

Поляризационный механизм сверхтекучести в гелии-2

В.В. Чернуха

Аннотация

Для объяснения феномена сверхтекучести в гелии-2 используется подход, основывающийся на генерации в комплексном пространстве физического вакуума поляризационной теории фермионов, названных кварконами. Эти фермионы образованы пятью кварками. Между кварконами преобладают силы притяжения, которые при достаточно низких температурах приводят к спариванию кварконов и образованию ими сверхтекучей фазы. Исходными данными поляризационной модели гелия-2 являются его плотность, масса и нуклонный состав ядер ${}^4\text{He}$. Найдены удовлетворительно согласующиеся с опытными данными спектр ротонных возбуждений в гелии-2, масса его квазичастиц, критическая температура сверхтекучего перехода и скорость звука.

Сверхтекучее состояние ${}^4\text{He}$ (гелия-2) было открыто П.Л. Капицей в 1938 г. Л.Д. Ландау показал [1], что сверхтекучесть связана с видом экспериментально найденного спектра возбуждений гелия-2, имеющего фононный и ротонный участки, причём у ротонных возбуждений имеется энергетическая щель. В дальнейшем В.Л. Гинзбургом и Л.Д. Ландау [2] была разработана макроскопическая теория сверхтекучести с волновой функцией в качестве параметра порядка. Однако на микроуровне количественной теории этой квантовой бозе-жидкости, которая бы через параметры последней (плотность, структуру и массу атомов гелия) описывала спектр возбуждений, температуру λ -точки, до сих пор не существует. Поэтому природу сверхтекучести гелия-2 нельзя считать до конца выясненной.

В поляризационной теории, развитой в [3], исходные представления о мироустройстве являются более общими, чем принятые в существующей физической парадигме. Поэтому поляризационный подход расширяет область применения фундаментальной физики, позволяя исследовать не находящие объяснений природные явления. Одним из них является сверхтекучесть в гелии-2, возникновение которой в данной работе получает объяснение не на атомном, а на фундаментальном – кварковом – уровне. Этот подход, предложенный в [3], представлен в новой редакции.

В поляризационной теории основным законом Мироздания является такое изменение физических величин, при котором сохраняется сумма их значений, т.е. реализуются законы сохранения всех физических величин, которые в общем случае являются комплексными. У комплексных величин сохраняется равный нулю их модуль [3, 4]. В частности, таким поляризационным процессом является рождение в физическом вакууме фундаментальных частиц – лептонов, кварков, нуклонов, промежуточных векторных бозонов, а также α -частиц и некоторых ядер с особым нуклонным составом. Как будет показано ниже, феномен сверхтекучести в гелии-2 обусловлен поляризационным рождением α -частиц и спектра его возбуждений. Куперовское спаривание фермионов также является поляризационным процессом, в котором сохраняется нулевой импульс.

Как показано в [3, 4], центрально-симметричное пространство физического вакуума Вселенной определяет свойства рождающихся фундаментальных частиц (лептонов, кварков, нуклонов и некоторых бозонов), которые имеют как положительную, так и отрицательную массу. Центральная симметрия пространства проявляется в симметриях

фигур Платона: тетраэдра, куба, додекаэдра (Д) и икосаэдра (И). Особо важную роль играют две последние фигуры [4].

Образование физических систем происходит мультиплетами, размерность которых соответствует мультиплетам элементов этих центрально-симметричных фигур – граней, вершин, рёбер, углов граней. Додекаэдр и икосаэдр образуют систему с общим центром (синглетным состоянием), характеризуемую мультиплетами геометрических элементов: 12-плетами граней (Д) и вершин (И), 20-плетами вершин (Д) и граней (И), 30-плетами рёбер (Д и И) и 60-плетами углов (Д и И). Мультиплеты элементов фигур отражают симметрии группы $SU(N)$, где N – размерность пространства зарядов. Первые ее три неприводимых представления 1 , N и $N^2 - 1$ в сумме дают $N(N + 1)$ состояний. Например, три цветовых заряда порождают 12 глюонных полей, содержащий октет заряженных янг-миллсовских полей и четыре незаряженных поля: синглетное поле и триплет, поля которого реализуют кулоновский тип взаимодействия (притяжение) между одинаковыми цветовыми зарядами. Незаряженные глюонные поля участвуют в формировании стационарных систем, в которых образующие их кварки сохраняют свой цветовой заряд и, следовательно, заряд всей системы. Октет заряженных глюонных полей КХД осуществляет процессы изменения кварковых структур.

$N = 5$ соответствует пяти новым зарядам (названных в [3] *вкусами*), которые получают частицы при орбитальном вращении, и порождают 30 новых (*гравийонных*) полей [3-5]. Среди них 24 заряженных янг-миллсовских поля и секстет незаряженных полей, включающий синглет и пять полей, каждое из которых переносит взаимодействие между одинаковыми вкусовыми зарядами.

Важную роль для понимания природы сверхтекучести играет кварковая структура нуклонов. Она также соответствует симметрии додекаэдра и икосаэдра. Как показано в [3], где с точностью $\sim 10^{-4}$ вычислены массы протонов и нейтронов, нуклоны, будучи поляризационно образующимися фермионами, являются, как и другие барионы [6], двухструктурными частицами. Они имеют нейтральное скалярное ядро, локализованное в физическом вакууме, и оболочку из цветонейтрального трикварка – uud (у протона) и udd (у нейтрона), располагающуюся в пространстве Вселенной. Сегодня под нуклоном понимают лишь цветонейтральный оболочечный трикварк, взаимодействующий с виртуальными частицами. В пользу существования ядра указывают эксперименты по столкновению нуклонов, которые способны сблизиться только до 0,4 Фм. Этот масштаб характеризует размер нуклонного ядра, радиус которого вычислен в [3, 7] и равен 0,42 Фм. Нейтральное скалярное ядро нуклонов содержит 12-плет кварков. Оболочки нуклонов ${}^4\text{He}$ образуют кварковый 12-плет. Это позволяет рассматривать ядро ${}^4\text{He}$ как поляризационно образующуюся центрально-симметричную кварковую структуру¹, состоящую из 60 кварков и соответствующую симметрии икосаэдро-додекаэдрной системе: четырех кварковых 12-плетов, образующих нуклонные ядра, и 12-плета их оболочечных кварков. Такой механизм рождения отличает ядро гелия от большинства других ядер, образующихся другим механизмом [8].

Приведённые здесь сведения из [3-8] нужны для рассмотрения поляризационного механизма сверхтекучести, основанного на спаривании находящихся в физическом вакууме кварконов.

Кварковый механизм сверхтекучести в гелие-2. ${}^4\text{He}$ является скалярным бозоном. Считается, что с микроскопической точки зрения сверхтекучесть в нём связана с явлением бозе-конденсации его атомов, изученным на примере слабонеидеального бозе-газа, а когерентное сверхтекучее состояние возникает в результате перехода макроскопической части атомов в состояние бозе-конденсата. В сверхтекучем гелии-2 взаимодействия атомов являются сильными. При $T = 0$ весь ${}^4\text{He}$ находится в состоянии

¹ Как показано в [8], центральная симметрия расположения кварков в атомном ядре ${}^4\text{He}$ делает его магическим.

конденсата: состояния с нулевыми и ненулевыми импульсами образуют единый когерентный конденсат [9]. Другим известным механизмом образования сверхтекучего состояния является куперовское спаривание электронов, приводящее к появлению сверхпроводимости. Можно предположить, что на фундаментальном уровне механизм возникновения сверхтекучести в гелии-2 должен также определяться спариванием фермионов.

Материальный объект Вселенной с симметрией, отличающейся от центральной симметрии физического вакуума, локально нарушает его равновесное состояние, что приводит к появлению в нем структур и движений вещества, устанавливающих новое равновесное состояние, поляризационно связывающее этот объект с физическим вакуумом. Как показано в [10], возникновение внутреннего трения в ньютоновской жидкости обусловлено ее поляризационным взаимодействием с физическим вакуумом, в котором она инициирует сопровождающий ее течение двухкомпонентный поток вещества физического вакуума. Коллективные возбуждения этого потока имеют мнимые массу и действие, что нарушает потенциальность течения жидкости. Если бы взаимодействия с физическим вакуумом отсутствовало, все жидкости были бы идеальными, так как частицы жидкости взаимодействуют между собой посредством потенциальной электрической силой, не способной создавать трение. Внутреннее трение жидкости есть результат ее взаимодействия с физическим вакуумом.

Образование сверхтекучего состояния жидкости возможно при выполнении двух условий: (1) если взаимодействие жидкости с физическим вакуумом не нарушает их равновесного состояния и (2) связанная с жидкостью структура физического вакуума является сверхтекучей. Для выполнения условия (1) взаимодействие между частицами обеих структур должно происходить без изменения энергии и импульса, т.е. должно реализоваться поляризационное взаимодействие, при котором взаимодействующая пара частиц двух этих структур занимают квантовые состояния в своих жидкостях без изменения значений энергии и импульса пары. Для реализации условия (2) частицы физического вакуума должны быть фермионами, и между ними должны действовать силы притяжения, приводящие к спариванию фермионов.

В действительном подпространстве физического вакуума кварки могут порождать сверхпроводящий конденсат. В поляризационной теории имеющие мнимый цветовой заряд (или отличающийся от него фазой комплексный) кварки притягиваются, и это притяжение сильнее, чем их электрическое отталкивание. Это делает возможным образование *кварконов* – содержащих одноцветные кварки фермионов, между которыми будут действовать силы притяжения. Поэтому содержащие нечетное число кварков кварконы способны образовывать сверхтекучую фазу посредством куперовского спаривания. Этот механизм, как будет показано ниже для случая близкой к абсолютному нулю температуры, определяет спектр ее ротонных возбуждений, а также критическую температуру фазового перехода.

Сверхтекучесть возникает в результате перехода из некогерентного состояния частиц вещества в фазово-когерентное состояние. В поляризационной теории фазовую корреляцию частицы получают при рождении в составе мультиплетов, размерность которых определяются числом возможных различных подпространств поляризованного пространства физического вакуума (*пространственных состояний*). Они различаются хотя бы одним направлением действительного или мнимого измерения физического вакуума, направления пространственных измерений которого поляризованы и потому физически различны. Эти направления определяют вектор скорости рождающейся в этом пространственном состоянии частицы.

Нормальная фаза состоит из таких некоррелированных между собой мультиплетов. Для того чтобы произошел переход в фазово-коррелированное состояние некоррелированные мультиплеты частиц должны исчезнуть (деполяризоваться) и вместо

них родиться фазово-когерентная система с макроскопически большим числом пространственных состояний.

Число пространственных состояний в d -мерном комплексном поляризованном пространстве равно, согласно [4],

$$k_d = 2^{(2^d)}, \text{ а } k_d^2 = k_{d+1}. \quad (1)$$

Так как поляризационное рождение частиц происходит парами, то число пространственных состояний одной частицы равно k_{d+1} . В комплексном трехмерном пространстве их число $\sim 10^5$. Для трехкваркового и пятикваркового кварконов (трикварка и пентакварка) число пространственных состояний сверхтекучей жидкости возрастает соответственно до $2k_4^3 \sim 10^{17}$ и $2k_4^5 \sim 10^{27}$. Это уже макроскопический масштаб.

Так как в образовании ядра ${}^4\text{He}$ участвуют 60 кварков, то возможно проявление всех трех групповых симметрий $SU(N)$ с $N = 3, 4$ и 5 . Во пространстве Вселенной скалярное ядро ${}^4\text{He}$ образует синглетное $U(1)$ -состояние. В пространстве физического вакуума кварки, имеющие четыре заряда (электрический и три цветовых), обладают симметрией группы $SU(4)$. В пространстве Вселенной, где цветозаряженные частицы невозможны, зарядовое пространство распадается на два подпространства: трехмерное цветное и одномерное электрическое. Поэтому в пространстве Вселенной нарушается симметрия группы $SU(4)$:

$$SU(4) \rightarrow SU(3) \times U(1),$$

и возможна поляризационно связанная система из 12 кварконов (группы $SU(3)$) и электрически заряженного синглета, которым является не имеющее цветового заряда ядро гелия. В равновесии плотность кварков в гелии-2 и физическом вакууме должна быть одинаковой. Поэтому связанные с ядром He^4 12 кварконов являются пентакварками (группа $SU(5)$). В таком кварконном конденсате физического вакуума плотность кварконов будет в 12 раз больше, чем плотность ядер в жидком гелии-2.

При $T = 0$ плотность гелия-2 $\rho_{\text{He}} = 0,145 \text{ г см}^{-3}$. С учётом массы атома ${}^4\text{He}$, равной $m_{\text{He}} = 6,642 \cdot 10^{-24} \text{ г}$, для плотности кварконов будем иметь

$$n_R = 12 \frac{\rho_{\text{He}}}{m_{\text{He}}} = 2,62 \cdot 10^{23} \text{ см}^{-3}. \quad (2)$$

Как известно, в ферми-жидкости ее частицы участвуют в коллективных возбуждениях, проявляя себя как квазичастицы. Поэтому (2) определяет плотность кварконных квазичастиц.

В сверхпроводящей фазе помимо фоновых возбуждений имеют место ротонные возбуждения, характеризуемые величиной энергетической щели. Так как пространство физического вакуума комплексное, то можно предположить, что фоновые возбуждения происходят в его действительном подпространстве, а ротонные – в мнимом. Соответственно импульс квазичастиц сверхпроводящей фазы является комплексным. На ферми-поверхности импульс квазичастицы $p = P_F + i\delta p$, где P_F – импульс фонона, а δp – импульс ротона, ортогональный импульсу фонона. Поэтому ротон связан с вращением квазичастицы вокруг направления ее движения, вдоль которой движется фонон, а движение квазичастицы является спиральным. В равновесном состоянии скорости кварков кварконов и ядра He^4 (а значит, и самого ядра) должны быть одинаковыми. Эту общую скорость на ферми-поверхности обозначим w .

Кинетическая энергия квазичастицы на ферми-поверхности определяется из уравнения $\frac{\partial \varepsilon}{\partial |p|} = w = \text{const}$. Отсюда следует значение кинетической энергии ε_{FR} имеющей массу m_R кварконной квазичастицы, которое определяет величину энергетической щели Δ :

$$\Delta \equiv \varepsilon_{FR} = m_R w^2 = m_R \left(\frac{P_F}{m_{He}} \right)^2 \quad (3)$$

Энергия квазичастицы на ферми-поверхности

$$\varepsilon(p) = w|p| = w \left[P_F^2 + (p - P_F)^2 \right]^{1/2} = \left[\Delta^2 + w^2 (p - P_F)^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

Аналогичный (4) вид спектра возбуждений имеет место и у сверхпроводящих электронов в теории БКШ [11], спаривание которых происходит с нулевым импульсом, т.е. является поляризационным процессом. Свойство корреляции фермионных пар на больших расстояниях друг от друга является следствием их равновесного состояния, поддерживаемого независимыми от расстояния поляризационными механизмами.

Спектр (4) надо сравнить с экспериментально найденным спектром при температуре $T = 0$, который в [11] аппроксимирован в виде

$$\varepsilon(p) \approx \bar{\Delta} + \frac{(p - p_0)^2}{2m^*},$$

где $\bar{\Delta} = 8,5K$, $m^* = 0,16m_{He}$, $\frac{p_0}{\hbar} = 1,9 \cdot 10^8 \text{ см}^{-1}$. Разлагая (4) в ряд вблизи $p = P_F$ и ограничиваясь двумя членами, найдём

$$\varepsilon(p) \approx \Delta + \frac{(p - P_F)^2}{2m_R},$$

т.е. при $T = 0$ должно быть

$$\bar{\Delta} = \Delta, \quad P_F = p_0, \quad m_R = m^*.$$

Это означает, что спектр возбуждений гелия-2 создается кварконным конденсатом.

Кинетическая энергия, приходящаяся на одну квазичастицу предполагаемого идеального ферми-газа кварконных возбуждений, для плотности кварконов (1) равна

$$K_R = 0,3 \frac{P_F^2}{m_R}; \quad \frac{P_F}{\hbar} = (3\pi^2 n_R)^{1/3} = 1,98 \cdot 10^8 \text{ см}^{-1}, \quad (5)$$

где m_R – пока неизвестная масса квазичастиц. Здесь учтено, что спин кваркона имеет два спиновых состояния. Полученное значение P_F близко к значению p_0 .

Для образования пентакварка требуется пять квантов действия. Радиус свободного кваркона равен $5\hbar / P_F \approx 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ см}$. Как следует из (2), среднее расстояние между кварконами $\approx 2 \cdot 10^{-8} \text{ см}$, т.е. кварконный конденсат плотно упакован, образуя жидкую фазу.

Энергия кварконов. Для связанного с физическим вакуумом гелия-2 число кварков (и кварконов) вдвое превышает число кварков (кварконов) в кварконном конденсате, т.е. плотность кварконов гелия-2 равна

$$n_Q = 2n_R. \quad (6)$$

Пентакварки являются цветозаряженными частицами. Так как модуль цветового заряда кварка больше модуля его электрического заряда, то кварки с одинаковым цветовым зарядом притягиваются, формируя кварконы. Не обсуждая наиболее вероятный состав кварконов, можно сказать, что возможно образование пентакварков, между которыми в действительном пространстве будут действовать силы притяжения, если их цветовой заряд одинаков. Спариваясь, они будут образовывать конденсат с цветовыми и электрическими зарядами. При поляризационном рождении кварконов заряды образующихся конденсатов будут компенсировать друг друга.

Во внутреннем пространстве кваркона разные электрические заряды его кварков будут формировать дипольный момент кваркона. В этой ситуации имеющие цветовой и электрический заряд кварконы будут взаимодействовать между собой как по закону

Кулона, так и посредством электрического дипольного взаимодействия. Вклад диполь-дипольного взаимодействия кварконов будем полагать малым и не учитывать.

В равновесной системе энергия должна быть минимальной, что возможно, если энергия взаимодействия зарядов с диполями будет положительной. Вблизи равновесия энергии кулоновского и дипольного взаимодействий меняются в разных направлениях. Кулоновское взаимодействие, экранируемое диполями, будет снижаться, что будем учитывать посредством введения диэлектрической постоянной ε . Поэтому потенциал кулоновского взаимодействия заряженных кварконов имеет вид

$$U_{qq} = -\frac{A}{\varepsilon r}, \quad (7)$$

а возрастающий потенциал их дипольного взаимодействия может быть записан в виде

$$U_{qn} = \frac{\varepsilon B}{r^2}. \quad (8)$$

В (7) и (8) r – расстояние между кварконами, заметно превышающее их размер, а A и B – положительные величины. Потенциальная энергия заряженных кварконов равна

$$U = U_{qq} + U_{qn}.$$

Диэлектрическая постоянная определяется из условия механического равновесия рассматриваемой кварконной системы $\frac{\partial U}{\partial r} = 0$ и равна $\varepsilon = \left(\frac{A}{2B} r\right)^{1/2}$. Получаем следующее равновесное значение потенциальной энергии:

$$U(\varepsilon) = -\left(\frac{AB}{2}\right)^{1/2} r^{-3/2} < 0. \quad (9)$$

Таким образом, в равновесии между заряженными кварконами имеет место притяжение, приводящее к их спариванию.

Можно считать, что энергия равновесного состояния сверхпроводящей фазы представляет собой сумму пропорциональных $r^{-3/2}$ потенциальных энергий кварконов, т.е. является однородной функцией координат. В силу ограниченности объёма, занимаемого ферми-жидкостью, возможно применение теоремы вириала, дающей соотношение между средними по времени значениями кинетической энергии $\langle K \rangle$ и потенциальной энергии частиц кварконного ферми-газа $\langle E \rangle = \langle K + U \rangle$. С учётом (5), (6) и (9) получаем

$$\langle E \rangle = -\frac{1}{3} \langle K \rangle = -0,1 \cdot 2^{2/3} \frac{P_F^2}{m_R}. \quad (10)$$

Условие слабой неидеальности газа кварконных квазичастиц заключается в требовании малости средней энергии взаимодействия $\langle E \rangle$, приходящейся на одну квазичастицу, по сравнению с ее средней кинетической энергией $\langle K \rangle$. Для газа квазичастиц обе эти энергии сравнимы, и использованное здесь приближение слабо неидеального газа должно давать погрешность в определении энергетических параметров сверхтекучей фазы, но, как следует из табл. 1, она невелика.

Масса квазичастиц и ширина ротонной щели. Как сказано выше, образование в сверхтекучей фазе квантовых состояний пары квазичастица-ядро гелия происходит при поляризации между ними импульса и энергии. Так как между атомами гелия силовое взаимодействие отсутствует, то при сохранении импульса ядро гелия получает импульс P_F и энергию

$$\varepsilon_{FHe} = \frac{P_F^2}{m_{He}}.$$

Так как она компенсируется энергией кварковой компоненты (10), то получаем соотношение

$$\varepsilon_{FHe} = \frac{P_F^2}{m_{He}} = -\langle E \rangle \quad (11)$$

Отсюда с учетом (10) находим массу квазичастицы кварконной жидкости:

$$m_R = 0,1 \cdot 2^{2/3} m_{He} = 0,159 m_{He}.$$

Из (3) следует значение ширины щели

$$\Delta = m_R \left(\frac{P_F}{m_{He}} \right)^2 = 7,5 K.$$

Табл. 1. Сравнение расчётных и экспериментальных параметров гелия-2.

параметр	$\frac{m_R}{m_{He}}$	$\frac{P_F}{\hbar}$ (см ⁻¹)	Δ (K)	u (м/с)	$\frac{2\Delta}{T_\lambda}$	T_λ (K)
теория	0,159	$1,98 \cdot 10^8$	7,5	228	6,76	2,22
эксперимент [12]	0,16	$1,9 \cdot 10^8$	8,6	235	7,9	2,17
погрешность модели	<0,1%	4%	-13%	-3%	-13%	2,3%

Вычисление температуры сверхтекучего перехода в гелие-2. Для определения температуры этого перехода T_λ используем условие исчезновения сверхтекучей компоненты [11]:

$$\rho_f + \rho_r = \rho_{He} \quad (12)$$

где плотности «фонной» (ρ_f) и «ротонной» (ρ_r) компонент жидкости имеют вид

$$\rho_f = \frac{2\pi^2 T_\lambda^4}{45\hbar^3 u^5}; \quad \rho_r = \frac{2m_R^{1/2} P_F^4}{3(2\pi)^{3/2} \hbar^3 T_\lambda} e^{-\frac{\Delta}{T_\lambda}}.$$

Здесь u – скорость звука в жидкости. Уравнение (12) представим в виде

$$Fx^{1/2} e^{-x} + Gx^{-4} = 1,$$

$$\text{где } x = \frac{\Delta}{T_\lambda}; \quad F = (2\pi)^{1/2} \frac{m_{He}}{m_R} = 15,76; \quad G = \frac{2^{1/3} \cdot 3^{3/2} \pi^2}{5} \left(\frac{m_R}{m_{He}} \right)^3 = 0,513.$$

Его решение $x = 3,37$ и $T_\lambda = 2,22 K$ (фонная компонента на него практически не влияет).

Скорость первого звука. С учетом (6) давление вырожденного идеального газа квазичастиц гелия равно

$$P_{He} = \frac{2^{2/3} P_F^2}{5m_{He}} n_{He} \propto \frac{n_{He}^{5/3}}{m_{He}}.$$

Отсюда находим скорость звука на поверхности Ферми:

$$u_{He} = \left[\frac{\partial P_{He}}{\partial (m_{He} n_{He})} \right]^{1/2} = \frac{2^{1/3}}{3^{1/2}} \left(\frac{P_F}{m_{He}} \right) = \frac{2^{1/3}}{3^{1/2}} w_{He} = 228 \text{ м/с.}$$

что всего на 3% меньше экспериментального значения (табл. 1).

Сделанное предположение о вырожденности ферми-газа кварконных квазичастиц выполняется, поскольку температура вырождения

$$T_g = 0,3 \frac{p_F^2}{m_R} \approx 85K,$$

что существенно больше температуры конденсации (4K).

Как видно из табл. 1, поляризационная модель образования сверхтекучести гелия-2, которую следует отнести к моделям с сильной связью, удовлетворительно согласуется с опытными данными. Таким образом, в поляризационной теории спаривание фермионов является общим поляризационным механизмом возникновения сверхтекучести и электронов, и атомов гелия-2.

В поляризационной теории не только ${}^4\text{He}$ может породить кварконную сверхтекучую фазу. Бездиссипативное состояние возникает и у некоторых соединений с соответствующим составом изотопов. В этом случае их спаренные электроны с нулевым импульсом получают трансляционную степень свободы, не нарушающую этого состояния, т.е. становятся сверхпроводящими. Значения величины $\frac{2\Delta}{T_\lambda}$ для этого

кварконного механизма сверхпроводимости сопоставимы с ее величиной у гелия-2. Такие ее значения характерны для высокотемпературной сверхпроводимости у допированных купратов. Кварконный механизм сверхпроводимости делает температуру фазового перехода зависящей от изотопного состава купратов и дает достаточно близкие к измеренным значения критической температуры T_c (при ее изменении в три раза погрешность составляет менее 15%) [13]. Оценки возможности увеличения T_c посредством замены изотопов на более «эффективные» их химические аналоги дали предельную температуру $T_c \approx 155$ К, т.е. купраты практически исчерпали свой потенциал роста T_c , так как при нормальном давлении наибольшее на сегодня измеренное значение $T_c \approx 138$ К.

Заключение

Показано, что совместное поляризационное рождение квантовых состояний кваркона (связанного квинтета кварков) в физическом вакууме и альфа-частицы в гелии-2 является коррелированным нелокальным процессом. При достаточно низких температурах он происходит без изменения энергии и импульса, т.е. без нарушения равновесного состояния поляризационно связанной системы гелиевой и кварконной жидкостей. Кварконы образуются в результате притяжения одинаковых цветовых зарядов кварков. Между u - и d -кварками имеет место и электрическое притяжение. Эти же взаимодействия вызывают притяжение между имеющими одинаковый цветовой заряд кварконами. Это приводит к спариванию кварконов и формированию их сверхтекучей фазы, что является необходимым условием образования сверхтекучего жидкого гелия. При этом спектр возбуждений кварконной жидкости согласуется с измеренным спектром в гелии-2.

В поляризационной модели сверхтекучести исходными опытными данными для получения ротонного спектра возбуждения в гелии-2 является его плотность, масса и нуклонный состав ядер гелия. Рассчитаны при $T = 0$ величины энергетической щели, импульса на ферми-поверхности кварконной жидкости, критической температуры сверхтекучего перехода, массы квазичастиц и скорости звука. Для рассмотренной в приближении вырожденного газа кварконной модели образования сверхтекучей фазы посредством куперовского спаривания кварконов согласие расчетных и экспериментальных значений указанных характеристик гелия-2 можно считать удовлетворительным. Это является аргументом в пользу рассмотренной кварконной модели. Отношение ширины энергетической щели ротонных возбуждений к критической температуре сопоставимо со значениями, присущими высокотемпературным сверхпроводникам, и их существование может быть результатом поляризационных

механизмов образования и спаривания кварконов, которые образуются изотопами с некоторыми особенностями симметрии ядер.

Основной вывод работы: в поляризационной теории спаривание фермионов является поляризационным механизмом возникновения не только сверхпроводимости, но и сверхтекучести в гелии-2.

Список литературы

1. Ландау Л.Д., ЖЭТФ **11** 592 (1941); J.Phys USSR **5** 71 (1941).
2. Гинзбург В.Л., Ландау Л.Д. ЖЭТФ **20** 1064 (1950).
3. Чернуха В.В., Поляризационная теория Мироздания. – М.: Атомэнергоиздат, 2008, 657с.
4. Чернуха В.В., О природе массы и зарядов фундаментальных частиц, www.ptm2008.ru
5. Чернуха В.В., О природе безмассовых бозонов и нейтрино, www.ptm2008.ru
6. Чернуха В.В., О поляризационной природе конфайнмента у адронов, www.ptm2008.ru
7. Чернуха В.В., Поляризационный механизм образования магнитных моментов у нуклонов, www.ptm2008.ru
8. Чернуха В.В., Поляризационная модель атомных ядер, www.ptm2008.ru
9. Физическая энциклопедия, т. 4, 454. М.: Большая Российская энциклопедия, 1994.
10. Чернуха В.В., О природе вязкости ньютоновской жидкости, www.ptm2008.ru
11. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. М.: Наука, 1964, 567 с.
12. Henslow D., Woods A., Phys. Rev., **121**, 1266 (1961).
13. Чернуха В.В., О поляризационном механизме ВТСП в купратах и Fe-As-соединений, www.ptm2008.ru

04.02.2014. Изменения внесены 29.03.16.

Polarization mechanism of super fluidity in helium-2

Annotation

To explain the phenomenon of super fluidity in helium-2, an approach based on the generation in the complex space of a physical vacuum of the polarization theory of fermions called quarkons is used. These fermions are formed by five quarks. Between quarkons dominates attractive powers, which are at sufficiently low temperatures lead to quarkons pairing and the formation of a superfluid phase. The initial data of the polarization model of helium-2 are its density, mass, and nucleon composition of ${}^4\text{He}$ nuclei. Found spectrum of the rotons excitations in helium-2, mass of its quasi particles, the critical temperature of the superfluid transition and the speed of sound are in satisfactory agreement with the experimental data.