

Magnetite at high pressure: anomalous physical properties

Magnetite is one of the first magnetic solids, which has become known to mankind. The word “magnetism” comes from the name of the ancient Greek region of Magnesia, where deposits of magnetite in mineral form were discovered. Investigations of magnetite have played a significant role in the development of a number of important concepts in condensed matter physics related to the insulator-metal transition and charge ordering phenomena. Magnetite has also been widely applied in technological developments for thousands of years, starting with the use in ancient compasses for navigation

about three thousand years ago and ending with advanced nanotechnologies in the field of medical diagnostics and therapy, imaging, and the production of magnetic nanocomposite materials and electronic devices.

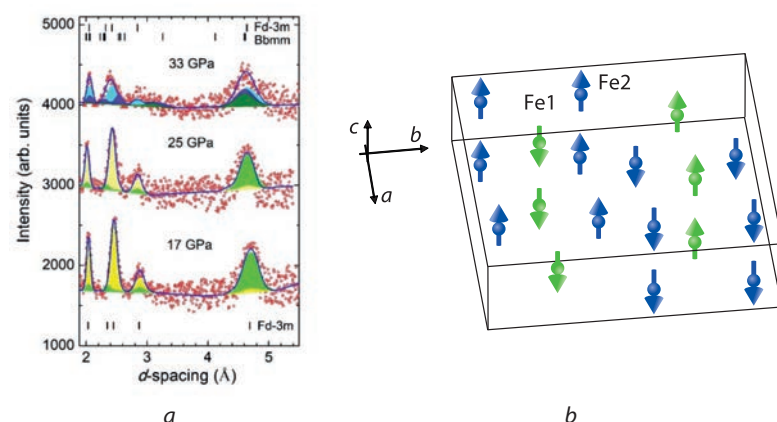
Recently, an anomalous behavior of the magnetic and electronic properties of magnetite has been revealed, associated with a pressure-induced structural phase transition occurring at 20–25 GPa. To elucidate the nature of this phenomenon, its magnetic and electronic properties were studied using neutron diffraction (ND) and synchrotron ^{57}Fe

Fig. 1

Neutron diffraction patterns of magnetite, measured at pressures up to 33 GPa and processed by the Rietveld method (a). Magnetic structure of the orthorhombic pressure-induced phase of magnetite (b).

Рис. 1

Нейтронные дифракционные спектры магнетита, измеренные при давлениях до 33 ГПа и обработанные по методу Ритвелда (а). Магнитная структура орторомбической фазы высокого давления магнетита (b).



Магнетит при высоких давлениях: аномальные физические свойства

Магнетит — одно из первых магнитных веществ, с которым познакомилось человечество. Слово “магнетизм” берет свое начало от названия древнегреческого региона “Магнезия”, где были найдены залежи магнетита в минеральной форме. Исследования магнетита сыграли значительную роль в становлении ряда важных концепций в области физики конденсированного состояния, связанных с явлениями перехода диэлектрик-металл и зарядового упорядочения. Также уже на протяжении нескольких тысячелетий магнетит остается широко востребованным в развитии различных технологий, начиная от использования в древних компасах для навигации

около 3000 лет назад и заканчивая передовыми нанотехнологиями в области медицинской диагностики и терапии, имиджинга, производства магнитных нанокompозитов, электронных устройств.

Недавно было обнаружено аномальное поведение магнитных и электронных свойств магнетита, связанных со структурным фазовым переходом, возникающим при воздействии высоких давлений около 20–25 ГПа. Для выявления природы этих явлений проведено исследование магнитных и электронных свойств магнетита с помощью методов нейтронной дифракции и синхротронной мессбаэровской спектроско-

пии на ядрах ^{57}Fe в диапазоне давлений 0–40 ГПа и температур 10–300 К [1]. Структурный фазовый переход из первоначальной кубической фазы шпинели в орторомбическую фазу постшпинели наблюдался при $P = 28$ ГПа, что проявлялось в особенностях поведения параметров сверхтонких взаимодействий.

На основе данных нейтронной дифракции определена симметрия магнитного порядка в фазе высокого давления магнетита (рис. 1). Оказалось, что эта фаза является слабо ферромагнитной и ее температура Нееля, $T_{\text{N}} \sim 420$ К, более чем в два раза меньше по сравнению с величиной для кубической фазы шпинели, магнитный порядок в которой имеет другую симметрию и характеризуется большим значением спонтанной намагниченности. При более высо-

ких давлениях около 33 ГПа и комнатной температуре, в мессбаэровских экспериментах также наблюдался спиновый кроссовер из высокоспинового (HS, $S = 5/2$) в низкоспиновое (LS, $S = 1/2$) состояние ионов Fe^{3+} . Результаты проведенных исследований позволили получить детальную структурную, магнитную и электронную фазовую диаграмму магнетита в широком диапазоне термодинамических параметров (рис. 2).

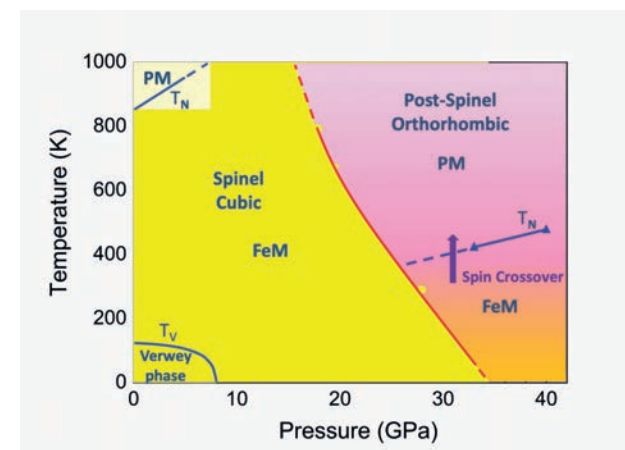
Полученная экспериментальная информация имеет существенное значение для понимания структурных механизмов формирования физических свойств магнетита, являющегося материалом большой значимости как для развития современных представлений в фундаментальной науке, так и для технологических применений, а также родственных соединений.

Fig. 2

Structural, magnetic and electronic phase diagram of magnetite.

Рис. 2

Структурная, магнитная и электронная фазовая диаграмма магнетита.



ких давлениях около 33 ГПа и комнатной температуре, в мессбаэровских экспериментах также наблюдался спиновый кроссовер из высокоспинового (HS, $S = 5/2$) в низкоспиновое (LS, $S = 1/2$) состояние ионов Fe^{3+} . Результаты проведенных исследований позволили получить детальную структурную, магнитную и электронную фазовую диаграмму магнетита в широком диапазоне термодинамических параметров (рис. 2).

Полученная экспериментальная информация имеет существенное значение для понимания структурных механизмов формирования физических свойств магнетита, являющегося материалом большой значимости как для развития современных представлений в фундаментальной науке, так и для технологических применений, а также родственных соединений.