

О поляризационном механизме ВТСП в купратах и FeAs-соединениях.

В.В.Чернуха

Аннотация.

Рассматривается новый – поляризационный – механизм ВТСП в купратах и FeAs-соединениях, позволяющий установить зависимость температуры сверхпроводящего перехода T_c от нуклонной структуры ядер изотопов, входящих в состав химических соединений. Поляризационная модель ВТСП учитывает процессы, происходящие в физическом вакууме, и дает T_c , близкие к измеренным значениям для 15 рассмотренных купратов. Показано, что для купратов максимально возможное значение T_c не превышает ~ 150 К. Поляризационный механизм приводит также к сверхтекучести нуклонной жидкости.

В настоящее время механизм высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) не установлен. Предлагаемые фононные и нефононные механизмы не позволяют определить, в частности, зависимость температуры сверхпроводящего перехода T_c от состава химического соединения. Рассматриваемый поляризационный механизм такую возможность предоставляет.

Поляризационный механизм предложен для понимания природы сверхтекучести в гелии-2 [1]. Он позволил, используя плотность и нуклонный состав ядер гелия найти удовлетворительно согласующиеся значения T_c , энергетической щели, импульса на поверхности Ферми и скорости первого звука. Близкие значения отношения энергетической щели к T_c в гелии-2 и купратах могут указывать на общность нефононного механизма возникновения в них сверхтекучести. Ниже этот механизм применяется для определения T_c в купратах и FeAs-соединениях.

Поляризационный механизм основывается на двухструктурном строении нуклонов: нейтральном скалярном ядре из 12 кварков и трехкварковой оболочки, которая в настоящее время принимается за нуклон [2]. Связанные цветонейтральные трикварковые структуры названы кварконами. Они рождаются в физическом вакууме и являются строительным материалом для нуклонов и некоторых ядер, образование которых происходит вместе с кварконной плазмой, между частицами которой действуют силы притяжения, необходимые для спаривания фермионов. Ее свойства при достаточно низких температурах приводят к сверхтекучей фазе, общей для кварконов и ядер гелия, кварконный состав которых делает возможным их совместное рождение вместе с кварконным конденсатом.

Сам переход частиц в фазово-когерентное состояние происходит посредством поляризационных механизмов, уничтожающих некоррелированные мультиплеты частиц нормальной фазы и заменяющих их на фазово-когерентные мультиплеты частиц с существенно большей размерностью. В нормальной фазе мультиплеты содержат $\sim 10^5$ коррелированных частиц [1]. При их спаривании это число увеличивается до $\sim 10^{10}$. Такие мультиплеты образуют зародыши сверхтекучей фазы. Связывание фермионов в триплеты (в нашем случае, в кварконы) и их последующее спаривание увеличивают число фазово-коррелированных фермионов до $\sim 10^{30}$. Это уже макроскопический объект.

Этот подход позволил установить связь между массой квазичастицы гелия m^* , которая равна массе кваркона, и массой ядра He^4 [2]:

$$m^* = 0,1 \cdot 2^{2/3} m_{He} = 0,159 m_{He}. \quad (1)$$

Экспериментальное значение $m^* = 0,16 m_{He}$.

Для определения энергетической щели получена формула:

$$\Delta = m^* \left(\frac{P_F}{m_{He}} \right)^2; \quad \frac{P_F}{\hbar} = (3\pi^2 n_q)^{1/3}. \quad (2)$$

Здесь n_q – плотность кварконов, а P_F – импульс кварконов на поверхности Ферми. Для галия-2 $n_q = 12 n_{He}$ [1]. Это значение дает согласующиеся с измеренными значениями ферми-импульса (с погрешностью 4%) и ширины щели (погрешность 13%). Для температуры сверхтекучего перехода получено значение

$$T_c = \frac{\Delta}{3,37}. \quad (3)$$

Переходя к рассмотрению ВТСП, мы будем исходить из того, что в поляризационной теории образования фундаментальных частиц [2, 3] нуклон является поляризационно рождающейся частицей, т.е. его рождение и рождение некоторых ядер происходит вместе с кварконами, и потому в формулах (1)-(3) масса ядра гелия должна быть заменена на массу нуклона m_N . Но в отличие от ядра гелия кварковый состав нуклона не удовлетворяет центральной симметрии пространства. Число кварков в нуклоне определяется размерностью зарядового пространства в физическом вакууме, которая для кварков равна четырем. Число кварков нуклона определяется размерностью матричного представления группы $SU(4)$, равной 15. В пространство Вселенной переходят кварконы с нулевым цветовым зарядом, т.е. размерность зарядового пространства снижается до трех. Это приводит к нарушению симметрии группы $SU(4) \rightarrow SU(3) \times U(1)$. На одно синглетное состояние, занимаемое нуклоном, приходится 8 кварконных состояний, т.е. в (2) $n_q = 8 n_N$, и для импульса на поверхности Ферми получаем значение

$$\frac{P_F}{\hbar} = (24\pi^2 n_N)^{1/3}. \quad (4)$$

Здесь n_N – плотность нуклонов, создаваемая поляризационно образующимися ядрами, входящими в состав ВТСП-соединений. Из (1)-(4) получаем значение T_c при поляризационном механизме образования сверхтекучего состояния кварконов:

$$T_c = 85,8y^{2/3}, \quad y = 10^{-24} n_N (\text{см}^{-3}). \quad (5)$$

В дальнейшем мы не будем учитывать вклад электронной компоненты. В являющихся диэлектриками купратах это, по-видимому, приемлемое приближение, так как в них электроны проводимости появляются при допировании, и их плотность относительно небольшая. Электронная компонента добавляется к кварконной плазме, но она слабо влияет на ширину кварконной щели. Попадая в плазму электроны проводимости, как и заряженные кварконы, притягиваются друг к другу, образуя куперовские пары с нулевым импульсом, так как рождение фазово-когерентных частиц является поляризационным процессом. Нуклоны поляризационно рождающихся ядер также образуют фазово-коррелированную систему. Но в отличие от ядер гелия-2 эти ядра связаны в кристаллы, что исключает их свободное перемещение и сверхтекучесть.

Купраты.

Плотность нуклонного ферми-конденсата совпадает со средней плотностью ДИС-нуклонов в ячейке кристалла. Для определения плотности будем использовать опытные данные о параметрах кристаллической решётки сверхпроводника и нуклонную структуру, образующих его изотопов.

Центральная симметрия пространства отражается в геометрической симметрии фигур Платона, среди которых особую роль играют додекаэдр (Д) и икосаэдр (И), образующие ДИС-систему [2, 3]. Геометрические элементы (границы, ребра, вершины и углы граней) каждой из этих фигур образуют мультиплеты с размерностью 12, 20, 30 и 60. Эти размерности определяют поляризационно рождающиеся мультиплеты нуклонов, образующих ядра и определяющих плотность кварконов. Центр ДИС образует синглетное

состояние, которое также может участвовать в образовании этих ядер. Поэтому надо учитывать вклад в нуклонную компоненту ядер, в состав которых входят нуклонные мультиплеты с размерностью 13, 21, 31 и 61.

Помимо нуклонов поляризационное происхождение имеют α -частицы и нуклонные дублеты. Они также рождаются ДИС-плетами, и из них формируются чётно-чётные ядра и их разновидность – ядра из α -частиц. Входящие в состав купратов изотопы O_{16}^8 и Ca_{40}^{20} имеют соответственно 4 и 10 α -частиц, т.е. они не являются ДИС-ядрами, но при подходящем составе купратов их комбинации могут образовывать ДИС-плеты.

Можно предположить, что свойства сверхпроводимости купратов обусловлены ДИС-симметрией изотопов меди. Она имеет два изотопа – Cu_{63}^{29} (69,1%) и Cu_{65}^{29} (30,9%). Их ядра состоят соответственно из трёх 21-плетов и пяти 13-плетов. Если отделить их синглетные члены, то останется по 60 состояний, соответствующих числу углов граней Д и И. Число нейтронов у обоих изотопов чётное, поэтому неспаренных нейтронов нет. Что касается протонов, то один синглетный протон не имеет пары среди протонов своего ядра. Поэтому такой протон образует пару с неспаренным протоном ядра, имеющего ту же ДИС-структуру. Это спаривание ядер меди создает фазово-когерентную систему ее ядер. При определении ядер, дающих вклад в фазово-коррелированную нуклонную компоненту, будем исходить из следующих «правил отбора»:

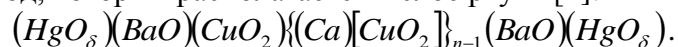
(1) в ядрах нуклоны должны образовывать мультиплеты с соответствующей ДИС размерностью: 12, 13, 20, 21, 30, 31, 60 и 61;

(2) ДИС-плеты изотопов, образующих слои в кристаллической структуре купратов, должны формировать протонную и нейтронную компоненты конденсата, что необходимо для притяжения нуклонов и их спаривания [1];

(3) когда нуклонный состав ядер изотопов допускает разные комбинации ДИС-плетов, то реализуются комбинации, содержащие наибольшее число нуклонов. В этом случае энергия кварконной и нуклонной ферми-жидкостей ниже, и сверхтекучая фаза устойчива.

Допирование в купратах.

Высокотемпературная нефононная сверхпроводимость имеет место в купратах и в $FeAs$ -системах только при их электронном или дырочном допировании. При допировании купратов, исходное антиферромагнитное состояние которых является диэлектриком, в некоторых его слоях появляются электроны (дырки) проводимости, и возникает сверхпроводимость. Например, в содержащих ртуть купратах допирующим элементом является кислород, который располагается в слое ртути [4]:



В круглых и квадратных скобках указан состав слоёв. Плотность электронов проводимости ограничена возникающим при увеличении допирования нарушением стехиометрии и слоевой структуры. Возможно, поэтому в купратах не возникает щель, создаваемая электронной компонентой.

Притяжение одинаково заряженных частиц в кваркон-электронной плазме приводит к пространственному разделению зарядов в пространстве СП-фазы в виде чередующихся полос или шахматных клеток одного цвета [5, 6].

В рассматриваемой поляризационной модели ВТСП, как и в случае гелия-2, $\frac{2\Delta}{T_c} = 6,75$ при экспериментальном разбросе значений $\frac{2\Delta}{T_c} = 5 - 10$. Это различие должно быть связано с не учитываемыми кварконной моделью факторами.

Определение температуры перехода купратов в сверхпроводящую фазу.

Пользуясь формулой для определения температуры СП-переходов (5), найдём её значение для пяти видов купратов, а также для гомологических семейств купратов, содержащих таллий и ртуть (табл. 2). Это позволит нам оценить согласие модели с опытными данными.

В состав купратов помимо меди входят и другие ДИС-элементы, влияющие на величину T_c . Вклад их изотопов в плотность нуклонного ферми-газа будем определять с помощью коэффициента G , определяющее число ДИС-нуклонов на одно ядро того или иного элемента.

Рассмотрим элементы купратов из табл. 2, которые разобьём на четыре группы: (а) La, Y, Tl, Bi ; (б) Ba, Sr ; (в) Hg ; (г) Ca, O .

Изотопы группы (а) $La_{139}^{57}, Y_{89}^{39}(13 \times 3 \times p), Tl_{205}^{81}(31 \times 4 \times n), Bi_{209}^{83}(21 \times 6 \times p)$ (в скобках приведены соответственно размерность ДИС-плета, его кратность и тип нуклона) не удовлетворяют условию отбора (2). В группе (б) нужный ДИС-изотоп есть – это $Sr_{84}^{36}(0,56\%)$ с двумя 21-плетами дублетов нуклонов $(n+p)$. Но указанная в скобках его распространённость мала настолько, что вклад изотопа можно не учитывать.

Ртуть имеет три изотопа с чётно-чётным ядром $Hg_{200}^{80}(23,1\%), Hg_{202}^{80}(29,8\%)$ и $Hg_{204}(6,54\%)$. Они имеют два 20-плета протонных дублетов, а также соответственно 60-, 61- и 31-плеты нейтронных дублетов, что соответствует условиям отбора (1) и (2). С учётом распространённости изотопов число ДИС-нуклонов, приходящееся на один атом ртути, $G(Hg) = 120,43$.

В группе (г) находятся элементы, изотопы которых $Ca_{40}^{20}(97\%)$ и $O_{16}^8(99,7\%)$ содержат α -частичные ДИС-плеты. Из них образуются ДИС-комбинации, приведённые в табл. 1. В ней в скобках указана размерность и кратность ДИС-плетов α -частиц, удовлетворяющих условиям отбора (1)-(2), и даны значения G – чисел ДИС-нуклонов каждой комбинации, вносящих вклад в T_c . Эти изотопы дают дополнительный вклад в плотность кварконов.

Таблица 1. ДИС-комбинации Ca и O и их числа ДИС-нуклонов (G).

ДИС-комбинации	G	ДИС-комбинации	G	ДИС-комбинации	G
$Ca_2(20 \times 1)$	77,6	$O_6(12 \times 2)$	96	$CaO_4(13 \times 2)$	100,88
$Ca_4(20 \times 2)$	155,2	$O_8(12 \times 1 + 20 \times 1)$	128	$CaO_8(21 \times 2)$	162,96
$O_3(12 \times 1)$	48	$O_{10}(20 \times 2)$	160	$Ca_2O_8(20 \times 2 + 12 \times 1)$	201,76
$O_5(20 \times 1)$	80			$Ca_2O_{10}(60 \times 1)$	232,8

В химических формулах купратов табл. 2, подчеркнуты элементы, дающие, согласно «правилам отбора», вклад в T_c . В табл. 2 определены числа G_{Cu} ДИС-нуклонов, приходящиеся на один атом меди. Взятая из экспериментальных данных плотность атомов меди в купратах n_{Cu} , определяемая параметрами ячейки, позволяет найти значение y в (5). В табл. 2 приведены расчётные значения T_c поляризационной модели и экспериментально найденные значения T_c^0 . Они удовлетворительно согласуются для рассматриваемых видов купратов. В большинстве случаев $T_c > T_c^0$, что может быть обусловлено не учитываемыми моделью факторами (искажениями кристаллической решётки, неоднородностью допирования слоёв в многослойных купратах и другими). Сжатие купратов увеличивает плотность нуклонов и кварконов и, как следствие, $T_c \sim n^{2/3}$.

Из табл. 2 видно, что поляризационная модель, учитывающая нуклонный состав ядер изотопов, для различающихся более чем втрое значений T_c 15 химических соединений дает погрешность менее 15%, т.е. отражает изменение этой температуры в зависимости от изотопного состава химического соединения. Этот результат показывает, что поляризационный механизм ВТСП является у купратов основным, и свидетельствуют в пользу сформулированных выше «правил отбора» ДИС-изотопов. Кваркон-нуклонная модель может рассматриваться как первое приближение в построении теории ВТСП.

Таблица 2. Расчётные и экспериментальные значения температуры СП-перехода в купратах.

Химическое соединение	$n_{Cu} \cdot 10^{-22},$ $см^{-3}$	$G(Cu)$	$y = G(Cu)n_{Cu}$ $\times 10^{-24},$ $см^{-3}$	$T_c,$ K	$T_c^0,$ K	$a/c,$ $нм$
<u>$La_{1,8}Sr_{0,2}CuO_4$</u>	0,5	63,72	0,3186	40	36 [7]	0,379/1,39 [10]
<u>$YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$</u>	1,733	63,72	1,104	91	93 [8]	0,385/1,168[10]
<u>$Bi_2Sr_2Cu_2(CaO_8)$</u>	0,879	145,0	1,276	101	86 [9]	0,385/3,069[10]
<u>$Bi_2Sr_2Cu_3(Ca_2O_{10})$</u>	1,1	142,8	1,573	116	108 [9] 120 [10]	0,385/3,68 [10]
<u>$Tl_2Ba_2CuO_6$</u>	0,582	159,4	0,928	82	80 [10]	0,385/2,32 [21]
<u>$Tl_2Ba_2Cu_2(CaO_8)$</u>	0,924	145,0	1,340	104	108 [11]	0,385/2,92 [21]
<u>$Tl_2Ba_2Cu_3(Ca_2O_{10})$</u>	1,134	142,8	1,619	118	120 [11]	0,385/3,56 [21]
<u>$Tl_2Ba_2Ca_3Cu_4O_{12}$</u>	1,285	111,6	1,434	109	102 [10]	0,385/4,2 [10]
<u>$HgBa_2CuO_{4,12}$</u>	0,71	184,2	1,307	102	97 [4]	0,385/0,95 [4]
<u>$HgBa_2CaCu_2O_6$</u>	1,06	171,8	1,821	127	127 [4]	0,385/1,27 [4]
<u>$HgBa_2Cu_3(Ca_2O_8)$</u>	1,273	172,3	2,187	144	138*[4]	0,385/1,59 [4]
<u>$HgBa_2Ca_3Cu_4O_{10}$</u>	1,413	133,7	1,889	130	127 [4]	0,385/1,91 [4]
<u>$HgBa_2Ca_4Cu_5O_{12}$</u>	1,512	118,8	1,797	126	110 [4]	0,385/2,23 [4]
<u>$HgBa_2Ca_5Cu_6O_{14}$</u>	1,587	83,8	1,33	103	100 [12]	0,385/2,55 [4]
<u>$HgBa_2Ca_6Cu_7O_{16}$</u>	1,645	80,9	1,33	103	~90 [12]	0,385/2,87 [4]
138* допирование фтором	-					

Примечание. Подчеркнуты элементы, дающие вклад в T_c . В скобках указаны изотопы, совместно образующие ДИС-плеты альфа-частиц. $G(Cu)$ – число «эффе́ктивных» нуклонов на один атом меди.

Можно заключить, что кварконный механизм является общим и для сверхтекучести гелии-2, и для высокотемпературной сверхпроводимости купратов. Этот же механизм

приводит к сверхтекучести и сверхпроводимости нуклонной жидкости, возникающей в условиях высокого давления, когда существование ядер невозможно.

О возможности повышения температуры СП-перехода в купратах.

Для увеличения значения T_c следует «неэффективные» изотопы и элементы заменять на «эффективные» химические аналоги. «Неэффективные» элементы у рассматриваемых купратов это *La, Y, Tl, Bi, Sr, Ba*. Если заменять элементы на химически аналогичные, то структура ячейки сохранится. Небольшим изменением её объёма можно пренебречь. Последние два элемента можно заменить на *Ca*, который, как мы видели, способен давать вклад в T_c . Иттрий мог бы быть заменён на $Sc_{45}^{21}(100\%)$ с ДИС-плетами $21 \times 1 \times p + 12 \times 2 \times n$ и значением $G = 45$. Однако $ScBa_2Cu_3O_7$ имеет то же значение $T_c = 93K$ [6], что и аналогичный иттриевый купрат (табл.2). Это указывает на отсутствие проводимости в слое *Sc*. Поэтому и при замене иттрия на редкоземельные элементы значение T_c меняется мало. В табл. 3 приведены расчётные значения T_c в соединениях, где один или два атома *Ba* заменены атомами *Ca*. При этом предполагается, что дополнительные частицы *Ca* будут находиться в сверхпроводящих слоях. В ней $\Delta T_c (K)$ – это возрастание расчётных температур СП-перехода у умозрительно модифицированных купратов.

Таблица 3. Расчётное значение T_c для модифицированных купратов.

Соединение	G	$y (см^{-3})$	$T_c (K)$	$T_c^0 (K)$	$\Delta T_c (K)$
$ScBa_2Cu_3O_7$	63,72	1,104	90,5	93 [6]	
$ScBaCu_3(CaO_4)O_3$	114,0	1,99	134,5	-----	~40
$ScCa_2Cu_3O_7$	89,6	1,574	115	-----	~20
$HgCa_2CuO_4$	261,7	1,858	128	-----	~25
$HgBaCa_2Cu_2O_6$	195,5	2,234	145	-----	~15
$HgCa_4Cu_3O_3O_5$	197,8	2,519	157	-----	~15
$HgBaCa_4Cu_4O_{10}$	173,5	2,451	154	-----	~25

Из табл. 3 видно, что наибольшее значение $T_c = 157 K$ имеет место при модификации $HgCa_4Cu_3O_3O_5$. Это единственное соединение, все элементы которого дают вклад в T_c . Расчётный прирост критической температуры оказывается небольшим. Тем не менее, он может быть замечен в эксперименте, если это соединение реализуется и роль *Ca* оценена правильно. Можно считать, что купраты практически исчерпали потенциал роста, и нет оснований надеяться с их помощью на достижение комнатно-температурной сверхпроводимости.

О механизме сверхпроводимости в FeAs- системах.

Недавно открыта сверхпроводимость в *FeAs*-соединениях трёх классов: (1) в допированных $REOFeAs$ (1111) с $26 < T_c (K) < 55$ (*RE*-редкоземельные элементы); (2) в допированных AFe_2As_2 (122), где $A = Ca, Sr, Ba$, а максимальное значение $T_c = 38 K$ у $Ba_{0,6}K_{0,4}Fe_2As_2$; (3) в стехиометрическом соединении $LiFeAs$ с $T_c = 18 K$ [13, 14]. Мы

будем обсуждать первые два класса соединений, где возникновение СП обусловлено допированием как электронным [15-17], так и дырочным [18].

В отличие от купратов, которые в стехиометрической фазе являются АФ-диэлектриками, *FeAs*-системы представляют собой АФ-металлы. Другое отличие в том, что вместо одной СП-щели у купратов в соединениях 1111 и 122 наблюдаются две СП-щели, механизм образования которых не ясен (значения $\frac{2\Delta}{T_c} \approx 2-8$). Кроме того, вместо

одной поверхности Ферми у купратов, в соединениях железа их несколько. Это сходство и различие позволяет предположить, что *Fe* также является ДИС-элементом. Он имеет два ДИС-изотопа: Fe_{56}^{26} (91,68%), нуклонный состав которого $13 \times 2 \times p + 30 \times 1 \times n$, и Fe_{57}^{26} (2,17%) с $13 \times 2 \times p + 31 \times 1 \times n$, каждый из которых формирует ферми-газ с межчастичным притяжением и способен создавать фазовокогерентное состояние спаренных нуклонов. Однако в отличие от *Cu* у *Fe* синглетные протоны и нейтроны принадлежат разным ДИС-плетам, и возможны четыре ($p+n$)-комбинации синглетных нуклонов при спаривании ядер. Можно предположить, что с этим связано появление четырех листов ферми-поверхности, сдвинутых друг от друга по фазе на $\pi/4$, наблюдавшееся в экспериментах у соединений 122 [14, 19] и 1111 [13, 20].

Наличие двух СП-щелей можно связать с двумя компонентами СП-конденсата – кварконной и электронной. У металлических *FeAs*-соединений относительная плотность электронной (дырочной) компоненты больше, чем у купратов, и образующаяся электронная щель проявляет себя как более узкая, чем щель кварконной компоненты.

В *FeAs*-соединениях определяющий вклад в плотность нуклонного ферми-газа дают изотопы *Fe*. Соответствующее значение $G(Fe) = 54,18$. При варьировании редкоземельных металлов в 1111 получено

$$40 \leq T_c^0(K) \leq 55. \quad (6)$$

Только в случае лантана T_c^0 заметно ниже ($T_c = 26 K$). Максимальное значение $T_c^0 \approx 55 K$ имеют $SmO_{0,9}F_{0,1}FeAs$ и $Gd_{0,8}Th_{0,2}OFeAs$. Величины n_{Fe} , определяемые через параметры решётки, у них близки, а $y = Gn_{Fe} = 0,418$. Согласно (5), $T_c = 47,5 K$, т.е. приходится на середину диапазона (6). В случае *REOFeAs* допируется слой *REO*, и с этим может быть связано наблюдаемое увеличение T_c^0 у соединений $RE = Nd, Sm, Gd, Pr$ ($T_c^0 = 51-55 K$). Однако не ясно, какой здесь возможен механизм.

В классе 122 соединения $Sr_{0,5}K_{0,5}Fe_2As_2$, $Sr_{0,5}Cs_{0,5}Fe_2As_2$, $Ba_{0,6}K_{0,4}Fe_2As_2$ имеют наибольшие значения $T_c^0 = 37 K$ [13]. В то время как значения T_c , рассчитанные по формуле (5), равны 55 K. Это расхождение, возможно, связано с высоким уровнем допирования щелочными металлами ($x \approx 0.5$), т.е. только примерно половина ячеек имеет стехиометрический состав. Вклад в T_c дают ядра другой половине ячеек. Если предположить, что плотность ДИС-нуклонов n_{Fe} определяется половиной ячеек, то $T_c \approx 35 K$, что близко к максимальному значению. Если имеет место неоднородное распределение заряда в ячейках, содержащих щелочноземельный и щелочной металлы, то одна половина ячеек оказывается «недодопированной», а другая «передопированной». Неоднородность допирования может также приводить к снижению T_c .

Резюмируя, можно сказать, что в допированных *FeAs*-системах кварконный механизм ВТСП может быть определяющим, но в интерпретации экспериментальных результатов имеется больше неопределенностей, чем в случае купратов.

Заключение.

В представленной работе предпринята попытка выявить природу образования сверхпроводящей фазы в допированных купратах и $FeAs$ -соединениях. В настоящее время микроскопических теорий, достаточно хорошо описывающих свойства этих сред не существует. Это указывает на необходимость исследования феноменов на более глубоком, нежели атомный, уровне. В рассмотренной модели исходным состоянием является кварковая система физического вакуума, которая генерирует кварконную ферми-жидкость и образующие ядра изотопов нуклоны. Центральная симметрия пространства выделяет изотопы, нуклоны которых образуют с кварконами фазово-коррелированную систему. Эти нуклоны определяют плотность кварконного конденсата, в котором действуют силы притяжения между частицами конденсата. Это делает возможным спаривание кварконов и возникновение щели в их спектре возбуждений, расчетная величина которой $2\Delta/T_c \approx 7$. Электроны проводимости допированных ВТСП-соединений, оказываясь в кварконном конденсате, не сильно меняют величину щели у купратов, а у $FeAs$ -соединений могут, по-видимому, создавать свою менее широкую щель.

Для рассмотренных химических соединений «правила отбора» изотопов, участвующих в возникновении СП фазы, определяются центральной симметрии пространства Вселенной. Для 15 рассмотренных купратов, значение T_c которых меняется более чем втрое кварконная модель дает погрешность менее 15%, т.е. отражает зависимость T_c от состава купратов. Поэтому можно заключить, что поляризационный механизм ВТСП у купратов является основным. Для оценки возможности повышения критической температуры сделаны оценки T_c для купратов, в которых «неэффективные» изотопы заменены их «эффективными» химическими аналогами. Максимальное значение $T_c \approx 155$ К, т.е. купраты практически исчерпали свой потенциал.

Для $FeAs$ -соединений вывод о доминирующем вкладе кварконного механизма менее очевиден, но, по-видимому, этот вклад является основным. Наличие двух щелей связывается с широкой кварконной щелью и узкой электронной щелью.

Основной вывод: кварконный механизм является общим для возникновения сверхтекучести гелия-2 и ВТСП, а рассмотренная модель может рассматриваться как первое приближение для построения теории ВТСП.

Список литературы.

- [1] Чернуха В В, *Поляризационный механизм сверхтекучести в гелии-2*. www.ptm2008.ru
- [2] Чернуха В В *Поляризационная теория Мироздания*. –М: Атомэнергоиздат, 2008, 657 с.
- [3] Чернуха В В, *О природе массы и зарядов фундаментальных частиц*. www.ptm2008.ru
- [4] Антипов Е В, Абакумов А М, *УФН* **178** 190 (2008).
- [5] Orenstein J, Mills A J, *Science* **288** 468 (2000).
- [6] Demler E, Hank W, Zhang S-C *Rev. Mod. Phys.* **76** 909 (2004).
- [7] Bednorz J G, Müller K A, *Z. Phys B* **64** 189 (1986).
- [8] Wu M K *et al.* *Phys. Rev. Lett.* **58** 908 (1987).
- [9] Maeda H *et al.* *Jpn. J. Appl. Phys.* **27** L209 (1988).
- [10] Демьянец Л Н *УФН* **161** 71 (1991).
- [11] Sheng Z Z, Hermann A M, *Nature (London)* **332** 55 (1988).
- [12] Копаев В Ю, Белявский В И, Капаев В В, *УФН* **178** 202 (2008).
- [13] Ивановский А Л, *УФН* **178** (2008).
- [14] Изюмов Ю А, Курмаев Э З, *УФН* **178** 1307 (2008).
- [15] Kamihara Y *et al.* *J. Am. Chem. Soc.* **130** 3296 (2008).
- [16] Chen G F *et al.* *Phys. Rev. Lett.* **100** 247002 (2008).
- [17] Ren Z-A *et al.* *Mater. Res. Innovat.* **12** (3) 56 (2008).
- [18] Rotter M, Tagel M, Johrendt D *Phys. Rev. Lett.* **101** 107006 (2008).
- [19] Subedi A, Singh D J, Du M-H *Phys. Rev. B* **78** 060506 (R) (2008); arXiv: 0806.3139.

[20] Ding H *et al. Europhys.Lett.* **83** 47001 (2008).

[21] Физическая энциклопедия, т.4, 454. –М:Большая Российская энциклопедия, 1994.

24.04.2011. Изменения внесены 31.03.2016.