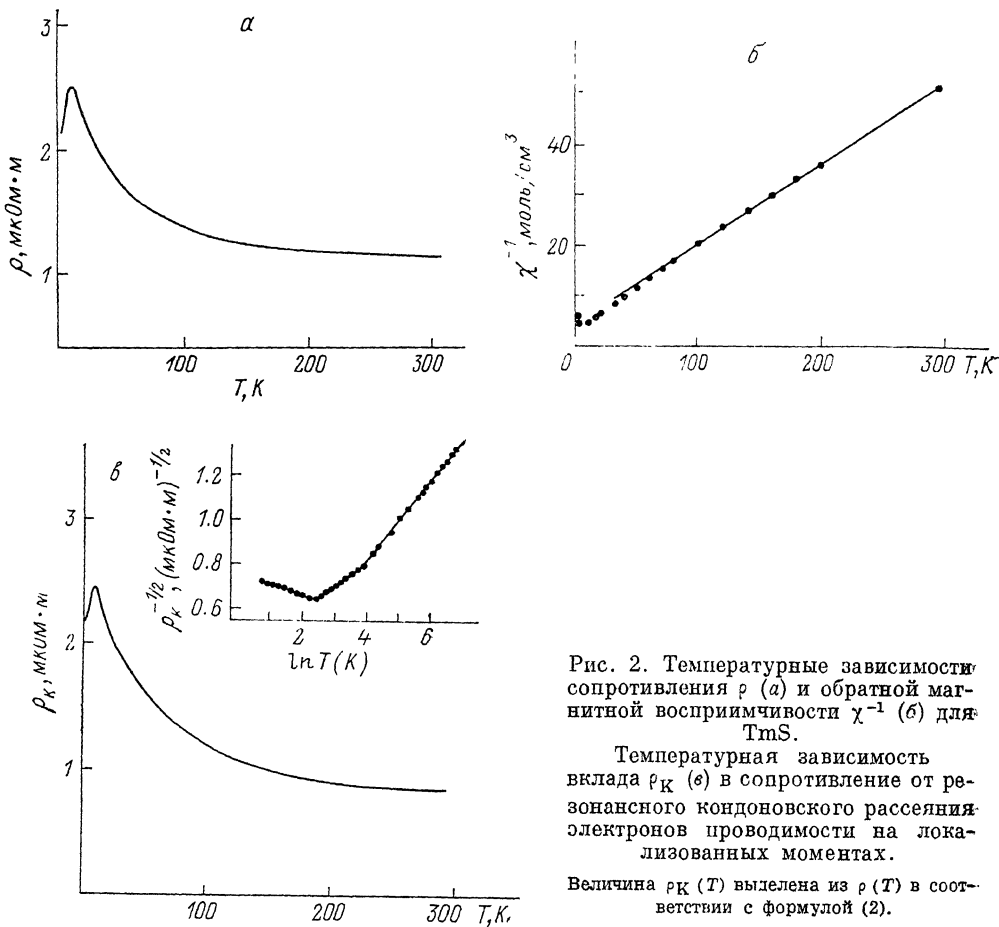


Рис. 2. Температурные зависимости сопротивления ρ (а) и обратной магнитной восприимчивости χ^{-1} (б) для TmS .

Температурная зависимость вклада ρ_K (в) в сопротивление от резонансного кондоновского рассеяния электронов проводимости на локализованных моментах.

Величина $\rho_K(T)$ выделена из $\rho(T)$ в соответствии с формулой (2).

ной роли кристаллического поля говорит наличие изломов при $T \approx 55 \text{ K}$ в экспериментальных температурных зависимостях сопротивления (это хорошо видно на вставке к рис. 2, в), термоэдс, обратной магнитной восприимчивости χ^{-1} [1].

Следует обратить внимание на большую величину коэффициентов γ_1 и γ_2 для TmS по сравнению с их значениями для цериевых соединений с тяжелыми фермионами [4]. На наш взгляд, причина этого состоит в том, что для церия локализованный момент имеет величину $j = 5/2$, тогда как локализованный момент тулия равен $j = 6$. Возможно, именно это отличие j для Ce и Tm ведет к разным значениям коэффициента γ .

Из зависимости R_H от $\chi\rho_K$, в согласии с формулой (1), можно определить $R_H^{(0)}$. Из рис. 1 (вставка) следует, что для TmS $R_H^{(0)} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3/\text{Кл}$. Эта величина находится в хорошем согласии с $R_H = 3.2 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3/\text{Кл}$ для LaS . [5].

Таким образом, наш анализ экспериментальных данных по температурной зависимости константы Холла в концентрированной системе TmS показывает, что аномальный эффект Холла в этом соединении хорошо описывается в рамках механизма косого рассеяния электронов на локализованных моментах.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Бутаев Б. М., Голубков А. В., Жукова Т. Б., Романова М. В., Романов В. В., Сергеева В. М., Смирнов И. А. // ФТТ. 1990. Т. 32. № 8. С. 2354—2361.
- [2] Brandt N. B., Moshchalov V. V. // Adv. Phys. 1984. V. 33. N 4. P. 373.
- [3] Coleman P., Anderson P. W., Ramakrishnan T. V. // Phys. Rev. Lett. 1985. V. 55. N 4. P. 414—417.
- [4] Fert A., Levy P. M. // Phys. Rev. B. 1987. V. 36. N 4. P. 1907—1916.
- [5] Голубков А. В., Гончаров Е. В., Жузе В. П., Логинов Г. М., Сергеева В. М., Смирнов И. А. Физические свойства халькогенидов редкоземельных элементов. Л.: Наука, 1973.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе РАН
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
2 июля 1991 г.

УДК 537.226.4; 538.956

© Физика твердого тела, том 33, № 12, 1991
Solid State Physics, vol. 33, N 12, 1991

ПРОЦЕССЫ ПЕРЕПОЛЯРИЗАЦИИ КРИСТАЛЛОВ $Li_2Ge_7O_{15}$ С ПРИМЕСЯМИ

М. Д. Волнянский, А. Ю. Кудзин, Т. В. Швец

В последнее время активно исследуются кристаллы слабых сегнетоэлектриков (TSCC, AS, LAS, LGO). Их отличительными особенностями являются малая величина спонтанной поляризации, слабая аномалия диэлектрических свойств в узком температурном интервале и малое значение постоянной Кюри—Вейсса, что указывает на фазовый переход типа «порядок—беспорядок»; а также наличие мягкой фононной моды, что дает основания классифицировать фазовый переход как типа «смещения». Для этого класса веществ предложена модельная теория [1], согласно которой спонтанная поляризация может изменять знак при некоторой температуре, что не характерно для обычных сегнетоэлектриков.

Наиболее изученным является поведение кристаллов сульфата аммония (AS). Исследование температурной зависимости спонтанной поляризации (P_s) кристаллов $(NH_4)_2SO_4$ проводилось по петлям диэлектрического гистерезиса и динамическим пироэффектом [2]. В обоих случаях обнаружены уменьшение значения спонтанной поляризации после достижения ею максимума, а также изменение знака P_s по измерениям динамического пироэффекта. С целью изучения механизма сегнетоэлектрического фазового перехода исследовалось влияние ионов K^+ на величину P_s [3]. Показано, что для твердого раствора $[(NH_4)_{1-x}K_x]_2SO_4$ при $0 < x < 0.3$ происходит уменьшение значения спонтанной поляризации, и при $x=0.3$ оно в 2 раза меньше, чем в AS. Одновременно происходит понижение температуры фазового перехода. Однако при дальнейшем увеличении концентрации калия величина спонтанной поляризации возрастает с понижением температуры. Такое поведение кристаллов $[(NH_4)_{1-x}K_x]_2SO_4$ объясняется существованием двух неэквивалентных типов ионов $(NH_4)^+$, причем ионы K^+ замещают преимущественно только те ионы аммония, упорядочение которых происходит при фазовом переходе.

Структуры кристаллов $(NH_4)_2SO_4$ и $Li_2Ge_7O_{15}$ подобны, однако последние являются более удобными при изучении природы слабого сегнето-