

КРИТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ В ОБЛАСТИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В КРИСТАЛЛАХ TlFeTe_2

АЛДЖАНОВ М.А., СУЛТАНОВ Г.Д., АБДУЛЛАЕВ А.М.,
НАДЖАФЗАДЕ М.Д.

Институт Физики НАН Азербайджана

В работах [1,2] экспериментально изучены теплоемкость, намагниченность и магнитная восприимчивость TlFeTe_2 в интервале температур 4,2 – 350 К. Показано, что TlFeTe_2 является ферромагнитным полупроводником с температурой Кюри $T_c = 222$ К. В этой работе приводятся результаты исследования критических поведений тепловых и магнитных характеристик в области фазового перехода TlFeTe_2 и их сравнение теорией Ландау фазовых переходов.

Существование спонтанной намагниченности, по крайней мере, в ферро- и антиферромагнетиках, связано не с магнитными анизотропными взаимодействиями между элементарными магнитными моментами, а с изотропным электростатическим обменным взаимодействием. Влияние магнитного взаимодействия, как правило, очень слабо и в первом приближении его можно рассматривать как малое возмущение. Тогда величину σ_s можно считать интегралом движения по отношению к главному обменному взаимодействию, и в термодинамической теории σ_s допустимо трактовать как независимую переменную, равновесное значение которой можно найти из условия термодинамической устойчивости.

Однако термодинамическая теория хотя и дает ряд сведений о свойствах магнитного превращения, но она не может количественно описать свойства магнитоупорядоченных веществ при критической температуре.

Эксперименты показывают, что для ферро- и антиферромагнетиков температурная зависимость спонтанной намагниченности $\sigma_s(T)$ в окрестности точки Кюри достаточно хорошо описывается следующей формулой:

$$\sigma_s = \alpha(T_c - T)^f \quad (1)$$

где T_c - точки Кюри, α и f - постоянные величины для данного соединения.

Численные значения показателя f , определенные различными авторами, лежат в интервале $0,33 \leq f_{\text{эксп}} \leq 1,96$. Однако теоретическое значение показателя f , определенное по теории молекулярного поля и термодинамической теории, оказывается равной: $f_{\text{теор}} = 0,5$.

Из экспериментальной кривой $\sigma_s(T)$ для TlFeTe_2 нами определено значение показателя f . Для этого уравнения температурного изменения спонтанной намагниченности в окрестности точки Кюри $\sigma_s = \alpha(T_c - T)^f$ путем логарифмирования приводится к виду:

$$\lg \sigma_s = \lg \alpha + f \lg(T_c - T) \quad (2)$$

и следовательно

$$f = \frac{\lg \sigma_s - \lg \alpha}{\lg(T_c - T)} \quad (3)$$

Из зависимости $\lg \sigma_s$ от $\lg(T_c - T)$ для ферромагнитного соединения TlFeTe_2 по углу наклона прямого рассчитан показатель f , который оказался равным 0,62. Для TlFeTe_2 значение показателя f отличается от теоретических значений. Отклонения экспериментальных значений показателя f от теоретического обычно связывается с флуктуациями.

Для определения магнитной составляющей теплоемкости TiFeTe_2 было взято изоструктурное соединение TiFeSe_2 . В TiFeSe_2 выше 150 К в $C_p(T)$ магнитная часть теплоемкости отсутствует [3]. При 295 К C_p TiFeTe_2 и TiFeSe_2 почти одинаковы и равны $C_p = 24,6 \text{ кал/мольград}$. Это значение теплоемкости почти дебаевское, т.е. отсутствует магнитный вклад в теплоемкость. В интервале 150 – 300 К $C_{\text{маг}}$ TiFeTe_2 определена как разность $C_p(\text{TiFeTe}_2) - C_p(\text{TiFeSe}_2)$, а ниже $\approx 150 \text{ К}$ $C_{\text{реш}}$ определена по дебаевскому приближению с дебаевской температурой $\theta_D = 230 \text{ К}$, которая в свою очередь определена при 150 К по решеточной теплоемкости TiFeTe_2 .

Магнитная теплоемкость TiFeTe_2 выше $\approx 270 \text{ К}$ становится пренебрежимо малой. В отличие от TiFeS_2 и TiFeSe_2 поведение $C_{\text{маг}}$ для TiFeTe_2 характерно для трехмерных магнитоупорядоченных соединений. На основе $C_{\text{маг}}(T)$ определены магнитная энергия $\Delta H_{\text{маг}} = \int C_{\text{маг}}(T) dT$ и энтропия $\Delta S_{\text{маг}} = \int C_{\text{маг}}/T dT$, которые оказались равны $\Delta H_{\text{маг}} = 667 \text{ Дж/моль}$, $\Delta S_{\text{маг}}/R = 0,468$. Следует отметить, что численные значения $\Delta H_{\text{маг}}$ используются при определении параметров обмена на основе выбранных теоретических моделей. Близкое значение парамагнитной (θ_p) и ферромагнитной (T_c) температуры Кюри для TiFeTe_2 показывает, что это соединение, по-видимому, принадлежит к классу гейзенберговских ферромагнетиков, в котором результат сводится почти к равенству величин T_c и θ_p .

Теория критических явлений весьма эффективно описывает физические свойства магнитных систем в окрестности фазовых переходов. Существует достаточно широкий интервал температуры вблизи T_c (T_N) с развитыми статическими флуктуациями, которые определяют аномальное поведение многих свойств магнитной системы, например, магнитной восприимчивости и теплоемкости. Магнитная теплоемкость TiFeTe_2 в области магнитного фазового перехода использована при определении критического показателя перехода. Оказалось, что вблизи T_c удовлетворяется соотношение

$$C = a_+ |T - T_c|^{-\alpha} \quad T > T_c; \quad C = a_- |T - T_c|^{-\alpha} \quad T < T_c \quad (4)$$

численные значения коэффициентов равны:

$$\alpha = 0,60, \alpha' = 0,40, a_+ = 17,78, a_- = 16,99, a_+/a_- = 1,05 \quad (5)$$

Для выяснения применимости теории фазового перехода Ландау [4,5] к нашим случаям мы исходили из разложения термодинамического потенциала Φ для однокомпонентного параметра порядка η :

$$\Phi(p, T, \eta) = \Phi_0(p, T) + A(p, T)\eta^2 + B(p, T)\eta^4 + D(p, T)\eta^6 \quad (6)$$

причем в самой критической точке $A_{kp} = 0$; $B_{kp} = 0$; $D_{kp} > 0$

В несимметричной фазе минимизация термодинамического потенциала дает:

$$\eta^2 = \frac{1}{3D} [-B + \sqrt{B^2 - 3AD}] \quad (7)$$

Для энтропии $S = d\Phi/dT$ этой фазы имеем, опуская члены высших степеней по η , $S = S_0 - a\eta^2$, где $a = \frac{\partial A}{\partial T}$. Дифференцируя еще раз, находим теплоемкость:

$$\Delta C_p = \frac{a^2 T}{2\sqrt{B^2 - 3AD}} \quad (8)$$

В теории Ландау предполагается, что вблизи границы устойчивости

T_c величину A можно записать в виде функции от T :

$$A = a(T - T_c) \quad (9)$$

В точке перехода при $T = T_c$ $\Phi(\eta) = \Phi_0$ и $4AD = \beta^2$ получаем:

$$4a(T_c - T_c)D = \beta^2 \quad (10)$$

Преобразуя (8) и учитывая (10), можно показать, что величина $(\Delta C_p/T)^{-2}$ ниже T_c является функцией температуры в виде:

$$\left(\frac{\Delta C}{T}\right)^{-2} = \frac{\beta^2}{a^4} + \frac{12D}{a^3}(T_c - T) \quad (11)$$

Из (11) могут быть определены соотношения между коэффициентами (6).

Линейность функции $(\Delta C_p/T)^{-2}(T)$ для TiFeTe_2 наблюдается в интервале температур 219,7 – 221,6 К. В непосредственной близости температуры перехода ($T_c - T \leq 0,4$) наблюдается отклонение от линейной зависимости. Этот факт и наличие избыточной теплоемкости при $T \geq T_c$ обусловлены, по-видимому, присутствием в изученных образцов TiFeTe_2 дефектов, приводящих к размытию перехода. Согласно [6] все типы дефектов приводят к появлению избыточной теплоемкости в исходной фазе, а со стороны упорядоченной фазы особенность может как усиливаться, так и ослабевать в зависимости от типа дефектов.

Из-за отсутствия данных по исследованию обобщенной восприимчивости и параметра порядка из зависимости (11) определены только соотношения между коэффициентами термодинамического потенциала (6). Если предположить, что параметр порядка пропорционален намагниченности ($\eta \approx \sigma_s$), то для спонтанной намагниченности получается выражение:

$$\sigma_s^2 = \frac{a(T_c - T)}{2\beta} = a^{-1} \frac{a^2}{2\beta}(T_c - T) \quad (12)$$

$$a = \frac{\rho C}{2\pi M}$$

где ρ - плотность, M - молекулярная масса, C - константа Кюри-Вейсса.

Из $\sigma_s(T)$, определенному по (12), видно, что эта зависимость вблизи T_c удовлетворительно согласуется с экспериментальными значениями $\sigma_s(T)$. Таким образом, анализ экспериментальных результатов, полученных нами показывает, что модельные предположения теории фазового перехода Ландау применимы TiFeTe_2 .

Следует отметить, что феноменологическая теория Ландау применима гейзенберговским ферромагнетикам вблизи критической точки фазового перехода $((T - T_c)/T \approx 10^{-2} - 10^{-4})$, где радиус критической корреляции для флуктуации намагниченности имеет еще конечную величину. В самой критической точке этот радиус стремится к бесконечности и теория Ландау уже не применима.

- [1] М.А.Алджанов, Г.Д.Гусейнов, А.М.Абдуллаев, М.Т.Касумов, З.Н.Мамедов. Фазовые переходы в кристаллах TiFeTe_2 . ФТТ, 1989, т.31, № 3, с.309-310.
- [2] М.А.Алджанов, М.Д.Наджафзаде. Магнитный фазовый переход в TiFeTe_2 ФТТ, 1990, т.32, № 8, с. 2494 – 2495.
- [3] М.А.Алджанов, Н.Г.Гусейнов, З.Н.Мамедов. Низкотемпературная теплоемкость TiFeS_2 . ФНТ, 1986, т.12, № 11, с.1216 – 1218.
- [4] Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц Статическая физика. 1976, М., «Наука», ч.1, 583с.
- [5] В.Л.Гинзбург. Несколько замечаний о фазовых переходах второго рода и микроскопической теории сегнетоэлектриков. ФТТ, 1960, т.2, № 9, с.2031 – 2043.

- [6] *А.П.Леванюк, В.В.Осипов, А.С.Сигов, А.А.Собякин.* Изменение структуры дефектов и обусловленные ими аномалии свойств веществ вблизи точек фазовых переходов. ЖЭТФ, 1979, т.76, № 1, с. 345 – 368.

**FAZA KEÇİDİ OBLASTINDA TlFeTe_2 KRİSTALININ KRİTİK
PARAMETRLƏRİ**

ALCANOV M.Ə., SULTANOV Q.C., ABDULLAEV A.M., NƏCƏFZADƏ M.C.

İşdə TlFeTe_2 kristalının faza keçidi oblastında istilik və maqnit xassələrinin özünü kritik aparmasının tədqiqinin nəticələri verilmişdir. Faza keçidi ətrafında termodinamik potensialın əmsalları arasında münasibətlər və kritik indekslər təyin edilmiş və göstərilmişdir ki, Landaunun faza keçidləri nəzəriyyəsi TlFeTe_2 kristallarına tətbiq edilə bilər.

**CRITIC PARAMETERS IN REGION OF PHASE
TRANSITION IN CRYSTALS TlFeTe_2**

ALJANOV M.A., SULTANOV G.J., ABDULLAEV A.M., NAJAFZADE M.J.

In this work were reported the results of the investigations of critic behavior of the heat and magnetic characteristic in the phase transition region of TlFeTe_2 . It were determined the critic indexes and the relation between coefficients of thermodynamic potentials in the phase transition region and was shown that the model assumptions of theory Landau of phase transition is applied in crystals TlFeTe_2 .