

# О поляризационной природе конфайнмента у адронов

В. В. Чернуха

## Аннотация

При рассмотрении природы конфайнмента (удержания цвета) используется поляризационный подход, согласно которому адроны имеют двухструктурное строение: нейтральную скалярную подсистему, локализованную в пространстве физического вакуума, и подсистему, находящуюся в пространстве Вселенной и определяющую вид адрона. Обусловленная изменением массы нейтральных скалярных бозонов (их расчетная масса  $\pm 468 \text{ МэВ}/c^2$ ) поляризационно-реактивная сила, не зависящая от расстояния, удерживает кварки и антикварки от разлета. Участие этих бозонов в образовании адронов приводит к тому, что их масса оказывается больше, чем суммарная масса образующих их кварков и антикварков. Дано поляризационное обоснование траекторий Редже адронов, не содержащих тяжелые кварки. Рассчитаны массы  $c-\bar{c}$ - и  $b-\bar{b}$ -мезонов, согласующиеся с их экспериментальными значениями, а также описывающий спектры семейств  $c-\bar{c}$ - и  $b-\bar{b}$ -мезонов потенциал.

## 1. Введение

Удержание цвета – это центральная гипотеза современной теории сильных взаимодействий, основанной на квантовой хромодинамике (КХД) и предполагающая, что кварки и глюоны могут существовать только в связанном виде и что их отсутствие в свободном состоянии должно следовать из КХД.

В настоящее время рассматриваются различные предположения о механизме конфайнмента, но проверить их сложно в силу того, что КХД является теорией с сильной связью. Предлагаемые механизмы можно разделить на две группы, условно называемые «экранировка цвета» и «линейный потенциал».

Гипотеза экранирования цвета исходит из того, что глюонное поле Янга–Миллса, создаваемое отдельным кварком, поляризует физический вакуум настолько сильно, что рождает антикварк, экранирующий заряд пробного кварка.

Одним из механизмов экранировки цвета мог бы быть аналог изучаемого в квантовой электродинамике сверхкритического кулоновского взаимодействия. Но эта аналогия подвергается сомнению [2].

Пленение цвета связывают также с взаимодействием не кварков, а глюонных полей Янга–Миллса. Такое упрощение КХД получило название квантовой глюонодинамики.

Второй возможный механизм удержания цвета – возникновение линейного потенциала, описывающего взаимодействие кварков с силой, не зависящей от расстояния. Соответствующая теоретико-полевая модель типа Джорджи–Глэшоу исследована в [3].

Согласно одной из гипотез [4], удержание цвета в глюонодинамике осуществляется с помощью т.н. дуального эффекта Мейснера. При этом вместо электрических монополей выступают гипотетические магнитные монополи (возможные в теории Янга–Миллса), и

линейный потенциал оказывается возможным. Проблема этого механизма в том, что введущие давно поиски магнитного монополя не дали результата.

Если даже в чисто глюонном мире линейный потенциал возможен, то в реальном мире с лёгкими кварками его быть не может, т.к. при большом разведении кварка и антикварка энергетически выгодно рождение кварк-антикварковых пар, образующих обычные мезоны. Таким образом, линейно растущий потенциал «экранируется» лёгкими кварками [2].

Численные методы [5] также дают линейный потенциал, но на сравнительно небольших масштабах.

Несмотря на непонимание механизма конфайнмента, в некоторых случаях удается количественно описывать адронные спектры на основе модельных представлений о внутриадронных взаимодействиях кварков. В частности, хорошее согласие со спектрами семейств  $c-\bar{c}$ - мезонов ( $\eta_c, \Psi, \eta'_c, \Psi'$  и т.д.) и  $b-\bar{b}$ - мезонов ( $\Upsilon, \Upsilon'$  и др.) получается при использовании специально подобранного потенциала вида

$$U_{q_1, q_2} = -\frac{A}{r} + Br; A, B > 0 \quad (1)$$

где  $r$  – межкварковое расстояние. Этот потенциал приведён на рис. 1, взятом из [6]. Он описывает наблюдаемые спектры низкочастотных возбуждений указанных мезонов, а рассчитанные расстояния между уровнями согласуются с измеряемым спектром масс.

Потенциал (1) означает, что между кварками действуют силы притяжения кулоновского типа и некоторая сила, не зависящая от расстояния, природа которой остается не выясненной. В (1) нет члена, учитывающего центробежные силы, несмотря на то, что кварки адронов вращаются.

Как будет показано, этот же линейно растущий с расстоянием потенциал ответственен за возникновение траекторий Редже: линейную зависимость между моментом  $J$  адрона и квадратом его массы  $m$ :

$$m^2 = m^{*2}(J - g), \quad (2)$$

где  $m^* \approx 1,05 \text{ ГэВ}/c^2$ , а  $g$  – зависящая от вида адрона константа [7]. Эта простая зависимость интерпретируется в дуальных [8] и струнных [9] моделях.

Ниже даётся вывод формул (1) и (2) в рамках поляризационной модели адронов, в которой адрон представляет собой двухкомпонентную кварковую структуру: наряду с известными барионными структурами из трех кварков и кварк-антикварковых пар у мезона адроны содержат еще скалярную кварковую подсистему [1].

## 2. Поляризационная структура мезона

В рамках КХД не удаётся непротиворечиво обосновать механизм конфайнмента. Поэтому нельзя исключить возможность того, что понимание его природы лежит вне КХД. Здесь мы рассмотрим поляризационный механизм удержания цвета более детально и корректно, чем это сделано в [1]. Необходимые для этого представления поляризационной теории о мироустройстве приводятся ниже.

В поляризационной теории всё сущее в Мироздании (в том числе пространство-время и физический вакуум) образуются из *нуль-вакуума*, который представляет собой некую внеприродную субстанцию с нулевым значением любой физической величины. Это

происходит посредством нелокальных поляризационных процессов с нулевой суммой, реализующих соответствующие законы сохранения. Мир, где идёт рождение (и исчезновение) материи, назван в [1] *поляризационным*. Его частью является физический вакуум Вселенной.

Второй важный постулат поляризационной теории: все физические величины в общем случае комплексны (описываются комплексными числами). Поэтому наряду с известным нам миром Вселенной с действительным подпространством должен существовать ее скрытый мир с мнимым подпространством, в котором локализованы частицы с мнимыми характеристиками.

Рождение и исчезновение физических величин описывается простыми поляризационными соотношениями (законами сохранения) типа

$$a + b = 0; \quad |a + ib| = 0. \quad (3)$$

Из последнего соотношения (3) следует, что рождающиеся посредством поляризационных механизмов комплексные физические величины равны  $a \pm ia$ .

Из этих двух постулатов следует, что Вселенная рождается вместе с *Антинегавселенной*, вещество которой состоит из античастиц с отрицательной массой (*антинегачастицы*), образуя с ней систему с нулевыми массой и зарядами. Частицы и их антинегачастицы названы в [1] *контрчастицами*. Как будет показано ниже, один из видов контрчастиц играет определяющую роль в удержании цвета. Другую поляризационную пару вселенных составляет *Антивселенная* и *Негавселенная*, содержащая частицы с отрицательной массой (*негачастицы*). Образование частиц квартета вселенных происходит в их общем физическом вакууме. Во Вселенную частицы приходят «готовыми» в составе мультиплетов.

В поляризационной теории физический вакуум отличается дираковского: он содержит не только частицы и античастицы, но и их аналоги с отрицательной массой. Тем самым расширяется класс возможных в нем поляризационных процессов. Это позволяет создать поляризационную теорию образования фундаментальных частиц (лептонов, кварков и некоторых бозонов), атомных ядер и адронов.

**Физика конфайнмента.** Загадочной особенностью адронов является то, что их масса намного превышает сумму масс составляющих их кварков и антикварков. С каким физическим эффектом это связано, неясно.

Адроны являются вкраплениями в сферически-симметричном пространстве Вселенной центрально-симметричного пространства физического вакуума, где рождаются формирующие адроны кварки и антикварки. В этом пространстве свойства физических величин, образующихся поляризационными механизмами, определяются связанными между собой симметриями групп  $SU(N)$  и икосаэдро-додекаэдрной системы, числа элементов фигур которой определяют не только свойства лептонов и кварков [1, 10], но и структуру адронов и размерность мультиплетов полей, реализующих межкварковое взаимодействие. У додекаэдра числа рёбер, вершин и граней равны соответственно 30, 20 и 12, а у икосаэдра – 30, 12 и 20. Эти числа определяют размерности мультиплетов полей и частиц. Три эквивалентных состояния вращения, присущих треугольным граням икосаэдра, порождают три спиновых состояния векторных глюонных полей и три цветовых заряда глюонов. Соответственно, правильные пятиугольники граней додекаэдра генерируют квинтет новых, отсутствующих в Стандартной модели элементарных частиц и

названных *вкусовыми*, зарядов и реализующие взаимодействия между ними тензорные поля, названные *гравийонными*.

Возможны два типа поляризации цветового заряда, порождающих два вида адронов – барионы и мезоны. Барионы рождаются при поляризации триплета цветовых зарядов, порождаемой центральной симметрией пространства физического вакуума, тогда как мезоны – при поляризации цвет-антицвет, обусловленной поляризацией времени. В сферически-симметричном пространстве цветовые заряды отсутствуют. Поэтому рождающиеся в физическом вакууме цветозаряженные кварки в пространство Вселенной могут переходить только в комбинации с нулевым цветовым зарядом. Такой комбинацией являются три кварка барионов, различающиеся цветовым зарядом.

Три цветовых заряда генерируют 12-плет полей с симметрией группы  $SU(3)$  [10, 11]. В КХД фигурирует матричное неприводимое представление этой группы с размерностью, равной 8, порождающее октет заряженных полей Янга-Миллса. Еще четыре поля 12-плета векторных полей образованы неприводимыми представлениями этой группы с размерностью 1 и 3. Локализованное в сферически-симметричном подпространстве синглетное поле переносит взаимодействие между комбинациями цветовых зарядов с нулевой суммой. Представление с размерностью 3 описывает новый – нейтральный – тип глюонных полей физического вакуума. Они переносят взаимодействие между одинаковыми цветовыми зарядами. В этом отношении они аналогичны электромагнитному полю и реализуют кулоновский тип взаимодействия. Незаряженные поля определяют стационарные состояния квантовых систем, в которых частицы сохраняют свои заряды. Октет заряженных полей участвует в переходных процессах между стационарными состояниями кварковых систем.

В поляризационной теории фермионы имеют двухкомпонентную структуру. Возможны два вида кварковых систем. В физическом вакууме заряды кварков образуют четырехмерное пространство, формирующее 16 зарядовых состояния, из которых 15 являются независимыми. Кварковый 15-пет разделяется на нейтральное скалярное ядро из 12 кварков, локализованное в центрально-симметричном пространстве физического вакуума, и оболочку из трех кварков с разными цветовыми зарядами, находящуюся в сферически-симметричном его подпространстве, откуда они переходят в пространство Вселенной. Согласно [1], такую двухкомпонентную структуру имеют барионы, в состав которых входят пять бесцветных кварковых триплетов. Она позволила вычислить с хорошей точностью массу нуклонов [1]. На наличие у нуклонов ядра указывает существование минимального расстояния их сближения (0,4 Фм) при столкновениях.

Мезоны будем рассматривать как частицы, возникающие при поляризации времени и образуемые кварк-антикварковыми парами частицами двух вселенных. При поляризации в каждой из них возникают триплеты кварков (антикварков) с разными цветовыми зарядами (антизарядами), т.е. возможно образование девяти различных кварк-антикварковых пар. Из них восемь являются независимыми состояниями в центрально-симметричном пространстве физического вакуума, образуя ядро мезона, а одна пара, которую можно рассматривать условно как оболочку мезона, локализована в его сферически-симметричном подпространстве. В Стандартной модели эта кварк-антикварковая пара фигурирует как мезон. В поляризационной модели мезон рассматривается как связанная система девяти кварк-антикварковых пар, находящихся в двух подпространствах физического вакуума с разной симметрией. Эта локализация

делает возможным удержание кварков посредством *поляризационно-реактивной* силы, возникающей в физическом вакууме при отклонении обладающего массой физического объекта от поляризационного равновесия. Эта независящая от расстояния сила возникает, в частности, в процессе рождения безмассовых пар имеющих ненулевую массу покоя нейтральных и скалярных контрчастиц. Эти контрчастицы играют определяющую роль в пленении цвета и названы в [1] *пленами и неапленами*.

Так как в Стандартной модели, изучающей свойства частиц в пространстве Вселенной, процесс рождения частиц не рассматривается, то этот механизм удержания кварков отсутствует, и проблему их конфинмента решить нельзя.

Изменение механизма поляризации зарядов у мезона (по сравнению с барионом) приводит к тому, что все кварки получают одинаковый цветовой заряд, а антикварки – одинаковый его антизаряд. В поляризационной теории предполагается, что электрический ( $\pm e$ ) и цветовой ( $\pm c$ ) заряды удовлетворяет квадратичному поляризационному условию (3):  $e^2 + c^2 = 0$ , т.е. заряд всех кварков  $c = ie$ , а антикварков  $\bar{c} = -ie$ . Поэтому в действительном пространстве цветковые заряды и их антизаряды отталкиваются и не аннигилируют. Одинаковые же цветковые заряды притягиваются, приводя к поляризации цветковых зарядов и антизарядов, поскольку силы электрического отталкивания электрических зарядов кварков (антикварков) меньше. В предельном случае разделения зарядов образуется кварковый и антикварковый конденсаты, которые могут вращаться относительно центра мезона, удерживаясь на траектории вращения посредством поляризационно-реактивной силы. Как показано ниже, такое разделение конденсатов имеет место у водородоподобных мезонов.

Кварк-антикварковый состав ядра и оболочки мезона может быть различным: нейтральное ядро, по-видимому, формируется кварками первого поколения, а в состав оболочки могут входить кварки разных поколений. Поэтому возможны мезоны с разным соотношением масс синглета и октета кварков. Если синглет является легким кварком, то центробежная сила в мезоне определяется более массивным ядром. В противном случае, примером которого является водородоподобный мезон, динамика его кварков определяется находящимися в сферически-симметричном пространстве массивными синглетными кварком и его антикварком, и мезон можно приближенно рассматривать как двухчастичную структуру, вращающуюся относительно их общего центра.

Мы рассмотрим эти два предельных случая формирования мезонов и покажем, что поляризационная модель мезонов позволяет получить соотношения (1) и (2). Это можно рассматривать как подтверждение наличия в составе мезонов кварковых и антикварковых октетов, в мезонах Стандартной модели отсутствующих.

### **3. Удерживающая кварки поляризационно-реактивная сила**

Загадочным обстоятельством является то, что масса многих адронов значительно превышает массу образующих его кварков. Например, масса нуклонов на два порядка превышает массу трех его кварков, как принято считать, образующих нуклон. Ситуация не меняется и в случае учета кварков, локализованных в физическом вакууме, указывая на то, что в образовании адронов участвуют неизвестные массивные частицы, порождающие удерживающую кварки силу – пленон и неапленон. Они рождаются в физическом вакууме и вращаются вместе с октетами кварков и антикварков.

В поляризационной теории изменение действительных координаты и массы частицы реализуются соответственно в действительном ( $t$ ) и мнимом ( $i\tau$ ) временных подпространствах физического вакуума, удовлетворяющих поляризационному соотношению (3):  $t = \pm\tau$ . В поляризационной теории процесс изменения массы  $m$  частицы происходит при постоянном действии и является одноквантовым:

$$m(\tau)c^2(i\tau) = \pm i\hbar, \quad (4)$$

( $c$  – скорость света). Согласно (3), закон сохранения импульса  $mv$  в комплексном временном пространстве  $s = t + i\tau$ , приобретает вид

$$\left| \frac{d(mv)}{ds} \right| = \left| \frac{dm}{id\tau} v + m \frac{dv}{dt} \right| = 0.$$

Ускоряющая массу сила  $m \frac{dv}{dt}$  образуется вместе с ортогональной ей силой  $\pm \frac{dm}{d\tau} v$ . Это делает возможным рождение частиц, равновесное вращение которых (с постоянной угловой скоростью  $\omega$ ) определяется с учетом (4) уравнением

$$m\omega = \pm \frac{dm}{d\tau} = \pm \frac{m^2 c^2}{\hbar}. \quad (5)$$

Так как  $\omega = \frac{d\ln v}{dt} = \pm \frac{d\ln m}{id\tau}$ , то угловая скорость частицы определяет частоту изменения массы частицы:  $m = m_0 e^{\pm i\omega\tau}$ .

Когда массы рождающихся плена и негаклена достигают равновесного значения  $\pm m_0$ , они начинают излучать кванты скалярных полей. Возникающее нарушение поляризационного равновесия порождает поляризационно-реактивную силу, восстанавливающую равновесное значение массы, которое и определяет величину этой силы. При поляризации плена и негаклена новая масса не возникает, а поляризационно-реактивная центростремительная сила удваивается.

Если пленон-негакленонная пара вращается вместе с другими частицами, то образуется масса  $M$ , определяемая соотношением

$$M^2 = \frac{2m_0^2}{\beta^2} l,$$

где момент вращения частиц  $l = Mvr / \hbar$ , а  $\beta = v/c$ . Адроны содержат образующие плазменное состояние кварки, между цветовыми и электрическими зарядами которыми действуют силы притяжения и отталкивания. Это приводит к тому, что действие сил притяжения происходит на несколько меньших расстояний, чем отталкивание. Поэтому кварковая система адрона будет стремиться к сжатию, которому препятствует центробежная сила. Так как она компенсируется поляризационно-реактивной силой, то кварковая система адрона будет сжиматься до тех пор, пока поляризационно-реактивная сила не достигнет максимального значения, определяемого равновесной массой плена  $m_0$ .

Определим массу плена  $m_0$ . Согласно [1],  $d$ -мерное поляризованное комплексное пространство физического вакуума имеет  $k_d = 2^{(2^d)}$  пространственных состояний (подпространств), различающихся направлением хотя бы одного действительного или мнимого измерения. Так как процесс поляризационного образования частиц происходит парами, то в трехмерном комплексном пространстве число пространственных состояний пары частиц равно  $k_3^2 = k_4$ .

Будем рассматривать пленон как истинно нейтральную частицу, участвующую в удержании кварков адронов Вселенной и Антивселенной. Пленон-негакленонная пара

тогда будет локализована в пространстве физического вакуума квартета вселенных, а число ее пространственных состояний равно  $k_4^4 = k_6$ . Как и массы фундаментальных частиц (лептонов, кварков, промежуточных векторных бозонов), в поляризационной теории масса плена является производной от планковской массы  $m_p = \sqrt{\hbar c / G}$ . На каждое пространственное состояние плена приходится масса  $\pm m_p / k_6$ . Такова масса рождающейся неподвижной скалярной нейтральной частицы. Но участвующий в удержании кварков пленон является движущейся частицей. Как показано в [1, 10], масса  $m_1$  движущейся частицы, рождающейся в паре с неподвижной негачастицей с массой  $-m_2$ , равна  $m_1 = |m_2| \cos \theta_p$ , где  $\theta_p$  – поляризационный угол, определяющий скорость рождающейся частицы. Он зависит от спина частицы. Согласно [1, 10], в общем случае  $\beta = \sin \theta_p = 18^{-1/2} S$ , где  $S$  – значение спина, принимающего значения 1, 2, 3. При  $S = 1$  и 2 получаем соответственно углы Кабиббо  $\theta_c$  и Вайнберга  $\theta_w$ . При  $S = 3$  образуются скалярные нейтральные частицы с поляризационным углом  $\theta_p = \pi / 4$ , к которым относится пленон. Для него  $\beta^2 = 1/2$ . Поэтому для массы плена получаем значение

$$m_0^2 = \left(\frac{m_p}{k_6}\right)^2 \cos^2 \theta_p = \frac{\hbar c}{2k_7 G}; m_0 = 0,468 \text{ ГэВ}/c^2. \quad (6)$$

Если этот угол определяет скорость вращения октетов кварков и антикварков, то величина введенной выше массы  $M$  находится из соотношения

$$M^2 = (2m_0)^2 l, \quad (l = 1, 2, 3 \dots) \quad (7)$$

Полученное соотношение определяет массу частиц адрона, локализованных в физическом вакууме, если масса образующих адрон кварков много меньше  $m^* \equiv 2m_0 = 0,936 \text{ ГэВ}/c^2$ . Это значение близко к массе нуклонов, что, по-видимому, связано с тем, что все 15 его кварков принадлежат одному – первому – поколению кварков и располагаются в общем поляризационном пространстве, т.е. 12-плет ядра образован  $u$ - и  $d$ -кварками. Если в оболочке адрона содержатся кварки других поколений, располагающихся в своих пространствах, то в (7) их масса не учитывается. В мезоне эти кварки и антикварки являются синглетами, располагающимися в сферически-симметричном пространстве. При переходе в него мезона происходит изменение симметрии его группы  $SU(3) \rightarrow U(3)$  и увеличение размерности матричного представления с 8 до 9 и соответствующее увеличение массы кварка в 9/8 раз:  $m^* = 2,25m_0 = 1,053 \text{ ГэВ}/c^2$ . Это значение согласуется с (2). В случае присутствия в оболочке бариона кварков второго или третьего поколений происходит увеличение массы, обусловленное изменением групповой симметрии бариона  $SU(4) \rightarrow U(4)$ , приводящее к увеличению его массы в 16/15 раз, и числом кварков оболочки, находящихся в пространстве Вселенной. С учетом отношения чисел кварков бариона и его ядра значение  $m^*$  может увеличиться в  $\frac{5}{4} \frac{16}{15} = \frac{4}{3}$  раза и составить 1,248 ГэВ/ $c^2$ .

Во Вселенную барионное ядро переходит как единая частица, т.е. барион формируется четырьмя связанными частицами (ядром и тремя кварками оболочки) и при поляризации четырех квантов действия. Поэтому барион имеет больший размер, чем его ядро. Например, радиус протона  $R_p = \frac{4\hbar}{cm_p} = 0,84 \text{ Фм}$ . Это значение согласуется с измеренным среднеквадратичным распределением заряда протона и вчетверо превосходит радиус ядра. Поэтому при столкновении протоны могут сближаться до 0,42 Фм, когда в

контакт приходят их ядра и происходит резкое увеличение потенциала взаимодействия, наблюдаемое в эксперименте.

Таким образом, траектория Редже получает объяснение как следствие поляризационного механизма удержания локализованных в физическом вакууме вращающихся кварков. Их момент вращения дает вклад в спин адрона  $J$ . Обозначая момент вращения кварков ядра через  $L$ , суммарный спин кварков адрона через  $S$ , получим  $l = J - (L + S)$ .

**Интерпретация изоспина адрона.** Рождение кварков трех поколений происходит в разных поляризационных пространствах [1, 10]. Изоспин, определяющий число возможных модификаций адрона, ядро которого локализовано в пространстве частиц первого поколения, равен спину кварков первого поколения, располагающихся в оболочках адронов, так как спин ядра равен нулю. Спины, как и моменты, кварков и антикварков оболочек адронов являются действительными величинами и независимо от поляризационного пространства кварков и антикварков суммируются, образуя спин адрона.

Значения спина и изоспина у фундаментальных фермионов равны. У адронов, являющихся составными частицами, это равенство может не соблюдаться. Для мезонов, оболочки которых образованы кварками первого поколения, изоспин  $I = 0$  или  $1$ . В случае кварка и антикварка разных поколений,  $I = 1/2$  (например, у  $K$ -мезона).

У барионов, оболочка которых содержит три разноцветных кварка, появляется дополнительное значение  $I = 3/2$ . Когда все три кварка являются кварками первого поколения, изоспин  $I = 1/2$  (нуклон) и  $3/2$  ( $\Delta$ ). Для барионов с двумя кварками первого поколения  $I = 0$  ( $\Lambda, \Lambda_c$ ) и  $1$  ( $\Sigma, \Sigma_c$ ). У барионного синглета  $\Omega$  в оболочке три  $s$ -кварка, а у дублета  $\Xi$  – два.

#### 4. Водородободобные мезоны

**Определение массы.** Масса  $c$ -кварка равна  $1,275 \text{ ГэВ}/c^2$ , а масса  $b$ -кварка –  $4,18 \text{ ГэВ}/c^2$  [11]. Массы  $c-\bar{c}$ - и  $b-\bar{b}$ -мезонов составляют соответственно  $3,097 \text{ ГэВ}/c^2$  и  $9,46 \text{ ГэВ}/c^2$ . Если масса синглетных кварков мезона превышает  $2m_0 \approx 1 \text{ ГэВ}/c^2$ , которая больше массы кварков ядра, то скорость вращения октета кварков ядра и пленонов будет определяться скоростью синглетных кварков, получаемой при их рождении. Согласно [1, 10], эта скорость  $c$ -кварка определяется поляризационным углом  $\theta_c$ , а  $b$ -кварка – углом  $\theta_b$ . Это приводит к снижению удерживающей кварки поляризационно-реактивной силы пропорционально  $\mu = \sin\theta_{c,W}/\sin\theta_p$ . Уравнение (7) для массы ядра мезона трансформируется к виду:

$$M = (2m_0)\sqrt{l\mu}$$

Для  $c-\bar{c}$ -мезона  $l = 1$ ,  $\mu = 1/3$  и  $M(c) = 0,54 \text{ ГэВ}/c^2$ . Его масса равна  $2M_c + M(c) = 3,09 \text{ ГэВ}/c^2$ . Соответственно для  $b-\bar{b}$ -мезона  $l = 2$ ,  $\mu = 2/3$  и  $M(b) = 2M(c) = 1,08 \text{ ГэВ}/c^2$ , а значение его массы  $2M_b + M(b) = 9,44 \text{ ГэВ}/c^2$ . Полученные расчетные значения мезонных масс с точностью около  $10^{-3}$  согласуются с их экспериментальными значениями, погрешность определения которых больше, т.е. имеет место согласие поляризационной модели  $c-\bar{c}$ - и  $b-\bar{b}$ -мезонов и эксперимента. Это еще одно подтверждение поляризационного механизма конфайнмента.



**Потенциал водородоподобных мезонов.** То, что предположение о разделении кварковых и антикварковых октетов в водородоподобных мезонах выполняется, означает, что в первом приближении в водородоподобных мезонах потенциал, определяющий равновесные состояния мезонного семейства, складывается из кулоновского потенциала притяжения девяти цветовых зарядов (антизарядов) кваркового конденсата и линейного потенциала удерживающей его кварки поляризационно-реактивной силы.

Далее будем рассматривать только кварковую компоненту, имея в виду, что в силу идентичности состава кварков и антикварков, потенциал (1) у этих компонент одинаков.

Кварковая компонента мезонов занимают объем радиуса  $r$ , внутри которого находится  $N$  цветовых зарядов. Потенциальная энергия их притяжения равна

$$U_q = -\frac{e^2 N^2}{r}. \quad (8)$$

Таков же потенциал антикваркового конденсата. Если предположить, что октет кварков состоит из квартетов  $u$ - и  $d$ -кварков, то его масса равна примерно  $30 \text{ ГэВ}/c^2$  (около 2% массы  $c$ -кварка), а электрический заряд равен  $4/3e$ . Электрический кулоновский потенциал октета составляет около 2% от потенциала (8). Поэтому в первом приближении вкладом электрического взаимодействия будем пренебрегать.

Потенциал центростремительной поляризационно-реактивной силы равен

$$\Phi = \frac{2m_0^2 c^3 \beta}{\hbar} r, \quad (9)$$

Он соответствует второму слагаемому потенциала (1), удерживающему кварки на больших расстояниях. Значение  $\beta$  синглетных кварков  $c-\bar{c}$ -мезона определяется поляризационным углом Кабиббо  $\theta_c$ :

$$\beta = \sin \theta_c = 1/3\sqrt{2} = 0,2357.$$

В случае  $b$ -кварка значение  $\beta$  вдвое больше, так как его скорость определяется поляризационным углом Вайнберга:  $\beta = \sin \theta_w = \sqrt{2}/3$ .

С учетом (6) потенциальная энергия  $c-\bar{c}$ -мезонов приобретает вид (1):

$$U_p = -\frac{e^2 N^2}{r} + \frac{c^4 \sin \theta_c}{k_7 G} r; \quad N = 9. \quad (10)$$

Теперь мы можем определить константы потенциала (1) и сравнить потенциал (10) с потенциалом на рис.1:

$$A = U_p(r \rightarrow 0) = N^2 e^2 \approx 0,117 \text{ ГэВФм};$$

$$B = \frac{dU_p}{dr}(r \rightarrow \infty) = \frac{c^4 \sin \theta_c}{k_7 G} \approx 0,52 \text{ ГэВ} / \text{Фм};$$

$$r(U_p = 0) = \frac{Nk_6 e}{c^2} \sqrt{\frac{G}{\sin \theta_c}} = 0,472 \text{ Фм}.$$

Эти значения дают для  $c-\bar{c}$ -мезона потенциал  $U_p(r)$ , близкий к представленному на рис.1 потенциалу  $U(r)$ , хорошо описывающему спектры водородоподобных мезонов [6]. Некоторые значения  $U_p(r)$  приведены в табл. 1. В согласии с опытными данными  $U_p(r)$  не зависит от массы кварков мезона. Полученное согласие можно рассматривать как подтверждение двухструктурного строения мезонов, одной из структур которого являются локализованные в физическом вакууме октеты кварков и антикварков. Оно

также подтверждает поляризационный механизм удержания кварков, обусловленный поляризацией в физическом вакууме пленон-негапленонных пар (линейный член потенциала).

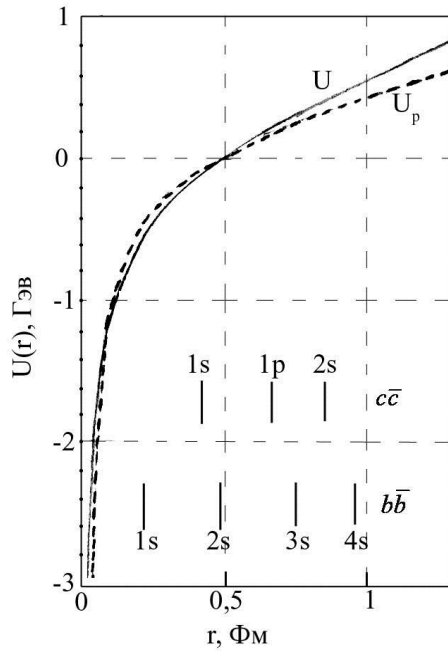


Рис.1. Потенциал  $U(r)$ , характеризующий взаимодействие тяжелых пар кварк-антикварк, в частности  $c-\bar{c}$  и  $b-\bar{b}$  [6];  $U_p(r)$  – потенциал  $c-\bar{c}$ -мезонов, с поляризационным удержанием кварков и антикварков.

Табл. 1. Поляризационный потенциал  $c-\bar{c}$ -мезона.

$r(\text{Фм})$	0,04	0,05	0,1	0,2	0,5	1	1,3
$U_p(\text{ГэВ})$	-2,98	-2,37	-1,15	-0,5	0,02	0,4	0,58

Как известно [12], в сферически-симметричном пространстве вращение микрочастицы с массой  $m$  и моментом  $l$  дает вклад в потенциальную энергию  $\frac{\hbar^2 l(l+1)}{m r^2}$ . В равновесном состоянии центробежная сила, действующая на вращающиеся кварки, обратно пропорциональна кубу радиуса мезона  $r$ . Она компенсируется кулоновским притяжением цветовых зарядов кварков и поляризационно-реактивной силой, от радиуса мезона не зависящей. Поэтому при нарушении равновесия, вызванным расширением  $c-\bar{c}$ -мезона, отношение центробежной силы к центростремительной поляризационно-реактивной силе становится меньше, т.е. равновесие мезона относительно разлета кварков является устойчивым. Этот механизм конфайнмента имеет место у всех адронов.

Для  $b-\bar{b}$ -мезона  $U_p(r)$  будет превышать значение  $U(r)$  на рис. 1. Вдвое большее значение его поляризационного угла приводит уменьшению примерно в два раза радиусов одинаковых состояний (1S, 2S и др.), что отражает рис. 1.

Таким образом, получено количественное подтверждение применимости рассмотренной 18-кварковой модели мезонов для определения масс и описания спектральных свойств  $c-\bar{c}$ - и  $b-\bar{b}$ -мезонов. Показано, что основными факторами,

определяющими свойства этих мезонов, являются взаимодействие цветowych зарядов и поляризационно-реактивная сила, а не янг-миллсовские поля КХД.

## 5. Заключение

В рамках нового – поляризационного – подхода показано, что механизм удержания кварков адронов обусловлен поляризационно-реактивной силой, независимой от размера адрона. Она делает равновесное состояние адрона устойчивым относительно разлета кварков под действием центробежной силы, которая при разлете уменьшается. Поляризационно-реактивная сила возникает в результате образования в физическом вакууме безмассовых пар истинно нейтральных скалярных частиц с положительной и отрицательной массой, расчетное значение которой равно  $\pm 0,468 \text{ ГэВ}/c^2$ . Экспериментально эти частицы физического вакуума, названные *пленами* и *негапленами*, не обнаружены, но полученное согласие рассмотренной поляризационной модели адронов с опытными данными свидетельствует в пользу их существования.

В поляризационной модели барионы представляют собой двухкомпонентную структуру, состоящую из 12-кварковой скалярной нейтральной подсистемы (ядра), располагающейся в центрально-симметричном действительном подпространстве физического вакуума, и трехкварковой подсистемы (оболочки), расположенной в сферически-симметричном пространстве Вселенной и определяющей виды барионов. Структура мезона более сложная. Одна его подсистема – ядро – состоит из восьми кварков и восьми антикварков, находящихся в действительном подпространстве физического вакуума, где между кварками и их антикварками действует сила отталкивания. Девятые кварк и антикварк мезона, формирующие его оболочку в сферически-симметричном пространстве Вселенной, являются синглетами и определяют виды мезонов.

Состав ядер адронов неизвестен, но можно предположить, что он формируется кварками и антикварками первого поколения. Показано, что значительная разница между массами адронов и составляющих их кварков и антикварков обусловлена массами пленонов и негапленонов и зависит от момента вращения ядра адрона. Поэтому масса адрона оказывается зависящей от момента вращения ядра, что проявляется в траектории Редже. Для адронов, образованных легкими кварками, масса ядра намного превосходит суммарную массу кварков адронов.

В водородоподобных  $c\bar{c}$ - и  $b\bar{b}$ -мезонах масса кварков и антикварков оболочки превышает массу кварков ядра и пленонов, и потому скорость рождения кварков оболочки мезона определяет скорости вращения кварков его ядра и пленон-негапленонных пар. Эта модель позволила рассчитать массы  $c\bar{c}$ - и  $b\bar{b}$ -мезонов, согласующиеся с их экспериментальными значениями в пределах погрешности измерения. Спектр квантовых состояний этих мезонов определяется потенциалом независимой от расстояния поляризационно-реактивной силы и кулоновским потенциалом притяжения цветowych зарядов. Эта модель удовлетворительно согласуется с опытным спектром возбужденных состояний водородоподобных  $c\bar{c}$ - и  $b\bar{b}$ -мезонов, подтверждая двухструктурный состав мезонов.

Показано, что изотопический спин известных адронов определяется спинами синглетных кварков и антикварков первого поколения.

Таким образом, рассмотренная поляризация модель адронов показывает, что для согласия с опытными данными адроны должны состоять из оболочечной подсистемы кварковых частиц, которая находится и определяет виды адронов, и скалярной и нейтральной бозонной подсистемы (ядра), определяющей спектр адронов соответствующего вида.

Пленение цвета – главная загадка КХД, но её разгадка, как следует из данной работы, лежит, возможно, вне КХД.

### Список литературы

1. Чернуха В.В., Поляризация теория Мироздания. Атомэнергоиздат, Москва (2008), 658 с.
2. Физическая энциклопедия, **5**, 213. Советская энциклопедия, Москва (1998).
3. Polyakov A.M., Nucl. Phys., **120 B**, 429 (1997).
4. Mandelstam S., Phys. Reports, **23 C**, 245 (1977).
5. Makeenko Ю.М., УФН, **143**, 161 (1984).
6. Готфрид К., Вайскопф В., Концепция физики элементарных частиц. Мир, Москва (1988), 240 с.
7. Физическая энциклопедия, **4**, 304. Советская энциклопедия, Москва (1994).
8. Физическая энциклопедия, **2**, 22. Советская энциклопедия, Москва (1990).
9. Физическая энциклопедия, **5**, 11. Советская энциклопедия, Москва (1998).
10. Чернуха В.В., О природе массы и зарядов фундаментальных частиц;  
[www.ptm2008.ru](http://www.ptm2008.ru)
11. Чернуха В.В., Поляризация теория объединения фундаментальных взаимодействий; [www.ptm2008.ru](http://www.ptm2008.ru).
12. Ландау Л.Д. и Лифшиц Е.М., Квантовая механика (нерелятивистская теория), ГИФМЛ, Москва (1963).

**02.03.2014. Изменения внесены 16.08.2017.**

## On polarization nature of confinement in hadrons

### Annotation

When considering the nature of confinement (color retention), a polarization approach is used, according to which hadrons have a two-structure composition: a neutral scalar subsystem localized in the space of the physical vacuum, and a subsystem located in the space of the Universe and determining the types of hadron. Due to the change in the mass of neutral scalar bosons (their calculated mass is  $\pm 468 \text{ MeV} / c^2$ ), the polarization-reactive force independent of the distance keeps quarks and antiquarks in the hadron. The participation of these bosons in the formation of hadrons leads to the fact that their mass is greater than the total mass of the quarks and antiquarks that form them. A polarization substantiation of the Regge trajectories of hadrons that do not contain heavy quarks is given. The  $c-\bar{c}$ -meson and  $b-\bar{b}$ -meson masses that are consistent with their experimental values and also the potential that describes the spectra of the families of the  $c-\bar{c}$ - и  $b-\bar{b}$ -meson are calculated.