

# Применение модели сверхпроводящего К-спаривания для интерпретации туннельных характеристик ВТСП купратов

В. М. Софронов

Московский институт электронной техники (ТУ), Москва, Россия

Туннельная спектроскопия является прямым и одним из наиболее точных методов измерения плотности состояний квазичастиц. Именно туннельные характеристики содержат в себе ключевую информацию о сверхпроводящей щели и механизме сверхпроводящего спаривания. Несмотря на определенную сложность в приготовлении поверхности образца и туннельного перехода, точно установлено: спектр сверхпроводящих купратов имеет форму «пик-провал-горб»: высокий пик проводимости плавно переходит в провал, расположенный при удвоенном напряжении положения пика; спектр асимметричен относительно нулевого напряжения: пик, провал, горб симметрично расположены относительно нуля, однако их величина может быть различной.

Развиваемая в последние годы модель сверхпроводящего спаривания с большим суммарным импульсом  $\mathbf{K} \approx 2\mathbf{k}_F$  (модель К-спаривания) [1], [2] позволяет интерпретировать вышеперечисленные свойства туннельного спектра ВТСП купратов.

Как показано в работе [1], сверхпроводящая щель при К-спаривании является знакопеременной функцией импульса относительного движения пары,

$$\Delta_K(\mathbf{k}) = b(k_0^2 - k^2).$$

здесь  $b$  и  $k_0$  — параметры щели, определяющие ее масштаб и радиус окружности на которой параметр порядка обращается в ноль (линия нулей параметра порядка). При таком поведении сверхпроводящей щели, энергия квазичастичных возбуждений достигает минимума не при  $\xi_{Kk} = 0$  ( $\xi_{Kk}$  — энергия пары, отсчитываемая от химического потенциала), а при некоторой энергии  $\nu(\varphi)$  ( $\varphi$  — угол в проводящей  $\text{CuO}_2$  плоскости). При этом факторы когерентности  $v_{Kk}^2$  и  $u_{Kk}^2$  не будут симметричны относительно новой энергии  $\nu(\varphi)$ , приводя к асимметрии туннельных спектров.

В работе [3] для интерпретации наблюдаемой асимметрии туннельных характеристик, предполагалось, что параметр порядка является линейной функцией кинетической энергии дырки,

$$\Delta_k = a - d\xi_k$$

при этом, как и в случае К-спаривания, проявляется электронно-дырочная асимметрия, вызванная наклоном сверхпроводящей щели. Однако такая зависимость не может объяснить наличие провала в экспериментально получаемой плотности состояний.

Сверхпроводящая щель при К-спаривании в области с гиперболической метрикой легко представима в виде

$$\Delta_K(\xi, \varphi) = a(\varphi) - d(\varphi)\xi_K,$$

где  $a(\varphi)$  и  $d(\varphi)$  — коэффициенты, зависящие от угла  $\varphi$  в проводящей  $\text{CuO}_2$  плоскости.

Возникающая в случае К-спаривания угловая зависимость коэффициентов  $a$  и  $d$  служит причиной структуры «пик-провал-горб» туннельных спектров купратов. Дело в том, что существование линии нулей параметра порядка приводит к возникновению горба или провала в самих функциях  $v_{Kk}^2$  и  $u_{Kk}^2$  при  $\mathbf{k} = \mathbf{k}_0$ . Кроме того, благодаря особой угловой зависимости коэффициентов щели, линия нулей параметра порядка, четыре раза пересекая линию нулей энергии относительного движения пары  $\xi_{Kk}$  (парный контур Ферми), при разных углах принадлежит либо области где  $\xi_{Kk} > 0$ , либо где  $\xi_{Kk} < 0$ . Вследствие этого, при движении вдоль парного контура Ферми, пик функции  $v_{Kk}^2$  или  $u_{Kk}^2$  перетекает в провал или наоборот. Описанная особенность поведения факторов когерентности в импульсном пространстве отражается в структуре туннельных спектров.

Кроме того, наличие зависимости сверхпроводящей щели от энергии приводит к тому, что в выражении для туннельной плотности состояний не обращается в ноль слагаемое, содержащее производную параметра порядка по энергии  $E$ . Это слагаемое, исчезающее в случае обычного d-типа симметрии параметра порядка, также служит причиной возникновения наблюдаемого провала в туннельных спектрах ВТСП купратов [4].

В заключении нужно сказать, что полученный в рамках модели сверхпроводящего спаривания с большим суммарным импульсом результат может служить доказательством того, что в ВТСП купратах преобладающим является механизм сверхпроводящего К-спаривания.

## Литература

- [1] В. И. Белявский, Ю. В. Копаев, В. М. Софронов, С. В. Шевцов. ЖЭТФ, т. 124, вып. 5(11), (2003).
- [2] V. I. Belyavsky, Yu. V. Kopayev. Phys. Lett. A 287, 152–160 (2001).
- [3] J. E. Hirsch, Phys. Rev. B. Vol. 59, N 18. (1999).
- [4] T. Cren, D. Roditchev, W. Sacks and J. Klein, cond-mat/0006044.