

СУБСТАНЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОТОНА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ГЕОМЕТРОДИНАМИКИ ДЖ. УИЛЕРА

E-mail: belyakov.lih@gmail.com

В обзорной статье представлена структура протона в рамках модели, основанной на механистической интерпретации геометродинамики Уилера. Показано, что данная модель дает физически оправданное истолкование понятиям, введенным в квантовой хромодинамике, - «кварки», «цвет», исключает проблему конфайнмента и др. Рассчитаны основные параметры протона, в том числе его масса, магнитный момент, время жизни, разность масс протона и нейтрона и выведено аналитическое выражение для его радиуса. Определены типичные времена жизни различных классов элементарных частиц. Успешное применение модели дает основания полагать, что она может быть использована для построения более рациональной теории сильных взаимодействий взамен КХД.

1 Введение

Внутренняя структура элементарных частиц, в частности, протона и их взаимодействия между собой рассматриваются в теории сильных взаимодействий (квантовой хромодинамике). В КХД отсутствуют полные субстанциональные модели рассматриваемых физических систем; взамен вводятся идеализированные виртуальные частицы и квазичастицы (кварки, глюоны), а также привлекаются понятия абстрактного образа («цвет»). КХД основывается лишь на наблюдаемых свойствах адронов, при взаимодействиях которых должны одновременно выполняться многочисленные законы сохранения и перераспределения: количества вещества, энергии, импульса, момента импульса, электрического заряда, магнитного потока и др. и соблюдаться различные условия.

В отсутствие сущностных реальных моделей элементарных частиц в стандартной теории используется подход квантовой механики: свойства кварков и адронов просто описываются с помощью волновых функций и комбинаторики унитарной симметрии. Правила комбинирования выведены формально на математическом аппарате квантовой теории поля и подтверждены экспериментами (при наличии 17 параметров, невыводимых из теории). Однако, почему они физически таковы - неизвестно. В частности, неизвестно, почему кварки способны существовать только в связанном состоянии («конфайнмент»), что признается одной из семи проблем тысячелетия.

В настоящей статье показана возможность замены абстрактных понятий КХД применительно к элементарным частицам на их реальные физические параметры. В отличие от квантовой теории, утверждающей, что микроявления никак не могут быть поняты с точки зрения масштабов нашего мира, механистическая интерпретация идеи Уилера прежде всего предполагает наличие единых или аналогичных природных закономерностей, которые воспроизводятся на различных масштабных уровнях материи. Эти закономерности или, по крайней мере, их макроанalogии выявляются в структуре элементарных частиц. Поэтому есть основания полагать, что модель, основанная на идеи Уилера, может быть использована для построения более рациональной теории сильных взаимодействий взамен КХД.

2 О макроаналогиях

По Уилеру заряды рассматриваются как особые точки на поверхности, соединенные «червоточинной» или вихревыми трубками тока по типу сток-исток, образующими в целом замкнутый контур, вдоль которого циркулирует физический вакуум или некоторая среда. С чисто механистической точки зрения *заряд* пропорционален количеству движения этой среды по

контур вихревой трубки тока, *спин*, соответственно, моменту количества движения относительно продольной оси контура, а *магнитное взаимодействие* между проводниками аналогично силам, действующим между трубками тока. В работе [1] показана возможность и целесообразность введения «безкулоновой» системы единиц и замены кулона импульсом. Такой подход позволяет применять известные физические макроанalogии. Единичным элементом в модели для пространства и среды становится элемент с массой и размером электрона m_e и r_e и вихревая трубка с погонной плотностью $\varepsilon_0 = m_e / r_e$.

Микрочастицы уподобляются вихревым образованиям в жидкости, где вихревая воронка (условно поверхность X) является *аналогом фермиона* с массой m_x , а вихревая нить под поверхностью вглубь (условно область Y) - *аналогом бозона* с массой m_y , длиной l_y , окружной скоростью v . Вихревая нить в свою очередь способна, скручиваясь в спираль, образовывать последующие структуры (трубки тока). В реальной среде эти структуры осциллируют, переходя друг в друга (осцилляция осцилляторов); предполагается, что при этом происходит «упаковка» бозонной нити в фермионную форму. По-видимому, частицы-фермионы сохраняют бозонную часть с половинным спином, определяющую их магнитные и спиновые свойства, а в бозонной форме спин восстанавливается до целого значения.

По известной физической аналогии вихревая трубка контура, пересекая поверхность жидкости, создает кольцевые волны или *контур последующего порядка*. Так могут существовать взаимосвязанные контуры. Поэтому любой частице соответствуют два квантовых числа в зависимости от того, рассматривается ли она как фермион - аналог протона в составе большего контура последующего семейства или как бозонная масса контура предшествующего семейства частиц. Таким образом, как показано в [2], образуются *три поколения* элементарных частиц и более быть не может. Сама же микрочастица уже не рассматривается как точечный объект и характеризуется параметрами ее собственного контура с квантовым числом n .

Параметры бозонной вихревой нити (или контура с массой M) определены в безразмерных единицах: в долях от массы электрона, его классического радиуса и скорости света:

$$m_y = l_y = (an)^2, \quad (1)$$

$$v = c_0^{1/3} / (an)^2, \quad (2)$$

$$r = c_0^{2/3} / (an)^4, \quad (3)$$

где c_0 - безразмерная скорость света, равная $c / [m/c]$, a - обратная постоянной тонкой структуры.

В работе [3] рассматривается замкнутый протон-электронный контур. Из условия равенства энергии движения среды по контуру Mv^2 и предельной энергии электрона $m_e c^2$ определено *численное значение заряда* как импульса вихревой трубки тока и величина проекционного угла, дополнительного к углу *Вайнберга* $q_w \approx 28.7^\circ$. Такой контур является «стандартным», его главное квантовое число $n = c_0^{1/3} / a = 4.884$, масса $M = c_0^{2/3} = 4.48 \times 10^5$, а величина заряда (импульса)

$$e_0 = m_e c_0^{4/3} \cos q_w \times [m/c] = 1.602 \times 10^{-19} \text{ кгм/с} . \quad (4)$$

Можно утверждать, что вихревая трубка тока образована тремя вихревыми нитями, вращающимися вокруг общей продольной оси. Их суммарная масса M приблизительно равна суммарной *массе* W, Z - *бозонов*. Эти нити являются конечными структурами и обладают по

необходимости правым, левым и последняя, очевидно двойная, суммарно нулевым вращением. Их можно ассоциировать с векторными бозонами W^+, W^-, Z^0 .

Из условия равновесия магнитных и инерционных (центробежных) сил для вращающихся вихревых нитей с однонаправленными токами выведена их *окружная скорость* v_0 [2]. Для единичных параметров:

$$v_0 = r_e / (2\pi)^{1/2} \times [c] = 1.124 \times 10^{-15} \text{ м/с}, \quad (5)$$

причем эта скорость не зависит от длины вихревых нитей и расстояния между ними. То есть, при наличии какой-то массы и длины, бозонные вихревые трубки *не имеют определенной конфигурации и формы*. Последнее указывает как на отличие бозонных вихревых трубок от своего физического аналога, так и является физической причиной отличия их от фермионов в том, что бозоны не подчиняются принципу запрета Паули.

3 Протон и его параметры

В работе [2] показано, что при предельно плотной упаковке бозонной нити в фермионную форму собственные квантовые числа протона и электрона имеют значения:

$$n_p = (2c_0 / a^5)^{1/4} = 0.3338, \quad n_e = (2c_0 / a^5)^{1/8} = 0.5777, \quad (6, 7)$$

причем соотношение между массами протона m_p (или любого фермиона с массой m_x и квантовым числом n_x) и электрона имеет вид:

$$m_x = (n_e / n_x)^{14}. \quad (8)$$

Оказывается (при незначительных упрощениях), что для протона его фермионная и бозонная массы равны, $m_x = m_y = 2090$, что является причиной устойчивости протона и наличия у него минимальной барионной массы. С корректировкой косинусом угла Вайнберга относительная масса протона определяется достаточно точно, т. е. $m_p = 2090 \times \cos q_w = 1836$.

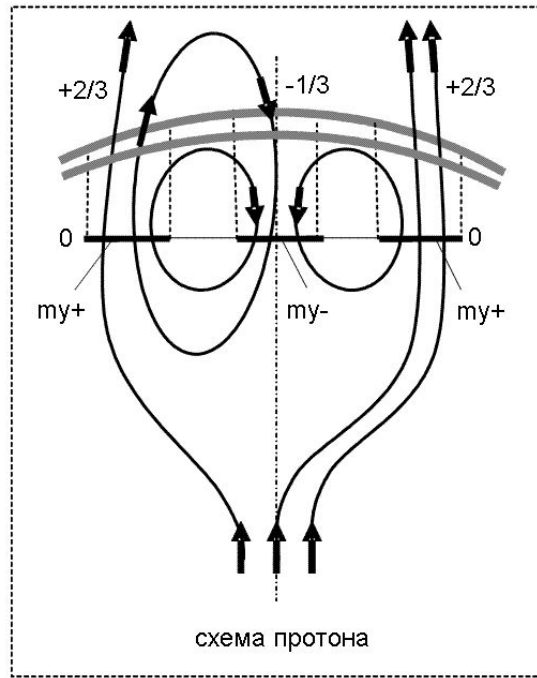
Заряженная частица, входящая в циркуляционный контур, является местом пересечения потоком среды границы между областями X и Y, где происходит фазовое превращение с выравниванием фермионной и бозонной плотностей и приобретение параметрами среды *критических значений* плотности и скорости. Значения этих критических параметров можно приписать некоторой квазичастице - *кварку*, существующей лишь в области фазового перехода, который по сути является частью массы протона, приобретшей критические параметры. Причем соблюдение критических параметров при энергии стандартного контура $m_e c^2$ требует расщепления потока общего контура в области протона на *три* части (расчетное значение 3.2). При этих условиях суммарная масса кварков $m_k = 12.9$. В то же время, как показано в [2] и [4], эта масса зависит от условий взаимодействия и может принимать минимальное значение, равное массе электрона.

Условия неразрывности потока и постоянство заряда в любом сечении контура (по три силовые линии) требуют возникновения *обратных циркуляционных токов* в области протона, что может быть интерпретировано как наличие в протоне зон с различным знаком заряда. Используя минимальное число неповторяющихся силовых линий, распределение токов в протоне схематично выражено единственным образом, как показано на рисунке.

Как видно, существуют два критических сечения с условно плюсовым движением тока (на схеме вверх) и одно с минусовым (на схеме вниз), причем общему току контура на схеме соответствуют три линии тока. Поэтому фермионная поверхность протона может быть таковой, что для наружного наблюдателя области пересечения силовыми линиями критических

сечений на линии 0 – 0 внутри протона будут проецироваться на поверхность протона в виде $+2/3$, $+2/3$, $-1/3$ от полного заряда в соответствии с числом и направлением силовых линий, пересекающих эту поверхность.

Более правильным было бы кварки ассоциировать не с критическими сечениями, а с устойчивыми *кольцевыми токами*, содержащими, как следует из схемы, один или два замкнутых единичных контура, пересекающих критические сечения.



Очевидно, что части протона, в критическом сечении имеющие скорость c и радиус r_e , должны обладать бозонными вихревыми трубками такой длины l_y , чтобы их собственный импульс был равен импульсу (заряду) электрона e_0 . Принимая, что погонная плотность вихревой трубки для критических условий пропорциональна средней массе кварка $m_k/3$, можно записать:

$$(m_k/3)(m_e/r_e)l_y r_e c = e_0. \quad (9)$$

Имея в виду, что в безкулоновой системе заряд имеет размерность импульса и подставляя известные величины параметров, находим $l_y = 136.4$. Таким образом, относительная длина бозонной части фактически равна a , ее невозбужденная масса - am_e , соответственно, момент импульса для вихревой трубки (спин) равен $am_e r_e c = \hbar/2\pi = \hbar$. Таким образом, внутри протона обнаруживаются структуры, имеющие относительные длину l_y и бозонную массу m_y , численно равные a , и спин, равный $\hbar$. По-видимому, пары таких бозонных трубок с массой, равной массе пиона, и с противоположенным вращением, компенсирующим спин, в зависимости от направления импульса токов может образовывать семейство пионов и входить в состав других мезонов, которые, как предполагается, существуют в близком окружении протона в виде виртуальной мезонной «шубы».

Магнитный момент протона μ_p в данной модели рассчитывается в соответствии с его определением, где μ_p есть произведение (заряд×скорость×путь) и определяется бозонной конфигурацией протона. Окружная скорость вихревой нити относительно оси Y есть v , путь - πr . Раскрывая v и r через (2) и (3), в итоге получаем:

$$\mu_p = \pi c_0 e_0 c r_e / (a n_p)^6 = 1.39 \times 10^{-26} \text{ ам}^2. \quad (10)$$

Для электрона путь есть радиус Бора, и (10) принимает вид:

$$\mu_e = \pi c_0 e_0 c R_B / (a n_e)^6 = 9.30 \times 10^{-24} \text{ ам}^2. \quad (11)$$

Что касается магнитного момента нейтрона, то при удалении трех плюсовых незамкнутых линий тока он меняет знак и уменьшается до двух третей от протонного пропорционально числу пересечений критических сечений линиями тока (шесть вместо девяти, существовавших в протоне, см. рис.) и равен $-0,92 \times 10^{-26} \text{ ам}^2$. Полученные значения незначительно отличаются от фактических, т. к. параметры n_p и n_e определены при некоторых упрощениях.

Разность масс нейтрона и протона возникает за счет приобретения нейтроном дополнительной массы-энергии при поглощении протоном электрона. В [2] предположено, что в переходном состоянии между протоном и нейтроном один из кварковых контуров находится на пересечении областей X и Y и, становясь осесимметричным, увеличивается до максимальной величины m_m . В этом случае, имея в виду (1) и (3), его параметры $l_y = r = c_0^{2/9} = m_m = 76.5$. Разность кинетических энергий вращения возбужденного контура и исходного кваркового контура со средней массой $m_k/2$ должна соответствовать (при корректировке косинусом угла Вайнберга) разнице масс протона и нейтрона Δm .

$$(m_m v_m^2 - m_k v_k^2 / 2) \cos q_w = \Delta m. \quad (12)$$

Действительно, исходя из их относительных масс 76.5 и 12.9 / 2 и вычисляя по (8) и (2) их квантовые числа и скорости, в итоге при подстановке всех величин в (12), находим $\Delta m = 2.51$, что совпадает с фактическим значением (2.53).

Точный размер протона был определен в недавних экспериментах [5]. Знаменательно, что в рамках данной модели, которая не использует сложного математического аппарата и, по сути, является не физико-математической, а скорее физико-логической моделью, удалось получить для размера протона аналитическую формулу, только исходя из общих закономерностей.

Так, в работе [6] было установлено, что единичный контур или вихревая трубка, имеющие импульс, эквивалентный заряду электрона, содержат $n_i = 3$ единичных вихревых нитей и получено выражение:

$$n_i = \frac{\{(m_e c_0^{2/3} r_e / ((2\pi)^{1/2} \times [c^2])\}^{1/3}}{\{(2\pi)^{1/2} \gamma m_e^2 / r_e^2\}^{1/3}} = 2.973 \approx 3. \quad (13)$$

Выражение представляет собой корень кубический отношения сил инерции, возникающих при ускорении бозонной массы стандартного контура и действующих по направлению к периферии (величина $r_e / ((2\pi)^{1/2} \times [c])$ есть скорость вращения вихревых нитей относительно продольной оси контура), к силам гравитации, действующим между массами величиной m_e

на расстоянии r_e . Числитель есть величина постоянная, поэтому выражение зависит только от сил гравитации, т. е. от взаимодействующих масс и расстояния между ними. В работе [4] показано, что это отношение (или его модификация для произвольных m и r) может служить эквивалентом *константы связи*, т. к. указывает на прочность связей между элементами структуры протона (кварками).

Более того, именно равенство указанных сил определяет радиус протона r_p и дает возможность получить точное аналитическое выражение при условии $m_k = m_e$. Уточняя формулу (13) в предположении, что кварки расположены в углах правильного треугольника и на каждый из них действует сумма двух проекций сил, а r_p есть размер описанной окружности, запишем ее в виде равенства динамических и гравитационных сил:

$$m_e c_0^{2/3} r_e / (2\pi \times [c^2]) = 2 \sin 60^\circ \gamma m_e^2 / (r_p \sin 60^\circ)^2, \quad (14)$$

откуда получаем:

$$r_p = (8\pi\gamma\epsilon_0)^{1/2} \times [c] / (3^{1/4} c_0^{1/3}) = 0.836 \times 10^{-15} \text{ м}, \quad (15)$$

что точно совпадает с величиной зарядового радиуса протона, полученной в последних экспериментах (0.833 femtometers, with an uncertainty of ± 0.010 femtometers [5]). Таким образом, находящаяся в области Y и как бы скрытая бозонная масса стандартного контура величиной $m_e c_0^{2/3}$, определяет не только заряд и спин протона, но и его радиус. Отметим, что этот радиус определен для протона в составе водорода, а не для одиночного протона, где, возможно, он будет большим. Важно, что в формуле (15) присутствует гравитационная постоянная; в работах [2], [7], [8] показана необходимость введения гравитации в микромир, в частности, для определения массы нейтрино.

Таким образом, внутреннее строение протона характеризуется набором параметров, достаточным для описания сильного взаимодействия. Понятия дробного заряда, кварков и цвета находят свое физическое представление. Действительно, имеются два различных кольцевых тока или контура (кварки u и d), силовые линии которых проецируются на внешнюю поверхность протона в виде дробных зарядов, и три различных критических сечения («цветные» кварки). Причем, как токи контуров могут быть направлены в противоположном направлении, образуя антикварки, так и вихревые трубки в критических сечениях могут иметь противоположное направление вращения, создавая «антицвет». Очевидно, что предлагаемое строение протона в виде уникальной конфигурации силовых линий уже не нуждается в существовании конфайнмента, а, следовательно, и в заполнении области протона «морем» виртуальных кварков и глюонами.

По сути, предлагается концепция, берущая начало из гидродинамики непрерывных невязких сред, и эта аналогия оказалось правильной. Более того, установлено, что и скорость света может быть рассчитана по уравнению, описывающему распространения волны на поверхности жидкости [9].

4 О времени жизни элементарных частиц

Вероятность распада микрочастиц и времена их жизни зависят от многих факторов. Важнейшим из них является тип взаимодействия (электромагнитное, слабое, сильное), которое ответственно за происходящий распад. Времена жизни элементарных частиц отличаются чрезвычайно сильно: $10^{-6} \dots 10^{-25}$ секунд, причем большая их часть сгруппирована по своим временам жизни в довольно узких интервалах. В данной модели есть объективные параметры,

которые позволяют оценить время жизни различных классов микрочастиц. Далее приведены расчетные величины, в общем, соответствующие средним временам жизни для эти классов.

Время жизни микрочастиц t (кроме резонансов и W , Z бозонов) можно оценить как время обегания со скоростью v всей длины «растянутого», контура [7] :

$$t = (a^8 n^8 / c_0) r_e / c . \quad (16)$$

Но W , Z бозоны и резонансы распадаются еще до образования конечной спиральной структуры, т.е. являются как бы не вполне частицами. Самое короткое время распада у W , Z бозонов, и оно определяется временем обегания со скоростью света окружности вихревой трубки электрона по радиусу r . Имея в виду (3),

$$t_{min} = \pi (r_e / c) (c_0^{2/3} / (a n_e)^4) = 3.4 \times 10^{-25} c . \quad (17)$$

У многочисленных *резонансов* время жизни хорошо коррелирует со временем прохождения со скоростью света величины радиуса контура $l_y / 2 \pi$. Так как $l_y = m_y$, то

$$t = m_y r_e / 2 \pi c . \quad (18)$$

Например, для Y , J/Ψ , η' – частиц с массами $m_y = 19700, 6056, 1074$ $t = 2.95 \times 10^{-20}, 0.91 \times 10^{-20}, 0.30 \times 10^{-20}$ секунд.

В группе *тяжелых адронов* частицы содержат нестабильные тяжелые кварки, и распадаются путем быстрых слабых распадов. Тогда в формуле (16) для слабого распада n должно быть минимальным, т.е. равным 1.643 [7], и $t = 2.1 \times 10^{-13}$ секунд.

Легкие и “странные” адроны являются более устойчивыми, и в формуле (16) параметр n должен иметь значение собственного Y - контура [4]. Для группы в среднем $n \approx 3.5$, и $t \approx 10^{-10}$ секунд.

Частицы, распадающиеся за счет *сильного взаимодействия*, например η и π^0 – частицы, живут только в пределах собственного контура протона или электрона. Поэтому для них t при подстановке значений n_p и n_e в (16) составляет около 6×10^{-19} и 5×10^{-17} секунд.

Наконец, при *электромагнитном распаде* легких заряженных частиц (пионы, каоны) успевает образоваться контур с большим n и, соответственно, с наибольшим значением t .

Что касается времени жизни *нейтрона*, то в [2] оно определено, исходя из предположения, что нейтрон постепенно теряет приобретенную массу-энергию $\Delta m c^2$ долями $m_e v^2 c^2$ за время на каждую долю, равное периоду обращения вихревых нитей внутри трубки тока r_e / v_0 . Имея в виду (2) и (5), получаем продолжительность рассеивания полной энергии нейтроном :

$$t = (2\pi)^{1/2} (\Delta m / \cos q_w) (a^4 n_e^4 / c_0^{2/3}) \times [c] = 629 c . \quad (19)$$

Та же продолжительность определяется постоянной времени — временем возвращения возбужденного осесимметричного контура общей длиной $\pi c_0^{2/9}$ в исходное состояние по причине вращения составляющих его силовых линий со скоростью v_0 :

$$t = \pi c_0^{2/9} r_e / v_0 = 604 c . \quad (20)$$

Время полураспада нейтрона $t_{1/2} \approx 609$ секунд. Таким образом, согласованность формул (12), (19), (20) между собой, а их результатов с фактическими значениями времени жизни

нейтрона и разности масс нейтрона и протона подтверждают принятую модель протон-нейтронных переходов.

5 Заключение

В ряде статей, касающихся микромира и, в частности, свойств протона, установлено, что существует только три поколения элементарных частиц. Определены параметры протона (масса, магнитный момент, зарядовый радиус, время жизни протона, разность масс протона и нейтрона), предложено физическое объяснение таких абстрактных образов, как кварки и их конфайнмент, «цвет», пионная «шуба» и др. Результаты получены в рамках элементарной модели, основанной на механистической интерпретации геометродинамики Уилера. При этом использовались только балансы между основными взаимодействиями и общие закономерности, причем без добавления каких-либо эмпирических коэффициентов.

Модель может быть использована как основа для построения теории сильных взаимодействий, альтернативной КХД. В возможной новой теории интерпретация понятий и полученных результатов, положенных в основу данной модели, может быть выполнена в терминах электродинамики (или каких-то иных) на основе подходящего математического аппарата.

Литература

1. Belyakov A.V. On the Uniform Dimension System. Is There the Necessity for Coulomb? *Progress in Physics*, 2013, v.3, 142–143.
2. Belyakov A.V. Macro-analogies and gravitation in the micro-world: further elaboration of Wheeler's model of geometrodynamics. *Progress in Physics*, 2012, v.2, 47–57.
3. Belyakov A.V. Charge of the electron, and the constants of radiation according to J.A.Wheeler's geometrodynamic model. *Progress in Physics*, 2010, v.4, 90–94.
4. Belyakov A.V. Nuclear Power and the Structure of a Nucleus According to J.Wheeler's Geometrodynamic Concept. *Progress in Physics*, 2015, v.11, 89–98.
5. Bezginov N., Valdez T., Horbatsch M., Marsman A., Vutha A.C., Hessels E.A. A measurement of the atomic hydrogen Lamb shift and the proton charge radius. *Science*, 06 Sep 2019: Vol. 365, Issue 6457, pp. 1007-1012, DOI: 10.1126/science.aau7807.
6. Belyakov A.V. On Materiality and Dimensionality of the Space. Is There Some Unit of the Field? *Progress in Physics*, 2014, v.10, 203–206.
7. Belyakov A.V. Gravity in the Microworld. *Progress in Physics*, 2020, v.16, 58–61.
8. Belyakov A.V. Determination of the Neutrino Mass. *Progress in Physics*, 2016, v.12, 34–38.
9. Belyakov A.V. On the Speed of Light and the Continuity of Physical Vacuum. *Progress in Physics*, 2018, v.14, 211–212.