

Этот переход обусловлен тем, что в антиферромагнетиках при $T \ll T_N$ (T_N — темп-ра Невеля) восприимчивость вдоль оси антиферромагнетизма χ_{\parallel} меньше восприимчивости χ_{\perp} в поперечном направлении, и при нек-ром значении магн. поля H_{c1} разность магн. энергий $-\frac{1}{2}(\chi_{\perp} - \chi_{\parallel})H^2$ сравнивается с энергией анизотропии, что и приводит к скачкообразному изменению ориентации спинов на угол $\pi/2$ (рис. 1).

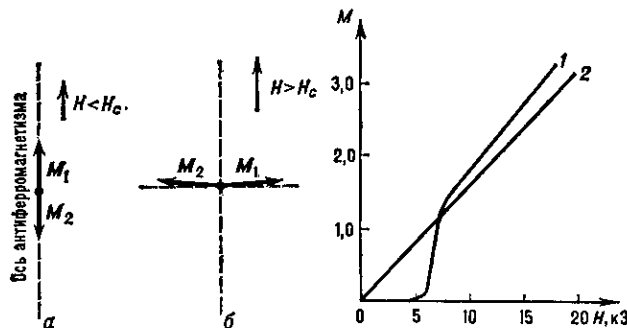


Рис. 1. «Опрокидывание» магнитных подрешёток в анизотропном антиферромагнетике при внешнем магнитном поле $H < H_{c1}$ (а) и $H > H_{c1}$ (б).

Рис. 2. Зависимость намагниченности M (в Гаусса системе единиц) от напряжённости внешнего магнитного поля для монокристалла $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ при $T = 1,57$ К; 1 — $H \parallel a$, 2 — $H \parallel b$.

Это явление впервые наблюдалось экспериментально на антиферромагн. монокристаллах $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ с $T_N = 4,3$ К. На рис. 2 приведены зависимости магн. момента этого соединения от напряжённости магн. поля, приложенного вдоль оси антиферромагнетизма (ось a) и перпендикулярно ей (ось b). При низких темп-рах $\chi_{\parallel} \ll \chi_{\perp}$, но при достижении $H_c = 6$ кЭ намагниченность вдоль оси a скачком возрастает (фазовый переход 1-го рода), после чего восприимчивости по осям a и b оказываются примерно одинаковыми, т. е. при $H_c > 6$ кЭ намагниченности подрешёток устанавливаются перпендикулярно полю.

Критич. поле С.-ф. п. связано с внутр. эфф. полями антиферромагнетика. В случае простейшего легкоосного антиферромагнетика $H_c = (2H_E H_A)^{1/2}$, где H_E — эфф. обменное поле, H_A — эфф. поле анизотропии.

Лит.: Боровик-Романов А. С., Антиферромагнетизм, в сб.: Итоги науки, Сер. физ.-мат. науки, в. 4, М., 1962; Вонсовский С. В., Магнетизм, М., 1971. А. М. Кадошцева. **СПИН-ФОНОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ** — взаимодействие электронных и ядерных спинов атомов твёрдого тела с упругими колебаниями кристаллической решётки. Последним в квантовой механике представлении соответствует поле фононов. Колебания решётки, тепловые или вызванные внеш. упругой волной, периодически изменяют расстояния между атомами, что приводит к модуляции как внутрикристаллического поля, так и взаимодействий между спинами электронов и ядер, т. е. к спин-спиновому взаимодействию.

С.-ф. в. обуславливает релаксационные процессы, приводящие к установлению теплового равновесия между системой спинов и решёткой, — т. н. спин-решёточную релаксацию (см. Релаксация магнитная). Оно также оказывает влияние на положение и ширину спиновых уровней, приводя к сдвигу фактора спектроскопич. расщепления и изменению констант тонкого и сверхтонкого спиновых расщеплений. С.-ф. в. ответственно за поглощение энергии акустич. колебаний при акустическом парамагнитном резонансе (АПР).

Известно неск. механизмов С.-ф. в. Для электронных спинов парамагнитных ионов в т. н. слабоконцентрированных парамагнетиках (напр., примесных парамагн. ионах в диамагн. матрице), где взаимодействием между парамагн. ионами можно пренебречь, наиболее существенным является электр. механизм,

обусловленный модуляцией внутрикристаллич. электр. поля упругими колебаниями решётки. Осциллирующее поле нарушает орбитальное движение электрона и посредством спин-орбитального взаимодействия вызывает переориентацию спинов парамагн. ионов. Этот процесс связан с т. н. ванфлеховским парамагнетизмом, обусловленным деформацией электронной оболочки иона. Механизм Ван Флека характерен для примесных ионов группы Fe и редких земель в диэлектрич. и полупроводниковых кристаллах (напр., Fe^{2+} в Al_2O_3 и MgO ; Cr^{2+} в GaAs). С.-ф. в. возникает в результате модуляции зеemanовской энергии или взаимодействия электронной намагниченности с магн. полем, обусловленным ядерным магнитным моментом (см. Сверхтонкое взаимодействие).

В концентрированных парамагнетиках С.-ф. в. может осуществляться за счёт модуляции колебаниями решётки магнитного дипольного или обменного взаимодействия между спинами, поскольку они зависят от расстояний между ионами (механизм Вальера). В случае диэлектриков этот механизм может конкурировать с ванфлеховским только для ионов с большим моментом.

В магнитоупорядоченных веществах основную роль в С.-ф. в. играет модуляция упругими колебаниями решётки обменного взаимодействия между спинами. В свою очередь, коллективные колебания спинов (спиновые волны), распространяясь по кристаллу, вызывают смещения ионов решётки, что приводит к возникновению связанных т. н. магнитоупругих колебаний. Их интенсивность возрастает при совпадении частот спиновой и упругой волн с одинаковым волновым вектором.

Для атомов, ядра к-рых обладают квадрупольным моментом, существенно С.-ф. в., обусловленное связью переменных градиентов внутрикристаллич. поля с квадрупольными моментами ядер. Квадрупольный механизм С.-ф. в. в присут. диэлектрикам, слаболегированным полупроводникам и ряду металлов.

В проводящих средах (металлах, сильнолегированных полупроводниках) с большой концентрацией электронов проводимости помимо электр. механизма С.-ф. в. существует т. н. механизм Олффера — Рубина, связанный с возникновением дополнительного переменного магн. поля, обусловленного взаимодействием колебаний решётки с электронами проводимости. При этом переменное магн. поле модулирует дипольное взаимодействие между магнитными моментами ядер. В металлах для ядер с большим квадрупольным моментом преобладающую роль играет квадрупольный механизм С.-ф. в., а для ядер с малым квадрупольным моментом могут одновременно участвовать два механизма — квадрупольный и дипольный. С понижением темп-ры T от 300 К до 14 К из-за вымораживания носителей вклад дипольного механизма значительно уменьшается. При квадрупольном механизме возможны переходы между спиновыми уровнями с изменением магн. квантового числа на 2, а при дипольном механизме только на 1.

Интенсивность С.-ф. в. характеризуется элементами тензора четвёртого ранга, связывающими изменение энергии системы спинов с деформацией решётки. Значения элементов тензора С.-ф. в. зависят от конкретных механизмов С.-ф. в. и отражают локальную симметрию внутрикристаллич. поля вблизи данного иона. Элементы тензора С.-ф. в. могут быть определены экспериментально по сдвигу линии электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) и ядерного магнитного резонанса, а также под действием одноосного давления; по поглощению энергии при АПР; по акустическому насыщению линий ЭПР и ЯМР; по времени спин-решёточной релаксации. Экспериментальное определение констант С.-ф. в. и сопоставление их с теоретич. значениями, соответствующими тем или иным механизмам С.-ф. в., позволяют получать информацию о структуре и величине внутрикристаллич. полей и о динамике спин-решёточных взаимодействий.