

FİZİKA

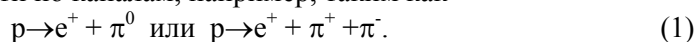
О ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ ПРОТОНА

А.Г.КЯЗЫМ-ЗАДЕ

Бакинский Государственный Университет

Рассмотрен вопрос о вычислении вероятности распада протона с участием X и Y частицы. Введением понятие виртуальных орбит у «кваркового атома», состоящего из u и d кварка, вычислено точное значение времени жизни протона, которое составляет величину $\tau_p = 2^{136} \text{ с} = 8,711 \cdot 10^{40} \text{ с} = 2,76 \cdot 10^{33}$ лет. Предложена новая формула для вычисления времени жизни протона в $SU(5)$ модели великого объединения. Значение τ_p , вычисленное по этой формуле, хорошо согласуется с указанным точным значением в мире, содержащем 18 кварковых ароматов.

1. Известно, что одним из предсказаний теории великого объединения (ТВО) является распад протона [1-3]. Возможность этого процесса связана с тем, что в модели великого объединения и лептоны, и кварки на равных правах входят в один мультиплет группы $SU(5)$, причем между ними разрешены переходы с участием X - и Y -бозонов. Поэтому обмен X - и Y -бозонами может привести к процессу, идущему с нарушением законов сохранения барионного B и лептонного L чисел. Считается, что при этом сохраняется разности барионного и лептонного чисел $B-L$. Распад протона при этом может идти по каналам, например, таким как



Другие возможные каналы распада протона более подробно описаны в [2]. Обмен X - и Y - бозонами для процесса распада протона сводится к эффективному четырехфермионному взаимодействию с размерной константой, пропорциональной α_{GU} / M_x^2 (аналогично четырехфермионному слабому взаимодействию, порождаемому обменом массивных W -бозоном). При этом, время жизни протона теоретически оценивается из размерных соображений по формуле (в системе единиц, в которой $\hbar = c = 1$)

$$\tau_p = G \cdot \frac{M_x^4}{\alpha_{GU}^2 \cdot m_p^5}, \quad (2)$$

где $\alpha_{GU} \approx 1/40$ константа великого объединения, $M_x = 10^{14} \div 10^{15}$ ГэВ-масса X -бозона, m_p – масса протона, которая вошла в ответ, поскольку энергвыделение в распаде примерно равно m_p , а G -безразмерный коэффициент, вычисление которого требует тщательного анализа и зависит от деталей кварковой структуры протона. Разные модели этой структуры дают для G значения от 0,3 до 30, причем наиболее надежными представляются оценки $G \approx 0,3 \div 1$. В различных вариантах ТВО время жизни протона оценивается как $\tau_p = 10^{31} \div 10^{32}$ лет. Однако накопленные к настоящему времени экспериментальные результаты показывают, что по крайней мере $\tau_p^{эксн} > 3 \cdot 10^{32}$ лет, а самая последняя оценка показывает, что $\tau_p^{эксн} > 1,6 \cdot 10^{33}$ лет [4]. В то же время отмечается [3], что ни одна из строящихся установок не могла бы зарегистрировать распад протона, если $\tau_p > 10^{34}$ лет. Многие специалисты считают, что приведенное экспериментальное значение τ_p исключает простейшую $SU(5)$ модель великого объединения с минимальным набором частиц, но не исключает более сложные варианты великого объединения.

В данной работе на основе простых соображений получено точное значение времени жизни протона, которое составляет $\tau_p = 2,76 \cdot 10^{33}$ лет.

2. Сначала рассмотрим атом водорода в Боровском приближении. Известно, что в этом приближении на каждой Боровской орбите де-Бройлевская длина волны электрона располагается целый раз. Нетрудно убедиться также в том, что на основной Боровской орбите атома водорода, комптоновская длина волны $\lambda_e = \frac{\hbar}{m_0 c}$ электрона располагается $\alpha_e^{-1} \approx 137$ раза, т.е.:

$$a_0 = \frac{\hbar}{m_0 c \alpha_e} \approx 137 \frac{\hbar}{m_0 c}, \quad (3)$$

где a_0 - радиус орбиты, α_e - константа электромагнитного взаимодействия. Согласно квантовой механики [5], вероятность нахождения электрона на расстоянии между r и $r+dr$ от ядра в любом направлении определяется соотношением

$$w(r)dr = 4\pi |N|^2 r^2 e^{-\frac{2r}{a_0}} dr, \quad (4)$$

где N -нормирующий множитель. Плотность вероятности $w(r)$ достигает максимума при $r = a_0$, обращается в нуль при $r = 0$ и асимптотически стремится к нулю при $r \rightarrow \infty$. Таким образом, вообще говоря, имеется опреде-

ленная вероятность найти электрон на любом расстоянии от ядра – между 0 и ∞ . Но, с другой стороны известно, что из-за вакуумной поляризации, электрон всегда окружается виртуальными электронами и позитронами, расположенными на расстоянии $\tilde{\lambda}_e$ друг от друга. Поэтому можно принять, что электроны, как частицы, могут отстоять друг от друга лишь на расстоянии $n\tilde{\lambda}_e$, где n -целый множитель. Не нарушая общность, можно ввести также понятие виртуальных орбит, расположенных на расстоянии $n\tilde{\lambda}_e$ от основного состояния атома водорода в сторону ядра, где $n=1,2,\dots,137$. При таком определении виртуальная орбита с номером $n=137$ совпадает с основной Боровской орбитой, а радиус виртуальной орбиты с номером $n=1$ равен $\tilde{\lambda}_e$.

Рассмотрим процесс спонтанного перехода электрона между указанными виртуальными орбитами. Поскольку в виртуальных процессах не требуется никакой корреляции по отношению к энергии, можно принять, что переход электрона из виртуального состояния с номером n в виртуальное состояние с номером $n-1$ или $n+1$ происходит с одинаковой вероятностью $W_{n, n-1} = W_{n, n+1} = 0,5$. Тогда ясно, что вероятность спонтанного перехода электрона из основного состояния атома водорода в виртуальное состояние с номером n определяется соотношением

$$W = \frac{1}{2^{137-n}} \quad (5)$$

и при $n=1$ составляет величину $W=2^{-136}$. Отметим, что эта вероятность гораздо меньше, чем вероятность нахождения электрона на расстоянии $\tilde{\lambda}_e$ от ядра, вычисленной по формуле (4). По-видимому, это связано с тем, что в отличие от формулы (4), по формуле (5) вычисляется вероятность спонтанного перехода электрона, как частицы, в виртуальное состояние с номером n .

3. Известно, что протон состоит из трех разноцветных кварков: два u кварка с положительным электрическим зарядом $(2/3)e$ и один d кварк с отрицательным электрическим зарядом $-(1/3)e$. Естественно можно считать, что всегда есть вероятность того, что один u кварк и d кварк за счет электромагнитного взаимодействия составляют связанное состояние – «кварковый атом» - с радиусом основного состояния

$$a_q = \frac{\hbar}{\mu c k \alpha_e} \approx 137k \frac{\hbar}{\mu c}, \quad (6)$$

где $\kappa=2/9$ – зарядовый множитель, $\mu = \frac{m_u m_d}{m_u + m_d}$ – приведенная масса,

$\lambda_i = \frac{\hbar}{\mu c}$ – «Комптоновская длина волны» кварка с приведенной массы μ .

Аналогично вышесказанному можно ввести понятие виртуальных орбит, расположенных на расстоянии $n\lambda_i$ от основного состояния «кваркового атома» в сторону центрального кварка. Для простоты допустим, что центральным кварком является u кварк. Тогда ясно, что вероятность спонтанного перехода d кварка, как частицы, в виртуальное состояние с номером $n = 1$ составляет величину $W = 2^{-136}$. Если принять, что появление d кварка на виртуальной орбите с номером $n=1$ неизбежно приводит к распаду протона (см. ниже), то легко можно понять, что вероятность распада, т.е. доля частиц dN/N некоторого ансамбля, распадающейся в единицу времени

$$W = \frac{-1}{N} \cdot \frac{dN}{dt} = 2^{-136} c^{-1}, \quad (7)$$

где N - число протонов, а время жизни протона получает значение

$$\tau_p = \frac{1}{W} = 2^{136} c = 8,711 \cdot 10^{40} c = 2,76 \cdot 10^{33} \text{ лет.} \quad (8)$$

4. Рассмотрим возможность распада протона при появлении d кварка на виртуальной орбите с номером $n=1$. На указанной виртуальной орбите, d кварк становится локализованным в области пространства с размером порядка его «комптоновской длины волны» и неопределенность его координаты $\Delta x \approx \lambda_i$. Тогда неопределенность импульса d кварка, которую можно оценить из соотношения Гейзенберга $\lambda_i \cdot \Delta p \geq \hbar$, составляет $\Delta p \geq \mu c$. Но это означает, что неопределенность энергии d кварка при этом оказывается сравнимой с его энергией покоя μc^2 и, следовательно, в этих условиях, в принципе, могут происходить процессы рождения кварк-антикварковых пар. Однако ясно, что эти пары возникают на расстоянии λ_i от d кварка и их орбита проходит непосредственно через центр «кваркового атома». По-видимому, при этом антикварк \bar{d} аннигилируется с исходным d кварком, а созданный d кварк находится на расстоянии от u кварка, меньшем, чем характерный размер великого объединения. При таких расстояниях становится возможным рождение X и Y бозонов, сопровождающееся обязательным распадом протона по каналам, указанным выше.

5. В [6] нами рассмотрен вопрос об объединении фундаментальных взаимодействий природы в мире, содержащем 18 кварковых ароматов. Показано, что в рассмотренном мире исчезает понятие асимптотиче-

ской свободы и «бегущие» константы сильного, слабого и электромагнитного (вернее $(8/3)\alpha_e$ или $\alpha_1(Q) = C^2 (g'(Q))^2 / 4\pi$, где C -коэффициент Клебша-Гордона, g' -константа группы $U(1)$ слабого гиперзаряда) взаимодействия увеличиваются с ростом переданного импульса. В результате этого все три константы сливаются в одну константу великого объединения $\alpha_{GU}(M_X) = 1/6$ при массе $M_X = 5,47984 \cdot 10^{14}$ ГэВ. «Бегущая» константа электромагнитного взаимодействия α_e при этом получает точное значение $\alpha_e(M_X) = 1/16$. С учетом этих значений для времени жизни протона без учета радиационных поправок получаем значение $\tau_p \approx 8,632 \cdot 10^{40}$ с, если его определить по формуле

$$\tau_p = \frac{\hbar}{m_e c^2} \left(\frac{M_X}{m_p} \right)^4 \frac{1}{\alpha_e(M_X) \alpha_{GU}(M_X)^2}, \quad (9)$$

где m_e - масса электрона. Это значение τ_p хорошо согласуется со значением (8). Небольшое различие, по-видимому, может быть устранено с учетом радиационных поправок.

В естественной системе единиц, в которой $\hbar = c = 1$, формула (9) совпадает с формулой (2), если коэффициент G определить в виде

$$G = \frac{m_p}{m_e \alpha_e(M_X)} = \frac{1}{\beta \alpha_e(M_X)}, \quad (10)$$

где $\beta = m_e / m_p$. По-видимому, вычисление времени жизни протона по формуле (9) исключает трудности, связанные с использованием простейшей группы $SU(5)$ с минимальным набором частиц в модели великого объединения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джорджи Х. Единая теория элементарных частиц и сил. УФН, 136, 287 (1982).
2. Вайнберг С. Распад протона. УФН, 137, 151 (1982).
3. Окунь Л.Б. Физика элементарных частиц. М., Наука, 1988, 272 с.
4. Shiozawa M. et. al., Phys. Rev.Lett., 81,3319 (1998).
5. Шпольский Э.В. Атомная физика, Т.П М., Наука, 1984, с.214.
6. Кязым-заде А.Г. Вестник БГУ, №-1, 93, 2004.

PROTONUN YAŞAMA MÜDDƏTİ HAQQINDA

A.H.KAZIMZADƏ

ANNOTASIYA

X və Y hissəciklərinin iştirakı ilə protonun parçalanma ehtimalının hesablanması məsələsinə baxılmışdır. u və d kvarkdan ibarət olan «kvark atomunda» virtual orbitlər anlayışı daxil etməklə protonun yaşama müddətinin dəqiq qiyməti hesablanmışdır. Protonun yaşama müddəti üçün $\tau_p = 2^{136}$ san. = $8,711 \cdot 10^{40}$ san. = $2,76 \cdot 10^{33}$ il qiyməti alınmışdır. Böyük birləşmənin $SU(5)$ modelində protonun yaşama müddətini hesablamaq üçün yeni düstur təklif edilmişdir. 18 kvark aromatu olan dünyada τ_p -nin bu düsturla hesablanan qiyməti, onun yuxarıda göstərilən qiymətinə yaxşı uyğun gəlir.

ON THE LIFE TIME OF PROTON

A.G.KYAZIM-ZADE

ABSTRACT

The question on calculation of probability of proton decay with participation of X and Y particles is considered. The exact value of life time of a proton is calculated by introduction the concept of virtual orbits at “quark atom”, consisting from u and d quarks, which is about $\tau_p = 2^{136}$ s. = $8,711 \cdot 10^{40}$ s. = $2,76 \cdot 10^{33}$ year. The new formula for calculation of life time of a proton in $SU(5)$ models of Grand Unification is offered. The value of τ_p , calculated on this formula is agree with the specified exact value in the world containing 18 quark aromats.