

Табл. 5.—Точки Кюри ферромагнитных соединений переходных *d*- и *f*-металлов с нормальными химическими элементами

| Соединение | T_c , К | Соединение | T_c , К |
|---------------------------------|-----------|---|-----------|
| FeBe ₂ | 823 | Co ₂₀ Al ₃ B ₆ | 406 |
| Fe ₃ B | 747 | Mo ₃ ZnC | 368 |
| Fe ₃ C | 483 | Co ₂ Mn ₃ C | 733 |
| Fe ₂ C | 653 | Co ₂ MnSi | 985 |
| Fe ₃ Si | 823 | SmZn | 125 |
| Fe ₅ Si ₃ | 373 | GdZn | 270 |
| Fe ₄ N | 761 | TbZn | 206 |
| Fe ₃ P | 716 | DyZn | 144 |
| Co ₃ B | 747 | HoZn | 80 |
| Fe ₃ NiN | 1033 | ErZn | 50 |

Табл. 6.—Точки Кюри ферромагнитных соединений актиноидов и трансураниевых элементов

| Соединение | T_c , К | Соединение | T_c , К |
|--------------------|-----------|-------------------|-----------|
| ThFe ₁₇ | 295 | NpFe ₂ | 500 |
| ThCo ₅ | 415 | NpN | 87 |
| ThCo ₁₇ | 1053 | PuFe ₂ | 600 |
| UFe ₂ | 170 | PuAs | 129 |
| UH ₃ | 182 | PuPt | 19 |
| UPt | 27 | AmFe ₂ | 375 |
| UAu ₄ | 565 | CmN | 0,5 |

Табл. 7.—Точки Кюри аморфных ферромагнитных соединений

| Соединение | T_c , К | Соединение | T_c , К |
|--|-----------|-----------------------------------|-----------|
| Fe ₈₀ B ₂₀ | 647 | Fe ₈₀ Y ₂₀ | 140—150 |
| Fe ₈₀ P ₁₆ C ₃ B ₁ | 565 | Fe ₉₀ Lu ₁₀ | 120 |
| Fe ₈₂ P ₁₆ B ₂ | 617 | Fe ₈₄ Lu ₁₆ | 210 |
| Fe ₈₄ Y ₁₆ | 160 | Fe ₇₅ Lu ₂₅ | 160 |
| Fe ₉₀ Y ₁₀ | 140—170 | K ₂ NiF ₄ | 6,25 |

Табл. 8.—Точки Кюри некоторых ферромагнитных полупроводников

| Соединение | T_c , К | Тип структуры |
|--|-----------|------------------------------|
| EuO | 69,4 | Монохалькогениды |
| EuS | 16,5 | —»— |
| EuSe | 2,8 | —»— |
| CdCr ₂ S ₄ | 84,5 | Халькогениды шпиннелей хрома |
| CdCr ₂ Se ₄ | 130 | —»— |
| HgCr ₂ S ₄ | 60 | —»— |
| HgCr ₂ Se ₄ | 106 | —»— |
| CdCr ₂ S | 85,1 | —»— |
| CdCr ₂ Se | 124 | —»— |
| CdCr ₂ S _x Se _{1-x} | | —»— |
| $x=0,85$ | 88,5 | |
| $x=0,70$ | 91,5 | |
| $x=0,55$ | 96,8 | |
| $x=0,25$ | 107,6 | |

Табл. 9.—Точки Кюри ферромагнитных сверхпроводников

| Соединение | T_c , К | Соединение | T_c , К |
|----------------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------|
| GdRh ₄ B ₄ | 5,8 | ErRh ₄ B ₄ | 0,93 |
| TbRh ₄ B ₄ | 7,4 | HoMo ₆ S ₈ | 0,7 |
| DyRh ₄ B ₄ | 10,7 | HoMo ₆ Se ₈ | 0,53 |
| HoRh ₄ B ₄ | 6,7 | | |

Наряду с кристаллич. веществами ферромагн. порядок обнаружен также в аморфных (метастабильных) металлич. сплавах и соединениях (табл. 7) (см. *Металлические стёкла*), а также в аморфных магнетиках, являющихся соединениями 3*d*-металлов и РЗМ с металлоидами (В, С, N, P, S и др.) и в целом по свойствам мало отличающихся от соответствующих кристаллич. веществ (за исключением *магнитной анизотропии*). Для т.н. слабых Ф., относящихся к классу соединений переходных парамагн. металлов с нормальными элементами (металлами и металлоидами), характерны следующие значения T_c : 28 К для ZrZn₂, 29 К для MnSi, 41 К для Ni₃Al; магнетизм этих веществ определяется коллективизир. электронами. Число изученных неметаллич. Ф. пока значительно меньше, чем металлических; наиб. изученными являются *магнитные диэлектрики* (в частности, *ферриты*), а также *магнитные полупроводники* типа халькогенидов двухвалентного РЗМ европия EuX, где X—O, S, Se, Te (первым из них в 1961 открыт EuO). Синтезировано и изучено большое число Ф.—соединений Eu_{1-x}R_xO типа твёрдых растворов на основе монооксида Eu с РЗМ (R—Sm, Gd); в частности, при $x=0,015$ точка Кюри в Eu_{1-x}Gd_xO и Eu_{1-x}Sm_xO повышается соответственно до 135 и 130 К (по сравнению со значением 69,4 К для $x=0$).

Особую группу Ф. образуют сильно разбавленные растворы замещения парамагн. атомов, напр. Fe или Co в диамагн. матрице Cu, Au или Pd. В этих веществах атомные магн. моменты распределены неупорядоченно, т.е. при наличии ферромагн. порядка отсутствует атомный порядок. Магн. упорядочение наблюдается также в *магнитных сверхпроводниках*, несмотря на «антагонизм» между ферромагнетизмом и сверхпроводимостью. Среди РЗМ и актиноидных магнетиков большой интерес представляют т.н. кондовские магнетики (см. *Кондо-решётки, Кондо эффект*), к-рые в большинстве случаев относятся к антиферромагнетикам; известен, однако, ряд кондовских Ф. на основе церия, в т.ч. Ce₄Bi₃, CeRh₃B₂, CeSi_x при $x \leq 1,85$, CeSi_{2-x}Ge_x, CeNi_xPt_{1-x}, Ce_xLa_{1-x}Ge₂.

По величине коэрцитивной силы H_c все Ф. делятся на магнитно-мягкие и магнитно-твёрдые. Первые обладают малой H_c и значит. магн. проницаемостью; вторые имеют большие значения H_c и намагниченности остаточной M_r .

Ф. играют существенную роль в разл. областях совр. техники: *магнитно-мягкие материалы* используются в электротехнике (трансформаторы, генераторы, электромоторы и т.п.), в слаботочной технике связи, радиотехнике и электронике; *магнитно-твёрдые материалы* применяются для изготовления пост. магнитов, в ускорит. технике и т.п.

Лит. см. при ст. *Ферромагнетизм*, а также: 1) Редкоземельные ферро- и антиферромагнетики, М., 1965; 2) Тейлор К., Дарби М., Физика редкоземельных соединений, пер. с англ., М., 1974; 3) Метфессель З., Маттис Д., Магнитные полупроводники, пер. с англ., М., 1972; 4) Бамбуров В. Г., Борухович А. С., Самохвалов А. А., Введение в физикохимию ферромагнитных полупроводников, М., 1988; 5) Сверхпроводимость в тройных соединениях, под ред. Э. Фишера, М. Майпла, пер. с англ., т. 2. Сверхпроводимость и магнетизм, М., 1985; 6) Ирхин В. Ю., Кацнельсон М. И., Проблема кондовских магнетиков, «Физ. мет. и металловед», 1991, № 1, с. 16; 7) Amorphous magnetism, ed. by N. O. Hooper, de A. M. Graaf, N. Y., 1973; 8) DIGESTS of Intermag-93, April 13—16, 1993, Stockh., Sweden; 9) International Conference on the Physics of Transition Metals, Darmstadt, 20—24, 1992, L., 1993.

С. В. Вонсовский.

ФЕРРОМАГНИТНЫЕ ДОМЭНЫ — макроскопич. области ферромагнетика с разл. ориентациями спонтанной однородной намагниченности в одном из возможных направлений, соответствующих минимуму энергии *магнитной анизотропии* одного или неск. типов (естественной кристаллографической, наведённой, анизотропии формы, магнитоупругой, поверхностной), а в общем случае и энергии намагниченности во внеш. магнитном, магнитостатическом и упругом полях.

Представление о Ф.д. впервые было введено П. Вейсом (P. Weiss) в 1907 для того, чтобы согласовать существование спонтанной намагниченности железа с равенством ну-