

а мнимая часть — магн. линейный *дихроизм*, к-рый также наблюдался в АФМ.

При переходе вещества в антиферромагн. состояние заметно изменяются спектры поглощения и люминесценции в видимой области спектра. Осн. изменения претерпевают спектры, обусловленные оптич. переходами внутри *3d*-оболочки. Наряду со слабыми магнитодипольными линиями, соответствующими экситонному поглощению, возникают сильные электродипольные линии, обусловленные однофем. возбуждением экситона и магнона (экситон-магнонное поглощение). Изучение положения этих линий и их зависимости от частоты и магн. поля позволяет определить параметры как экситонного, так и магнонного спектров. АФМ являются идеальными объектами для изучения т. н. *давидовского расщепления* экситонных зон. Величину расщепления в АФМ легко регулировать магн. полем, нарушающим коллинеарность магн. моментов кристаллографически эквивалентных атомов двух магн. подрешёток. Оптич. спектроскопия АФМ использовалась также для исследования нового типа квазичастиц — *п р и м е с о н о в* (локализированных магн. возбуждений примесных магн. ионов в матрице АФМ).

В АФМ, так же как и в др. магнитоупорядоченных кристаллах, наблюдается рассеяние света на магнонах. Наблюдение *комбинационного рассеяния света* в АФМ на магнонах со целью (~ 10 — 100 см⁻¹) в спектре позволило определить величину этой щели. Для многих АФМ это единств. метод её определения, когда она слишком велика для антиферромагн. резонанса и слишком мала для экспериментов по неупругому рассеянию нейтронов. Методом комбинац. рассеяния обнаружены связанные двухмагнонные состояния и спиновые волны при $T \gg T_N$. Наблюдение *Мандельштама — Бриллюэна* рассеяния на магнонах позволило изучить ДВ-часть оптич. спектра в неск. АФМ, обнаружить щель, обусловленную диполь—дипольным взаимодействием спиновых волн, наблюдать перегрев спиновой системы, вызванный накачкой СВЧ-полем при антиферромагн. резонансе и параметрич. возбуждении (эффект магнонного «узкого горла»).

6. Заключение

Осн. представления об А. развиты к сер. 70-х гг. 20 в. К новым проблемам А. относится исследование неупорядоченных АФМ, в частности твёрдых растворов АФМ с диамагн. веществами (типа $Mn_xZn_{1-x}F_2$), в к-рых наблюдаются переход от антиферромагн. состояния к состоянию типа *спинового стекла*. Изучаются также твёрдые растворы АФМ с конкурирующей анизотропией (лёгкая ось — лёгкая плоскость), в к-рых возможно существование новых неколлинеарных фаз, и низкоразмерные АФМ — двумерные и линейные.

Лит.: Туров Е. А., Физические свойства магнитоупорядоченных кристаллов, М., 1963; Редкоземельные ферромагнетики и антиферромагнетики, М., 1965; Ахизер А. И., Барьяхтар В. Г., Пелетминский С. В., Спиновые волны, М., 1967; Вонсовский С. В., Магнетизм, М., 1971; Еременко В. В., Введение в оптическую спектроскопию магнетиков, К., 1975; Белов К. П., Редкоземельные магнетики и их применение, М., 1980; Андреев А. Ф., Марченко В. И., Симметрия и макроскопическая динамика магнетиков, «УФН», 1980, т. 130, с. 39.

А. С. Боровик-Романов.

АНТИФЕРРОМАГНИТ — вещество, в к-ром установился антиферромагн. порядок магн. моментов атомов или ионов (см. *Антиферромагнетизм*). Обычно вещество становится А. ниже определ. темп-ры T_N (см. *Негелл точка*) и в большинстве случаев остаётся А. вплоть до $T=0$ К. Из элементов к А. относятся твёрдый кислород (α -модификация) при $T < 24$ К, Mn (α -модификация с $T_N=100$ К), Cr ($T_N=310$ К), а также ряд редкоземельных металлов (с T_N от 12,5 К у Ce до 230 К у Tb). Хрому свойственна геликоидальная *магнитная атомная структура*. Сложными магн. структурами обладают также тяжёлые редкоземельные металлы. В температурной области между T_N и T_1 ($0 < T_1 < T_N$) они

антиферромагнитны, а ниже T_1 становятся *ферромагнетиками* (табл. 1).

Число известных А.— хим. соединений составляет не одну тысячу. В хим. ф-лу А. входит, по крайней мере, один ион из групп переходных металлов (групп железа, редкоземельных металлов и актинидов), исключение

Т а б л. 1. — Свойства редкоземельных элементов-антиферромагнетиков

Элемент	Кристаллич. структура	Темп-ры перехода		Тип антиферромагн. структуры
		T_1 , К	T_N , К	
Ce	ГПУ	—	12,5	Коллинеарная
Pr	»	—	25	»
Nd	Гексагональная	—	19,9	»
Sm	Тригональная	—	106	»
Eu	ОЦК	—	90,5	Геликоидальная
Tb	ГПУ	219	230	»
Dy	»	85	174	»
Ho	»	20	133	»
Er	»	20	85	Циклоидальная и синусоидальная
Tm	»	25	56	Синусоидальная

ГПУ — гранцентрированная плотноупакованная решётка, ОЦК — объёмноцентрированная кубич. решётка.

составляет твёрдый кислород. К А. относятся многочисл. простые и сложные окислы переходных элементов, включая нек-рые ферриты-шпинели, ферриты-гранаты, ортоферриты и ортохромиты, а также фториды, сульфаты, карбонаты и др. Существует нек-рое кол-во антиферромагн. сплавов, в частности сплавы элементов группы железа с элементами платиновой группы.

Первыми соединениями, в к-рых был обнаружен антиферромагнетизм, явились слоистые хлориды Fe, Co и Ni. На кривой, показывающей зависимость их теплоёмкости от темп-ры, был найден максимум, характерный для фазового перехода 2-го рода (магн. фазового перехода). Позже такие же максимумы были найдены у MnO и изоморфных окислов Fe, Ni и Co. Эти окислы с кубич. кристаллич. решёткой были также первыми объектами нейтронографич. определения магн. структур А. Из кубич. А. следует отметить семейство редкоземельных ферритов-гранатов, в к-рых ионы Fe замещены на Al или Ga. Особый интерес представляет $Du_3Al_5O_{12}$ (ДАГ), в к-ром подробно исследовались аномальные свойства вблизи *трикритической точки*. Исследование водного хлорида меди ($CuCl_2 \cdot 2H_2O$) привело к открытию *антиферромагнитного резонанса* и особого *магнитного фазового перехода* — опрокидывания подрешёток (снин-флоп) в магн. поле. Этот же кристалл послужил объектом для нейтронографич. подтверждения существования т. н. слабого антиферромагнетизма (1982) и открытия обменной моды антиферромагн. резонанса (1984). Группа фторидов (MnF_2 и др.) — одноосных кристаллов с магн. анизотропией типа лёгкая ось — послужила объектом для изучения оптич. спектров поглощения и открытия экситон-магнонных возбуждений, двухмагнонного поглощения и комбинац. рассеяния света на магнонах. Оптич. спектры А. исследовались также на двойных фторидах типа $KMnF_3$, $CsMnF_3$. Мандельштам—Бриллюэна рассеяние света на магнонах наблюдалось в $FeVO_3$, $CoCO_3$ и $EuTe$. Отметим ещё два одноосных А.: в CoF_2 был открыт *неземагнетизм*, в Cr_2O_3 — *магнитоэлектрический эффект*.

В др. группе одноосных кристаллов, обладающих анизотропией типа лёгкая плоскость (см. *Антиферромагнетизм*) — Fe_2O_3 , $MnCO_3$, $CoCO_3$, NiF_2 — был открыт *слабый ферромагнетизм* (СФ). Особый интерес среди веществ со СФ представляют ортоферриты ($YFeO_3$ и др.), в к-рых наблюдаются ориентационные фазовые переходы (изменение оси антиферромагн. упорядочения)