

05.4

## Сверхпроводимость, индуцированная магнитным полем?

© М.В. Красинькова

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 15 марта 1999 г.

Показано, что эффект гигантского отрицательного магнетосопротивления в легированных манганитах может быть объяснен в рамках модели, развитой ранее для объяснения высокотемпературной сверхпроводимости и основанной на учете ковалентности связи переходный металл–кислород. Указанный эффект связан с делокализацией  $\pi$ -электронов вдоль асимметричных  $\pi$ -орбиталей, принадлежащих цепочкам ковалентно связанных ионов Mn и O. В отличие от высокотемпературных сверхпроводников, в манганитах делокализация индуцируется магнитным полем, ориентирующим ферромагнитно неспаренные  $\pi$ -электроны и снимающим тем самым запрет на их коллективное движение по  $\pi$ -орбитали в условиях ферромагнитного упорядочения ионов марганца.

Известно, что в легированных манганитах наблюдается эффект гигантского отрицательного магнетосопротивления [1,2]. Хотя эффект был открыт давно, споры о природе этого явления продолжают до сих пор.

В [3,4] был предложен новый подход к рассмотрению окислов переходных металлов со структурой перовскита. Подход основан на следующих предположениях.

1. Химическая связь переходный металл–кислород (M–O) существенно ковалентна, что следует из разности в электроотрицательностях.
2. Возможно образование разных видов ковалентной связи — от одноэлектронной до двухэлектронной и даже резонирующей двойной.

3. Образованию резонирующей двойной связи способствуют перенос заряда между отдельными слоями и, как следствие этого, наличие заряда у отдельных слоев.

4. Ковалентные связи образуются в отдельных кристаллографических направлениях и стремятся к упорядочению в виде цепочек, что сопровождается искажениями в слое  $\text{MO}_2$ .

5. Вводимые легирующие примеси также стремятся к упорядочению.

6. Асимметричное кристаллическое поле, создаваемое разностью в заряде слоев, возникающей при легировании, изменяет характер гибридизации орбиталей ионов металла и кислорода, перпендикулярных плоскости  $\text{MO}_2$ , понижает их энергию, спиновое состояние и формирует асимметричные относительно плоскости  $\text{MO}_2$   $\pi$ -орбитали.

Оказалось, что такой подход к легированным марганитам приводит к заключению, что в плоскости  $\text{MnO}_2$  также возможно коллективное поведение  $\pi$ -электронов, в некоторой степени подобное тому, которое имеет место в плоскости  $\text{CuO}_2$  высокотемпературных сверхпроводников. Эффект гигантского отрицательного магнетосопротивления является фактически делокализацией  $\pi$ -электронов вдоль асимметричных  $\pi$ -орбиталей, принадлежащих цепочкам ковалентно связанных ионов Mn и O. Делокализация происходит при приложении магнитного поля, которое ориентирует спины неспаренных  $\pi$ -электронов ионов  $\text{O}^-$  ферромагнитно и снимает запрет на их движение по  $\pi$ -орбитали в условиях ферромагнитного упорядочения ионов  $\text{Mn}^{2+}$ , находящихся в высокоспиновом состоянии ( $S = 3/2$ ).<sup>1</sup>

Движение  $\pi$ -электронов по некоторой  $\pi$ -орбитали может быть представлено как коллективное движение вдоль одномерной "нити" равноотстоящих друг от друга электронов с ферромагнитно-упорядоченными спинами, равными  $1/2$ . Коллективность движения по всей плоскости  $\text{MnO}_2$  осуществляется поляризацией ионов  $\text{O}^{2-}$ , связывающих отдельные цепочки.

Таким образом, учет ковалентности связи марганец-кислород приводит к представлению о поведении электронов в ферромагнитно-упорядоченном материале как о сверхпроводящем, но эта сверхпроводимость индуцируется магнитным полем. Разница лишь в том, что в марганитах движутся не пары, а отдельные электроны.

<sup>1</sup> Учет характера решеточных искажений и характера магнитного упорядочения в  $\text{LaMnO}_3$  и сравнение их с  $\text{CaMnO}_3$  привели к заключению, что Mn в  $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$  находится в степени окисления  $\text{Mn}^{2+}$  и  $\text{Mn}^{4+}$ , а кислород в плоскости  $\text{MnO}_2$  в  $\text{O}^{2-}$  и  $\text{O}^-$ , о чем будет сообщено позже.

В пользу справедливости данного подхода можно привести возможность объяснения большого изотопического эффекта, наблюдаемого в манганитах [5,6]. Поскольку для образования делокализованных  $\pi$ -орбиталей необходимо перекрытие атомных орбиталей Mn и O, разница между  $O^{16}$  и  $O^{18}$  может проявляться из-за разного размера их атомных орбиталей. Этим можно объяснить и превращение ферромагнитного металла в немагнитный изолятор при замене  $O^{16}$  на  $O^{18}$ .

## Список литературы

- [1] *Gong G. et al.* // 40th Annual Conf. Magn. & Magn. Mat. Abstracts, Philadelphia, 1995. P. 20.
- [2] *Jin S. et al.* // Science. 1994. V. 264. P. 413.
- [3] *Красинькова М.В.* // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. В. 17. С. 57.
- [4] *Красинькова М.В.* // ЖТФ. 1998. Т. 68. № 11. С. 82.
- [5] *Zhao G., Hunt G.B., Keller H., Muller K.A.* // Nature. 1997. V. 385. P. 236.
- [6] *Zhao G., Keller H., Greene R.L., Muller K.A.* // Physics of Manganites / Ed. by T.A. Kaplan, S.D. Gorkov, Huang Mahanti. New York: Plenum Press, 1998.