Энциклопедия Физики и техники
www.femto.com.ua

Пользовательског Поиск

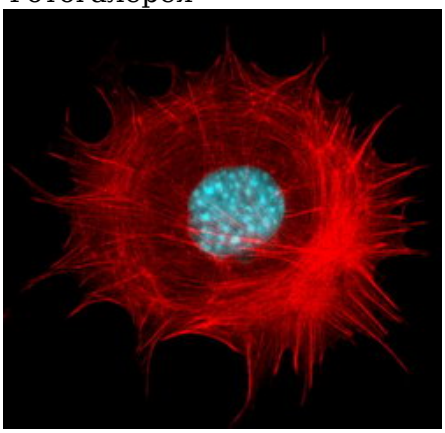
Главная | Физическая энциклопедия | Новости науки и техники

Физическая энциклопедия

- Главная
- Предметный указатель

Поиск

Фотогалерея



Клетка как архитектурное чудо

Новости науки и техники

Водород, как альтернативное топливо.



Как известно наша планета богата энергоносителями, которые, вот уже не одну сотню лет, исправно служат человеку, делая его жизнь более комфортной. Но так же известно, что запасы полезных ископаемых, из которых получают эти энергоносители, с каждым годом всё уменьшаются, а их стоимость в связи с этим растёт, не говоря уже о загрязнении окружающей среды путём выброса в атмосферу продуктов сгорания. Далее...

слабый ферромагнетизм

СЛАБЫЙ ФЕРРОМАГНЕТИЗМ - существование в *антиферромагнетиках* спонтанного ферромагн. момента (СФМ), величина к-рого мала по сравнению с намагниченностью подрешёток. С. ф. существует у большого числа антиферромагнетиков; наблюдался в природных кристаллах гематита (α-Fe_2O_3) задолго до того, как было открыто явление *антиферромагнетизма* [1]. Долгое время считалось, что наблюдаемый *ферромагнетизм* обусловлен примесями других, ферромагн. окислов железа, пока это явление не было обнаружено в химически чистых образцах NiF_2 [2] (см. табл.), $MnCO_3$ и $CoCO_3$ [3]. После этого была построена термодинамич. теория С. ф. в антиферромагнетиках (И. Е. Дзялошинский, 1957, [4]).

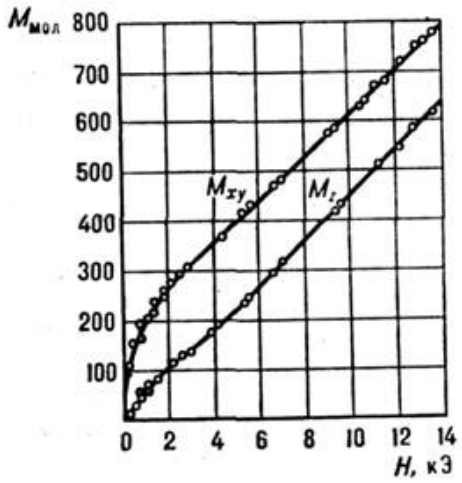


Рис. 1. Зависимость молярной намагниченности $M_{мол}$ монокристалла $MnCO_3$ от внешнего поля H, приложенного вдоль тригональной оси O_z (M_z) и перпендикулярно ей (M_{xy}) при T = 4,2K.

Вещества со С. ф. обнаруживают характерную магн. анизотропию. СФМ направлен либо вдоль одного выделенного кристаллографич. направления, либо в плоскости, перпендикулярной гл. оси тригональных или гексагональных кристаллов (базисная плоскость). Типичные кривые намагничивания показаны на рис. 1 на примере $MnCO_3$. При любом направлении магн. поля H в базисной плоскости xy возникает параллельная ему намагниченность M_{xy}, к-рая зависит

от H (начиная с полей ~1 кЭ) по закону:

$$M_{xy}=\sigma_D+\chi_{xy}H, \qquad (1)$$

где $\sigma_D = \chi_{xy}H_D$ *- величина СФМ, - магн. восприимчивость в плоскости ху,* H_D *- эфф.* $\chi_{x,y}$ *поле Дзялошинского. Если вектор H направлен перпендикулярно базисной плоскости (вдоль оси Oz), то*

$$M_z=\chi_z H. \qquad (2)$$

Величина σ_D *составляет небольшую долю от намагниченности подрешёток* M_n *(n - номер подрешётки). Температурная зависимость* σ_D *(T)(рис. 2) аналогична* $M_n(T)$*, если в веществе при изменении T не происходит перехода из одной антиферромагн. структуры (АС) в другую. Для температурной зависимости* $\chi_{xy}(T)$ *характерно наличие острого максимума в Нееля точке (*$T = T_N$*)(рис. 3).*

С. ф. возникает в тех антиферромагнетиках, группа магнитной симметрии к-рых допускает одновременно как антиферромагн., так и ферромагн. упорядочение. Найдены все пространств. и точечные группы магн. симметрии, допускающие существование С. ф. [5. 6].

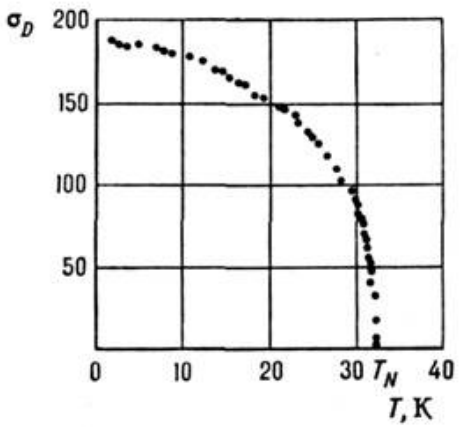


Рис. 2. Температурная зависимость a_0 *для* $CoCO_3$ *(в единицах СГСМ на моль).*

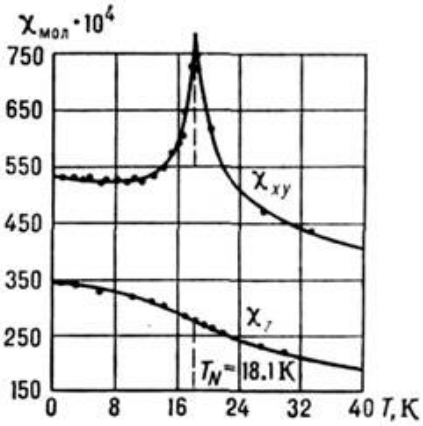


Рис. 3. Температурная зависимость молярной магнитной восприимчивости для $CoCO_3$*.*

Термодинамическая теория С. ф. основана на разложении термодинамич. потенциала Ф по компонентам векторов антиферромагнетизма L и намагниченности M, являющихся линейными комбинациями M_n *(напр., в*

двухподрешёточном антиферромагнетике L = M_1 - M_2, M = M_1 + M_2). Это разложение должно быть инвариантным относительно всех преобразований симметрии пространственной группы кристалла. Многие группы допускают в разложении Ф существование членов вида $L_i M_k (i, k = x, y, z)$ *. Их наличие приводит к тому, что при установлении антиферромагн. упорядочения с* $L_i \neq 0$ *возникает СФМ* M_k*, величина к-рого может быть рассчитана из ур-ний, получающихся при минимизации Ф. В случае тригональных структур, обладающих пространственной группой* D_{3d}^6*,*

$$\Phi = \Phi_0 + (A/2)L^2 + (B/2)M^2 + (a/2)L_z^2 + (b/2)M_z^2 + d(L_x M_y - L_y M_x). \quad (3)$$

Коэффициенты при изотропных членах (A к B), обусловленные обменным взаимодействием, во много раз больше коэффициентов при анизотропных релятивистских членах (a, b, d). Коэф. B является осн. константой обменного взаимодействия, определяющей эффективное обменное магн. поле $H_E = BL/2$*. Минимизация (3) при заданном значении* L^2 *даёт два решения:*

1) $L \parallel Oz$ *(*$L_x = L_y = 0$*) и M = 0 - такой магн. структурой обладают* $FeCO_3$ *и низкотемпературная модификация* α-Fe_2O_3*;*

2) $L \perp Oz$ *и* $M_x = (d/B)L_y$, $M_y = (d/B)L_x$, $M_z = 0$*. При этом возникает СФМ*

$$\sigma_D = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} = (d/B)L. \quad (4)$$

Этот СФМ мал ввиду малости отношения d/B. Такой магн. структурой обладают $MnCO_3$, $CoCO_3$, $NiCO_3$ *и высокотемпературная модификация* α-Fe_2O_3 *. Если включить в потенциал член с магн. полем, то минимизация Ф приводит к ф-лам (1) и (2), в к-рых* $\chi_{xy} = 1/B$*, а* $\chi_z = 1/(B + b)$

Вектор σ_D *перпендикулярен L. Поэтому в веществах со С. ф. векторы намагниченности подрешёток не направлены строго антипараллельно, а отклоняются на небольшой угол* $\varphi = H_D/H_E = 2d/B$ *от [оси антиферромагнетизма](#) (рис. 4, а). В принципе возможен и продольный С. ф. благодаря различию величин векторов* M_n *строго антипараллельных подрешёток. Однако во всех известных случаях С. ф.* $\sigma_D \perp L$ *. При перемагничивании вместе с* σ_D *должен менять знак и L, т. е. подрешётки должны поворачиваться на 180°.*

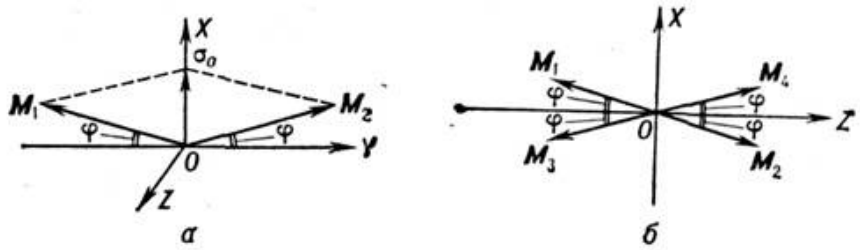


Рис. 4. Образование за счёт скоса векторов намагниченности подрешёток $м_n$*: а - слабого ферромагнетизма в двухподрешёточном антиферромагнетике; б - антиферромагнитной структуры с четырьмя скрещенными подрешётками.*

Слагаемое $d(L_x M_y - L_y M_x)$ *из (3) описывает [Дзялошинского взаимодействие](#) ,такого вида члены встречаются в ряде пространственных групп тригональных,*

тетрагональных и гексагональных сингоний. В нек-рых группах тетрагональных сингоний С. ф. описывается членом вида $d(L_x M_y + L_y M_x)$, *а в ромбич. сингониях - членом вида . В моноклинных сингониях подобная* $d_1 L_i M_k + d_2 L_k M_i$ *сумма содержит четыре члена. В большинстве групп гексагональной и кубической сингоний С. ф. описывается членами шестого и четвёртого порядка по* $L_i M_k$ *[5].*

Для антиферромагнетиков с четырьмя и более подрешётками существует неск. векторов L, описывающих разл. антиферромагн. структуры АС. Поэтому в выражение для потенциала Ф могут входить члены типа $L_{pi} L_{qk}$ *(p, q - номера АС), к-рые приводят к возникновению АС со скрещенными подрешётками, не обладающих С. ф. (рис. 4, б).*

В микроскопической теории *С. ф. рассматривают самый общий вид спинового гамильтониана, удовлетворяющий симметрии данного кристалла:*

$$\mathcal{H} = \sum_{\alpha,\beta,i,k} J_{ik}^{\alpha\beta} S_{\alpha i} S_{\beta k} + \sum_{\alpha,i} A_i^{\alpha} S_{\alpha i}^2. \qquad (5)$$

Здесь $S_{\alpha i}$, $S_{\beta k}$ *- операторы компонент спинов магн. ионов, расположенных в узлах* α *и* β; $J_{ik}^{\alpha\beta}$ *- тензор, описывающий их взаимодействие;* A_i^{α} *- константа одноионной анизотропии. Первый член содержит как обычную изотропную часть (i = k), к-рая описывает обменное взаимодействие, так и анизотропную часть* $(i \neq k)$ *. Последняя описывает анизотропию, обусловленную межионным взаимодействием, а также С. ф. Ответственная за С. ф. часть гамильтониана может быть представлена в виде* $\boldsymbol{d}^{\alpha\beta}\,[\boldsymbol{S}_\alpha \boldsymbol{S}_\beta]$ *. Вектор Дзялошинского* $\boldsymbol{d}^{\alpha\beta}$ *соответствует константе a в разложении (3). В рассмотренных выше тригональных кристаллах* $\boldsymbol{d}^{\alpha\beta}$ *направлен параллельно оси* Oz $(d = d_z^{\alpha\beta})$.

Второй член описывает одноионную анизотропию, и обычно коэф. A_i^{α} *не зависят от номера узла. Однако в нек-рых тетрагональных кристаллах оси симметрии в двух эквивалентных узлах элементарной ячейки повёрнуты на 90° и соответственно* A_x^2*. В этом случае С. ф. обусловлен* $A_x^1 = -A_y^2 = -A_y^1 =$ *не анизотропным обменом, а одноионной анизотропией.*

Фазовые переходы. В отличие от обычных антиферромагнетиков, в антиферромагнетиках со С. ф. при $T > T_N$ *магн. поле вызывает антиферромагн. упорядочение с вектором L, перпендикулярным приложенному полю. Подобно ферромагнетикам у антиферромагнетиков со С. ф. в магн. поле (параллельном С. ф. моменту) нет различия в магн. симметрии при темп-рах выше и ниже критической [9]. С этим обстоятельством связано возникновение показанного на рис. 3 пика магн. восприимчивости.*

В кристаллах, у к-рых симметрия допускает существование С. ф., наблюдаются специфич. магнитные фазовые переходы. Во-первых, переходы, обусловленные изменением с темп-рой соотношения констант магн. анизотропии, приводящие к повороту L от одного кристаллографич. направления к другому. В результате такого поворота антиферромагнетик может переходить из состояния со С. ф. в чисто антиферромагн. состояние (переход Морина в α-Fe_2O_3 *) или в состояние, где С. ф. сохраняется, но происходит соответствующий поворот вектора СФМ. Подобные ориентационные фазовые переходы в нек-рых ортоферритах и ортохромитах происходят постепенно, и процесс переориентации ограничен сверху и снизу по темп-ре двумя фазовыми переходами 2-го рода [7]. Во-вторых,*

наблюдаются фазовые переходы из чисто антиферромагн. состояния в состояние со С. ф. под действием магн. поля. Такие переходы происходят в легкоосных антиферромагнетиках, если H приложено перпендикулярно лёгкой оси. Магн. поле вызывает поворот вектора L в плоскости, перпендикулярной H, и возникновение СФМ вдоль H. В четырёхподрешёточных антиферромагнетиках возможен индуцированный магн. полем переход 1-го рода в состояние со С. ф., сопровождающийся перестройкой АС.

В веществах, симметрия к-рых допускает существованне С. ф., но анизотропия такова, что вещество переходит в чисто антиферромагн. состояние, в области вблизи T_N могут наблюдаться аномалии в температурной зависимости восприимчивости, аналогичные показанной на рис. 3.

Свойства некоторых антиферромагнетиков со слабым ферромагнетизмом

Соединения	Кристаллич. структура	T_N, К	H_E, кЭ	H_D, кЭ	$\varphi = H_D/H_E$
α-Fe_2O_3	тригональная	950	8700	1,9	0,001
$NiCO_3$	—»—	25	240	90	0,37
NiF_2	тетрагональная	73	280	1,8	0,006
$ErFeO_3$	ромбическая	636	—	—	0,009

Лит.: 1) S m i t h I., The magnetic properties of hematite, «Phys. Rev.», 1916, v. 8, p. 721; 2) Matarrese L. M., Stout J. W., Magnetic anisotropy of NiF_2, «Phys. Rev.», 1954, v. 94, p. 1792; 3) Боровик-Романов А. С., Орлова М. П., Магнитные свойства карбонатов кобальта и марганца, «ЖЭТФ», 1956, т. 31, с. 579; 4) Дзялошинский И. Е., Термодинамическая теория «слабого» ферромагнетизма антиферромагнетиков, «ЖЭТФ», 1957, т. 32, с. 1547; 5) Т у р о в Е. А., Физические свойства магнитоупорядоченных кристаллов, М., 1963; 6) В i г s s R., Symmetry and magnetism, Amst., 1964; 7) Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках, М., 1979; 8) Moriya T., Weak ferromagnetism, в кн.: Magnetism, ed. by G. T. Rado, H. Suhl, v. 1, N. Y.-L., 1963; 9) Боровик-Романов А. С., Лекции по низкотемпературному магнетизму, Новосиб., 1976. А. С. Боровик-Романов.

[<<] [Предметный указатель] [>>]

© *femto.com.ua*
webmaster@femto.com.ua