Энциклопедия Физики и техники
www.femto.com.ua

Пользовательског Поиск

Главная | Физическая энциклопедия | Новости науки и техники

Физическая энциклопедия

- Главная
- Предметный указатель

Поиск

Фотогалерея



Альфа Центавра в рентгеновских лучах

Новости науки и техники

Если бы можно было не дышать



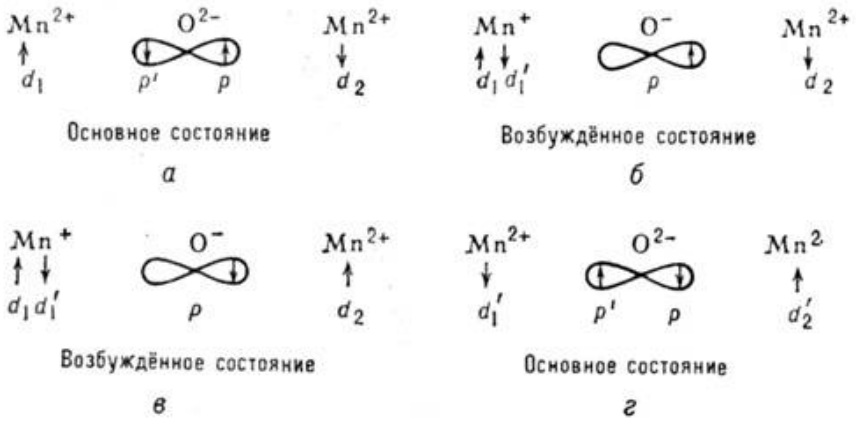
Человек в среднем вдыхает 15 м^3 воздуха в сутки. Для нормальной жизнедеятельности необходим воздух без вредных примесей. Так, например, по данным Всемирной организации здравоохранения , содержащиеся в воздухе микрочастицы обуславливают почти 9% смертей от рака легких, 5% смертей от сердечно-сосудистой патологии и являются причиной около 1% летальных случаев от инфекционных заболеваний дыхательных путей. Далее...

косвенное обменное взаимодействие

КОСВЕННОЕ ОБМЕННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ (непрямое обменное взаимодействие) - *обменное взаимодействие* между спиновыми степенями свободы локализованных электронов (или атомных ядер) через возмущение др. электронной подсистемы: диамагнитных ионов (лигандов), окружающих магн. ионы в *магнитных диэлектриках*, либо электронов проводимости в *полупроводниках* и *металлах* [1].

В ранних опытах по адиабатич. размагничиванию парамагнитных солей (30-е гг. 20 в.) было обнаружено, что магн. моменты ионов *d*- или *f*-элементов (имеющих незаполненные *d*- или *f*-электронные оболочки в атомах) оказываются не вполне свободными даже в тех случаях, когда ионы разделены диамагнитными группами (ионы галоидов, молекулы воды и др.) и перекрытие *d(f*-)- *волновых функций* (орбиталей) на разных узлах *кристаллической решётки* пренебрежимо мало. Тем самым, хотя обменная связь существует, прямое обменное взаимодействие (в духе модели Гайтлера - Лондона - Гейзенберга для молекулы H_2) в этом случае является чрезвычайно слабым. Х. А. Крамере (H. A. Kramers), опираясь на идею Ф. Блоха (F. Bloch), в 1934 показал, что обменная связь магн. ионов, окружённых диамагнитными ионами, может осуществляться через виртуальные возбуждения диамагнитной подсистемы кристалла. Ф. Андерсон (Ph. Anderson) в 1950 развил эту идею и применил её к объяснению антиферромагнитных свойств соединений *d*-металлов типа MnO. Природу К. о. в. Крамерса-Андерсона (т. н. сверхобменного взаимодействия) можно пояснить на простой задаче ''трёх центров, четырёх электронов'', являющейся предельной идеализацией случая MnO (рис.). Из рис. видно, что виртуальные процессы, обусловливающие К. о. в., таковы: перескок электрона из заполненной оболочки лиганда (иона O^{2-}) в *d*-оболочку магн. иона Mn^{2+} (*б*); переворот спинов оставшегося электрона лиганда и спина *d*-электрона др. магн. иона вследствие прямого обменного взаимодействия (*в*); перескок *d*-электрона из оболочки первого иона обратно в оболочку лиганда. Тем самым возникает выигрыш в энергии осн. состояния системы с антипараллельными спинами относительно состояния с параллельными спинами, в к-ром один из процессов *б* или *в* невозможен. Возникающая зависимость полной энергии кристалла от суммарного спина в данном случае благоприятствует антиферромагнитному упорядочению магн. моментов. Величина К. о. в. Крамерса - Андерсона порядка ε^4, где ε - параметр перекрытия волновых *d*-ф-ций парамагнитного иона и волновых ф-ций электронов лиганда. Теория К. о. в. Крамерса - Андерсона при применении к реальным кристаллам требует рассмотрения большого числа промежуточных возбуждённых состояний, слагаемых высших порядков по ε и т. д. Андерсон в 1959 предложил поэтому др.

подход [2], в к-ром на первом этапе в рамках теории поля лигандов (*внутрикристаллического поля*)определяются волновые ф-ции магн. иона в диамагнитном окружении без учёта обменных взаимодействий с др. магн. ионами; при этом *d*-ф-ции оказываются медленно спадающими с расстоянием за счёт примеси состояний электронов лигандов. На втором этапе рассматриваются обменные взаимодействия в псренсрмированной таким образом магн. подсистеме. При этом связь между ионами *i* и *j* имеет в нерелятивистском приближении обычный вид взаимодействия Гейзенберга-Дирака-Ван Флека с гамильтонианом $\mathscr{H} = -2J_{ij}\boldsymbol{S}_i\boldsymbol{S}_j$ (S_i - оператор спина, см. *Гейзенберга модель*), а обменный параметр J_{ij} включает потенциальный (электростатич.) и кинетич. обмен. Вклад потенц. обмена положителен (способствует параллельной ориентации спинов) и обусловлен уменьшением кулоновского отталкивания для электронов с параллельными спинами из-за "фермиевской дырки" (см. *Корреляционная энергия*).Вклад кинетич. обмена отрицателен (способствует антипараллельной ориентации спинов) и обусловлен процессами второго порядка теории возмущений по параметру, представляющему отношение энергии переноса *d*-электрона между магн. ионами к энергии отталкивания *d*-электронов на одном центре (ионе). Обычно кинетич. обмен больше потенциального, что и объясняет более широкую распространённость антиферромагнетизма по сравнению с ферромагнетизмом среди магн. диэлектриков. Знак и относит. величину К. о. в. в магн. диэлектриках в зависимости от электронной конфигурации магн. иона, симметрии кристаллич. окружения и угла между направлениями от лиганда на магн. ионы позволяют определить полуэмпирич. правила Гуденафа - Канамори [3, 5]. Осуществлены также расчёты обменных взаимодействий в кристаллах с учётом реальной электронной структуры в рамках метода функционала локальной спиновой плотности [6].



Учёт эффектов спин-орбитального взаимодействия в магн. диэлектриках с низкой симметрией кристаллич. решётки даёт антисимметричный по спиновым операторам вклад в К. о. в. Этот вклад описывается гамильтонианом $\mathscr{H} = \boldsymbol{D}_{ij}[\boldsymbol{S}_i\boldsymbol{S}_j]$, характеризующим т. н. о б-менное взаимодействие Дзялошинского - Мория. Оно было введено И. Е. Дзялошинским в 1957 из феноменологич. соображений и получено в рамках микроскопич. теории Т. Мория (T. Moriya) в 1960 [4]. Взаимодействие Дзялошинского-Мория ответственно за явление *слабого ферромагнетизма* в нек-рых антиферромагнитных диэлектриках (напр., α-Fe_2O_3) [1].

К. о. в. через электроны проводимости было предсказано М. Рудерманом и Ч. Киттелем (M. Ruderman, Ch. Kittel) в 1954 для ядерных спинов в металлах. Оно появляется во втором порядке теории возмущений по постоянной сверхтонкого взаимодействия и отличается дальнодействующим осциллирующим характером спадания с расстоянием R_{ij}.

$$J_{ij} \sim \cos(2k_F R_{ij})/R_{ij}^3 \quad (\text{при } 2k_F R_{ij} \gg 1).$$

Здесь k_F - фермиевский *волновой вектор* электронов проводимости. Такое поведение является следствием существования скачка электронной ф-ции распределения на *ферми-поверхности*. Теория К. о. в. между магн. моментами локализованных электронов через электроны проводимости была предложена Т. Касуя (T. Kasuya), К. Иосида (K. Yoshida) и др. в 1956 на основе s-*d* (*f*)-обменной *Шубина - Вонсовского модели* (т. н. взаимодействие Рудермана - Киттеля - Касуя - Иосиды, или *РККИ-обменное взаимодействие*). Его характерная величина $\sim I^2/\mathcal{E}_F$, где I - *s-d*(*f*)-обменный интеграл, $\mathcal{E}_F$ - *ферми-энергия* электронов проводимости, а зависимость от R_{ij} такая же, как для случая ядерных спинов. РККИ-взаимодействие играет определяющую роль в магнетизме редкоземельных магнетиков, а также разбавленных твёрдых растворов магн. ионов в немагнитной металлич. матрице типа Cu - Mn (см. *Спиновое стекло*).

Для магн. металлов группы железа и большинства их сплавов справедлива скорее картина магнетизма коллективизированных электронов, однако там, где можно говорить о наличии достаточно хорошо определённых локализованных магн. моментов (напр., по-видимому, в α-Fe), взаимодействие между ними подобно РККИ-взаимодействию, т. е. является осциллирующим и дальнодействующим. Это подтверждается прямыми расчётами обменных параметров на основе *зонной теории* магнетизма.

Заметно отличается от РККИ-взаимодействия К. о. в. В *магнитных полупроводниках* (легированные EuO, $CdCr_2Se_4$ и др.), а также в магнетиках с узкими зонами (напр., $La_{1-x}Ca_xMnO_3$). В этом случае теория возмущений по параметру $|I|/\mathcal{E}_F$ неприменима и К. о. в. имеет существенно негейзенберговский вид. Наличие в магнетике небольшого числа свободных электронов всегда способствует ферромагнитному упорядочению локализованных магн. моментов, причём выигрыш в энергии для системы упорядоченных моментов пропорционален произведению концентрации электронов проводимости (или дырок в почти заполненной зоне) на энергию переноса [теория "двойного обмена", К. Зинер (C. Zener), 1951].

Лит.: 1) Вонсовский С. В., Магнетизм, М., 1971; 2) Anderson P. W., Exchange in insulators. Super-exchange, direct exchange and double exchange, в кн.: Magnetism, v. 1, N. Y.-L., 1963; 3) Kanamori J., Anisotropy and magnetostriction of ferromagnetic and antiferromagnetic materials, там же; 4) Moriya T., Weak ferromagnetism, там же; 5) Гуденаф Д., Магнетизм и химическая связь, пер. с англ., М., 1968; 6) Губанов В. А., Лихтенштейн А. И., Постников А. В., Магнетизм и химическая связь в кристаллах, М., 1985. *М. И. Кацнелъсон*.

« Предметный указатель »

© femto.com.ua
webmaster@femto.com.ua