

водит к тому, что магнитные моменты подрешёток становятся не строго антипараллельными, вследствие чего возникает слабый ферромагнитный момент. Такая М. с. а. называется слабой ферромагнитной (рис., *г*) и относится к слабонеколлинеарным М. с. а. К этому же типу структур относится и слабонеколлинеарная многоподрешёточная антиферромагнитная структура (напр., в Cr_2O_3) (рис., *д*).

Периодич. магнитные структуры характеризуются периодич. изменением компонент атомных магнитных моментов вдоль некоторых кристаллографич. направлений. Частным случаем являются спиральные магнитные структуры, напр. антиферромагнитная спираль в Eu , Tb , Dy , Ho , MnAu_2 (рис., *е*). Эту структуру можно представить как последовательность атомных плоскостей, в каждой из которых магнитные моменты атомов параллельны и образуют магнитный слой, в то время как при перемещении вдоль оси спирали магнитные моменты соседних слоёв поворачиваются на некоторый угол. Таким образом, проекции магнитных моментов слоёв S_x и S_y на кристаллографич. оси в плоскости слоёв осциллируют. Результирующий магнитный момент антиферромагнитной спирали равен нулю. В случае если S_x и S_y осциллируют, а проекция магнитного момента на ось спирали S_z является постоянной и отличной от нуля, получается ферромагнитная спираль с некоторым результирующим моментом (напр., в Er , Ho) (рис., *ж*). Если S_z тоже осциллирует, то образуется структура, называемая сложной магнитной спиралью (напр., в TbMn_2) (рис., *з*).

Обнаружены периодич. магнитные структуры, периоды которых не связаны с периодом кристаллич. решётки (*несоответствующие структуры*), а также модулированные периодич. магнитные структуры (спин-слип-структуры). К особой группе М. с. а. относятся т. н. полупериодические структуры, напр. продольная спиновая волна, в которой $S_x = 0$ и $S_y = 0$, а компонента S_z осциллирует (напр., в Cr , Er , MnSe_2 , NpAs) (рис., *и*).

Большую часть информации об М. с. а. получают с помощью *магнитной нейтронографии*.

Лит.: Туров Е. А. Физические свойства магнитоупорядоченных кристаллов. М., 1963; Нейтроны и твердое тело. М., 1981. Т. 2: Изюмов Ю. А., Найш В. Е., Озеров Р. П. Нейтронография магнетиков; Изюмов Ю. А. Физические основы магнитной нейтронографии // Успехи физических наук. 1997. Т. 167. № 5. С. А. Никитин.

МАГНИТНАЯ ТЕКСТУРА, преимущественная ориентация осей лёгкого намагничивания в поликристаллических ферро- или ферримагнитных материалах, приводящая к анизотропии их магнитных свойств (см. *Магнитная анизотропия*). При ориентации векторов спонтанной намагниченности M_s магнитных доменов вдоль выделенной оси М. т. называется осевой (продольной), при их ориентации

перпендикулярно этой оси — поперечной (поперечной). Наиболее часто М. т. является следствием кристаллографич. *текстуры*, которая в порошковых магнитных материалах создаётся в результате прессования изделий в магнитном поле. Распространённым способом создания М. т. является термомагнитная (термич. обработка в магнитном поле) или термомеханич. обработка (под растягивающей или сжимающей нагрузкой).

Осевая М. т. широко используется для улучшения свойств магнитных материалов. В *магнитомягких материалах* вдоль направления оси М. т. облегчаются процессы перемагничивания, наблюдаются высокие значения магнитной проницаемости, низкие значения коэрцитивной силы H_c и потерь на гистерезис. В *магнитотвёрдых материалах* вдоль оси М. т. остаточная намагниченность M_r достигает наибольшего значения, а H_c превышает её значения в др. направлениях.

Материалы с М. т. относятся к анизотропным материалам. Магнитомягкими материалами с М. т. являются холоднокатаная электротехнич. сталь, сплавы пермаллой и перминвар. К магнитотвёрдым материалам с М. т. относятся сплавы типа алнико (ЮНДК), тиконал (ЮНДКТ), викаллон, сплавы Fe-Co-Cr , бариевый и кобальтовый ферриты, материалы на основе интерметаллидов РЗЭ. М. т. может существовать и в аморфных магнетиках за счёт локальной анизотропии внутрикристаллич. поля и неоднородностей, вызванных технологич. причинами.

Лит.: Вонсовский С. В. Магнетизм. М., 1971; Преображенский А. А., Бишард Е. Г. Магнитные материалы и элементы. 3-е изд. М., 1986.

А. С. Ермоленко.

МАГНИТНАЯ ТЕРМОМЕТРИЯ, метод измерения температур, основанный на сильной температурной зависимости магнитных свойств магнетиков. Применяется для измерения как высоких, так и низких температур. При температурах, близких к абсолютному нулю (ниже 1 К), данный метод основан на использовании в качестве термометрич. параметра *магнитной восприимчивости* парамагнитного вещества — парамагнитной соли или ядерного парамагнетика, для которых характерна сильная зависимость магнитной восприимчивости от темп-ры T в необходимой области температур. Температурная зависимость магнитной восприимчивости χ парамагнетика описывается *Кюри законом*: $\chi = C/T$, где C — константа Кюри, или *Кюри — Вейса законом*: $\chi = C/(T - \theta)$, где θ — парамагнитная темп-ра Кюри. При приближении к абсолютному нулю или к темп-ре θ магнитная восприимчивость быстро изменяется, достигая больших величин; именно это свойство парамагнетиков используется в магнитной термометрии.

Законы Кюри и Кюри — Вейса могут нарушаться в области низких температур, что приводит к погрешности в определении абсолютной темп-ры. В общем случае с помощью законов Кюри и Кю-

ри — Вейса определяют т. н. магнитную темп-ру, которая совпадает с абсолютной темп-рой только в области выполнения этих законов. Для установления связи между магнитной и абсолютной темп-рами проводится предварительная калибровка используемого вещества путём измерения и определения температурных зависимостей его теплоёмкости и энтропии. Константы Кюри определяют в области температур 0,5–2 К. На основе этих измерений составляют калибровочные таблицы $\chi(T)$ для используемых веществ. В качестве парамагнитной соли используют церий-магнийнитрат, для которого $\theta \approx 1,9$ К, а в области более низких температур — это же вещество, но с замещением церия на лантан. Магнитную восприимчивость парамагнитных солей в слабых полях измеряют динамич. методом или с помощью *СКВИД-магнитометра*.

Темп-ры порядка 10^{-6} К могут быть измерены с помощью ядерных парамагнетиков (медь, алюминий, платина), у которых закону Кюри подчиняется ядерная магнитная восприимчивость. В этом случае восприимчивость измеряют СКВИД-магнитометром (статич. метод, характеризуемый малой мощностью, выделяемой в термометре) или с помощью резонансных методов (см. *Ядерный магнитный резонанс*). Измерения темп-ры с помощью ядерных парамагнетиков предъявляют повышенные требования к чистоте образца.

В технич. целях для определения темп-ры может быть использован тот факт, что в точках фазовых переходов магнитные материалы имеют существенную зависимость магнитных параметров от темп-ры (напр., термомагнитные материалы имеют сильную зависимость намагниченности от темп-ры Кюри).

Лит.: Лоунасмаа О. В. Принципы и методы получения температур ниже 1 К. М., 1977; Методы получения и измерения низких и сверхнизких температур. К., 1987.

Ю. И. Спичкин, А. М. Тишин.

МАГНИТНАЯ ЦЕПЬ, последовательность расположенных в пространстве магнетиков, по которым проходит определённый магнитный поток. В технике распространены как М. ц., в которых магнитный поток практически полностью проходит в ферро- и ферримагнетиках (замкнутые М. ц.), так и М. ц., включающие, кроме ферро- и ферримагнетиков, диамагнетики (напр., воздушные зазоры). Если магнитный поток возбуждается в М. ц. постоянными магнитами, то такую цепь называют поляризованной. М. ц. без постоянных магнитов называют нейтральной; магнитный поток в ней возбуждается током, протекающим в обмотках, охватывающих часть или всю М. ц. В зависимости от характера тока возбуждения различают М. ц. постоянного, переменного и импульсного магнитных потоков. Вследствие формальной аналогии электрических и магнитных цепей к ним применим общий математич. аппарат. Напр., для М. ц. аналогом *Ома закона* служит