

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Scott G. B., Lacklison D. E. Magneto-optic properties and applications of bismuth substituted iron garnets.—IEEE Trans. on Mag., 1976, 12, p. 292—311.
2. Lacklison D. E., Ralph H. I., Scott G. B. The Faraday rotation of bismuth calcium vanadium iron garnet.—Solid State Comm., 1972, 10, p. 269—272.
3. Попова Т. Я. А., Камминга М. Г. Дж. The polar magneto-optic Kerr rotation of ferromagnetic perovskites (La, Bi, Sr)MnO₃.—Solid State Comm., 1975, 17, p. 1073—1075.
4. Wood D. I., Remeika J. P., Holmes L. M., Gyorgy E. M. Effect of Y and Bi substitution on spin reorientation and optical absorption in ErFeO₃.—J. Appl. Phys., 1965, 40, p. 1245—1246.
5. Geller S., Williams H. J., Espinosa G. P., Sherwood R. C., Gil-
leo M. A. Reduction of the preparation temperature of polycrystalline garnets by bismuth substitution.—Appl. Phys. Lett., 1963, 3, p. 21—22.
6. Четкин М. В., Шевчук Л. Д., Ермилова Н. Н. Влияние линейного дихроизма на эффект Фарадея в ортоферритах.—Кристаллография, 1979, 24, с. 386—389.
7. Четкин М. В., Дидосжан Ю. С., Акхыткина А. И. Faraday effect in yttrium and dysprosium orthoferrites.—IEEE Trans. on Mag., 1971, 7, p. 401—403.
8. Долован В., Webster J. The theory of the Faraday effect in anisotropic semiconductors.—Proc. Phys. Soc., 1962, 79, p. 46—57; Note on the Faraday effect in anisotropic semiconductors.—Proc. Phys. Soc., 1962, 79, p. 1081—1082.
9. Антонов А. В., Бурков В. И., Котов В. А. Дисперсия эффекта Фарадея в висмутсодержащих ферритах-гранатах.—Физ. тв. тела, 1975, 17, с. 3108—3110.
10. Scott G. B., Lacklison D. E., Ralph H. I., Page J. L. Magnetic circular dichroism and Faraday rotation spectra of Y₃Fe₅O₁₂.—Phys. Rev. B, 1975, 12, p. 2562—2571.
11. Wittekoek S., Попова Т. Я. А., Robertson J. M., Bongers P. F. Magneto-optic spectra and the dielectric tensor elements of bismuth-substituted iron garnets at photon energies between 2,2—2,5 eV.—Phys. Rev. B, 1975, 12, p. 2777—2788.

Поступила в редакцию
13.03.79

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1980, т. 21, № 5

УДК 538.245

К. П. БЕЛОВ, А. Н. ГОРЯГА, Л. А. СКИПЕТРОВА

О ПРИРОДЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ АНОМАЛИЙ МАГНИТНЫХ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАГНЕТИТА

В последнее время появилось довольно много работ [1—4], в которых ставится под сомнение гипотеза Вервея [5] о том, что низкотемпературное превращение в магнетите обусловлено упорядочением ионов Fe³⁺ и Fe²⁺ в В-узлах. Опираясь на большой экспериментальный материал, мы сделали попытку выяснить, что может являться причиной низкотемпературного превращения в магнетите.

Известно, что одной из причин резкого изменения ряда физических свойств ионного вещества является возникновение прямого обмена. В структуре шпинели прямой обмен, т. е. непосредственное перекрытие t_{2g} -орбиталей, возможно только у катионов, находящихся в В-узлах, так как расстояние между ними $R_{ВВ}$ сравнимо с критическим $R_{КР}$. В магнетите, катионное распределение которого имеет вид Fe³⁺[Fe²⁺Fe³⁺]O₄, возможно перекрытие t_{2g} -орбиталей следующих катионов: Fe_B³⁺—Fe_B³⁺, Fe_B²⁺—Fe_B²⁺. Мы рассчитали, что $R_{КР}(Fe^{3+}) = 2,58 \text{ \AA}$ и $R_{КР}(Fe^{2+}) = 2,72 \text{ \AA}$. Следовательно, с понижением темпера-

туры должно сначала произойти образование пар $\text{Fe}_B^{2+} - \text{Fe}_B^{2+}$, а затем $\text{Fe}_B^{3+} - \text{Fe}_B^{3+}$.

Согласно правилам Гуденафа [6] прямой обмен между ионами с электронной конфигурацией d^5 — отрицательный, а с d^6 — положительный. Таким образом, в результате образования пары $\text{Fe}_B^{2+} - \text{Fe}_B^{2+}$ произойдет изменение ряда физических свойств, а характер магнитной структуры останется прежним. В случае образования пары $\text{Fe}_B^{3+} - \text{Fe}_B^{3+}$ структура у магнетита может оказаться неколлинеарной.

Проанализировав экспериментальный материал, касающийся низкотемпературных аномалий электрических, магнитных, упругих и других свойств, мы пришли к выводу, что образование пары $\text{Fe}_B^{2+} - \text{Fe}_B^{2+}$ происходит в интервале температур 160—170 К, а $\text{Fe}_B^{3+} - \text{Fe}_B^{3+}$ — 125—130 К. Например, в интервале температур 160—170 К имеет место увеличение сопротивления и изменение энергии активации [7], резкое изменение упругих свойств [8], изменение знака с отрицательного на положительный вклада от ионов Fe_B^{2+} в константу магнитной анизотропии [9]. В интервале температур 125—130 К также имеет место изменение энергии активации и еще более сильное увеличение сопротивления [7], изменение упругих свойств, аномальное поведение намагниченности в сильных полях [10], большой гальваномагнитный эффект, обусловленный парапроцессом [11]. На основании результатов по исследованию гальваномагнитного эффекта и намагниченности в сильных полях, мы предполагаем, что в районе 125—130 К имеет место фазовый магнитный переход, т. е. магнитная структура магнетита ниже этого интервала становится неколлинеарной.

Ниже ~ 120 К наблюдается резкое уменьшение гальваномагнитного эффекта, обусловленного парапроцессом, и в районе 90 К он почти исчезает, т. е. магнитная структура магнетита становится снова коллинеарной. И действительно, как было показано Джекобсом [12], магнетит при 4,2 К обладает коллинеарной магнитной структурой.

Таким образом, мы показали, что ромбическая деформация шпинельной структуры магнетита при 119 К не связана с образованием пар между ионами железа. Известно, что одной из причин искажений кристаллической решетки может быть появление достаточно сильного спин-орбитального взаимодействия. В составе магнетита только ионы Fe_B^{2+} имеют не полностью замороженный орбитальный магнитный момент. Лоу [13], используя метод парамагнитного резонанса, нашел, что для иона Fe^{2+} параметр спин-орбитальной связи $\lambda = 80 \text{ см}^{-1}$ ($T_\lambda \approx 112 \text{ К}$). Мы предполагаем, что искажение кристаллической структуры у магнетита связано с появлением спин-орбитального взаимодействия у ионов Fe^{2+} . В то же время появление сильного спин-орбитального взаимодействия, как правило, сопровождается коллинеарным упорядочением спинов. Следовательно, переход магнитной структуры из неколлинеарной снова в коллинеарную свидетельствует о появлении сильного спин-орбитального взаимодействия у ионов Fe^{2+} .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hargrove R. S., Kündig W. Mössbauer measurements of magnetite below the Verwey transition.— *Solid State Commun.*, 1970, 8, p. 303—308.
2. Samuelson E. T., Bleeker E. J., Dobrzynski L., Riste T. Neutron scattering from magnetite below 119 K.— *J. Appl. Phys.* 1968, 39, N 2, p. 1114—1115.
3. Yamada T., Suzuki K., Chikazumi S. Electron microscopy of orthorhombic phase in magnetite.— *Appl. Phys. Letter*, 1968, 13, N 5, p. 172—174.

4. Cullen I. B., Callen E. Multiple ordering and first order transitions magnetite.— Solid State Commun., 1971, 9, N 13, p. 1041—1043.
5. Verwey E. I., Haaijman P. W. Electronic conductivity and transition point of magnetic (Fe_3O_4).— Physica, 1941, 8, N 9, p. 979—987.
6. Goodenough J. B. Direction cation—cation interaction in several oxides.— Phys. Rev., 1960, 117, N 6, p. 1442—1451.
7. Рябинкина Л. И. Особенности низкотемпературного превращения в магнетите.— Тезисы докладов Всесоюзной конференции по физике магнитных явлений. Баку, 1975, с. 92.
8. Рябинкин Л. Н., Темеров В. Л. Поведение упругих свойств магнетита в низких температурах.— Тезисы докладов Всесоюзной конференции по физике магнитных явлений. Баку, 1975, с. 131.
9. Fletcher E. T., O'Reilly W. Contribution of Fe^{2+} ions of magnetocrystalline anisotropy constant K_1 of $\text{Fe}_{3-x}\text{Ti}_x\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 0,1$) — J. Phys. C.: Solid State Phys., 1974, 7, p. 171—178.
10. Bickford L. R. Low—temperature of transition in ferrites.— Rev. Mod. Phys., 1953, 25, N 1, p. 75—83.
11. Зотов Т. Д. О температурной зависимости изменения электросопротивления кристалла магнетита в магнитном поле при низких температурах.— Физ. металлов и металловедение, 1960, 9, с. 49—57.
12. Смит Я., Вейн Х. Ферриты. М., 1952, 320 с.
13. Лоу Р. Парамагнитный резонанс в твердых телах. М., 1962, 163 с.

Поступила в редакцию
07.02.79

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1980, т. 21, № 5

УДК 550.388.2

С. М. ГОЛЫНСКИЙ, Н. П. ОВЧИННИКОВА

ЧАСТОТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ИНДИКАТРИСЫ РАССЕЯНИЯ ЛУЧЕЙ В ПЛОСКОСЛОИСТОЙ СРЕДЕ С АНИЗОМЕРНЫМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ

Статистика лучей в плоскостной среде типа ионосферы может быть описана в приближении марковских процессов [1, 2]. На основании этой статистической схемы [3, 4] получено аналитическое выражение для индикатрисы рассеяния лучей, которая имеет форму эллипса и характеризуется двумя параметрами: степенью вытянутости ϵ , равной отношению полуосей эллипса, и углом поворота большой полуоси индикатрисы рассеяния относительно плоскости радиотрассы φ_0 , отсчитываемому от этой плоскости против хода часовой стрелки. В работе [4] была рассмотрена зависимость ϵ и φ_0 от дальности и азимута радиотрассы, магнитного наклона точки отражения сигнала и геометрии рассеивающих неоднородностей. Настоящая работа посвящена теоретическому анализу частотной зависимости параметров индикатрисы рассеяния лучей.

Рассмотрим наклонное распространение волны в статистически неоднородной среде типа ионосферы, регулярная составляющая электронной концентрации которой изменяется по параболическому закону [5]. Полагаем также, что рассеивающие неоднородности среды имеют вид эллипсоидов вращения, большая ось которых находится в плоскости магнитного меридиана, что подтверждается многочисленными экспериментальными данными [6—8]. Интенсивность неоднородностей в рассматриваемой модели не зависит от высоты над поверхностью