

О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ СКАЛЯРНОГО  $\epsilon$  (1300 – 1400) МЕЗОНАВ РЕАКЦИИ  $\pi^- p \rightarrow \eta \eta \pi \rightarrow 4 \gamma n$ 

Н.Н.Ачасов, С.А.Девянин, Г.Н.Шестаков

Показано, что реакция  $\pi^- p \rightarrow \eta \eta \pi$  может стать хорошим инструментом для окончательной идентификации и выяснения природы  $\epsilon$  (1300 – 1400) резонанса.

1. Проблема экспериментального изучения скалярных резонансов ( $J^P = 0^+$ ) является сейчас центральной проблемой адронной спектроскопии „до шарма“. Дело в том, что в скалярном секторе теоретически предсказано большое (если не сказать огромное) количество двухкварковых, четырехкварковых и глюонных состояний, см., например, [1, 2].

Основными для изучения скалярных мезонов являются периферические реакции типа  $\pi N \rightarrow \pi \pi N$ ,  $\pi N \rightarrow K \bar{K} N$ . На деле оказывается, что получить ясную экспериментальную информацию об этих состояниях весьма не просто. Трудность в том, что  $0^+$ -мезоны либо маскируются резонансами с вышними спинами, имеющими больший статистический вес ( $2J + 1$ ) в сечении реакции, либо они непривычно широки и их трудно отделить от фона и друг от друга, либо они, например, как  $S^*$ - и  $\delta$ -резонансы, лежат на порогах неупругих каналов и испытывают их сильное влияние [3], что затрудняет теоретическую интерпретацию таких феноменов. Как следствие, при проведении фазового анализа возникают несколько возможных решений, часть из которых содержит указания на резонансное поведение  $S$ -волны, а часть нет [4 – 6]. Именно такая ситуация имеет место в случае изосинглетного  $0^+$ -резонанса  $\epsilon$  (1300 – 1400) (масса его надежно не установлена), который с 1976 г. интенсивно исследуется в реакции  $\pi^+ N \rightarrow K \bar{K} N$  [4, 5, 7 – 9].

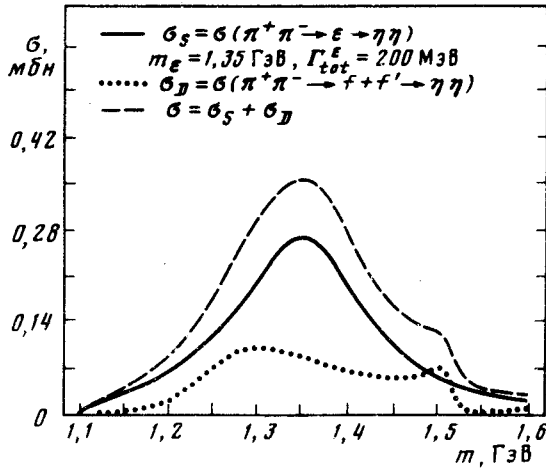
2. В настоящей статье мы хотим обратить внимание, что реакция  $\pi^+ \pi^- \rightarrow \eta \eta$  может стать хорошим инструментом для окончательной идентификации и выяснения природы  $\epsilon$ -резонанса. Дело в том, что она свободна фактически от всех упомянутых выше трудностей. Подчеркнем, что на сегодняшний день результаты разных групп, касающихся параметров  $\epsilon$ -резонанса, полученных из реакций  $\pi^+ \pi^- \rightarrow K \bar{K}$ ,  $\pi \pi$ , весьма далеки от удовлетворительного согласия друг с другом [4, 5, 7, 8].

Итак, нас интересует реакция с однопионным обменом в  $t$ -канале типа  $\pi^- p \rightarrow \eta \eta \pi \rightarrow 4 \gamma n$ . Для регистрации системы четырех  $\gamma$ -квантов можно использовать спектрометр, с помощью которого на Серпуховском ускорителе в реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 \pi^0 n \rightarrow 4 \gamma n$  был открыт  $h$  (2020)-мезон [10]. Отметим, что первые попытки изучения  $\eta \eta$ -системы в канале  $4 \gamma$  уже делались с помощью ксеноновой пузырьковой камеры в реакции  $\pi^- n \rightarrow \pi^- \eta \eta$  при 3,5 ГэВ/с (статистика здесь пока очень бедна) [11].

3. Перейдем к конкретным оценкам. Амплитуда реакции  $\pi^+ \pi^- \rightarrow \eta \eta$  содержит только четные парциальные волны. В области от порога  $2m_\eta = 1097,6$  МэВ до 1600 МэВ в ней должны доминировать две низшие волны:  $S$  и  $D$ . Это следует из анализа реакций  $\pi^+ \pi^- \rightarrow \pi \pi$ ,  $K \bar{K}$  [4, 5, 7, 8, 12].  $D$ -волна, как и в  $\pi^+ \pi^- \rightarrow \pi \pi$ ,  $K \bar{K}$  должна полностью насыщаться известными  $f$  (1270)- и  $f'$  (1515)-резонансами. Важно, что в реакции  $\pi^+ \pi^- \rightarrow \eta \eta$  вклады  $f$ - и  $f'$ -мезонов имеют сильное подавление по отношению к вкладу  $S$ -волны, так как соответствующее им парциальное сечение пропорционально  $\rho_\eta^5$  ( $\rho_\eta = 2q_\eta / m = (1 - 4m_\eta^2 / m^2)^{1/2}$ ,  $q_\eta$  – импульс  $\eta$ -мезона в ЦМ  $\eta \eta$ -системы,  $m$  – ее инвариантная масса).  $S$ -волновой  $\epsilon$ -резонанс в  $\pi^+ \pi^- \rightarrow \eta \eta$  может оказаться доминирующим. Такая ситуация явилась бы уникальной.

На рисунке показана возможная картина проявления  $\epsilon$ -резонанса в сечении реакции  $\pi^+ \pi^- \rightarrow \eta \eta$ . В таблице собраны параметры  $f^-$ ,  $f'^-$  и  $\epsilon$ -резонансов, которые мы имели в виду при оценках их вкладов. Соотношения между константами связи получены в рамках простейшего варианта кварковой модели; угол  $\eta - \eta'$  смешивания  $\theta_{\eta \eta'} \approx -10^\circ$ . Видно, что  $\epsilon$ -резонанс действительно доминирует над вкладом  $D$ -волны. В реакции  $\pi^+ \pi^- \rightarrow K^+ K^-$  в области между  $m_{f^-}$  и  $m_{f'^-}$  наблюдается конструктивная интерференция вкладов  $f^-$  и  $f'^-$ -мезонов [4, 5, 8]. Такая же картина должна быть и в рассматриваемой реакции, согласно кварковой модели. При получении

сечений  $\sigma_S = \sigma(\pi^+ \pi^- \rightarrow \epsilon \rightarrow \eta\eta)$  и  $\sigma_D = \sigma(\pi^+ \pi^- \rightarrow f + f' \rightarrow \eta\eta)$  мы использовали для  $\epsilon$ -,  $f$ - и  $f'$ -резонансов обычные формулы Брейта – Виднера, см., например, [4, 5].



Резонансы	Характеристики резонансов
$f(1270)$ [9]	$\Gamma_{tot}^f = 180$ МэВ, $BR_f(\pi\pi) = 83\%$ , $BR_f(K\bar{K}) = 2,8\%$ , $g_{f\eta\eta}^2 / g_{f\pi^+\pi^-}^2 \approx 1/8$ , $BR_f(\eta\eta) \approx 0,26\%$
$f'(1515)$ [4,5,7-9]	$\Gamma_{tot}^{f'} \approx 70$ МэВ, $BR_{f'}(K\bar{K}) = 70\%$ , $BR_{f'}(\pi\pi) = 2\%$ , $g_{f'\eta\eta}^2 / g_{f'K^+K^-}^2 \approx 1/2$ , $BR_{f'}(\eta\eta) \approx 11\%$
$\epsilon(1300 - 1400)$ [4, 5, 7 - 9]	$\Gamma_{tot}^\epsilon = \Gamma_{\pi\pi}^\epsilon + \Gamma_{K\bar{K}}^\epsilon + \Gamma_{\eta\eta}^\epsilon \approx (160 \div 300)$ МэВ, $BR_\epsilon(K\bar{K}) \approx (7 \div 15)\%$ , $g_{\epsilon\eta\eta}^2 / g_{\epsilon\pi^+\pi^-}^2 \approx 1/8$ , $BR_\epsilon(\eta\eta) \approx 4\%$

Отметим, что для  $\epsilon$ -мезона отношение  $g_{\epsilon\eta\eta}^2 / g_{\epsilon\pi^+\pi^-}^2 \approx 1/8$  не зависит от того, имеет ли он двух-кварковую,  $\epsilon = (\bar{u}u + d\bar{d}) / \sqrt{2}$  или четырехкварковую структуру,  $\epsilon = u\bar{u}d\bar{d}$  [1]. Если это четырехкварковый объект, то его можно отождествить с самым легким представителем второго (тяжелого) нонета  $0^+$ -мезонов, предсказанного Джаффе в рамках MIT-bag- модели [1]. Может случиться, что в районе 1300 – 1400 МэВ есть не один, а два резонанса. Решить это можно только экспериментально.

Приведем, наконец, оценку сечения реакции  $\pi^- p \rightarrow \epsilon n \rightarrow \eta\eta n \rightarrow 4\gamma n$ , которое пропорционально  $\sigma(\pi^+ \pi^- \rightarrow \epsilon \rightarrow \eta\eta)$ . Это легко сделать используя формулы для однопионного обмена в  $t$ - канале, см., например, [4, 5, 12]. В области  $|t|_{min} \leq |t| \leq \rho, 1$  (ГэВ/c)<sup>2</sup> и  $2m_\eta \leq m \leq 1,6$  ГэВ имеем

$$\sigma(\pi^- p \rightarrow \epsilon n \rightarrow \eta\eta n \rightarrow 4\gamma n) \approx \left( \frac{1(\text{ГэВ})^2}{S} \right)^2 0,175 \text{ мбн} \approx 1,2; 0,11; 0,027 \text{ мбн},$$

соответственно, при  $q_{lab} = 6, 20, 40$  ГэВ/c;  $(BR_\eta(\gamma\gamma))^2 = (0,38)^2 = 0,144$ . Это вполне доступные для экспериментального изучения величины, например, на установке, приспособленной для регистрации нейтральных мод распадов резонансов, в ИФВЭ [10]. Отметим для сравнения, что сечение рождения  $h$ -мезона ( $J^P = 4^+$ ) в реакции  $\pi^- p \rightarrow h n \rightarrow \pi^0 \pi^0 n \rightarrow 4\gamma n$  имеет тот же порядок величины [10].

В принципе в области  $\epsilon(1300 - 1400)$  могут быть вклады („хвосты“) от более легких или более тяжелых  $S$ -волновых резонансов, например, от находящегося под порогом рассматриваемой реакции  $S^*(980)$ -резонанса, который должен быть сильно связан с  $\eta\eta$ -каналом [3]. Под-

робное рассмотрение  $\epsilon + S^* + \dots$  резонансного комплекса (возможных интерференционных картин) по нашему мнению, будет иметь смысл после появления экспериментальных данных о реакции  $\pi^+ \pi^- \rightarrow \eta\eta$  в области  $2m_\eta \leq m \leq 1,5 \text{ ГэВ}$ .

Мы признательны С.А.Садовскому за обсуждения.

#### Литература

1. *Jaffe R.L.* Phys. Rev., 1977, **D15**, 267.
2. *Estabrooks P.* Phys. Rev., 1979, **D19**, 2678.
3. *Ачасов Н.Н., Девянин С.А., Шестаков Г.Н.* Phys. Lett., 1980, **96B**, 168; ЯФ, 1980, **32**, 1098; Препринт ТФ-121 Института математики, Новосибирск, 1981; Phys. Lett., 1981, **102B**, 196.
4. *Cohen D. et al.* Phys. Rev., 1980, **D22**, 2595.
5. *Görlich L. et al.* Nucl. Phys., 1980, **B174**, 16.
6. *Martin A.D. et al.* Phys. Lett., 1978, **74B**, 417.
7. *Cason N.M. et al.* Phys. Rev. Lett., 1976, **36**, 1485; *Polychronakos V.A. et al.* Phys. Rev., 1979, **D19**, 1317.
8. *Pawlicki A.J. et al.* Phys. Rev. Lett., 1976, **37**, 1666; Phys. Rev. 1977, **D15**, 3196; *Cohen D. et al.* ANL preprint HEP-PR-78-22, 1978, *Wicklund A.B. et al.* Phys. Rev. Lett., 1980, **45**, 1469.
9. Particle Data Group. Rev. Mod. Phys., 1980, **52**, 22, 23, 132, 135, 141.
10. *Apel W.D. et al.* Phys. Lett., 1975, **57B**, 398.
11. *Абросимов А.Т. и др.* ОИЯИ, P1-12848, Дубна, 1979.
12. *Protopopescu S.D. et al.* Phys. Rev., 1973, **D7**, 1279.

Институт математики  
Академии наук СССР  
Сибирское отделение

Поступила в редакцию  
28 октября 1981 г.