

ДИНАМИЧЕСКАЯ МАССА КВАРКОВ В МОДЕЛИ МЕШКА

А.А. Быков

Рассмотрено влияние динамической массы кварков на уровни энергии и волновые функции кварков в модели мешка. Показано, что поправки к этим величинам, обусловленные динамической массой, не превосходят 1% и при современной точности не могут быть обнаружены экспериментально.

В работе /1/ для изучения спектроскопии тяжелых кваркониев предложен потенциал, обладающий особенностью типа "ступеньки" в лоренц-скалярной части, возникновение которой связано с переходом токовых кварков в конститuentные. Там же был вычислен ряд характеристик кваркониев, значения которых позволяют определить, справедливо ли сделанное предположение о виде потенциала кварк-антикваркового взаимодействия.

Однако все предлагаемые в работе /1/ критерии относятся только к тяжелым системам, содержащим кварки и антикварки b или t . Естественно возникает вопрос: можно ли проследить влияние динамической массы кварков на экспериментально наблюдаемые характеристики адронов, содержащих легкие кварки u, d, s ?

Для описания свойств адронов, составленных из легких кварков, давно и успешно применяется модель мешка (см., например, обзор /2/). В стандартной модели статического сферически симметричного мешка MIT считается, что непертурбативное взаимодействие кварков и глюонов приводит к формированию границы мешка, за пределы которой кварки не проникают (точнее, поток кварков через границу мешка равен нулю). Различным модам кваркового поля внутри мешка соответствуют различные состояния адронов (основное, возбужденное и т.д.), а обмен пертурбативными глюонами приводит к тонкому и сверхтонкому расщеплению в мультиплете.

Предположим, что непертурбативное взаимодействие кварков и глюонов приводит не только к формированию границы мешка, но и к нарушению киральной симметрии, т.е. к возникновению у кварков отличной от нуля массы /3/. Причем масштабы, отвечающие нарушению киральной симметрии и удержанию (формированию мешка), различны и относятся примерно как 1:5. Поэтому будем считать, что в сферически симметричном мешке радиуса R имеется сферически симметричная область (кор) радиуса r_0 , в пределах которой кварки являются токовыми (значениями токовой массы для кварков u и d в этой области пренебрежем). За пределами кора на "периферии" мешка кварки имеют конститuentные значения масс $m_{u,d} \approx 300$ МэВ, $m_s \approx 450$ МэВ.

Для нахождения собственных значений энергии и волновых функций кварков в мешке необходимо решить уравнения Дирака

$$\begin{aligned} (\gamma_0 E - i\vec{\gamma} \vec{\nabla})\Psi_1(r) &= 0 \quad \text{при } r \leq r_0, \\ (\gamma_0 E - i\vec{\gamma} \vec{\nabla} + m_k)\Psi_2(r) &= 0 \quad \text{при } r_0 \leq r \leq R \end{aligned} \quad (1)$$

с граничными условиями

$$\begin{aligned} \Psi_1(r=r_0) &= \Psi_2(r=r_0), \\ \frac{\partial \Psi_1}{\partial r} \Big|_{r=r_0} &= \frac{\partial \Psi_2}{\partial r} \Big|_{r=r_0}, \\ \Psi_2(r=R) &= -i\vec{\gamma} \vec{n} \Psi_2(r) \Big|_{\text{на границе}} \end{aligned} \quad (2)$$

Условия непрерывности волновой функции и ее первой производной по радиусу в точке $r = r_0$ приводят к уравнению на собственные значения энергии:

$$\begin{aligned}
& (\cos z - \sin z/z) \left[\cos y \left(\sin x + \frac{\kappa}{E + m_k} (\cos x - \sin x/x) \right) - \sin y \left(\cos x - \frac{\kappa}{E + m_k} (\sin x + \cos x/x) \right) \right] = \\
& = \sin z \frac{\kappa}{E + m_k} \left[(\cos y - \sin y/y) \left(\cos x - \frac{\kappa}{E + m_k} (\sin x + \cos x/x) \right) + (\sin y + \cos y/y) \left(\sin x + \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + \frac{\kappa}{E + m_k} (\cos x - \sin x/x) \right) \right], \quad (3)
\end{aligned}$$

где $z = E r_0$, $x = \kappa R$, $y = \kappa r_0$, $\kappa = \sqrt{E^2 - m_k^2}$. Здесь m_k — конститuentная масса кварков u, d ; R — радиус сферически симметричного статического мешка; r_0 — радиус кора; E — собственное значение энергии. Аналогично, накладывая условия (2) и требование нормировки, нетрудно вычислить волновую функцию кварка в мешке. Из-за громоздкости аналитического выражения для волновой функции и особенно ее нормировочного множителя их явный вид не приводится.

Уравнение (3) на собственные значения E решено с помощью ЭВМ для нескольких наборов параметров R, m_k и r_0 и вычислены волновые функции. В табл. 1 приведены некоторые из собственных значений энергии основного состояния E_0 , а также значения волновых функций в точках $r = 0$. Там же для сравнения помещены результаты, полученные в рамках стандартного мешка MIT.

Таблица 1
Уровни энергии и значения волновых функций кварков в мешке

R, Фм	r_0 , Фм	m_k , ГэВ	E_0 , ГэВ*	$\Psi(r=0)$, ГэВ ^{3/2}
1	0,05	0,30	<u>0,585</u>	<u>0,274/√4π</u>
			0,584	0,272/√4π
1	0,10	0,30	<u>0,584</u>	<u>0,272/√4π</u>
			0,584	0,272/√4π
1	0,15	0,30	<u>0,582</u>	<u>0,271/√4π</u>
			0,584	0,272/√4π

* Цифры под чертой отвечают стандартной модели MIT.

Итак, для выяснения влияния динамической массы кварков на экспериментально наблюдаемые характеристики адронов, состоящих из легких кварков, была использована модифицированная модель мешка. Изменение состояло в допущении в центре мешка области, в пределах которой кварки являются токовыми, в то время как на периферии мешка они конститuentные. Результаты расчетов показывают, что величина поправок, обусловленных динамической массой кварков, оказывается порядка 1%. Таким образом, учет перехода токовых кварков в конститuentные в адронах, содержащих легкие кварки, не приводит к каким-либо наблюдаемым следствиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быков А. А., Дремин И. М. Письма в ЖЭТФ, 42, № 3, 146 (1985).
2. Thomas A. W. CERN-preprint, TH 3368-CERN. TRI-PP-82-29 (1982).
3. Carneiro C. E. I., Mc Dougall N. A. Nucl. Phys., B245, 293 (1984).

Поступила в редакцию 17 ноября 1986 г.