

обычной симметрии и может быть формально сведена к одному из вариантов симметрии в 4-мерном пространстве. Др. обобщение А. — *цветная симметрия*. В теории кратной А. вводятся дополнительные переменные $x_5 = \pm 1$, $x_6 = \pm 1$, ..., каждая из k -рых описывает определ. признак объекта.

Лит.: Шубников А. В., Копчик В. А., Симметрия в науке и искусстве, 2 изд., М., 1972; Шубников А. В., Симметрия и антисимметрия конечных фигур, М., 1951; Копчик В. А., Шубниковские группы, М., 1966; Хаммерманн М., Теория групп и ее применение к физическим проблемам, пер. с англ., М., 1966 (таблицы групп А. на с. 89); Современная кристаллография, под ред. Б. К. Вайнштейна, т. 1, М., 1979.

АНТИСТОКСОВА ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ — фотолюминесценция, длина волны k -рой меньше длины волны возбуждающего света (т. е. фотолюминесценция, не подчиняющаяся Стокса правилу). При А. л. излученные кванты обладают энергией большей, чем кванты возбуждающего света. Увеличение энергии квантов происходит за счёт энергии теплового движения атомов.

Для люминесцирующих молекул при изменении длины волны возбуждающего света в пределах электронной полосы поглощения спектр люминесценции не зависит от длины волны возбуждающего света. Эта независимость обусловлена быстрой (по сравнению с *временем жизни* возбуждённого электронного уровня) релаксацией энергии по колебат.-вращат. подуровням электронного состояния. В частности, при возбуждении в длинноволновой части спектральной полосы поглощения некоторая часть энергии люминесценции приходится на более коротковолновую антистоксовую область. В этом случае возбуждающий квант $h\nu_B$ атом поглощает из возбуждённого колебат. состояния

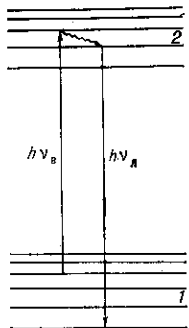


Схема возбуждения А. л. $h\nu_B$ — квант возбуждающего фотолюминесценцию излучения; $h\nu_A$ — квант А. л. 1 и 2 — основной и возбуждённый электронные уровни энергии.

основного электронного уровня 1 (рис.). На возбуждённом электронном уровне 2 энергия распределяется по колебат. подуровням в соответствии с температурой вещества. При обратном переходе молекула может перейти на нижний колебат. подуровень основного электронного уровня и испустить кванты с энергией $h\nu_A > h\nu_B$.

Т. к. при А. л. в световую энергию переходит энергия теплового движения атомов, происходит охлаждение вещества (эффект оптического охлаждения). Этот эффект становится существенным в разреженном газе при возбуждении фотолюминесценции лазерным излучением с частотой, соответствующей длинноволновой части доплеровского контура спектральной линии поглощения. Такие кванты благодаря эффекту Доплера будут поглощаться атомами, летящими навстречу лучу света; при этом атомы получают импульс квантов и тормозятся. При люминесценции эти атомы испускают кванты с частотой, соответствующей центру доплеровского контура линии, т. е. с большей энергией, чем кванты возбуждающего света. С помощью оптич. охлаждения за счёт А. л. можно понизить кинетич. энергию ионов до величин, соответствующих температурам до 10^{-2} К [3].

Передача кинетич. энергии атомов излучению не противоречит второму началу термодинамики, т. к. излучение люминесценции не является равновесным. Происходящее при этом понижение энтропии вещества меньше, чем рост энтропии излучения вследствие расширения спектра и телесного угла, в к-ром распространяется излучение люминесценции [2].

А. л. иногда может возникать также при поглощении квантов света двумя центрами люминесценции и передачей энергии обоим возбуждений на один центр (*кооперативная люминесценция*).

Лит.: 1) Степанов В. И., Грибковский В. П., Введение в теорию люминесценции, Минск, 1963; 2) Жаудау Я. Д., О термодинамике фотолюминесценции, Собр. трудов, т. 2, М., 1969, с. 26; 3) Neuhauser W. и др., Visual observation and optical cooling of Electrostatically contained ions, «Appl. Phys.», 1978, v. 17, p. 123.

В. А. Свириденков.

АНТИФЕРРОМАГНЕТИЗМ

Содержание:

1. Основные проявления антиферромагнетизма веществ	108
2. Магнитная структура антиферромагнетиков	109
3. Феноменологическая теория антиферромагнетизма	109
4. Квантовая теория антиферромагнетизма	110
5. Взаимодействие электромагнитного излучения с антиферромагнетиками	112
6. Заключение	113

1. Основные проявления антиферромагнетизма веществ

А. — магнитоупорядоченное состояние кристаллич. вещества, в к-ром все или часть соседних атомных магн. моментов направлены так (как правило, антипараллельно), что суммарный магн. момент элементарной ячейки кристалла равен нулю (или составляет малую долю атомного момента). Ось, вдоль k -рой ориентированы антиферромагнитно-упорядоченные атомные магн. моменты, наз. осью антиферромагнетизма. А. устанавливается при темп-рах T ниже *Температуры Нееля* T_N . В более широком смысле А. наз. совокупность физ. свойств вещества в указанном состоянии. На рис. 1 приведены простейшие примеры антиферромагн. упорядочения. Вещества, в к-рых устанавливается антиферромагн. порядок, наз. *антиферромагнетиками* (АФМ).

Атомные магн. моменты АФМ создаются, как правило, электронами незаполненных d - или f -оболочек ионов переходных элементов, входящих в состав АФМ. Исклучение составляет, напр., твёрдый кислород, молекулы к-рого имеют спиновый момент (*спин*), равный 1. Ответственным за возникновение А. является *обменное взаимодействие*, стремящееся установить спины (а следовательно, и магн. моменты) антипараллельно (в этом случае обменный интеграл имеет отрицат. значение). Большинство АФМ — ионные соединения. В них обменное взаимодействие между магн. ионами осуществляется за счёт перекрытия *волновых функций* электро-

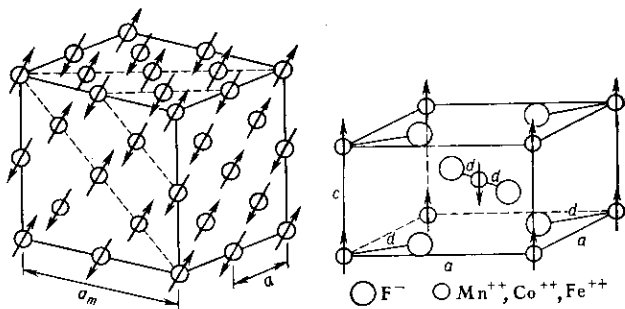


Рис. 1. Слева — магнитная структура окислов переходных элементов типа MnO (a — период кристаллографической ячейки, a_m — период ячейки магнитной структуры, на рис. показаны только магнитные ионы); справа — кристаллографическая и магнитная структуры фторидов переходных элементов (a , c — параметры решётки, d — расстояние между магнитным и ближайшим немагнитным ионами).

нов диамагн. анионов (O^{2-} , F^- , Cl^- , S^{2-} , Se^{2-} и др.) с волновыми функциями магн. катионов переходных металлов (см. *Косвенное обменное взаимодействие*). В металлич. АФМ важный вклад в обменное взаимодействие дают электроны проводимости (см. *РККИ-обменное взаимодействие*).