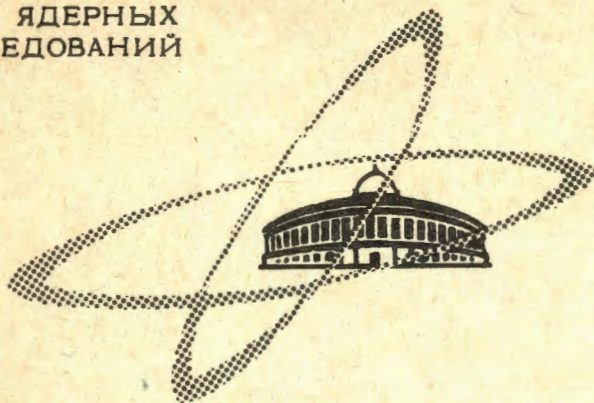


Г- 859

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

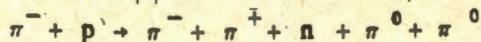
Дубна



P1 - 3677

В.Г.Гришин, К.Г.Гулямов, Д.К.Копылова,
М.М.Муминов, З.Трка, Б.С.Юлдашев

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ



ПРИ ИМПУЛЬСЕ π^{-} МЕЗОНОВ 4 ГЭВ/С

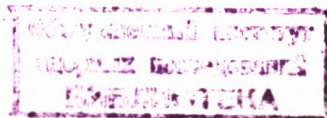
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1968

P1 - 3677

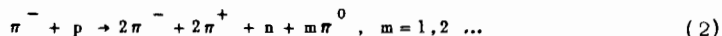
В.Г.Гришин, К.Г.Гулямов, Д.К.Копылова,
М.М.Муминов, З.Трка, Б.С.Юлдашев

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ
 $\pi^- + p \rightarrow \pi^- + \pi^+ + n + \pi^0 + \pi^0$
ПРИ ИМПУЛЬСЕ π^- МЕЗОНОВ 4 ГЭВ/С



§1. Методика эксперимента

В работе /1/ были опубликованы некоторые результаты изучения реакций:



Отбирались события типа:



В настоящей работе мы более подробно останавливаемся на результатах изучения реакции (1).

Все случаи типа (1') были обчислены по программе усреднения весов /2/ и были найдены \bar{w}_i каждого события. Эта процедура позволяет ограничиться событиями, в которых для вторичных заряженных частиц и для γ -квантов $\Delta p/p \leq 30\%$.

Эффективность двойного просмотра 126.000 кадров оказалась равной $(88 \pm 2)\%$ для $k \geq 2$. Одно событие соответствует сечению $(0,49 \pm 0,04)$ мбн.

Методика обработки экспериментального материала до выделения реакции (1) описана в работе /1/.

§2. Выделение π^0 -мезонов

На рис. 1 приведено распределение эффективной массы $M(\gamma\gamma)$ для реакции (1') с $k = 1$ и с учётом \bar{w}_1 .

В распределении имеется чёткий пик в интервале $120 \leq M(\gamma\gamma) \leq 160$ Мэв. (область $M(\pi^0)$), обработка которого дала $\overline{M(\gamma\gamma)} = (138 \pm 2)$ Мэв. с полушириной

$$\Delta M(\gamma\gamma) / \overline{M(\gamma\gamma)} = (7 \pm 1)\%$$

Таким способом мы выделили π^0 - мезон в распределении $M(\gamma\gamma)$ из (1').

Интересно отметить, что обработка случаев в области $M(\pi^0)$ без учёта \bar{w}_1 даёт:

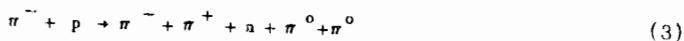
$$\overline{M(\gamma\gamma)} = (136,5 \pm 1,4) \text{ Мэв и } \Delta M(\gamma\gamma) / \overline{M(\gamma\gamma)} = (9,1)\%$$

Тот же самый экспериментальный материал, обработанный без учёта условия $\Delta p/p \leq 30\%$, дал

$$\Delta M(\gamma\gamma) / \overline{M(\gamma\gamma)} = (13 \pm 1)\%$$

Отсюда можно сделать вывод, что введение \bar{w}_1 (и тем самым условие $\Delta p/p \leq 30\%$) приводит к улучшению разрешения при выделении π^0 - мезоньв. Можно считать, что введение более жестких критериев может привести к дальнейшему улучшению разрешения.

Фоновая кривая $M(\gamma\gamma)$ на рис. 1 вычислялась по статистической теории (программа ФОРС^{3/}) для реакции:



и нормировалась на интервалы

$$10 \leq M(\gamma\gamma) < 100 \text{ Мэв и } M(\gamma\gamma) \geq 180 \text{ Мэв.}$$

Кроме того, была подсчитана фоновая кривая при помощи случайного комбинирования двух γ -квантов из разных событий. Обе фоновые кривые практически совпадают.

Из рис. 1 видно, что уровень фона в области $M(\pi^0)$ составляет $\leq 17\%$ по сравнению с 30% в работе [1].

Средняя эффективность регистрации π^0 - мезонов в 24-литровой пропановой пузырьковой камере составляет 0,44%. Полное число π^0 -мезонов в реакции (1) с учётом эффективности детектора и регистрации γ -квантов, выделенных с $k \geq 3$ и фона оказалось равным 18.000 ± 3000 .

Отсюда можно получить предварительную оценку среднего числа π^0 -мезонов в реакции (1), используя сечение этой реакции, приведенное в работе^{/4/}:

$$\bar{n}_{\pi^0} = 1,6 \pm 0,3 \quad (4)$$

§3. Выделение каналов реакции (1)

Исходной информацией для разделения каналов реакции (1) и расчёта их сечений являются распределения:

а) $M(\gamma\gamma)$ (рис. 1);

б) недостающей массы $M_x(\pi^-\pi^+\gamma\gamma)$ т.е.

$$\pi^- + p \rightarrow \pi^- + \pi^+ + \gamma + \gamma + M_x(\pi^-\pi^+\gamma\gamma) \quad (5)$$

(рис. 2).

Если иметь в виду результаты §2, то в случаях с $M(\gamma\gamma)$ в области $M(\pi^0)$ (случай А) имеется с вероятностью $\geq 80\%$ идентифицированный π^0 -мезон, в случаях с $M(\gamma\gamma)$ вне области $M(\pi^0)$ γ -кванты принадлежат к разным π^0 -мезонам (случай Б).

Тогда для случаев А можно рассматривать распределение (6) как распределение эффективной массы $M(n, (k-1)\pi^0)$, $k \geq 1$.

Как видно из рис. 2., для случаев А только часть из них можно отнести к каналу реакции

$$\pi^- + p \rightarrow \pi^- + \pi^+ + n + \pi^0. \quad (6)$$

В этом случае $k=1$ и мы имеем дело с распределением $M(n)$. Если исходить из разрешения $M_x(5)$ в области $M_x = M(n)$, то можно условно отнести к каналу (6) все случаи А с $M_x \leq 1,2$ Гэв ($\Delta M_x/M_x \approx 25\%$).

Отсюда

$$\sigma(1\pi^0) = \frac{\sum \bar{w}_i \cdot \sigma_i}{\epsilon},$$

где $\sum \bar{w}_i$ — сумма весов событий А в данной области,

σ_i — сечение одного события,

ϵ — эффективность просмотра.

Получим:

$$\sigma(1\pi^0) = (3,6 \pm 1,1) \text{ мбн.} \quad (7)$$

Результаты работы ^{/5/} показывают, что события типа:

$$\pi^- + p \rightarrow \pi^- + \pi^+ + n + 3\pi^0 \quad (8)$$

составляют $\approx 15\%$ от событий (2) при $p_s = 6$ Гэв. Таким образом, исходя из работы ^{/1/}, вклад канала (8) в реакции (1) не будет превышать нескольких процентов.

Поэтому после выделения событий с $1\pi^0$ мы имеем дело с реакцией (3). К этой реакции можно отнести случаи А с $M_x(5) > 1,2$ Гэв и все случаи Б. Сечение $\sigma(2\pi^0)$ определялось по формуле:

$$\sigma(2\pi^0) = \frac{\sum \bar{w}_1 \cdot \sigma_1}{\epsilon}$$

$$\sum \bar{w}_1 = \frac{\sum \bar{w}_1}{6(1 - \bar{\epsilon})}$$

где $\bar{\epsilon}$ — средняя эффективность регистрации двух γ -квантов ^{x/}.

Отсюда получим:

$$\sigma(2\pi^0) = (3,77 \pm 0,58) \text{ мбн.} \quad (9)$$

Тогда полное сечение реакции (1):

$$\sigma(1) = (7,4 \pm 1,3) \text{ мбн.} \quad (10)$$

Если сравнить $\sigma(1)$ с данными для той же реакции на водороде $\sigma(1)_H$ ^{/4/}, то получим:

$$\sigma(1) - \sigma(1)_H = (1,8 \pm 1,3) \text{ мбн.} \quad (11)$$

Дальше мы можем выбросить еще часть π^0 -взаимодействий по $M_x(5)$. При этом отборе критериями того, что взаимодействие произошло на свободном или слабо связанном протоне, являются:

1) для случаев с одним π^0 -мезоном;

$$(M(p) - 2\sigma) \leq M_x(5) \leq 1,2 \text{ Гэв,}$$

где σ — ошибка $\Delta M_x(5)$ в области $M(p) \approx (25\%)$, т.е.

$$400 \leq M_x(5) \leq 1200 \text{ Мэв;}$$

^{x/} Во всех распределениях приводится значение $\sum \bar{w}_1$, так как знаменатель не имеет существенного значения.

2) для случаев Б;

$$Mx(5) > (M(\pi) + M(\pi^0) - \sigma_n) = 800 \text{ Мэв.}$$

С учётом этих критериев были получены сечения, более близкие к сечениям соответствующих реакций на водороде (обозн. Н'):

$$\sigma(1\pi^0)_{H'} = (3,0 \pm 1,2) \text{ мбн} \quad (7')$$

$$\sigma(2\pi^0)_{H'} = (3,4 \pm 0,6) \text{ мбн} \quad (9')$$

$$\sigma(1)_{H'} = (6,4 \pm 1,3) \text{ мбн} \quad (10')$$

$$\sigma(1)_{H'} - \sigma(1)_{H} = (0,8 \pm 1,3) \text{ мбн} \quad (11')$$

При этом нужно подчеркнуть, что выделение π с π -взаимодействий более существенно скажется на обработке случаев с одним π^0 -мезоном. Поэтому мы принимаем любое вычисленное значение $\sigma(1\pi^0)$ только в качестве оценки сечения реакции (6).

Следует отметить, что при вычислении сечения реакции (3) только около 30% всех событий относится к случаям А. Поэтому некоторый произвол при выделении канала (6) из случаев А незначительно повлияет на величину сечения реакции (3).

Сравнение сечений (9) и (9') показывает, что граница $Mx(5) > 800 \text{ Мэв}$ также несущественна для $\sigma(2\pi^0)_{H'}$. Поэтому мы считаем, что полученное сечение рождения $2\pi^0$ -мезонов можно рассматривать как сечение реакции (3). При помощи указанных в (7'), (9') и (10') сечений можем получить опять $\frac{\sigma(1\pi^0)}{\sigma(1)}$

$$\frac{\sigma(1\pi^0)}{\sigma(1)} = 1,5 \pm 0,3 \quad (12)$$

§4. Характеристики π -мезонов

В системе центра масс (π^-p) для π^- , π^+ -мезонов (группы А + Б) и π^0 -мезонов (группа А) из реакции (3) были вычислены: импульсы $-p^*$, поперечный импульс $-p_{\perp}$ и угол вылета $\cos \theta^*$. Для асимметрии вылета π -мезонов "вперед-назад" было получено соотношение

$$k = \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-},$$

где N_+ - число частиц ($\Sigma \bar{w}_1$), летящих вперед, N_- - число частиц, летящих назад. Средние значения p^* , p_{\perp} и значения k приведены в табл. 1.

Отсюда можно сделать вывод, что π^- и π^0 -мезоны по импульсным характеристикам близки.

У π^+ и π^- -мезонов можно наблюдать некоторую анизотропию вылета.

Если предположить наличие изотропного фона у π^+ и π^- -мезонов, то над этим фоном выделяется $\approx 30\%$ случаев, когда π^- -мезоны летят вперед.

§5. Исследование эффективных масс

Для всех выделенных взаимодействий типа (3) были изучены распределения эффективных масс различных комбинаций частиц, включая γ -кванты. В тех случаях, где исследование эффективных масс может привести к выделению радиационных распадов, были отдельно обработаны случаи А и Б. События из группы А давали нам экспериментальную фоновую кривую. Кроме того, фоновые кривые были также посчитаны по программе ФОРС^{/3/} в предположении, что все взаимодействия произошли на свободном протоне.

1. Эффективная масса $M(\gamma\gamma)$.

В этом спектре (рис. 1) мы не наблюдали пика в области η -мезона. Если возьмем весь интервал $500 \leq M(\gamma\gamma) < 600$ Мэв, то получим завышенную оценку сечения:

$$\sigma(\eta \rightarrow \gamma + \gamma) \lesssim 0,1 \text{ мбн}$$

образования η мезона в реакции



Если иметь в виду, что указанная выше мода распада η мезона составляет $(33,5 \pm 2,7)\%^{/6/}$ от всего распада, то верхнюю границу полного сечения (13) можно оценить $\sigma(13) \lesssim 0,3$ мбарн.

2. $M(\pi \pm \gamma)$.

Распределение $M(\pi \pm \gamma)$ для случаев А (рис. 3а) и для случаев Б (рис. 3б) хорошо согласуются с фазовой кривой.

3) $M(\pi^- \pi^+)$, $M(\pi^+ \pi^0)$, $M(\pi^- \pi^0)$.

Распределение $M(\pi^- \pi^+)$ (рис. 4) не имеет максимума в области ρ^- -мезона. Оно отличается от фазовой кривой, нормированной на всю площадь (кривая 1).

У эффективной массы $M(\pi^+ \pi^0)$ (рис. 5б) распределение похоже на $M(\pi^- \pi^+)$. Если взять весь интервал масс $600 \leq M(\pi^+ \pi^0) < 900$ Мэв и отнести эти события к распаду ρ^+ -мезона, рождающегося в реакции



то сечение этой реакции $\sigma(14) \leq 0,2$ мбн.

В отличие от указанных двух пионных комбинаций, распределение $M(\pi^- \pi^0)$ (рис. 5а) можно полностью описать фазовой кривой.

Исходя из одинакового поведения распределений $M(\pi^- \pi^+)$ и $M(\pi^+ \pi^0)$, соответствующие гистограммы были объединены на рис. 6. Так как среди положительных частиц с $p > 1$ Гэв имеется примесь протонов (см. работу ^{/1/}), то нужно оценить их влияние на ход распределения. Как видно из рис. 6., наличием таких случаев нельзя объяснить характер распределения.

Вследствие того, что ход фазовой кривой в области $M(\pi\pi) > 700$ Мэв согласуется с экспериментальным распределением (рис. 6), фон нормирован на эту область (кривая 2). Эта процедура была проделана и для $M(\pi^- \pi^+)$. При этом оказалось, что в области $M(\pi^- \pi^+) \leq 700$ Мэв лежит $\approx 38\%$ случаев над уровнем фона.

4. $M(\pi^\pm \gamma\gamma)$.

Это распределение (рис. 7) для случаев Б, в основном, описывается фазовой кривой. Имеется некоторое отличие для масс $M(\pi^\pm \gamma\gamma) \leq 400$ Мэв.

5. $M(\pi^- \pi^+ \pi^0)$.

Малая статистика случаев А не позволяет решить вопрос о том, есть ли отличие распределения $M(\pi^- \pi^+ \pi^0)$ (рис. 8) от фазовой кривой. Во всяком случае, обращает на себя внимание резкое отличие гистограммы от фона в области больших масс $M(\pi^- \pi^+ \pi^0)$.

6. $M(\pi^- \pi^+ \gamma)$.

Для случаев Б (рис. 9б) имеется некоторое отличие от фоновой кривой.

§6. Исследование недостающих масс

Для реакции (3) очень важно исследование недостающих масс, так как при помощи их мы можем изучать эффективные массы $M(\pi \pi^0)$ по $M_x(5)$ и $M(\pi \pi^0 \pi^0)$ по $M_x(\pi^- \pi^+)$:

$$\pi^- + p \rightarrow \pi^- + \pi^+ + M_x(\pi^- \pi^+). \quad (15)$$

Заметим, что для больших масс (для $M_x(15) = 2$ Гэв) ошибка в определении M_x мала:

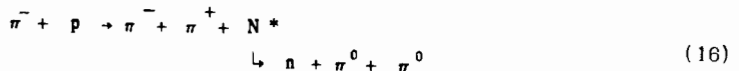
$$\Delta M_x / M_x (15) \approx 5\%.$$

1. $M_x(\pi^- \pi^+)$.

В распределении $M_x(\pi^- \pi^+)$ (рис. 10) имеется указание на то, что ход фазовой кривой (кривая 1) отличается от экспериментального распределения. Примесь случаев из канала (6) может описать распределение $M_x(\pi^- \pi^+) < 1,5$ Гэв, но не может объяснить ход распределения в области $M_x > 1,9$ Гэв (фоновая кривая для реакции (6) нормирована на интервал $1,1 \leq M_x(\pi^- \pi^+) < 1,5$ Гэв - кривая 2). То же относится к случаям с p^+ > 1 Гэв/с.

Была сделана попытка объяснить поведение $M_x(\pi^- \pi^+)$ наличием смеси двух каналов реакции (3):

- а) канал со статистическим механизмом рождения,
- б) канал с рождением изобары в системе $M(\pi \pi^0 \pi^0)$:



в области $M(N^*) > 2$ Гэв.

В качестве примера для реакции (16) была взята изобара $N^*(2190)^{1/2}$ и методом наименьших квадратов было найдено соотношение каналов а) и б): канал а) - 64%, канал б) - 36%. При этом в ширине Γ изобары учитывалась ошибка в определении $M_x(\pi^- \pi^+)$. Смесь каналов показана при помощи кривой 3 (рис. 10).

Интересно отметить, что оценка доли канала (16) в реакции (3) совпадает с оценкой "нестатистической" части распределения $M(\pi^- \pi^+)$. Интервал $M(\pi^- \pi^+) < 700$ Мэв является как раз кинематическим отражением возможного рождения изобары в области $M_x(\pi^- \pi^+) > 2$ Гэв.

2. $M_x(\pi^- \pi^+ \pi^0)$.

Распределение недостающей массы $M_x(\pi^- \pi^+ \pi^0)$ для случаев А (рис. 11) не позволяет исследовать возможные резонансные состояния в системе $(\pi \pi^0)$ из-за малой статистики случаев А.

§7. Заключение

Благодаря хорошему выделению π^0 -мезонов в распределении $M(\gamma \gamma)$ (разрешение π^0 -мезона $\sim 7\%$, фон $\sim 17\%$) было возможно определить сечение

реакции (3) и оценить сечение реакции (6). Полное сечение реакции (1) совпадает в пределах ошибки с данными, полученными при помощи водородной камеры.

Обращает на себя внимание большое значение сечения реакции (3), которая была в работе ^{1/} и здесь исследована впервые.

Ряд характеристик этой реакции (см. §5) не противоречит предсказаниям статистической теории.

С другой стороны, из анализа распределений $M(\pi^- \pi^+)$ и $M_x(\pi^- \pi^+)$ и из анизотропии вылета π^- , π^+ -мезонов имеется указание на то, что кроме статистического механизма рождения не исключено рождение изобары с модой распада $N^* \rightarrow p + \pi^0$ и $M(N^*) > 2$ Гэв.

Подробное исследование этого вопроса будет продолжено на большей статистике.

Нам приятно поблагодарить за полезные обсуждения и помощь в работе Э.Бэчваржову, А.Г.Кривенцову, Я.Тркову.

Л и т е р а т у р а

1. Я.Бэм, В.Г.Гришин, Э.П.Кистенев, Д.К.Копылова, А.Г.Кривенцова, М.М.Муминов, Му Цзянь, В.Д.Рябцов, З.Трка. Ядерная физика 5, 1054 (1967).
2. В.Г.Гришин, М.Иреш, А.Г.Кривенцова, М.М.Муминов, З.Трка. Препринт ОИЯИ, 1-3574, Дубна, 1967.
3. В.Е.Комолова, Г.И.Копылов. Препринт ОИЯИ, P-2027, Дубна, 1965.
4. L.Bondar, K.Bondaritz, M.Deutschmann et al., Nuovo Cim., XXXI, 729 (1964).
5. G.Bellini, M.di Corato, F.Dumio, E.Florini, Nuovo Cimento, XL, A.948 (1965).
6. A.H.Rosenfeld, N.Barash-Schmidt, A.Barbaro-Galtieri, W.J.Podolsky, L.R.Price, Matts Roos, Paul Soding, W.J.Willis, C.G.Wohl. UCRL-8030, 1967 (sept).

Рукопись поступила в издательский отдел

22 января 1968 года.

Таблица 1

	π^-	π^+	π^0
\bar{P}^* (МэВ/с)	$355_{\pm 18}$	$420_{\pm 21}$	$342_{\pm 34}$
\bar{P}_1 (МэВ/с)	$259_{\pm 13}$	$301_{\pm 15}$	$276_{\pm 28}$
k	$0,23_{\pm 0,12}$	$0,31_{\pm 0,09}$	$0,12_{\pm 0,09}$

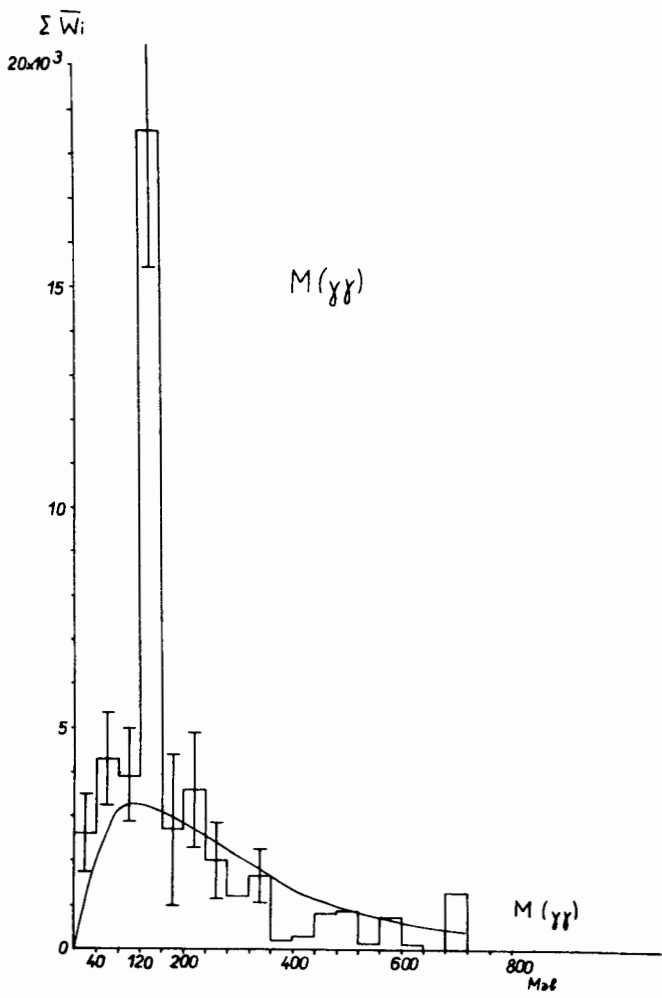


Рис. 1. Распределение $M(\gamma\gamma)$ для реакции (1') с $k = 2$. Фоновая кривая (программа ФОРС) для реакции (3) нормирована на интервалы $10 \leq M(\gamma\gamma) < 100$ Мэв; $M(\gamma\gamma) \geq 180$ Мэв.

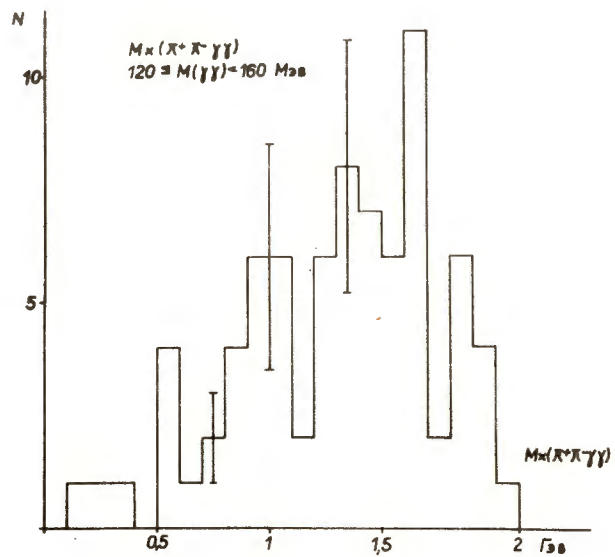


Рис. 2. Недостающая масса $M_x(\pi^-\pi^+\gamma\gamma)$ (5) для случаев А. По оси γ отложено число случаев.

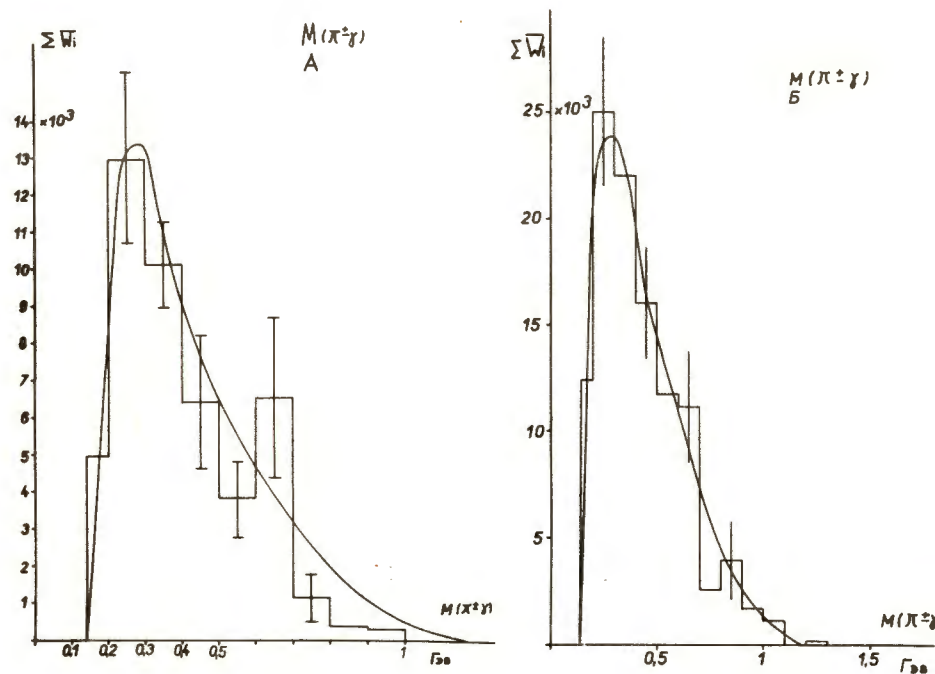


Рис. 3. Распределение $M(\pi^\pm\gamma)$ для реакции (3), а) для случаев А, б) для случаев Б. Фоновая кривая по ФОРС нормирована на всю площадь.

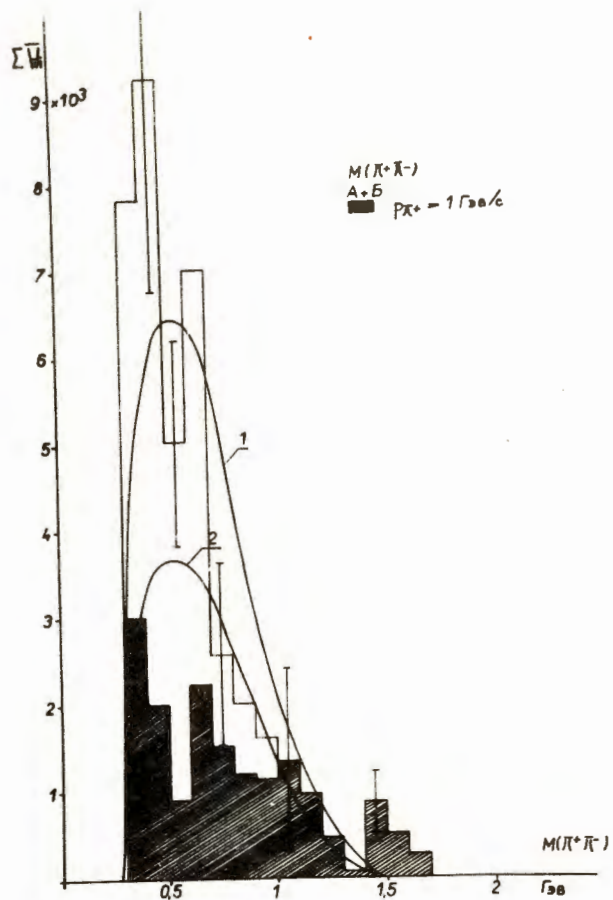


Рис. 4. Распределение $M(\pi^-\pi^+)$ для случаев А+Б. Фоновая кривая 1 нормирована на всю площадь, кривая 2 - на интервал $M(\pi^-\pi^+) > 700$ Мэв.

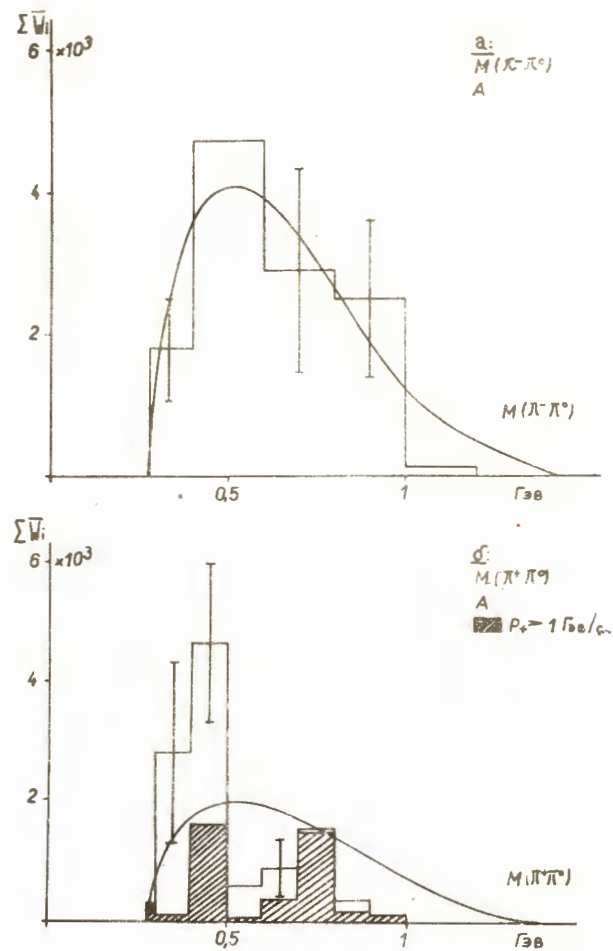


Рис. 5. Распределение $M(\pi^-\pi^0)$ (а) и $M(\pi^+\pi^0)$ (б) для случаев А.

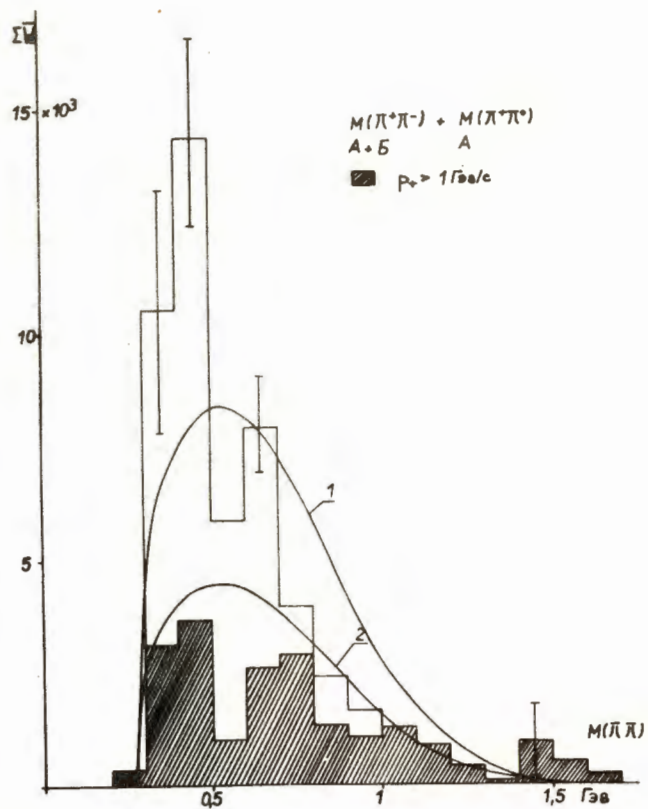


Рис. 6. Распределение $M(\pi^-\pi^+) + M(\pi^+\pi^0)$. Фоновая кривая 1 нормирована на всю площадь, кривая 2 - на интервал $M(\pi\pi) > 700$ Мэв.

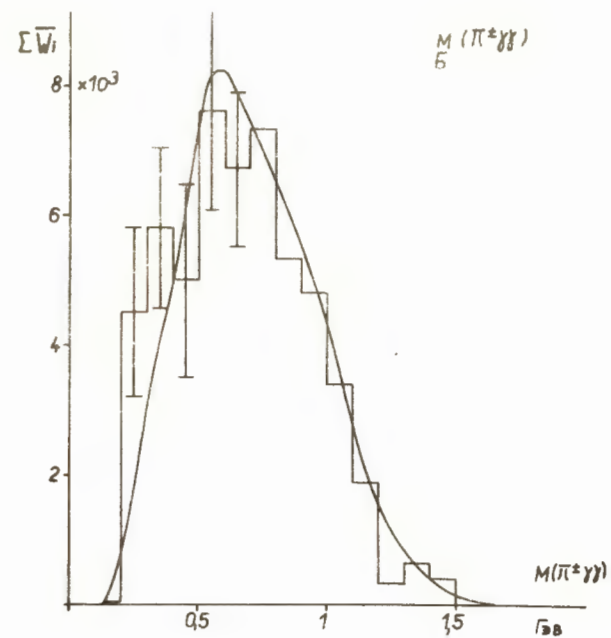


Рис. 7. Распределение $M(\pi^\pm \gamma\gamma)$ для случаев Б.

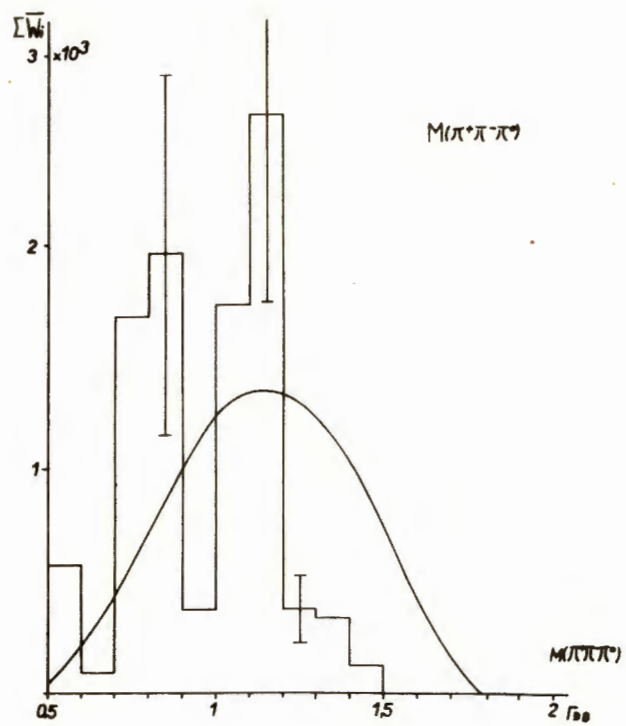


Рис. 8. Распределение $M(\pi^-\pi^+\pi^0)$ для случаев А.

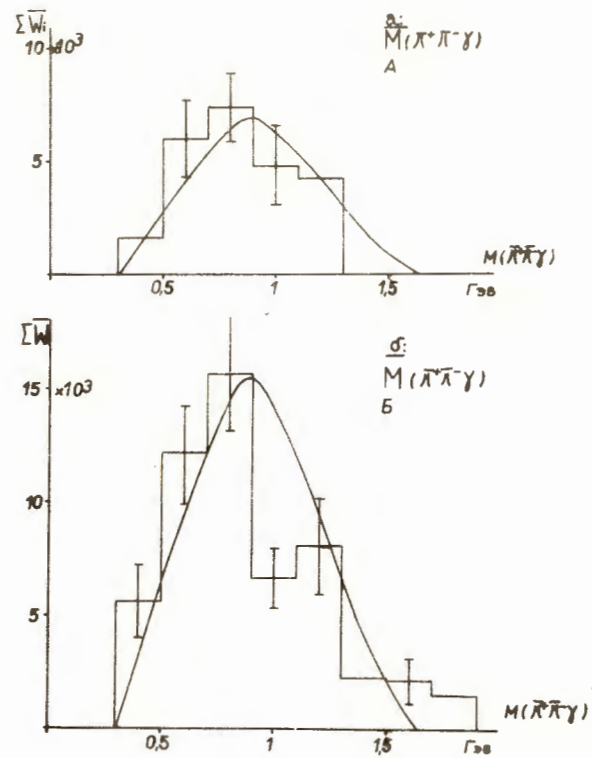


Рис. 9. Распределение $M(\pi^-\pi^+\gamma)$, а) для случаев А, б): для случаев Б.

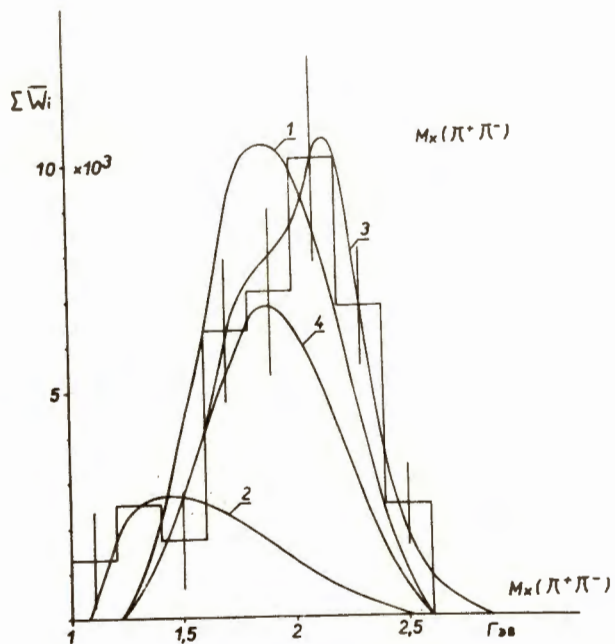


Рис. 10. Распределение $M_x(\pi^- \pi^+)$ (15) для случаев А+Б. Фоновая кривая 1 нормирована на всю площадь, фоновая кривая 2 для реакции (6) нормирована на интервал $1,1 \leq M_x(\pi^- \pi^+) < 1,5$ Гэв, кривая 3 является смесью каналов а) и б) (с параметрами: $M(N^*) = 2,19$ Гэв, $\Gamma(N^*) = 0,3$ Гэв), кривая 4 соответствует каналу а).

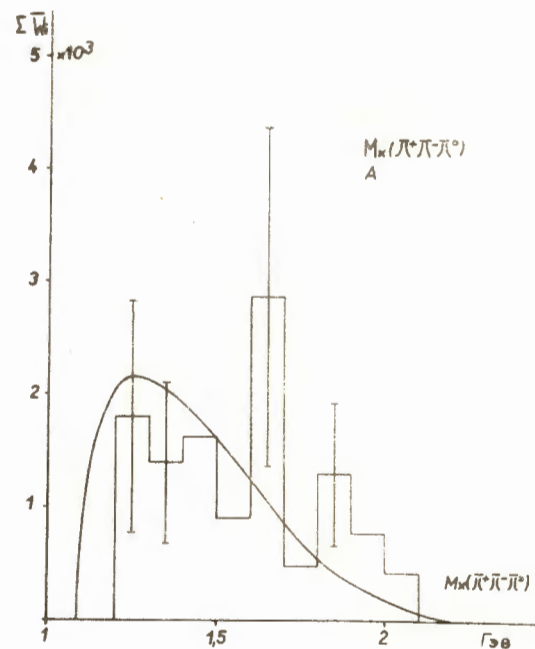


Рис. 11. Распределение $M_x(\pi^- \pi^+ \pi^0)$ (5) для случаев А.