

**ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ II.7.  
ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ: НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
И СТРУКТУРЫ, В ТОМ ЧИСЛЕ ФУЛЛЕРЕНЫ, НАНОТРУБКИ, ГРАФЕНЫ,  
ДРУГИЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ, А ТАКЖЕ МЕТАМАТЕРИАЛЫ**

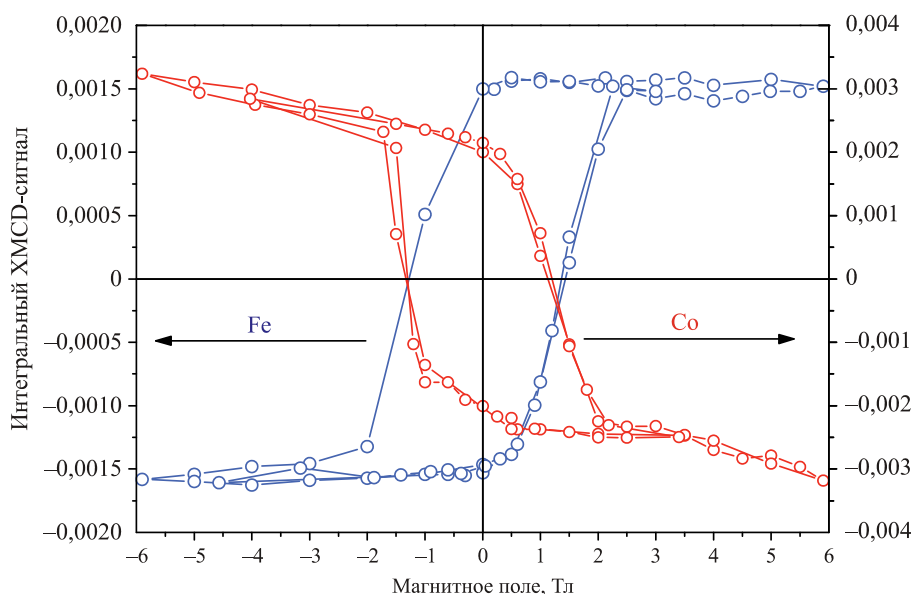
**Программа II.7.1. Кристаллофизика. Физика магнитных явлений, магнитные материалы и структуры (координатор докт. физ.-мат. наук В. И. Зиненко)**

В Институте физики им. Л. В. Киренского синтезированы новые монокристаллы людвига  $\text{Co}_2\text{FeVO}_5$ , содержащего разные магнитные ионы кобальта и железа, и исследованы их магнитные свойства. Синхротронные измерения спектров поглощения (XAS) и спектров магнитного кругового дихроизма (XMCD) вблизи  $L_{2,3}$ -краев кобальта и железа были выполнены на синхротроне BESSY-2 (г. Берлин). Анализ данных XAS позволил определить валентности ионов  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{Co}^{+2}$ . На рис. 5 показаны результаты элементно-чувствительной магнитометрии — магнитные петли гистерезиса, снятые отдельно от ионов Co и ионов Fe. Видна их противоположная ориентация.

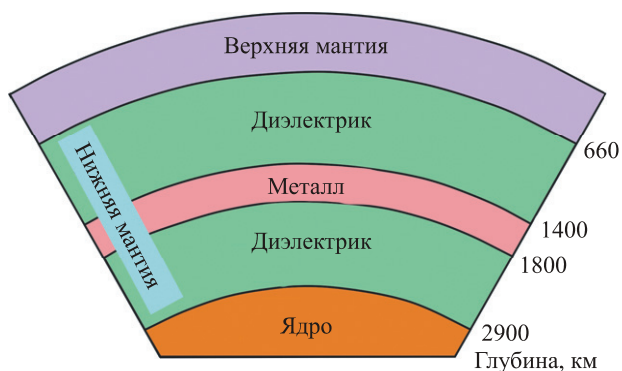
В этом же Институте выполнен цикл работ по исследованию электронных и магнитных свойств оксидных материалов при сверхвысоких давлениях более 100 ГПа. Построена фазовая диаграмма магнезиовостита  $\text{Mg}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}$ , в котором давление приводит к металлизации за

счет перехода Мотта и потом дальнейшее увеличение давления приводит к диэлектрическому состоянию за счет спинового кроссовера ионов  $\text{Fe}^{+2}$  из высокоспинового в низкоспиновое состояние. Сравнение с распределением температур и давлением по глубине Земли позволило предсказать наличие металлического слоя внутри нижней мантии Земли на глубинах 1400—1800 км (рис. 6).

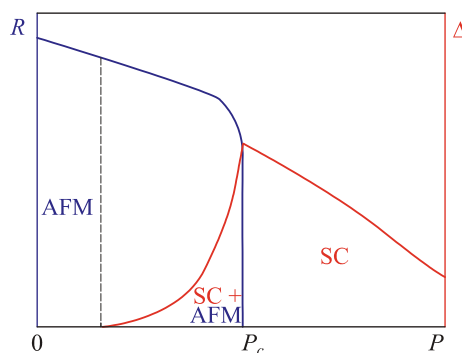
В этом же Институте для редкоземельного интерметаллида  $\text{CeRhIn}_5$  развита теория, позволившая объяснить сверхпроводящее состояние в окрестности квантовой критической точки, где индуцируется дальний антиферромагнитный порядок. Сосуществование сверхпроводимости (SC) и антиферромагнетизма (AFM) экспериментально наблюдается в отмеченной области в  $\text{CeRhIn}_5$ , а также в  $\text{CePt}_2\text{In}_7$ . Показано, что куперовское спаривание и антиферромагнитное упорядочение возникают в результате эффективного взаимодействия,



**Рис. 5.** Магнитные петли гистерезиса, снятые вблизи  $L_{2,3}$ -краев поглощения Co и Fe.



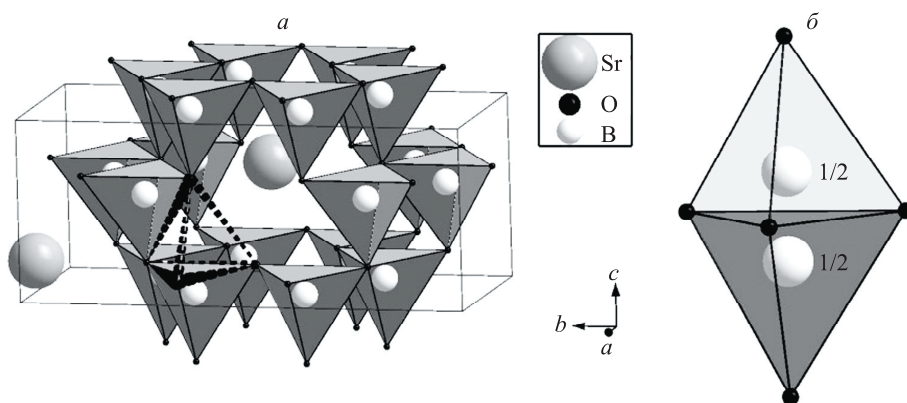
**Рис. 6.** Схематическое изображение предсказанного металлического слоя внутри нижней мантии Земли на глубинах 1400—1800 км.



**Рис. 7.** Зависимости намагниченности подрешетки ( $R$ ) и амплитуды сверхпроводящего параметра порядка ( $\Delta$ ) от величины внешнего давления ( $P$ ).

обусловленного процессами гибридационного смешивания между состояниями коллективизированных электронов  $\text{CeRhIn}_5$  и высокоэнергетическими состояниями подсистемы ионов церия. Из представленных на рис. 7 зависимостей видно, что в левой окрестности  $P_c$  (значение давления, при котором происходит квантовый фазовый переход с разрушением антиферромагнитного упорядочения) реализуется микроскопически однородная фаза сосуществования сверхпроводимости и антиферромагнетизма.

В этом же Институте предложена гипотетическая centrosymmetric парафаза с пространственной группой симметрии  $Pnmm$ , в которой ионы бора разупорядочены по двум равновероятным положениям равновесия в правильной бипирамиде  $\text{BO}_5$  (рис. 8), для объяснения наблюдаемой в тетраборате стронция  $\alpha\text{-SrB}_4\text{O}_7$  доменной структуры. Предположение о гипотетической неполярной парафазе позволило вычислить в экспериментально наблюдаемой структуре спонтанную поляризацию, величина которой  $\sim 114$  мкКл/см<sup>2</sup> в несколько раз превышает величину поляризации в классическом сегнетоэлектрике типа  $\text{BaTiO}_3$ .



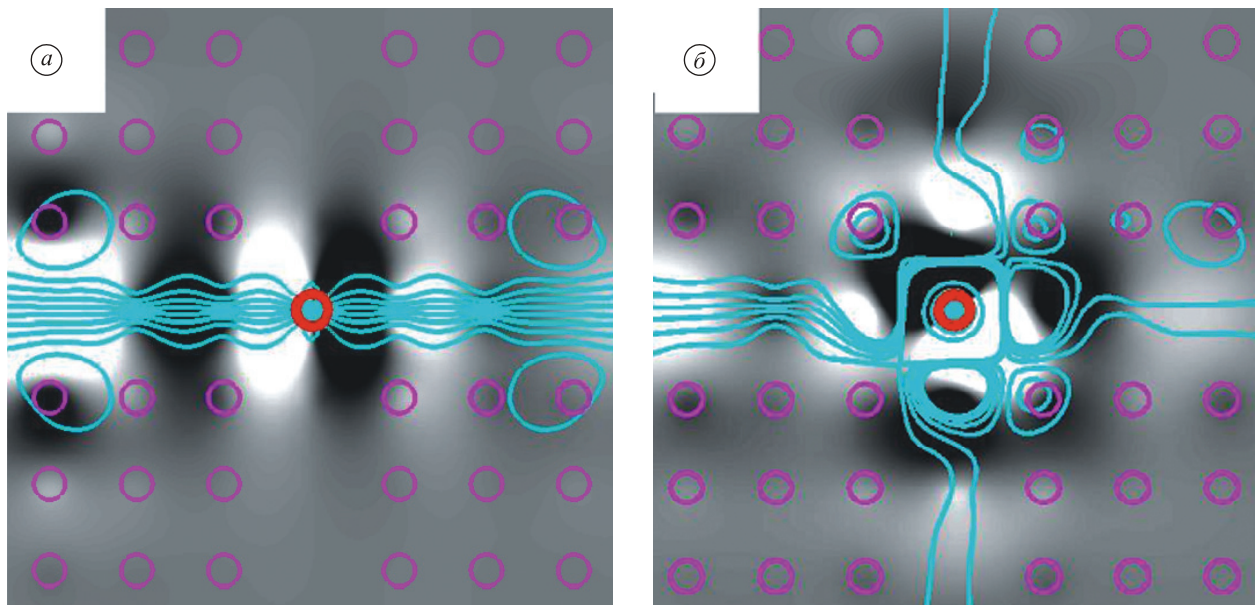
**Рис. 8.** Идеализированная структура кристалла  $\alpha\text{-SrB}_4\text{O}_7$ :  
 $a$  — в полярной фазе  $Pnm2_1$ , штриховыми линиями показан пустой тетраэдр в бипирамиде;  
 $b$  — два положения иона бора в неполярной фазе  $Pnmm$ .

### Программа П.7.2. Новые материалы и технологии для оптоэлектроники, спиновой и СВЧ-электроники (координатор акад. В. Ф. Шабанов)

В Институте физики им. Л. В. Киренского теоретически показано, что дипольные резонансные моды нелинейного керровского дефекта имеют кардинальное влияние на транспортные характеристики фотонно-кристаллических волноводов различных конфигураций, в частности, крестового волновода. Существует стабильное решение, в котором входящий свет возбуждает лишь дипольную моду, совместимую с симметрией системы. Тогда свет может распространяться лишь в том направлении, откуда пришел (рис. 9, *а*), как и в линейном случае. Однако в силу нелинейной связи между дипольными модами существует также стабильное решение, в котором входящий свет возбуждает обе дипольные моды. В результате индуцируют выходы и в поперечные рукава (рис. 9, *б*). Эти результаты открывают новую возможность переключателя световых потоков за счет подачи импульсов входного света, которые способны инициировать переходы между различными стабильными решениями. Кроме того, показано, что вторая дипольная мода может возбуждаться с отставанием по фазе, что приводит к образованию гигантского оптического вихря. Этот результат выведен на обложку октябряского номера журнала *Journal of Optical Society of America B* за 2012 год.

В этом же Институте в микрополосковом резонаторе с расщепленным проводником обнаружены четная и нечетная моды колебаний, соотношение резонансных частот которых можно изменять в широких пределах (рис. 10). При этом частота нечетной моды быстро понижается с увеличением длины щели, а частота четной моды почти не изменяется. В случае, когда частоты мод колебаний совпадают, один такой резонатор заменяет два традиционных резонатора в конструкциях СВЧ-фильтров. На основе исследованного двухмодового резонатора разработаны миниатюрные частотно-селективные устройства, обладающие высокими электрическими характеристиками (рис. 11).

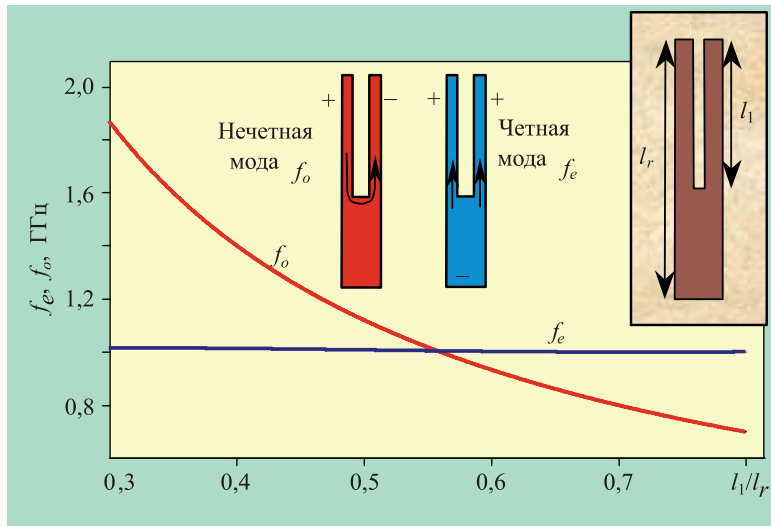
В Институте физического материаловедения впервые синтезированы металл/полупроводниковые Ag/Si-наноструктуры, включающие в себя Ag<sub>2</sub>Si-наночастицы, образованные на выступах и впадинах поверхности частиц серебра (рис. 12, *а*). Разработана технология получения этих наночастиц. Установлено, что полученные наноразмерные частицы Ag<sub>2</sub>Si обладают формой, близкой к сферической, с ядром Ag и тонкой аморфной оболочкой Si. Получены полые и янусподобные наноразмерные частицы (рис. 12, *б*). Выявлены их структура, тепло- и электрофизические свойства. Уста-



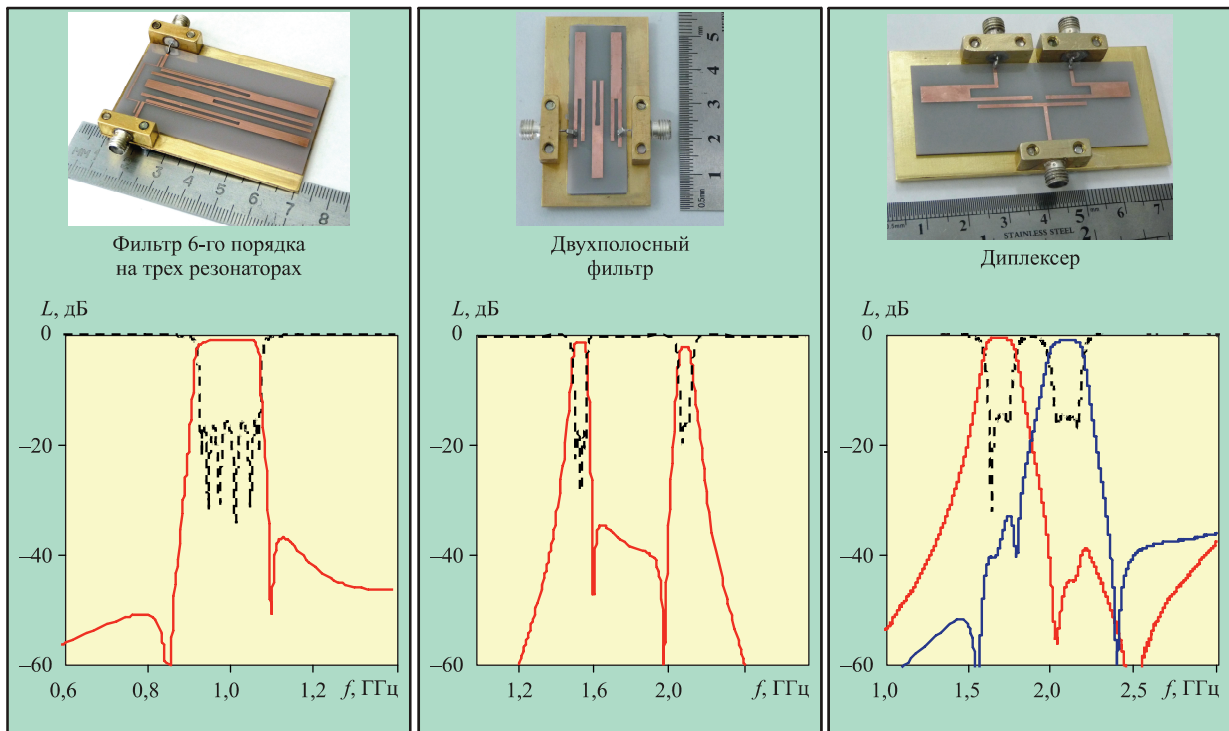
**Рис. 9.** Решения уравнений Максвелла и потоки мощности (голубые линии) в фотонно-кристаллическом волноводе в случае линейного (*а*) и нелинейного (*б*) дипольного дефекта (красный кружок).

новлено, что композитные янусподобные наночастицы обладают высокой температурой плавления, большим модулем упругости и относительно низкой плотностью, а также трудно окисляются на воздухе. Приготовленные с

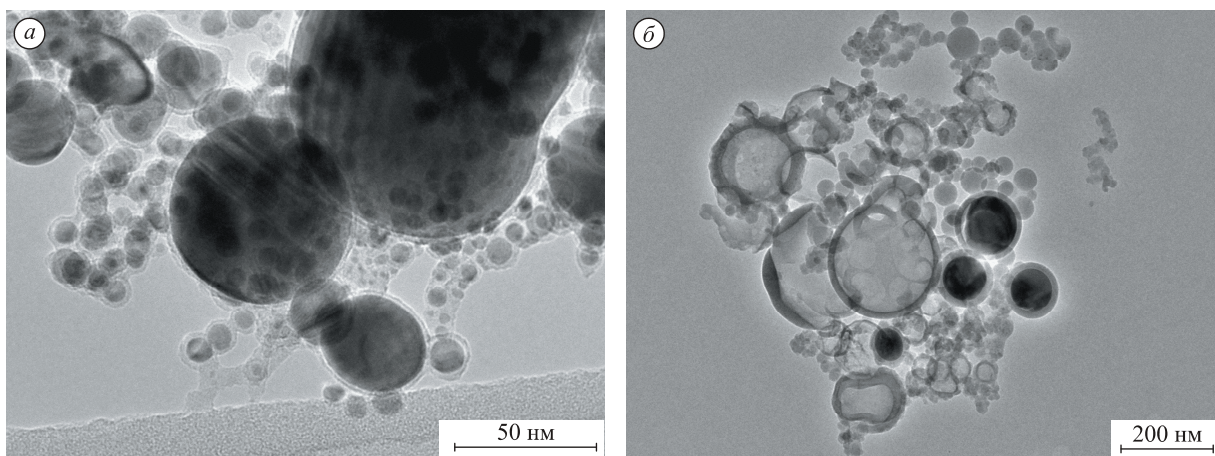
применением таких нанопорошков керамические материалы в силу уменьшения размеров зерен приобретают улучшенные механические и электроизолирующие свойства.



**Рис. 10.** Поведение резонансных частот двух нижайших мод колебаний от относительной длины щели, расщепляющей проводник микрополоскового резонатора.



**Рис. 11.** Фотографии и амплитудно-частотные характеристики опытных образцов частотно-селективных устройств на основе резонатора с расщепленным проводником.



**Рис. 12.** ТЕМ-изображения полученных наночастиц:

*a* — наночастицы  $\text{Ag}_2\text{Si}$  и  $\text{Ag}$ ; *б* — пустотелые наночастицы диоксида кремния (светлые) и медьсодержащие оболочечные частицы (темные).