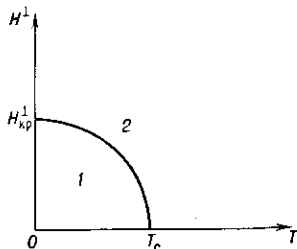


диаграмм (МФД), к-рые строятся в координатах  $T$ ,  $P$ ,  $H$ ,  $x$  и др. и могут быть многомерными; примеры таких диаграмм изображены на рис. 1—8 и описаны ниже в тексте. Наиб. употребительны двумерные МФД в переменных магн. поле — темп-ра ( $H^{\parallel, \perp}$ ,  $T$ ), где  $H^{\parallel}$  и  $H^{\perp}$  — соответственно продольно или поперечно

Рис. 1. МФД ферромагнетика типа ЛО в поперечном магнитном поле: 1 — угловая фаза; 2 — ПМ-фаза;  $H_{кр}^{\perp}$  — критическое поле;  $T_C$  — точка Кюри. Фаза ЛО реализуется при  $H=0$ ,  $T < T_C$ , фаза ЛП при  $T=0$ ,  $H > H_{кр}^{\perp}$ .



ориентированное относительно оси анизотропии внеш. магн. поле, а также МФД в переменных концентрация — темп-ра ( $x$ ,  $T$ ). Магн. фазы на МФД отделены друг от друга линиями — фазовыми границами п, пересекающимися в т.н. поликритических точках.

М. ф. п. 1-го рода происходят между фазами любой магн. симметрии, допустимой в данном магнетике. В случае М. ф. п. 2-го рода магн. группа низкосимметричной (и, как правило, низкотемпературной) фазы является подгруппой магн. группы высокосимметричной фазы.

Для М. ф. п. 1-го рода характерны метастабильные и гистерезисные (по температуре) явления, а также имеет место магн. аналог *Клапейрона—Клаузиуса уравнения* [напр.,  $dH/dT = \Delta S/\Delta M$  на МФД в переменных ( $H$ ,  $T$ ), где  $\Delta S$  и  $\Delta M$  — скачки энтропии и намагниченности при переходе через фазовую границу, на к-рой берётся производная]. На основе обобщения Эренфеста уравнений на случай М. ф. п. можно получить и ряд др. соотношений для скачков термодинамич. величин (в частности, объёмной магнитострикции парапроцесса).

Реальный М. ф. п. 1-го рода в ограниченных по размерам магнетиках сопровождается иногда возникновением т.н. промежуточного состояния и соответственно межфазных границ, разделяющих существенно различные магн. фазы (напр., ФМ- и ПМ-фазы, что резко отличает эти границы от доменных границ) и влияющих на гистерезисные и др. явления.

Все М. ф. п. сопровождаются особенностями (аномалиями) в поведении на фазовых границах как магн., так и немагн. термодинамич. величин — намагниченности  $M$ , восприимчивости  $\chi$ , теплоёмкости  $S$ , упругих модулей  $E$ ,  $G$ , а также уд. объёма  $V$ , энтропии  $S$ . Трудность в эксперим. получении и интерпретации этих результатов состоит в выделении магн. вкладов в изменение соответствующих термодинамич. величин. Конечность размеров образца приводит к «размытости» М. ф. п. и сглаживанию всех связанных с ними аномалий.

Одной из наиб. важных термодинамич. характеристик М. ф. п. является поведение обобщённой восприимчивости магнетика  $\tilde{\chi} = \partial m / \partial h = -\partial^2 F / \partial h^2$  ( $F$  — свободная энергия,  $h$  — обобщённое поле). Восприимчивость  $\tilde{\chi}$  определяет линейный (за исключением случая спиновых стёкол) отклик параметра упорядочения  $m = -\partial F / \partial h$  на включение термодинамически сопряжённого ему обобщённого поля  $h$  [43]. Величина  $\tilde{\chi}$  совпадает с обычной начальной магн. восприимчивостью  $\chi_0 = (\partial M / \partial H)_{H=0}$  только в простейшем случае однородной ФМ-фазы; в более сложных случаях (АФМ-, ГИМ-, СС-фазы и др.) величина  $\tilde{\chi}$  в точке М. ф. п. имеет расходимость ( $\tilde{\chi} \rightarrow \infty$ ), а величина  $\chi_0$  испыты-

вает лишь излом. Для М. ф. п. характерны также динамические аномалии, прежде всего, обращение в нуль частоты т.н. мягкой моды, т.е. однородных колебаний соответствующего параметра упорядочения, что свидетельствует о потере термодинамич. устойчивости данной фазы. Кроме того, при М. ф. п. наблюдается критич. замедление всех кинетич. и релаксац. явлений (см. *Критические явления*), а также аномальное возрастание как величины флуктуаций параметра порядка, так и радиуса корреляции флуктуаций.

Спонтанные М. ф. п. по температуре связаны с нагревом (охлаждением) магнетика и обычно рассматриваются при его пост. составе, пост. давлении и в отсутствие внеш. магн. поля. К таким переходам относятся прежде всего М. ф. п. типа порядок—беспорядок из к.-л. магнитоупорядоченной фазы в ПМ-фазу (с обращением в нуль соответствующего параметра упорядочения). Они происходят при темп-рах, при к-рых тепловое разупорядочивающее движение магн. моментов начинает преобладать над упорядочивающим влиянием взаимодействий между ними: в *Кюри точке*  $T_C$  в случае М. ф. п. вида ФМ  $\rightarrow$  ПМ и в *Нееля точке*  $T_N$  в случае переходов АФМ  $\rightarrow$  ПМ. Обычно эти М. ф. п. относят ко 2-му роду, однако благодаря зависимости обменного интеграла от уд. объёма  $J(V) = J_0(1 + \beta \Delta V/V)$  и сжимаемости решётки при достаточно больших  $\beta$  (напр., в ФМ MnAs и АФМ CrAs) они могут стать М. ф. п. 1-го рода (т.н. механизм Бина — Родбелла [6]).

Весьма распространены и более сложные спонтанные М. ф. п. типа порядок—порядок с изменением характера параметра упорядочения; к ним относятся прежде всего метамгн. переходы вида ФМ—АФМ. В FeRh и нек-рых сплавах на основе Mn они происходят, возможно, за счёт механизма обменной инверсии Киттеля, т.е. смены знака эффективного обменного интеграла  $J(T)$  за счёт теплового расширения решётки, тогда как в магн. редкоземельных (РЗМ) полупроводниках EuSe (или EuTe) и CeSb они обусловлены многоспиновым обменом и, возможно, к.-л. иными видами обмена [8]. Существуют также «многоступенчатые» М. ф. п. типа порядок—порядок; они характерны, напр., для чистых РЗМ-элементов (ФМ-спираль  $\rightarrow$  АФМ-спираль  $\rightarrow$  ПМ в Ho и др.). В ряде ферромагнетиков (напр., интерметаллич. соединениях RFe<sub>2</sub>, где R — РЗМ-элемент) благодаря разл. температурной зависимости намагниченностей подрешёток  $m_A(T)$  и  $m_B(T)$  возникает точка компенсации  $T_k$ , в к-рой  $m=0$ .

Спонтанные спин-(пере)ориентационные фазовые переходы, при к-рых параметр порядка  $m$  (или  $l$ ) изменяет ориентацию относительно осей кристалла, происходят за счёт температурной зависимости константы анизотропии  $K_1(T)$  при достижении темп-р, где  $K_1(T)$  меняет знак. При этом род перехода зависит от знака константы анизотропии более высокого порядка  $K_2(T)$ ; напр., переход в Gd от неколлинеарной (конусной, или угловой) ФМ-фазы к коллинеарной ФМ-фазе (с направлением намагниченности вдоль оси лёгкого намагничивания) является М. ф. п. 2-го рода. Вообще спонтанный М. ф. п. в ферро- или антиферромагнетике от фазы «лёгкая ось» (ЛО) к фазе «лёгкая плоскость» (ЛП) может происходить как один переход 1-го рода ( $K_2 < 0$ ) или как последовательность двух переходов 2-го рода ( $K_2 > 0$ ) (во втором случае — через угловую фазу, для к-рой параметром упорядочения служит угол  $\phi$  между вектором  $m$  и осью  $z$ ). М. ф. п. первого типа между фазами СФМ — АФМ происходит в *Морина точке*  $T_M$  (напр., в гематите  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и РЗМ-ортоферрите DyFeO<sub>3</sub>); М. ф. п. второго типа имеет место, напр., в РЗМ-ортоферритах на основе Sm и Tm.

В неупорядоченных магн. соединениях и сплавах (напр., CuMn, AuFe) в определённых интервалах