

*Письма в ЖЭТФ, том 10, стр. 402 – 406*

*20 октября 1969 г.*

## **КВАЗИЯДЕРНЫЕ УРОВНИ В СИСТЕМЕ НУКЛОН-АНТИНУКЛОН**

*О.Д.Далькаров, В.Б.Мандельштейн, И.С.Мспиро*

В данной работе показана возможность существования  $S$  – состояний в системе нуклон-антинуклон с малой (по сравнению с массой нуклона) энергией связи. Для этого, как и в обычной ядерной физике, решалась нерелятивистская задача на связанные состояния с потенциалом, правильно описывающим  $N\bar{N}$  – рассеяние. Пример такого потенциала (отвечающего обмену скалярными, псевдоскалярными и векторными бо-

зонами) дан Брайеном и Филлипсом [1] (в дальнейшем – потенциал Б.–Ф.), получившими хорошее согласие с экспериментальными данными до энергии 150 в с. ц. и. Однако, область применимости этого потенциала, по-видимому, шире и простирается вплоть до энергий порядка 300 МэВ, при которых становится возможным образование ближайшего резонансного состояния нуклона (изобары  $\Delta_{3,3}$ ).

Потенциал Б.–Ф. содержит тензорные и спин-орбитальные силы. Оценки показали, что роль тензорных взаимодействий в формировании интересующих нас связанных состояний невелика. Поэтому в первом приближении орбитальный момент можно считать хорошим квантовым числом и основным состоянием будет один из 5-уровней.

Поскольку потенциал Б.–Ф. заведомо не является единственным возможным для описания рассеяния  $N\bar{N}$  при малых энергиях, то все полученные с его помощью результаты можно считать содержательными лишь в том случае, если они устойчивы относительно вариаций формы потенциала, оставляющих неизменными сдвиги фаз. Удобно поэтому использовать для решения уравнения Шредингера приближение, с помощью которого можно было бы проследить зависимость положения уровня от вариаций формы потенциала. В качестве такового была выбрана ступенчатая аппроксимация, при которой истинный потенциал заменялся несколькими прямоугольными ямами. Параметры последних выбирались из условия равенства числа 5-уровней ( $n$ ) в истинном и приближенном потенциалах. Число  $n$  удовлетворяет условию [2]

$$n \leq 2/\pi \int_0^{\infty} (-V)^{1/2} dr. \quad (1)$$

По теореме Левинсона

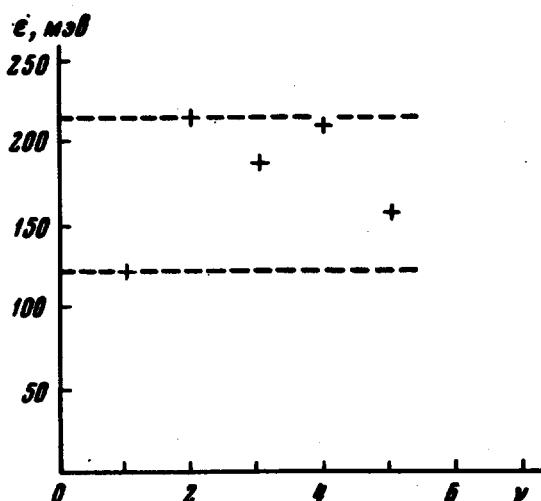
$$n = \frac{1}{\pi} \delta(0), \quad (2)$$

поэтому выбранное нами условие ограничивает возможные вариации формы потенциала так, что фазовые сдвиги при малых энергиях остаются практически неизменными.

Для оценки положения уровней рассматривался лишь потенциал для  ${}^1S_0^+$ -состояния. Оказалось, что в этом потенциале имеется всего один 5-уровень, энергия связи которого ( $\epsilon$ ) с учетом неопределенности из-за вариаций формы потенциала лежит в пределах

$$120 \text{ МэВ} < \epsilon({}^1S_0^+) < 220 \text{ МэВ}.$$

Этот уровень отвечает мезонному резонансу с квантовыми числами  $J^{PC} = 0^{-+}$  и массой  $1660 \pm 1730$  Мэв. Смещение уровня при упомянутых выше вариациях формы потенциала показано на рисунке.



Зависимость положения уровня от вариаций формы потенциала.  $\nu$  — число "ступенек", аппроксимирующих истинный потенциал

Из близости потенциальных кривых для состояний  $^1S_0^+$ ,  $^1S_0^-$ ,  $^3S_1^-$ ,  $^3S_1^+$  можно ожидать существование мезонных резонансов  $0^{-+}$ ,  $0^{-+}$ ,  $1^{-+}$  и  $1^{--}$  с близкими массами.

Значение  $\epsilon(^1S_0^+)$  получено без учета аннигиляционных эффектов, которые описываются мнимой частью потенциала Б.-Ф. Последние могут изменить энергию связи на величину порядка нескольких десятков Мэв. Действительно, оценки простейших аннигиляционных диаграмм показали, что радиус аннигиляции должен быть меньше или порядка  $0.1 f$ , тогда как расстояния, существенные в данной задаче, оказываются больше  $0.5 f$  (заметим, что влияние потенциалов малого радиуса  $r_0$  на положение высоколежащих уровней может быть учтено с помощью теории возмущений по параметру  $\sqrt{M\epsilon} r_0$  [3], равному в нашем случае  $1/5$ ).

Слабо сказываясь на положении уровня, аннигиляционные процессы целиком определяют в данном случае его ширину. Она оценивалась по формуле

$$\Gamma = v \sigma |\Psi(0)|^2, \quad (4)$$

Где  $\sigma$  – сечение аннигиляции  $p\bar{p}$ ,  $v$  – относительная скорость в с. ц. и.,  $\Psi(0)$  – значение волновой функции системы в нуле. Используя экспериментальные данные по аннигиляции  $p\bar{p}$  ( $v\sigma = 1,5 \cdot 10^{-15} \text{ см}^3 \text{ сек}^{-1}$  [4]), мы получили

$$\Gamma = 25-40 \text{ Мэв.}$$

Точность этого результата, ввиду грубоści сделанных приближений, составляет 100%. Таким образом, полученная оценка дает основание заключить, что ширина предсказываемого резонанса во всяком случае не может существенно отличаться от ширины других известных бозонных резонансов.

Из результатов нашей работы следует, что в области энергий 1580 – 1880 Мэв существуют близкорасположенные резонансы с шириной порядка нескольких десятков Мэв, представляющие собой квазиядерные состояния системы  $N\bar{N}$ .

Имеются экспериментальные указания [5] на существование предсказываемых резонансов. Хотя квантовые числа этих резонансов еще не установлены (по-видимому, неизвестно даже общее число резонансов в этой области), экспериментальные данные, по-видимому, подтверждают теоретические представления об их природе.

В самом деле, уже сейчас в этой области энергий шириной порядка 300 Мэв обнаружено семь близкорасположенных резонансов, в то время как в области энергии 0–1600 Мэв резонансы расположены значительно реже [5]. Ширины резонансов в соответствии с нашими предсказаниями лежат в интервале 40–110 Мэв при среднем расстоянии между резонансами порядка 40 Мэв (следует подчеркнуть, что для интерпретации наблюдаемых спектров необходимо использовать формулы теории перекрывающихся уровней [6, 7].

Интересно отметить, что периферийное взаимодействие антинуклона с двумя нуклонами должно привести к существованию серии близко-расположенных барионных резонансов (с барионным числом 1) в области 2500–2800 Мэв. Аналогичные состояния должны иметь место также и в многонуклонных системах с присоединенным к ним антинуклоном. Существенно, что теоретическое рассмотрение таких резонансов может быть произведено на основе квантово-механического формализма (типа керелативистской теории многих тел). Такие многонуклонные резонансы будут проявляться как возбужденные состояния ядер с энергией возбуждения порядка 1,5–2 Гэв.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить А.М.Бадалян, Ф.Калоджеро, Ю.А.Симонова за полезные дискуссии и А.П.Соколова за обсуждение экспериментальной ситуации.

Поступила в редакцию  
2 сентября 1969г.

### Литература

- [1] R.A.Bryan, R.I.N. Phillips. Nucl. Phys. B5, 201 1968.
  - [2] F.Calogero. Variable phase approach to potential scattering , p. 186, 1967.
  - [3] А.М.Бадалян, Ю.А.Симонов. ЯФ, 1969.
  - [4] Symposium on nucleon-antinucleon interactions. Illinois. p. 79, 1968
  - [5] A.H. Rosenfeld. Revs. Mod. Phys., 40, 77, 1968.
  - [6] А.Е.Кудрявцев. ЯФ, 10, вып. 8, 1969.
  - [7] И.Ю.Кобзарев, Н.М.Николаев, Л.Б.Окунь. ЯФ, 10, вып. 5, 1969.
-