

ДРОБНОЗАРЯЖЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ И НЕВЫЛЕТАНИЕ КВАРКОВ

М. Ю. Хлопов

Предложен новый класс дробнозаряженных частиц, которые не являются свободными кварками, но представляют собой связанные системы обычных дробнозаряженных и новых электрически нейтральных кварков. Анализируются возможности поиска таких частиц на ускорителях. Кратко обсуждается их космологическая эволюция.

Одним из примечательных свойств кварков является дробный электрический заряд. Это свойство обычно используется в экспериментах по поиску свободных кварков [1]. Однако развитие квантовой хромодинамики выделило в понятии свободного кварка другой аспект — цветовые степени свободы. Отсутствие кварков в свободном состоянии является в этом смысле проявлением конфайнмента по цвету, так что обнаружение дробнозаряженных частиц казалось бы должно противоречить абсолютному характеру конфайнмента [2, 3]. Цель настоящей статьи — показать, что наличие свободных дробнозаряженных частиц может не противоречить абсолютному невылечанию кварков.

Действительно, если существуют новые электрически нейтральные кварки, их связанные системы с обычными кварками представляли бы собой дробнозаряженные частицы. Такая возможность возникает в рамках предложенной недавно Окуном [4] гипотезы об Y -веществе новых Y -частицах, взаимодействующих с обычными (O -частицами) только гравитационно, но обладающих своими Y -взаимодействиями, аналогичными слабому, электромагнитному или сильному взаимодействию обычных частиц. Наряду с Y -частицами рассматриваются X -частицы — обладающие как взаимодействиями O -частиц, так и Y -взаимодействиями. Гипотеза Окуна [4] могла бы реализоваться, например, в рамках единой калибровочной модели

$$G_{OXY} = G_{W-S} \times SU(3)_c \times G_Y, \quad (1)$$

где $G_{W-S} = SU(2) \times U(1)$ — калибровочная группа обычного единого слабого и электромагнитного взаимодействия; $SU(3)_c$ — калибровочная симметрия сильного цветового взаимодействия, а G_Y — новая калибровочная симметрия, отвечающая единому Y -взаимодействию. При спонтанном нарушении G_Y до $U(1)_{YEM}$ в схеме (1) возникает новое дальнее действие — гипотетический " Y -электромагнетизм", связанный с новым абсолютно сохраняющимся " Y -электрическим зарядом". G_Y в схеме (1) отвечает Y -аналогу обычного слабо-электромагнитного взаимодействия, фермионы, взаимодействующие только с калибровочными бозонами G_Y (Y -бозонами) будут Y -частицами (Y -лептонами), а цветные фермионы, взаимодействующие с Y -бозонами, являются X -частицами (X -кварки). Все известные кварки и лептоны являются O -частицами и не обладают прямым взаимодействием с Y -бозонами (W_Y, γ_Y).

Схема (1) подобна схеме [5] с общим сильным взаимодействием. В работе [5] было показано, что такая схема противоречит наблюдениям при точной симметрии G_{W-S} и G_Y — в этом случае O и X кварковые мезоны оказываются вырожденными по массе¹⁾, возникает $\pi - \pi_Y$ смешивание и т. д. Однако, по современным представлениям (см. [7]) масса голых кварков по-видимому связана с параметрами спонтанного нарушения G_{W-S} и, соответственно, G_Y . Эти параметры в обеих группах могут сильно отличаться и, например, самый легкий из X -кварков может иметь массу $m_x \gtrsim 20$ ГэВ, так что эффекты вырождения [5] не возникают. При таком несимметричном спонтанном нарушении G_{W-S} и G_Y схема (1) не противоречит наблюдениям.

Предположим абсолютный конфайнмент кварков. При этом в схеме (1) наряду с обычными адронами, образованными обычными кварками, предсказываются $O\bar{X}$ - и $X\bar{X}$ -мезоны, а также OOX -, $O\bar{X}X$ - и XXX -барионы — белые связанные состояния X -кварков. Легко видеть, что $O\bar{X}$ -мезоны, OOX - и $O\bar{X}X$ -барионы будут наблюдаться как дробнозаряженные частицы (фрактоны).

В схеме (1) фрактоны (X -адроны) могут образовываться главным образом в адронных процессах за счет двухглюонного механизма $gg \rightarrow X\bar{X}$. В процессах e^+e^- -аннигиляции в адроны пары X -кварков могут

¹⁾ В схеме [6] массы дробно заряженных "хидронов" также оказываются близки к массам обычных адронов, что исключается [6] наблюдениями.

образовываться только за счет переходов через $2g$ состояния, и вероятность таких переходов подавлена по крайней мере фактором $\alpha_c^2 (m_X^2)^{-1} \sim 4 \cdot 10^{-2}$. $X\bar{X}$ -мезоны и XXX -барионы по своим свойствам подобны глюонию, они могут содержать море пар легких O -кварков, в то время как в O -адронах примесь пар X -кварков в море ничтожна, вследствие большой массы X -кварков.

Вклад Y -взаимодействий в процессы с O -частицами может быть связан с $2g \rightarrow 2\gamma\gamma$ или $3g \rightarrow \gamma\gamma$ переходами через виртуальные пары X -кварков. Такой вклад сильно подавлен при импульсах $\ll m_X$ аналогично случаю Θ -взаимодействий [7].

Согласно схеме (1) поиск дробнозаряженных частиц предпочтительно вести в адронных процессах при высоких энергиях. Это предсказание качественно отличается от схемы со свободными дробнозаряженными кварками [8], согласно которой поиск свободных кварков предпочтительно вести в процессах e^+e^- -аннигиляции в адроны.

Самые легкие XX , XO -мезоны и XOO -, XXO - и XXX -барионы – абсолютно стабильны. Согласно теории горячей Вселенной такие частицы должны были образовываться на ранних стадиях космологической эволюции и сохраниться к настоящему времени в окружающем веществе. Расчеты закаленной концентрации кварков в ранней Вселенной [9] давали нижний предел, на несколько порядков величины превосходящий ограничения на распространенность реликтовых кварков [1]. Казалось бы такое же противоречие должно возникать и для XO -, XOO - и XXO -адронов. Однако в отличие от свободных кварков фрактоны дополнительно обладают Y -взаимодействиями, что может привести к уменьшению относительного содержания фрактонов в веществе в ходе образования неоднородностей. Такое уменьшение может быть связано с тем, что 1) фрактоны могут быть распределены более однородно, нежели O -вещество, 2) фрактоны могут преимущественно конденсироваться в неоднородности Y -вещества и 3) в случае зарядовой симметрии по X -кваркам $n_X = n_{\bar{X}}$ в неоднородностях O -вещества возможна дополнительная аннигиляция фрактонов (например $(u\bar{X}) + (u u X) \rightarrow \pi^+ + p$). Такая аннигиляция может быть эффективной даже при малых температурах и в том случае, когда значительная доля X -адронов содержится в O -ядрах, так как "Y-электромагнитное" притяжение X - \bar{X} -кварков может компенсировать кулоновское отталкивание O -ядер. Эффекты 1) – 3) могут уменьшить содержание фрактонов в веществе до величины, не противоречащей существующим ограничениям на концентрацию дробнозаряженных частиц [1], при закаленной концентрации фрактонов, отвечающей расчетам [3].

В рамках более широкой, чем I группы симметрии, включающей также и Y -цветовое взаимодействие

$$G_{OXY} = G_{W-S} \times SU(3)_c \times G_Y \times G_{Yc} \quad (2)$$

могут возникать фрактоны другого типа: при абсолютном конфайнменте по Y -цвету могут возникать "Y-адроны" типа $(\bar{u}_Y Q_Y)$, где \bar{u}_Y – Y -кварки, не имеющие с O -частицами никаких общих взаимодействий кроме гравитационного, а Q_Y – Y -цветные состояния с дробным электрическим зарядом. Такие фрактоны будут наблюдаться как дробно-

заряженные лептоны (X -лептоны) со своим новым сильным взаимодействием и могут образовываться в электромагнитных процессах (например, в e^+e^- -аннигиляции).

Гипотеза фрактонов может представлять собой интересную альтернативу при интерпретации экспериментальных указаний на возможное существование дробнозаряженных частиц [10].

Я благодарен А.Г.Дорошкевичу, Я.Б.Зельдовичу и Л.Б.Окуню за ценные обсуждения.

Институт прикладной математики
им. М.В.Келдыша
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
20 ноября 1980 г.

Литература

- [1] L.W.Jones. Phys. Rev., D17, 1462, 1978.
 - [2] A.DeRujula, R.C.Giles, R.L.Jaffe. Phys. Rev., D17, 285, 1978.
 - [3] R.V.Wagoner, G.Steigman. Phys. Rev., D20, 825, 1979.
 - [4] Л.Б.Окунь. ЖЭТФ, 78, 840, 1980.
 - [5] И.Ю.Кобзарев, Л.Б.Окунь, И.Я.Померанчук. ЯФ, 3, 1154, 1968.
 - [6] Л.Б.Окунь, М.А.Шифман. Препринт ИТЭФ-62, 1979.
 - [7] Л.Б.Окунь. Письма в ЖЭТФ, 31, 156, 1980.
 - [8] J.Ogear. Phys. Rev., D20, 340, 1979.
 - [9] Я.Б.Зельдович, Л.Б.Окунь, С.Б.Пикельнер. УФН, 84, 113, 1965.
 - [10] G.S.LaRue, W.M.Fairbank, A.F.Hebard. Phys. Rev. Lett., 38, 1011, 1977.
-