

мым упрощается измерит. аппаратура и повышается чувствительность Φ . Наиб. распространённые феррозондовые установки включают: генератор перем. тока, питающий обмотку возбуждения; фильтр для нечётных гармоник, составляющих эдс, подключённый на выходе измерит. катушки; усилитель чётных гармоник; выходной измерит. прибор. Φ обладают очень высокой чувствительностью к магн. полю (до 10^{-4} — 10^{-5} А/м). Φ применяют для измерения магн. поля Земли и его вариаций (в частности, при поисках полезных ископаемых, создающих локальные аномалии геомагн. поля); для измерения магн. поля Луны, планет и межпланетного пространства; для обнаружения ферромагн. предметов и частиц в неферромагн. среде (напр., в хирургии при извлечении металлических осколков), в магн. дефектоскопии и т. д.

Лит.: Афанасьев Ю. В., Феррозонды, Л., 1969; Афанасьев Ю. В., Студенцов Н. В., Шелкин А. П., Магнитометрические преобразователи, приборы, установки, Л., 1972.

ФЕРРОИКИ — класс кристаллич. твёрдых тел, в к-рых фазовый переход 2-го рода сопровождается изменением только точечной (поворотной) симметрии. Наряду с поворотной симметрией при фазовом переходе может меняться и трансляционная симметрия. В этом случае говорят о частичных Φ . К полным Φ относятся кристаллы, в к-рых изменение симметрии при фазовом переходе происходит только за счёт поворотной симметрии. Кристаллы, в к-рых при фазовых переходах изменяется только трансляционная симметрия, наз. неферроиками.

При любом фазовом переходе 2-го рода (или 1-го рода, близкого ко 2-му) происходит потеря элементов симметрии, т. е. группа симметрии новой фазы является частью (подгруппой) группы симметрии исходной фазы (см. *Симметрия кристаллов*). В результате потери элементов поворотной симметрии кристалл приобретает новые свойства, связанные с возникновением в новой, менее симметричной фазе спонтанной макроскопич. переменной M , отсутствующей в исходной фазе. В случае *магнитного фазового перехода* M может совпадать со спонтанной намагниченностью (см. *Ферромагнетик*), в случае сегнетоэлектрич. фазового перехода — со спонтанной электрич. поляризацией (см. *Сегнетоэлектрики*), в случае структурного фазового перехода — с тензором деформации (см. *Сегнетоэластики*) и т. д. Соответствующие фазы, а также сами фазовые переходы наз. ферромагнитными, ферроэлектрическими и ферроупругими.

Величина M в общем случае является тензором. В случае ферромагнетиков и ферроэлектриков это тензор первого ранга (вектор), в случае сегнетоэластиков — тензор второ-

го ранга, совпадающий с тензором деформации. Если M — тензор ранга ≥ 3 , то говорят о Φ . высшего порядка.

Эксперим. определение типа Φ . обычно осуществляется методом исследования кристаллов во внеш. полях, «переключающих» доменную структуру, возникающую при фазовом переходе с понижением поворотной симметрии. Примеры Φ . разного порядка приведены в табл.

Лит.: Aizu K., Possible species of ferromagnetic, ferroelectric and ferroelastic crystals, «Phys. Rev.», 1970, v. B2, p. 754; Newham R. E., Cross L. E., Symmetry of secondary ferroics, «Mater. Res. Bull.», 1974, v. 9, July, p. 927, August, p. 1021; Janovec V., Dvorak V., Petzelt J., Symmetry classification and properties of equi-translation structural phase-transitions, «Czech. J. Phys.», 1975, v. B25, p. 1362; Изюмов Ю. А., Сыромятников В. Н., Фазовые переходы и симметрия кристаллов, М., 1984.

В. Н. Сыромятников.

ФЕРРОМАГНЕТИЗМ — магнитоупорядоченное состояние вещества, в к-ром большинство атомных магнитных моментов параллельны друг другу, так что вещество обладает самопроизвольной (спонтанной) намагниченностью. Φ . устанавливается при темп-ре T ниже Кюри точки T_C в отсутствие внеш. магн. поля H . В более широком смысле Φ . наз. совокупность физ. свойств вещества в указанном состоянии. Вещества, в к-рых возникает ферромагн. упорядочение магн. моментов (рис. 1), наз. *ферро-*

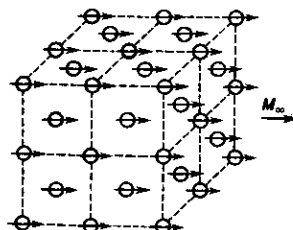


Рис. 1. Ферромагнитная коллинеарная атомная структура в гранцентрированной кубической решётке ниже точки Кюри T_C ; стрелками обозначены направления атомных магнитных моментов.

магнетиками, к их числу относятся как твёрдые кристаллич. вещества (см., напр., *Магнитные диэлектрики, Магнитные полупроводники, Редкоземельные магнетики*), так и нек-рые аморфные магнетики и металлические стёкла, а также магнитные жидкости. Ответственным за Φ . является обменное взаимодействие в магнетизме, стремящееся установить спины (а следовательно, и магн. моменты) соседних атомов или ионов параллельно друг другу; в этом случае обменный интеграл имеет положит. значение.

Φ . обычно наблюдается в трёхмерных системах, однако возможно его возникновение и в реальных квазиодномерных и квазидвумерных системах (см., напр., *Слоистые магнетики*) без нарушения *Мёрмина—Вагнера теоремы*. Ферромагн. атомный порядок можно непосредственно наблюдать методом *магнитной нейтронографии*, к-рый позволяет также определить величины атомных магн. моментов в узлах кристаллич. решёток разл. типов и пространственное распределение плотности магн. момента вблизи них. Кроме нейтронов аналогичную информацию (в т. ч. о внутр. полях на ядрах) могут дать *ядерный магнитный резонанс*, а также *мооной стиновой релаксации метод* и *мёссбауэровская спектроскопия*.

Магнитная восприимчивость ферромагнетиков может достигать значений 10^4 — 10^5 Гс/Э; их намагниченность M , возникающая во внеш. магн. поле H , растёт с его величиной нелинейно (см. *Намагничивание*) и в полях ~ 1 — 100 Э может достигать *магнитного насыщения*, характеризуемого значением M_s . Величина M зависит также от «магн. предыстории» образца, что приводит к неоднозначности ф-ции $M(H)$, или к *гистерезису магнитному*. При намагничивании и перемагничивании ферромагнетика происходит изменение размеров и формы образца (см. *Магнитоупругость*); благодаря этому кривые намагничивания и петли гистерезиса зависят от внеш. напряжений. Наблюдаются также аномалии в величине и температурной зависимости упругих постоянных ферромагнетиков — т. н. ΔE -эффект и др. (см. *Механострикция, Магнито-механические явления*), а также коэф. линейного и объёмного

Тип ферроиков	M	Поле, «переключающее» домены	Примеры
Ферроэлектрик	Спонтанная поляризация	Электрическое поле	BaTiO ₃
Ферроэластик	Спонтанная деформация	Механическое напряжение	Nb ₃ Sn
Ферромагнетик	Спонтанная намагниченность	Магнитное поле	Fe ₃ O ₄
Ферробимагнетик	Магнитная восприимчивость	Магнитное поле	NiO
Ферробизластик	Коэффициенты упругости	Механическое напряжение	SiO ₂
Ферромагнитоэластик	Пьезомагнитные коэффициенты	Магнитное поле или механическое напряжение	CoF ₂
Ферромагнитоэлектрик	Магнитоэлектрические коэффициенты	Магнитное или электрическое поле	Cr ₂ O ₃