

ФАЗА АМПЛИТУДЫ  $M_{1+}^{3/2}$  И ПОЛЮСНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЗОНАНСА  $\Delta_{33}^+$  ИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МУЛЬТИПОЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРОЦЕССА  $\gamma p \rightarrow \pi^+ n$

В. Ф. Грушин, Е. М. Лейкин <sup>✉</sup>, А. Я. Ротвайн <sup>✉</sup>,  
А. А. Шиканян

УДК 539.122 + 539.126.34

На основании результатов мультипольного анализа экспериментальных данных для канала  $\gamma p \rightarrow \pi^+ n$  в объеме полного опыта в диапазоне энергий фотонов 280–420 МэВ определены значения фаз  $\varphi_{33}$ , которые использованы для оценок полюсных параметров  $M_0$  и  $\Gamma_0$  резонанса  $\Delta_{33}^+$ .

Недавно /1/ нами был проведен мультипольный анализ канала фоторождения  $\gamma p \rightarrow \pi^+ n$  в области энергий  $E_\gamma = 280\text{--}420$  МэВ на основе экспериментальных данных по угловым распределениям четырех наблюдаемых:  $d\sigma(\theta)$ ,  $\Sigma(\theta)$ ,  $T(\theta)$ ,  $P(\theta)$ . Эта совокупность экспериментальной информации впервые обеспечила условия полного опыта для данного канала /2/ и позволила определить действительные и мнимые части всех  $s$ - и  $p$ -волновых амплитуд:  $E_{0+}^{\pi^+}$ ,  $M_{1-}^{\pi^+}$ ,  $E_{1+}^{\pi^+}$ ,  $M_{1+}^{\pi^+}$ .

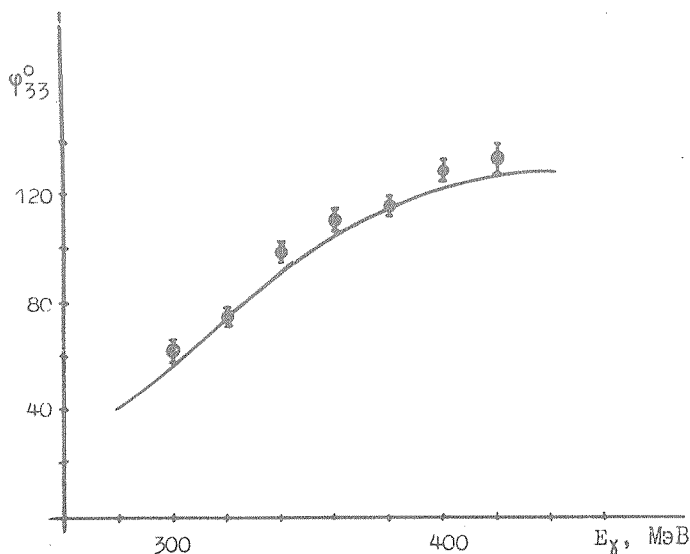
Величины  $\text{Re } M_{1+}^{\pi^+}$  и  $\text{Im } M_{1+}^{\pi^+}$  дают возможность оценить значения фазы  $\varphi_{33}$  амплитуды  $M_{1+}^{3/2}$ , связанной с резонансным состоянием  $\Delta_{33}^+$ . Действительно, согласно изотопической структуре мультипольных амплитуд фоторождения,

$$\text{tg } \varphi_{33} = \frac{\text{Im } M_{1+}^{\pi^+} - \sqrt{2} \text{Re } M_{1+}^{1/2} \text{tg } \varphi_{13}}{\text{Re } M_{1+}^{\pi^+} - \sqrt{2} \text{Re } M_{1+}^{1/2}}, \quad (I)$$

<sup>✉</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ.

где  $M_{1+}^{1/2}$  - изотопическая компонента амплитуды  $M_{1+}$ , соответствующая переходам в состояние  $\pi N$ -системы с изотопспином  $I/2$ , а  $\varphi_{13}$  - фаза этой компоненты. Оценки показывают, что ввиду малости  $\varphi_{13}$  пренебрежение вторым слагаемым в числителе (I) не меняет результат для  $\varphi_{33}$  более, чем на  $0,5^\circ$ . Значение  $\text{Re } M_{1+}^{1/2}$  неоднократно определялось в мультиполных анализах совокупности данных по двум каналам:  $\gamma p \rightarrow \pi^+ n, \pi^0 p$  (см., например, /3,4,7/). С учетом небольших расхождений результатов этих анализов  $\text{Re } M_{1+}^{1/2} = -0,10 \pm 0,05$  (в единицах  $10^{-2} m_{\pi}^{-1}$ ).

Результаты определения фазы  $\varphi_{33}$  представлены на рис. I. В ошибки включены погрешности  $\text{Re } M_{1+}^{\pi^+}$  и  $\text{Im } M_{1+}^{\pi^+} / I$  и неопределенность в величине  $\text{Re } M_{1+}^{1/2}$ . На рисунке кривой изображены значения фазы  $\delta_{33}$ , полученные в результате фазового анализа данных по  $\pi N$ -рассеянию /5/. Средневзвешенное значение разности  $\Delta = \varphi_{33} - \delta_{33}$  по всему энергетическому интервалу  $\tilde{\Delta} = 3,8^\circ \pm 1,2^\circ$ . Полученное в настоящей работе значение  $\tilde{\Delta}$  наиболее полно отража-



Р и с. I. Значения фаз  $\varphi_{33}$ , найденные в настоящей работе (точки). Кривая - фаза  $\pi N$ -рассеяния  $\delta_{33}$ , из работы /5/

ет современное состояние экспериментальной информации по фоторождению положительных пионов в районе  $\Delta_{33}$ -резонанса и показывает, что возможное расхождение между величинами  $\varphi_{33}$  и  $\delta_{33}$  не превышает нескольких градусов. По экспериментальным данным, существовавшим к 1976 г.,  $\tilde{\Delta} = -2,5^\circ \pm 1,1^\circ$  (без учета неопределенности величины  $\text{Re } M_{1+}^{1/2}$  /6/.

Значения фазы  $\varphi_{33}(E_\pi)$ , полученные из экспериментальных данных по фоторождению, позволяют в свою очередь определить полюсные параметры резонанса  $\Delta_{33}$ . В ряде работ /8-II/ определялись полюсные параметры  $M_0$  и  $\Gamma_0$  (действительная и мнимая координаты полюса на плоскости комплексной энергии:  $E_0 = M_0 - \frac{i}{2} \Gamma_0$ ) для резонансных состояний  $\Delta_{33}^{++}$  и  $\Delta_{33}^0$  по результатам фазовых анализов процессов рассеяния  $\pi^+p$  и  $\pi^-p$ . Для проверки различных теоретических предсказаний величины электромагнитного расщепления масс резонанса  $\Delta_{33}$  представляет интерес определение полюсных параметров еще одного зарядового состояния  $\Delta_{33}^+$ , которое проявляется в фоторождении пионов на протонах.

В работе /9/ для определения полюсных параметров из экспериментальных значений фаз использована следующая параметризация:

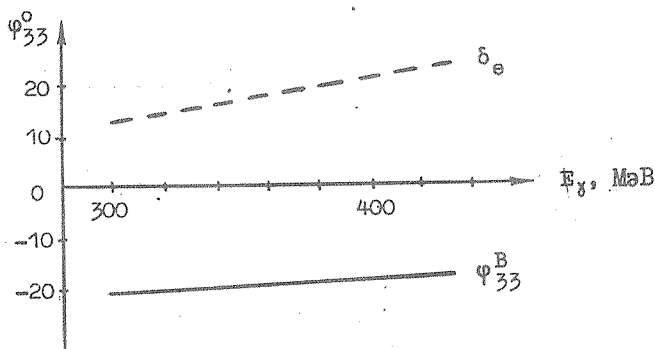
$$\begin{aligned} \varphi_{33}(q) &= \varphi_{33}^R(q) + \varphi_{33}^B(q), \\ \text{tg} \varphi_{33}^R &= \frac{\Gamma_0}{2(M_0 - W)}, \\ \text{tg} \varphi_{33}^B &= \text{tg} \varphi_{33}^R \left[ \left( \frac{qM_0}{q_0W} \right)^3 - 1 \right] + b_0 \left( \frac{2q}{W} \right)^3, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $q$  - энергия пиона,  $W$  - полная энергия  $\pi N$ -системы,  $q_0 = q(W = M_0)$ , индексы R и B у фазы  $\varphi_{33}$  обозначают ее резонансную и фоновую части  $\#$ .

Используя эту параметризацию и полученные значения  $\varphi_{33}$ , мы нашли МНК-оценки параметров  $M_0$ ,  $\Gamma_0$  и  $b_0$ . Среди минимумов функционала был отобран глобальный минимум ( $\chi^2 = 1,8$  на одну степень свободы), которому отвечают значения  $M_0 = 1211,4 \pm 2,1$  МэВ,

$\#$ ) Параметризация (2) соответствует области энергий, где доминируют s- и p-волны.

$\Gamma_0 = 86,2 \pm 12,8$  МэВ,  $b_0 = 2,6 \pm 2,3$ . Полученные значения параметров позволяют определить по отдельности фазы  $\varphi_{33}^R$  и  $\varphi_{33}^B$ . Фоновая фаза  $\varphi_{33}^B$  оказалась отрицательной и слабо зависящей от энергии (см. рис. 2), что противоречит результатам работы /12/, в которой вклад фона в фазу  $\varphi_{33}$  положителен (он приведен на этом же рисунке).



Р и с. 2. Величины фоновых фаз: сплошная кривая —  $\varphi_{33}^B$ , найденная из параметризации (2) (см. текст), пунктир —  $\delta_e$ , фоновая фаза из работы /12/

Ошибки параметров  $M_0$ ,  $\Gamma_0$  и  $b_0$  получены методом Монте-Карло путем варьирования ( $\sim 10^4$  испытаний) значений  $\varphi_{33}$  в соответствии с гауссовым распределением с дисперсиями, соответствующими ошибкам фаз. Недиagonальные элементы матрицы ошибок параметров дали следующие коэффициенты корреляций:  $\rho(M_0, \Gamma_0) = -0,45$ ;  $\rho(M_0, b_0) = -0,26$ ;  $\rho(\Gamma_0, b_0) = 0,97$ . Сильная корреляция между параметрами  $\Gamma_0$  и  $b_0$  является недостатком параметризации (2), в которой две из трех искомым величин фактически линейно зависимы. Поэтому в такой параметризации устойчива лишь оценка массы  $M_0$ .

В табл. I проведено сопоставление полученного в настоящей работе значения  $M_0(\Delta_{33}^+)$  с аналогичными результатами других работ /7,13-15/, в которых использованы экспериментальные данные по двум каналам фоторождения ( $\pi^+\pi$  и  $\pi^0\rho$ ).

Таблица I  
Значения параметра  $M_0(\Delta_{33}^+)$ , (в МэВ)

/13/	/7/	/14/	/15/	настоящая работа
			$1210,46 \pm 1,83$	
$1208 \pm 2$	$1217,5 \pm 2,6$	$1208,5 \pm 0,72$	$1206,89 \pm 0,85$	$1211,4 \pm 2,1$
			$1210,21 \pm 0,86$	

Следует отметить, что объем информации, использованной нами для получения оценки  $M_0(\Delta_{33}^+)$ , значительно меньше объема данных, включаемых в двухканальные анализы. Это обстоятельство находит свое отражение в величине ошибок оценок. Однако в связи с наличием неоднократно отмечавшейся несовместимости экспериментальных данных по фоторождению оценка, полученная из более однородных данных, относящихся к одному каналу, будет в большей степени несмещенной.

Для сравнения масс трех разных зарядовых состояний резонанса приведем величины, полученные в работе /9/ на основе параметризации (2):  $M_0(\Delta_{33}^{++}) = 1210,9 \pm 0,8$  МэВ,  $M_0(\Delta_{33}^0) = 1210,9 \pm 1,4$  МэВ. Ошибки этих оценок в 2-3 раза меньше, чем в настоящей работе и отражают соотношение точности экспериментальных данных по  $\pi N$ -рассеянию и фоторождению. Из приведенных величин следует:  $M_0(\Delta_{33}^{++}) - M_0(\Delta_{33}^0) = 0 \pm 1,6$  МэВ. Если электромагнитное расщепление масс членов  $\Delta_{33}$ -мультиплета пропорционально величине электрического заряда, то масса  $\Delta_{33}^+$  не должна отличаться от масс  $\Delta_{33}^{++}$  и  $\Delta_{33}^0$  более чем на  $\pm 1,3$  МэВ (на 90%-м доверительном уровне). Этому не противоречит полученная нами оценка  $M_0(\Delta_{33}^+)$ . Однако наличие значительных ошибок, к сожалению, затрудняет сопоставление экспериментальных результатов с предсказаниями теоретических моделей и указывает на необходимость уточнения экспериментальной информации.

Поступила в редакцию  
7 мая 1981 г.

## Л и т е р а т у р а

1. В. Ф. Грушин и др., ЯФ 33, 1227 (1981).
2. В. Ф. Грушин и др., Краткие сообщения по физике ФИАН № 4, 26 (1979).
3. Ю. А. Александров и др., Краткие сообщения по физике ФИАН № 7, 44 (1978).
4. F. A. Berends and A. Donnachie, Nucl. Phys., B84, 342(1975).
5. J. Carter et al., Nucl. Phys., 58B, 378 (1973).
6. Yu. M. Aleksandrov et al., Nucl. Phys., B105, 355 (1976).
7. И. И. Мирошниченко. Вопросы атомной науки и техники, серия  
Общая и ядерная физика, выпуск I(I), 45, 1978 г.
8. J. Ball and R. Goble, Phys. Rev., D11, 1171 (1975).
9. D. B. Lichtenberg, Lett. Nuovo Cim., 12, 616 (1975).
10. V. Zidell et al., Lett. Nuovo Cim., 21, 140 (1978).
11. T. Trippe et al., Rev. Mod. Phys., 48, 531 (1976).
12. M. Olsson, Nuovo Cim., 40A, 284 (1977).
13. R. Campbell, G. Shaw, J. Ball, Phys. Rev., D14, 2431(1976).
14. И. И. Мирошниченко и др., ЯФ 28, 389 (1978).
15. И. И. Мирошниченко и др., ЯФ 29, 188 (1979).