

12159



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАДА
P2 - 12159

А.Е.Дорохов

РАСЧЕТ СПЕКТРА МЕЗОНОВ
В КВАРКОВОЙ МОДЕЛИ

1979

P2 - 12159

А.Е.Дорохов

РАСЧЕТ СПЕКТРА МЕЗОНОВ
В КВАРКОВОЙ МОДЕЛИ

ОИЯИ
БИБЛИОТЕКА

Расчет спектра мезонов в кварковой модели

На основе модели квазинезависимых кварков рассчитывается спектр векторных мезонов. Для расчета используется уравнение Дирака с ограничивающим потенциалом, являющимся комбинацией кулоновского и линейного членов и преобразующимся как лоренцев скаляр. Из предположения о независимости потенциала от кварковых квантовых чисел описывается спектр ρ, ψ, D, γ мезонов. С помощью введения понятия "усредненный кварк" описываются и предсказываются мезоны, состоящие из кварков с различными массами. Массы всех известных частиц отклоняются от вычисленных менее чем на 5%. Такую же ошибку можно предположить и для предсказанных частиц.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1979

Calculation of the Meson Spectrum within the Quark Model

Based on the model of quasi-independent quarks, we calculate the spectrum of vector mesons. The calculation uses the Dirac equation with the confining potential which is a combination of the Coulomb and linear terms and transforms as the Lorentz scalar. The spectrum of ρ, ψ, D, γ mesons is described by assuming the independence of the potential of quark quantum numbers. Introducing the concept of "averaged quark" we describe the mesons consisting of quarks with different masses. Masses of all known particles deviate from the calculated ones less than by 5%. The same deviation may be supposed for the predicted particles, too.

The investigation has been performed at the Laboratory of Theoretical Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

Цель данной работы - нахождение спектра векторных мезонов на основе решения уравнения Дирака с потенциалом, линейно растущим с расстоянием. Мы будем пользоваться моделью квазинезависимых кварков, предложенной в работе [1]. В ней считается, что кварки в адроне являются квазинезависимыми частицами, движущимися в самосогласованном поле $V(r)$ и подчиняющимся уравнению Дирака. Эта модель содержит все основные черты предложенной позднее модели "мешков" [2]. Как было показано в работах [3], задача двух тел может быть сведена в некотором пределе к уравнению Дирака.

В этой работе мы решаем уравнение Дирака, которое может быть записано в форме:

$$[\gamma^i P^i - \gamma_0 E + m + V(r)] \Psi = 0, \quad /1/$$

для кварка с массой m в поле

$$V(r) = -\frac{\alpha}{r} + \beta r \quad (\alpha, \beta > 0), \quad /2/$$

Предполагается, что потенциал $V(r)$ ведет себя при преобразованиях Лоренца как скаляр.

Для уравнения /1/ величины J^2 , J_z и $K = \gamma_0(\vec{\sigma} \vec{L} + 1)$ являются интегралами движения, поэтому рассматриваем собственные функции операторов J^2 , J_z , K и H . Соответствующие волновые функции обозначим, как обычно:

$$\Psi_{\epsilon j l m}(\vec{r}) = \begin{pmatrix} g(r) & \Omega_{j l m}(\vec{n}) \\ i f(r) & \Omega_{j l' m}(\vec{n}) \end{pmatrix},$$

где $\Omega_{j\ell m}$ - шаровой спинор, $\ell' = 2j - \ell$, $\vec{n} = \frac{\vec{r}}{r}$; $g(r)$ и $f(r)$ - радиальные функции. Для радиальных функций имеем систему двух уравнений:

$$\frac{d(rg(r))}{dr} + \frac{K}{r}(rg(r)) - (E + m + V(r))(rf(r)) = 0$$

$$\frac{d(rf(r))}{dr} - \frac{K}{r}(rf(r)) + (E - m - V(r))(rg(r)) = 0, \quad /3/$$

где

$$K = \begin{cases} -(\ell+1) & j = \ell + \frac{1}{2} \\ \ell & j = \ell - \frac{1}{2} \end{cases}$$

При $r \rightarrow 0$ получается следующее поведение функций:

$$rg(r) \sim r^{\delta}, \quad rf(r) \sim r^{\delta'}$$

где $\delta = \sqrt{K^2 + \alpha^2}$, в отличие от $\delta = \sqrt{K^2 - \alpha^2}$ в случае, когда кулоновский член потенциала $/2/ - \frac{\alpha}{r}$ преобразуется как четвертая компонента 4-вектора. При $r \rightarrow \infty$ функции $rg(r)$ и $rf(r)$ быстро стремятся к нулю. Если же линейный член потенциала $/2/ \beta r$ преобразуется как четвертая компонента 4-вектора, то возникает парадокс Клейна, и функции приобретают осциллирующий характер асимптотического поведения. При этом система кварк-антикварк ($q\bar{q}$) не имеет связанных состояний ^{/4/}.

С помощью решения задачи на собственные значения для системы /3/ на ЭВМ можно описать спектр векторных мезонов.

Считая, что $\Psi /3,1/$ и $\Psi' /3,7/$ являются основным и первым возбужденным состояниями с $\ell = 0$ и выбирая массу очарованного кварка равной $m_c = 1,58 \text{ ГэВ}$, получим параметры потенциала: $\alpha = 0,46$, $\beta = 0,063 [\text{ГэВ}]^2$. При этих параметрах получается спектр Ψ частиц, который приведен в табл. 1.

Таблица 1

n	$\ell=0$	$\ell=1$	$\ell=2$
1	3,096	3,554	3,805
2	3,684	3,929	4,113
3	4,035	4,220	4,371
4	4,313		

Спектр Ψ -мезонов / $m_c = 1,58 \text{ ГэВ}/$.

Аналогичная процедура проделана с ρ -мезонами, для которых предполагалось, что $\rho /0,77/$ и $\rho' /1,25/$ являются первыми двумя уровнями с $\ell = 0$. Если массу u кварка выбрать равной $m_u = 0,30 \text{ ГэВ}$, то получаются следующие значения параметров: $\alpha = 0,71$, $\beta = 0,037 \text{ ГэВ}^2$ и спектр ρ -частиц, приведенный в табл. 2.

Таблица 2

n	$\ell=0$	$\ell=1$
1	0,773	1,085
2	1,250	1,424
3	1,546	1,678
4	1,780	1,890

Спектр ρ -мезонов / $m_u = 0,30 \text{ ГэВ}/$.

Затем было предположено, что параметры потенциала α и β не зависят от аромата кварка. Выбирая в качестве основных уровни $\rho /0,77/$, $\rho' /1,25/$, $\Psi /3,1/$, $\Psi' /3,7/$, мы получили параметры потенциала $\alpha = 0,574$; $\beta = 0,042 [\text{ГэВ}]^2$ и массы кварков $m_u = 0,23 \text{ ГэВ}$; $m_c = 1,71 \text{ ГэВ}$. Соответствующий спектр ρ и Ψ мезонов представлен в табл. 3 и 4.

Таблица 3

n	$\ell=0$	$\ell=1$	$\ell=2$
1	3,097	3,590	3,820
2	3,685	3,909	4,069
3	3,985	4,145	4,274

Спектр Ψ -мезонов / $m_c = 1,71$ ГэВ/.

Таблица 4

n	$\ell=0$	$\ell=1$	$\ell=2$
1	0,773	1,074	1,279
2	1,250	1,425	1,572
3	1,556	1,690	1,810
4	1,799		

Спектр ρ -мезонов / $m_u = 0,23$ ГэВ/.

При тех же параметрах потенциала на основе уровня $\nu/9,4/$, найдена масса b кварка $m_b = 5,38$ ГэВ и спектр частиц, приведенный в табл. 5.

Таблица 5

n	$\ell=0$	$\ell=1$
1	9,409	10,512
2	10,573	10,893
3	10,931	11,117
4	11,156	11,297

Спектр ν -мезонов / $m_b = 5,38$ ГэВ/.

В том же приближении о независимости потенциала от аромата можно рассчитать спектр мезонов $q_a \bar{q}_b$ ($a \neq b$; a, b - ароматические индексы/, если предположить, что эти мезоны составлены из одинаковых "осредненных кварков", т.е. кварков с массой $m_q = \frac{m_{q_a} + m_{q_b}}{2}$.

Были рассчитаны спектры следующих систем мезонов: $D(uc)$ / табл. 6/, (bu) / табл. 7/, (bc) / табл. 8/.

Таблица 6

n	$\ell=0$	$\ell=1$
1	1,879	2,264
2	2,393	2,592
3	2,697	2,841

Спектр D -мезонов.

Таблица 7

n	$\ell=0$	$\ell=1$
1	4,943	5,593
2	5,678	5,930
3	5,994	6,165
4	6,221	

Спектр bu -мезонов.

Таблица 8

n	$\ell=0$	$\ell=1$
1	6,233	6,992
2	7,071	7,341
3	7,399	7,574
4	7,624	

Спектр bc -мезонов.

Несмотря на простоту предположений, массы всех известных частиц отклоняются от вычисленных менее чем на 5%. Такую же ошибку можно предположить и для предсказанных частиц /например, b_u , b_c - мезоны/.

В заключение выражаю искреннюю благодарность П.Н.Боголюбову за постановку задачи и руководство работой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боголюбов П.Н. ОИЯИ, P-2569, Дубна, 1966.
2. Chodos A. et al. Phys. Rev., 1974, D9, p.3471.
3. Bogolubov P.N. IC/69/76, 1969.
Дульян Л.С., Фаустов Р.Н. ОИЯИ, P2-7995, Дубна, 1974.
Lepage P. SLAC-212, 1978.
4. Gunion J., Li L. Phys.Rev., 1975, D12, p.3583.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 января 1979 года.