

УДК 539.12

## РАДИАЛЬНО-ВОЗБУЖДЕННЫЕ МЕЗОННЫЕ НОНЕТЫ И ГЛЮБОЛ

*М. К. Волков, В. Л. Юдичев*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна  
Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова

Показано, что 19 экспериментально наблюдаемых скалярных мезонных состояний в интервале масс от 0,4 до 1,7 ГэВ могут быть интерпретированы как глюбол с массой 1500 МэВ и два нонета скалярных мезонов. Первый нонет состоит из основных состояний мезонов с массами меньше 1 ГэВ, а второй является нонетом их первых радиальных возбуждений, тяжелее 1,3 ГэВ и легче 1,7 ГэВ. Для описания глюбола и двух нонетов используется  $U(3) \times U(3)$  киральная кварковая модель типа Намбу–Иона-Лазинио.

It is shown that 19 experimentally observed scalar meson states in the mass range from 0.4 to 1.7 GeV can be interpreted as a glueball with the mass 1500 MeV and two nonets of scalar mesons. The first nonet consists of the ground meson states with masses less than 1 GeV, and the second one is the nonet of their first radial excitations, heavier than 1.3 GeV and lighter than 1.7 GeV. For the description of the glueball and the two meson nonets, a  $U(3) \times U(3)$  chiral quark model of the Nambu–Jona-Lasinio type is used.

Описание основных и возбужденных состояний скалярных, псевдоскалярных и векторных мезонов (включая скалярный глюбол) является актуальной и сложной проблемой, привлекающей внимание многих физиков в последние годы (см., например, [1]). При этом наиболее сложные проблемы возникают при описании скалярных мезонов. Действительно, в интервале масс от 0,4 до 1,7 ГэВ экспериментально обнаружено 19 скалярных мезонных состояний, и до сих пор для них не существует однозначной интерпретации (см. [1]). Различные авторы по-разному идентифицируют эти состояния, при этом никто не дает полной классификации всех 19 состояний. Проблема усложняется тем, что в упомянутом выше интервале масс кроме основных и радиально-возбужденных скалярных кваркониев существует также и скалярный глюбол, который сильно смешивается с другими скалярными изоскалярными состояниями. В настоящее время глюбол не идентифицирован однозначно. Наиболее вероятными претендентами на роль скалярного глюбола, по мнению многих авторов, являются состояния  $f_0(1500)$  и  $f_0(1710)$ . В наших работах мы показали, что все вышеупомянутые 19 скалярных мезонных состояний можно рассматривать как два нонета скалярных кваркониев и скалярный глюбол ( $f_0(1500)$ ).

Несколько проще ситуация в случае псевдоскалярных мезонов (в рассматриваемом интервале масс), где нет необходимости вводить дополнительное состояние (глюбол). Однако здесь, так же, как и в случае скалярных мезонов, следует учитывать синглет-октетное смешивание для основных и возбужденных состояний псевдоскалярных изоскалярных мезонных нонетов.

Еще более простая ситуация имеет место в случае векторных мезонных нонетов, где возникает идеальное синглет-октетное смешивание при описании как основных, так и возбужденных состояний.

Ряд работ, опубликованных нами за последние несколько лет, был посвящен решению указанных выше проблем [2–7]. Для этого нами была использована нелокальная киральная кварковая модель типа Намбу–Иона-Лазинио [2–4]. В этой модели для описания возбужденных состояний были использованы простые формфакторы полиномиального вида в лоренц-ковариантной форме. Для исследования первых радиальных возбуждений оказалось достаточно полиномов второго порядка по относительному импульсу кварков. В этом случае каждый формфактор содержит два параметра: внешний и внутренний. Внешний параметр определяет массу возбужденного состояния, в то время как внутренний не является произвольным, а фиксируется из условия, что уравнения щели не меняют своей формы после введения возбужденных состояний мезонов в лагранжиан. Тогда составляющие массы кварков и кварковые конденсаты также не изменяются. В результате воспроизводятся все низкоэнергетические теоремы в киральном пределе и механизм спонтанного нарушения киральной симметрии. Благодаря этому, а также киральной симметрии, позволившей использовать одни и те же формфакторы как для скалярных, так и для псевдоскалярных мезонов, число параметров в модели заметно сокращается: для описания спектра масс радиально-возбужденных скалярных и псевдоскалярных мезонных нонетов оказывается достаточно 4 произвольных (внешних) параметров. Для описания векторных мезонных нонетов нужно добавить еще 3 параметра. При этом для вычисления всех констант сильного взаимодействия основных и возбужденных состояний мезонов эти параметры не требуются.

Для описания синглет-октетного смешивания мы включили в модель 6-кварковое взаимодействие  $t'$ Хофта, индуцированное инстантонными взаимодействиями. Это взаимодействие позволяет описать синглет-октетное смешивание как в скалярном, так и в псевдоскалярном секторах [4, 5].

Для введения глюбола в эффективный мезонный лагранжиан была использована дилатонная модель, основанная на приближенной масштабной инвариантности. Как и в КХД, масштабная инвариантность нарушена членами, которые содержат токовые массы кварков, а также членами, индуцированными глюонными аномалиями. Такая модель, описывающая только основные состояния скалярных кваркониев и глюбол, была построена в работе [6]. Наши вычисления показали, что состояние  $f_0(1500)$  в основном состоит из

глюбола, в то время как  $f_0(1710)$  является возбужденным состоянием кваркония  $f_0(980)$ .

В работе [7] мы объединили методы, использованные ранее в [5] и [6], для построения окончательного варианта расширенной нелокальной  $U(3) \times U(3)$ -модели с глюболом, позволяющей описать все 19 скалярных и 18 псевдоскалярных мезонных состояний в интересующем нас интервале масс. Здесь мы учли смешивание между 5 скалярными изоскалярными состояниями, а также между 4 псевдоскалярными изоскалярными состояниями.

На основе приближенной киральной симметрии нам удалось по массам возбужденных псевдоскалярных мезонных состояний предсказать спектр масс радиально-возбужденных состояний скалярных мезонов [4, 5, 7]. Сравнение его с экспериментальными данными позволило нам интерпретировать 19 скалярных мезонов как глюбол и два нонета кваркониев: нонет основных состояний (с массами ниже 1 ГэВ) и нонет первых радиальных возбуждений (с массами выше 1 ГэВ) [7]. Были также описаны все основные сильные распады радиально-возбужденных скалярных и псевдоскалярных мезонов [4, 7]. Сопоставление полученных результатов с экспериментальными данными подтвердило нашу интерпретацию этих состояний. Было показано, что глюбол, оказывается, заметно смешивается с состояниями  $f_0(400-1200)$  и  $f_0(1370)$ , в основном состоящими из  $u$ - и  $d$ -кварков, и слабо смешивается с состояниями  $f_0(980)$  и  $f_0(1710)$ , состоящими в основном из  $s$ -кварков.

Помимо скалярных мезонов нами были описаны радиально-возбужденные псевдоскалярные и векторные мезоны. В псевдоскалярном секторе был описан спектр масс первых радиальных возбуждений с учетом синглет-октетного смешивания и основные моды сильных распадов. Были также вычислены константы слабого распада  $F_{\pi'}$  и  $F_{K'}$  [2-4]. Показано, что в киральном пределе они обращаются в нуль, что соответствует теореме ЧСАТ.

В работах [3, 4] был также описан спектр масс и основные моды сильных распадов первых радиальных возбуждений векторных мезонов.

Таким образом, наша модель позволила с помощью дополнительных 8 параметров (7 параметров связаны с формфакторами, а 8-й — с введением глюбола) описать спектры масс трех возбужденных мезонных нонетов и скалярного глюбола, дать полную интерпретацию всех экспериментально известных скалярных мезонных состояний в интервале от 0,4 до 1,7 ГэВ и описать основные сильные распады этих мезонов. При этом модель удовлетворяет всем низкоэнергетическим теоремам в киральном пределе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Dmitrašinović V.* // Phys. Rev. C. 1996. V. 53. P. 1383;  
*Amsler C., Close F.* // Phys. Lett. B. 1995. V. 353. P. 385;  
*Palano A.* // Nucl. Phys. C. (Proc. Suppl. B.) 1995. V. 39. P. 287;

- Jaminon M., Van den Bosche B. // Nucl. Phys. A. 1997. V. 619. P. 285;*  
*Anisovich V. V., Bugg D. V., Sarantsev A. V. // Phys. Rev. D. 1998. V. 58. P. 111503;*  
*Narison S. // Nucl. Phys. B. 1998. V. 509. P. 312.*
2. *Volkov M. K., Weiss C. // Phys. Rev. D. 1997. V. 56. P. 221.*
  3. *Волков М. К. // ЯФ. 1997. Т. 60. С. 2094.*
  4. *Волков М. К., Юдичев В. Л. // ЭЧАЯ. 2000. Т. 31. С. 576.*
  5. *Volkov M. K., Yudichev V. L. // Int. J. Mod. Phys. A. 1999. V. 14. P. 4621.*
  6. *Volkov M. K., Yudichev V. L. // Eur. Phys. J. A. 2001. V. 10. P. 109.*
  7. *Volkov M. K., Yudichev V. L. // Eur. Phys. J. A. 2001. V. 10. P. 223.*