

Бородина А.А.,

Зверева Т.С.,

Манакова Е.О.,

Манаков А.С.

студенты

факультет «Физико-математический»

Воронежский государственный педагогический университет,

г. Воронеж

МАГНИТОУПОРЯДОЧЕННЫЕ ТВЕРДЫЕ ТЕЛА

Аннотация: Любая современная технология, так или иначе, использует магнетизм. Существенный прогресс в изучении магнетизма наметился только во второй половине 20 века с развитием квантовой механики. Экспериментальные исследования магнитных наноструктур ставят перед теоретиками все новые и новые вопросы, ответы на которые позволяют существенно продвинуть, как теорию магнетизма, так и наше понимание физики в целом.

Ключевые слова: магнитоупорядоченные твёрдые тела, парапроцесс, парамагнетики, ферромагнетик, антиферромагнетик, ферримагнетик.

Borodina A.A.,

Zvereva T.S.,

Manakova E.O.,

Manakov A.S.

students

faculty of Physics and mathematics»

Voronezh state pedagogical University, Voronezh

MAGNETOORDERED SOLIDS

Abstract: Any modern technology, one way or another, uses magnetism. Significant progress in the study of magnetism was outlined only in the second half of the 20th century with the development of quantum mechanics.

Experimental studies of magnetic nanostructures pose theorists with more and more questions, the answers to which allow us to significantly advance both the theory of magnetism and our understanding of physics as a whole.

Keywords: *magnetoordered solids, paraprocesses, magnetic domains, ferromagnets, paramagnetic, antiferromagnets, ferrimagnets.*

Основополагающий вклад, который внес К.П. Белов в физику магнитных явлений, связан с выяснением фундаментальных закономерностей процессов истинного намагничивания – парапроцесса, который имеет место внутри доменов магнитоупорядоченных веществ [1].

Отличие парапроцесса от намагничивания парамагнетиков заключается в том, что в магнитоупорядоченных средах на магнитные моменты атомов и электронов действуют, кроме магнитного поля, сильные обменные взаимодействия, которые создают дополнительно эффективное обменное поле. К.П. Беловым было показано, наибольшей интенсивности парапроцесс достигает в области магнитных фазовых переходов из магнитоупорядоченного состояния в парамагнитное. Именно в этой области внешнее магнитное поле наиболее сильно подавляет дезориентирующее действие теплового движения. В этой области наиболее ярко наблюдаются соответствующие парапроцессу такие эффекты как магнитокалорический эффект, магнитосопротивление, магнитострикция парапроцесса и др., которые имеют большое техническое применение: аномалии теплового расширения в инварных сплавах, магнитные рефрижераторы на гигантском магнитокалорическом эффекте, магнитострикционные преобразователи.

Интерпретация магнитных явлений в твердых телах базируется на двух основных представлениях. Первое состоит в том, что, у ионов в твердом теле могут иметься дискретные магнитные моменты. Второе представление заключается в том, что эти микроскопические магнитные моменты взаимодействуют не только как обычные диполи, аналогичные двум постоянным магнитам, отталкивающим друг друга,— такие силы слишком слабы, чтобы играть существенную роль, - но они связаны также

силами квантовомеханической природы. Эти так называемые обменные силы зависят от расстояния между магнитными ионами, а также от их взаимного геометрического расположения, и обуславливают многообразие видов магнитного упорядочения в твердых телах [2].

Известны пять основных типа магнитного упорядочения:

1) Диамагнетизм.

Электроны в атомах, образующих твердое тело, можно разделить на две группы: внутренние и внешние. Внутренние электронные оболочки атомов полностью заполнены электронами, поэтому суммарный спиновый момент равен нулю.

внутренние электроны в силу замкнутости внутренних оболочек всегда дают вклад в диамагнетизм. Очевидно также, что диамагнитная составляющая присутствует у всех веществ.

Вклад внешних, носящих название валентных, электронов различен для различных материалов. У атомов, образующих диамагнетики, валентные оболочки полностью заполнены, то есть в этих материалах полностью заполнена валентная зона, вследствие чего диэлектрики являются, как правило, диамагнетиками. У парамагнетиков валентная зона не полностью заполнена, поэтому эти вещества имеют металлический тип проводимости.

2) Парамагнетизм.

В отличие от диамагнитных свойств, парамагнитные свойства наблюдаются не во всех веществах. Для существования парамагнетизма достаточно, чтобы валентные оболочки были не полностью заполнены. При отсутствии внешнего поля H , число электронов со спином «вверх» и «вниз» и суммарный спиновый момент равен нулю. При внесении парамагнетика в поле ($H \neq 0$) в начальный момент времени происходит изменение энергий подзон со спином «по полю» и «против поля». Однако эти зоны не являются изолированными, вследствие чего с течением времени происходит перераспределение электронов. В результате число электронов со спинами, направленными «по полю» увеличивается, а

«против поля» уменьшается. Таким образом, возникает ненулевой суммарный спиновой магнитный момент.

3) Ферромагнетизм.

Ферромагнетизм – явление, которое имеет место в некоторых переходных и редкоземельных металлах и их сплавах. К ферромагнетикам относят вещества, обладающие спонтанной намагниченностью, т.е. имеющие отличную от нуля намагниченность даже в отсутствие внешнего магнитного поля. Ферромагнетизм обнаруживают кристаллы только девяти химических элементов: это три 3d-металла (Fe, Co, Ni) и шесть 4f-металлов (Gd, Dy, Tb, Ho, Er, Tm). Вместе с тем, имеется огромное число ферромагнитных сплавов и химических соединений.

Ферромагнетизм возможен в сплавах и других аморфных материалах, содержащих атомы переходных металлов, то есть даже там, где нет кристаллической структуры. Взаимодействие между атомами передается электронами проводимости. Подходя к атому, обладающему спиновым (магнитным) моментом, электрон своим спином взаимодействует с атомом и уже с новой ориентацией спина движется до следующего атома. Взаимодействуя со спином электрона проводимости атом как - бы «чувствует» магнитный момент первого атома и подстраивается под него, таким образом, атомы вдоль траектории движения электрона проводимости перестраиваются, и в материале возникает ферромагнитное упорядочение [3].

4) Антиферромагнетики и ферриты

Кроме ферромагнетиков существует еще один класс магнитоупорядоченных веществ – антиферромагнетики.

Антиферромагнетиками называют кристаллы, обладающие спонтанным упорядочением магнитных моментов, но имеющие нулевой макроскопический магнитный момент. У них магнитный момент единицы объема равен нулю.

В антиферромагнетиках у соседних электронов спины направлены противоположно. Можно сказать, что антиферромагнетик – это два

ферромагнетика с противоположными спинами, вставленные в одну кристаллическую решетку. Суммарный магнитный момент таких веществ будет нулевым.

Ферримагнетики аналогичны антиферромагнетикам. По величине возникшего спонтанного магнитного момента они аналогичны ферромагнетикам, т.к. намагниченности подрешеток настолько отличаются друг от друга, что, вообще говоря, результирующий магнитный момент сопоставим по величине с магнитным моментом каждой из подрешёток. Поэтому наиболее ёмким определением ферримагнетика является термин «нескомпенсированный антиферромагнетик».

Термин «ферримагнетизм» был предложен Л. Неелем. Ферримагнетики приобрели свое название от ферритов — первой группы нескомпенсированных антиферромагнетиков, получивших большое и всё увеличивающееся применение в технике. Под ферритами понимают соединения оксида железа Fe_2O_3 с оксидами других металлов, например соединения со структурной формулой $MeO \cdot Fe_2O_3$, где Me_{2+} — двухвалентный металл (железо, никель, марганец, цинк, кобальт, медь, кадмий, магний и др.). Одни из этих ферритов (такие, как никелевый $NiO \cdot Fe_2O_3$ или марганцевый $MnO \cdot Fe_2O_3$) обладают весьма сильными магнитными свойствами, другие (как $ZnO \cdot Fe_2O_3$ и $CdO \cdot Fe_2O_3$) немагнитны. Существуют ферриты и с иными структурными формулами.

Использованные источники:

1. Парфенов В.В. Изучение процессов намагничивания и перемагничивания магнетиков: Метод. пособие / В.В. Парфенов, Н.В. Болтакова. – Казань: Казанский ун-т, 2014. – 34 с.
2. Хёрд К.М. Многообразие видов магнитного упорядочения в твердых телах / К.М. Хёрд // Успехи физических наук. – 1984. – Т.142, вып.2. – С. 331 – 355.

3. Вонсовский С.В. Магнетизм. Магнитные свойства диа-, пара, ферро-, антиферро-, и ферримагнетиков / С.В. Вонсовский. – М.:Наука, 1971. – 1032 с.