

## Фрустрированная фазовая сепарация в $\text{CuO}_2$ -плоскостях высокотемпературных сверхпроводников

Бобровский В.И., Мирмельштейн А.В.



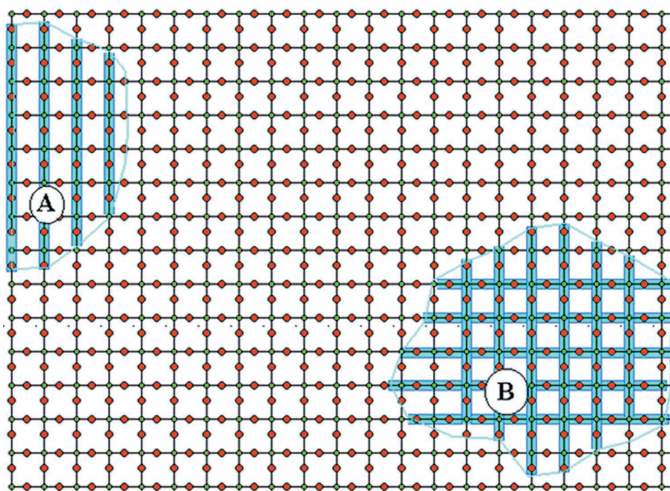
**С помощью неупругого рассеяния нейтронов и ЯМР установлено явление фрустрированной фазовой сепарации в зарядовой системе  $\text{CuO}_2$  плоскостей ВТСП-соединений как с дырочным, так и с электронным характером допирования, свидетельствующее о неустойчивости в медь-кислородном слое однородных по кристаллу электронных состояний, что является важным для понимания формирования проводящего состояния этих сильнокоррелированных зарядовых систем.**

Явление высокотемпературной сверхпроводимости связано с необычным зарядовым состоянием  $\text{CuO}_2$ -плоскостей, возникающим в этих соединениях. При этом считается, что блоки кристаллической структуры, расположенные между этими плоскостями, играют довольно пассивную роль, являясь зарядовыми резервуарами, инжектирующими носители в эти плоскости. Напрямую пронаблюдать детали зарядового состояния  $\text{CuO}_2$ -плоскостей достаточно трудно. В этом смысле уникальные возможности предоставляет метод нейтронной спектроскопии кристаллических полей, когда в качестве зонда используется реагирующий на зарядовое состояние окружения спектр f-оболочки редкоземельных элементов, являющихся составной частью многих ВТСП-соединений.

С помощью экспериментов по неупругому рассеянию нейтронов, проводившихся в содружестве с Лабораторией нейтронного рассеяния Швейцарского Федерального Института Технологии, установлено, что в 1-2-3 соединениях на основе эрбия и гольмия при допировании  $\text{CuO}_2$ -плоскостей дырками путем вариации содержания кислорода или добавлением в систему кальция в них развивается явление фрустрированной фазовой сепарации. Иными словами, процесс допирования носит принципиально неоднородный характер. Допированные носителями области представляют собой кластеры. Причем удалось установить, что сам процесс допирования носит двустадийный характер. Спектры неупругого

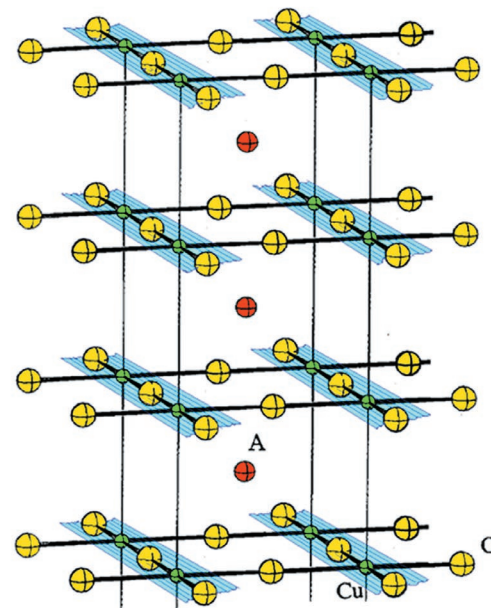
рассеяния свидетельствуют, что на первой стадии перехода от недопированного режима к оптимально допированному в системе образуются кластеры одного типа А. Изменение концентрации носителей приводит просто к изменению концентрации таких кластеров, не влияя на их собственные параметры. При этом в системе формируется проводящее состояние и возникает сверхпроводимость с  $T_C$  достигающей при оптимальном допинге значения 92К. Реально эта стадия осуществляется при изменении концентрации кислорода от  $x=6$  до  $x=7$ . Дальнейший процесс допирования носителями осуществлялся с помощью легирования системы кальцием. Результаты нейтронных экспериментов показывают, что этот процесс также носит кластерный характер и протекает с формированием в системе кластеров другого типа В. При этом температура сверхпроводящего перехода падала, составляя, например, 56К в глубоко передопированном режиме.

Анализ полученных из экспериментов по неупругому рассеянию нейтронов результатов дал возможность разработать модель зарядового состояния, основанную на гипотезе о существовании в  $\text{CuO}_2$ -плоскостях протяженных, высокооднородных в продольном направлении зарядовых структур типа полос. Кластеры типа А представляют собой параллельные системы таких полос, в то время как в кластерах типа В накачка носителей происходит в ортогональную систему полос. Такая модель имеет топо-



**Рис.1**

*Кластерный характер зарядового распределения в  $\text{CuO}_2$ -плоскостях.*



**Рис.2**

*Бесконечнослоевые сверхпроводники  $\text{Sr}_{1-x}\text{Ln}_x\text{CuO}_2$  ( $\text{Ln} = \text{La}, \text{Nd}, \text{Pr}; 0 < x < 0.15$ )*

логические следствия в виде жестких связей, накладываемых ею на соотношения между параметрами кристаллического электрического поля. Эти соотношения подтверждаются на эксперименте.

Такие представления хорошо коррелируют с переходом системы из тетрагонального в орторомбическое состояние на первой стадии допирования и с уменьшением степени орторомбичности на второй. Кроме того, оценочные расчеты с применением этой модели дают разумные значения концентрации инжектированных дырок, составляющей, согласно модели, 0.19 дырки/атом меди для оптимально допированного состояния и 0.25 для глубоко передопированного. Однако удивительной представляется малая ширина этих зарядовых полос, составляющая по оценкам  $\sim 1.4\text{Å}$ .

Важно подчеркнуть, что в рамках единой модели и единой концепции удается объяснить большой пакет экспериментальных материалов, полученных на системах типа 1-2-3, как на основе эрбия, так и гольмия, как с вариацией содержания кислорода, так и с допированием кальцием. Кроме того, в ходе наших последних экспериментов с использованием ЯМР на бесконечнослоевых ВТСП-соединениях с электронным допированием  $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{CuO}_2$  ( $0 < x < 0.13$ ) установлено, что в них также имеет место неоднородное по кристаллу состояние электронной системы, приводящее к эффектам фазового расслоения на проводящие микрообласти и области с локализованными носителями тока и статическим антиферромагнитного типа ближним спиновым упорядочением атомов меди.

<sup>1</sup> Н.О.Голосова, В.И.Бобровский, Э.Б.Митберг, А.А.Подлесняк, И.Л.Ждахин, А.В.Мирмельштейн. ЖЭТФ, 2002, том 121, №5, с. 1179 – 1193.

<sup>2</sup> A.Mirmelstein, V.Bobrovskii, N.Golosova, A.Podlesnyak, A.Furrer. Journal of Superconductivity: Incorporating Novel Magnetism (JOSC), 2002, p.367-372.