

И-797

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



1 - 3457

М. Иреш , М. Новак, В. Петржилка

ТРЕХЛУЧЕВЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ π -МЕЗОНОВ
С ИМПУЛЬСОМ 4 Гэв/с
В ПРОПАНОВОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЕ

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

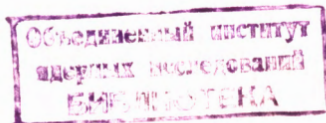
1967.

1 - 3457

М. Иреш , М. Новак, В. Петржилка

ТРЕХЛУЧЕВЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ π -МЕЗОНОВ
С ИМПУЛЬСОМ 4 Гэв/с
В ПРОПАНОВОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЕ

Направлено в Чехословацкий физический журнал



5340/2 кр

1. Введение

Пропановая пузырьковая камера ЛВЭ ОИЯИ ^{/1/}, имеющая размеры 55x28x14 см³, была облучена отрицательными пионами с импульсом (4,0±0,06) Гэв/с^{/2/}. Отбирались взаимодействия без странных вторичных частиц, которые не сопровождалась видимым испарением ядра углерода (т.е. взаимодействия без "блотов" и без протонов с импульсами меньше чем 0,2 Гэв/с). Сумма электрических зарядов вторичных частиц должна была равняться нулю или минус единице. Исключались события, в которых неточность в определении импульса хотя бы одной вторичной частицы превышала 30%.

Эффективность просмотра составила ≈ 0,8. Среди случаев, удовлетворяющих критериям отбора, оказалось 9% трехлучевых событий, анализу которых и посвящена эта работа (в дальнейшем мы будем их обозначать как 3_{-}). Пространственная реконструкция событий производилась по аналогии с ^{/3/}. Всего было просмотрено 90 000 снимков, обнаружено и измерено 1648 случаев типа 3_{-} , причём 146 из них сопровождалась γ -квантами, зарегистрированными в камере по электронно-позитронным парам конверсии. Среди следов положительно заряженных частиц с импульсами $\leq 0,9$ Гэв/с по ионизации идентифицировано 147 протонов и 807 пионов.

При просмотре снимков было замечено, что имеется значительный фон трехлучевых событий с суммой электрических зарядов вторичных частиц равной

плюс единице. Мы дополнительно измерили 269 таких событий, найденных при просмотре 45000 снимков. Среди вторичных частиц в этих случаях, которые мы обозначили 3_+ , было идентифицировано 218 положительных пионов и 125 протонов. В 8 событиях 3_+ обе положительные частицы оказались медленными протонами.

Длина следов заряженных вторичных частиц в трехлучевых событиях оказалась в большинстве случаев равной (100-200) мм и их ширина составляла $\approx 0,6$ мм. Согласно работе ^{/4/}, аппаратная точность определения направления движения частицы в таком случае лучше чем $0,5^\circ$, и импульс частицы определяется с аппаратной ошибкой $\approx 10\%$. Кроме того, многократное рассеяние частиц в пропане является источником ошибок при определении угла вылета релятивистских частиц $\sim 0,5 - 1,0^\circ$ и их импульса $\sim 10\%$. Для нерелятивистских частиц ошибки, обусловленные многократным рассеянием, в несколько раз больше.

2. Когерентное образование пары пионов в поле ядра углерода

Образованию пионов в когерентных взаимодействиях пионов с атомными ядрами посвящен ряд теоретических и экспериментальных работ (см., например, ^{/5-20/}). В экспериментах в качестве мишени и детектора использовались ядерные эмульсии ^{/9-12/}, пузырьковая камера, наполненная смесью пропана и фреона, ^{/13-17/} или дейтериевые пузырьковые камеры ^{/18-20/}. В дейтерии случаи когерентного возникновения пионов изучались при энергии налетающего пиона (3,7 - 6) Гэв. В эмульсиях и в камере с тяжелой жидкостью образование пионов в когерентных взаимодействиях пионов с разными ядрами исследовалось при энергии (14-18) Гэв ^{/9-11.13-16/} и при энергии (6-7) Гэв ^{/11,13,16,17/}. В работе ^{/12/} была сделана попытка обнаружить такие события в ядерной эмульсии при энергии 3,85 Гэв.

Для когерентного образования пары пионов в поле ядра характерна небольшая величина импульса q , который передается ядру $q \ll 50$ Мэв/с, т.е. ядро отдачи обладает малой кинетической энергией T и в пропановой камере ненаблюдаемо. Измеренная величина недостающей энергии E_x должна быть при этом близка к нулю. Разница между продольной составляющей импульса ядра q_x и его кинетической энергией T , численно совпадающая со значением так

называемой "массы мишени" M_T , должна быть невелика. Кинематика исследуемых процессов ограничивает также возможные значения эффективных масс трех вторичных пионов $M_{3\pi}$: при импульсе первичного пиона 4 Гэв/с должно быть $M_{3\pi} \leq 0,7$ Гэв.

Для исследования когерентного образования пионов в поле ядра углерода при энергии 4 Гэв/с мы использовали 1501 трехлучевое событие типа 3_- , в которых среди вторичных частиц не было медленного протона. Из них в 776 случаях величина недостающей энергии E_x была меньше 1 Гэв; эти взаимодействия мы обозначили "А" в отличие от остальных 725 случаев, обозначенных "Б". 43 события "А" и 92 события "Б" сопровождалось испусканием γ -квантов, зарегистрированным в камере по электронно-позитронным парам конверсии. Лишь в 4 случаях "А" без γ -квантов в пределах экспериментальных ошибок одновременно выполнялись неравенства $M_T \leq 0,05$ Гэв/с и $q_{\perp} \leq 0,05$ Гэв/с, где q_{\perp} - поперечная составляющая недостающего импульса. Среднее значение $M_{3\pi}$ для этих событий оказалось $\approx 0,8$ Гэв. В группе 725 случаев типа "Б", среди которых не должно быть когерентных взаимодействий, неравенства $M_T \leq 0,05$ Гэв и $q_{\perp} \leq 0,05$ Гэв в пределах экспериментальных ошибок одновременно выполнялись для 2 событий. Мы поэтому считаем, что среди отобранных нами взаимодействий процессы когерентного возникновения пионов не были обнаружены.

3. Трехлучевые взаимодействия с медленными протонами в конечном состоянии

В пропановой пузырьковой камере можно наблюдать среди частиц испарения протоны с кинетическими энергиями больше чем ≈ 15 Мэв; протоны с меньшими значениями кинетических энергий и многократно заряженные частицы испарения или заметны как "блоб", или вообще ненаблюдаемы. При отборе событий можно поэтому исключить только часть взаимодействий, сопровождающихся испарением ядра углерода. В связи с этим мы обратили внимание на случаи типа 3_+ , которые являются взаимодействиями с более чем одним нуклоном ядра, хотя следы частиц испарения не были в этих случаях обнаружены. В 269 событиях типа 3_+ среди вторичных частиц идентифицировано 125 медленных

протонов, в то время как в 1648 событиях типа 3_- мы обнаружили лишь 147 протонов, т.е. для событий 3_+ характерно большее среднее число медленных протонов.

На рис. 1 показано распределение косинусов углов вылета θ_p в лабораторной системе для 125 идентифицированных протонов в случаях типа 3_+ (сплошная линия) и для 147 идентифицированных протонов в случаях типа 3_- (пунктирная линия). Стрелкой обозначена кинематическая граница для испускания протона в пион-нуклонных взаимодействиях при энергии 4 ГэВ с двумя пионами в конечном состоянии. За этой границей (т.е. в области значений $\cos \theta_p < 0,4$) находятся 44 протона из общего числа 125 в событиях типа 3_+ и 8 протонов из 147 событий типа 3_- . Таким образом, значения углов вылета медленных протонов θ_p в случаях типа 3_- в большей степени соответствуют кинематике взаимодействий пион-нуклон, чем значения углов θ_p для протонов в случаях типа 3_+ . Для отрицательно заряженных частиц распределения значений углов вылета и импульсов в лабораторной системе заметно не отличаются для событий 3_+ и 3_- , т.е. естественно думать, что вторичные процессы в ядре углерода влияют, вероятно, в первую очередь, на угловое распределение вторичных протонов и на их число.

4. Трехлучевые взаимодействия с нейтронами в конечном состоянии

На рис. 2 представлено импульсное распределение в лабораторной системе для положительных вторичных частиц из 1501 взаимодействия типа 3_- , не сопровождающихся испусканием медленного протона. Из них в 807 случаях положительная частица идентифицирована как пион по ее ионизации. В остальных случаях мы определили направление движения этой частицы в системе центра инерции (с.ц.и.) пион-нуклон в предположении, что она является протоном. Оказалось, что в 320 событиях протон вылетал в с.ц.и. в переднюю полусферу, что маловероятно, даже если учесть Ферми-движение нуклона мишени. Распределение импульсов указанных 1127 пионов представлено на гистограмме рис. 2 сплошной линией. Распределение импульсов остальных 374 положительных частиц добавлено к этой гистограмме и сумма обозначена пунктирной линией. В дальнейшем мы будем предполагать, что в каждом из 1501 случаев в конечном состоянии были пионы и нейтрон.

На рис. 3 показаны распределения значений косинусов углов вылета θ^* относительно направления движения первичного пиона в с.д.и. для пар $\pi^+\pi^-$ (сплошная линия) и для пар $\pi^-\pi^-$ (пунктирная линия) отдельно для событий "А" и "Б". В событиях "А" примерно половина пионных пар имеет значения $\cos\theta^* > 0 \geq 0,8$, в то время как распределение значений $\cos\theta^*$ в событиях "Б" более изотропно.

На рис. 4 показано распределение значений эффективных масс M_{+-} для пар $\pi^+\pi^-$ в случаях "А" и "Б". В распределении M_{+-} для событий "А" видна аномалия в окрестности массы ρ^0 -мезона, в то время как в распределении значений M_{+-} для событий "Б" такой аномалии нет. Каждое значение M_{+-} в области ρ^0 -мезона определялось в данном эксперименте с ошибкой ≈ 50 Мэв. В качестве фона для значений M_{+-} было использовано распределение значений эффективных масс пар $\pi^-\pi^-$ в тех же событиях, которое соответствует фазовому объему взаимодействий со средним числом нейтральных пионов, равным 0,5. На рис. 4 приведена плавная кривая, которая является результатом расчета по методу наименьших квадратов фона с учетом кривой Брейт-Вигнера. Оказывается, что $(19 \pm 9)\%$ от общего количества пар $\pi^+\pi^-$ в событиях "А" возникает из распада $\rho^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$. Масса ρ^0 -мезона оказалась равной (764 ± 36) Мэв и его ширина $-(166 \pm 55)$ Мэв.

На рис. 4 заштрихованы значения M_{+-} для пар $\pi^+\pi^-$ с $\cos\theta^* \geq 0,8$ в событиях "А". Как и следовало ожидать, ρ^0 -мезон среди этих пар проявляется четко, в то время как среди пар $\pi^+\pi^-$ в незаштрихованной области рис. 4 ρ^0 -мезон не обнаружен.

На рис. 5 показано распределение значений эффективных масс трех пионов $M_{3\pi}$ отдельно для событий "А" и "Б". Заштрихованная часть гистограммы "А" относится к событиям, в которых хотя бы для одной пары $\pi^+\pi^-$ выполнялись условия $0,6 \text{ Гэв} < M_{+-} < 0,9 \text{ Гэв}$ и $\cos\theta^* \geq 0,8$. Более чем половина заштрихованных значений $M_{3\pi}$ находится в интервале 1,0 Гэв–1,3 Гэв и они определены в нашем эксперименте с ошибками ≈ 70 Мэв. Исследование распределения значений $M_{3\pi}$ не производилось, так как в данном случае не известен достаточно надежно вид фоновой кривой.

5. Заключение

Среди 1648 трехлучевых событий, обозначенных 3_- , не было обнаружено когерентных взаимодействий пионов с ядрами углерода, сопровождающих возникновением пары заряженных пионов.

Случаи, обозначенные 3_+ , которые не могут быть взаимодействиями пионов с одним квазисвободным нуклоном ядра, сравнивались со случаями типа 3_- . Распределение значений углов вылета протонов с импульсами 0,2 Гэв/с — 0,9 Гэв/с и их число для случаев типа 3_- в большей степени соответствует кинематике взаимодействий пион-нуклон, чем для случаев типа 3_+ .

В 1501 случаях типа 3_- положительно заряженная частица не была идентифицирована как протон и все эти события считались взаимодействиями π^- -мезонов с нейтронами ядра, имеющими в конечном состоянии пионы и нейтрон. В 776 событиях со значением недостающей энергии $E_x < 1$ Гэв, которые обозначены "А" и среди которых искались когерентные взаимодействия, было обнаружено возникновение $(19 \pm 0)\%$ пар $\pi^+\pi^-$ из распада $\rho^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$. Оказалось, что из этих распадов возникают в основном пары с $\cos \theta^* \geq 0,8$, где θ^* — угол вылета пары в с.ц.и. относительно направления движения первичного пиона. Распределение эффективных масс пар $\pi^-\pi^-$ в случаях "А" соответствовало фазовому объему взаимодействий со средним числом нейтральных пионов равным 0,5. В зарядово-сопряженных взаимодействиях π^+ -мезонов с протонами подробно исследованных при той же энергии в водородной пузырьковой камере (21), рождение ρ^0 -мезона было, в частности, обнаружено в 40% случаев реакции $\pi^+p \rightarrow p \pi^+ \pi^+ \pi^-$ и в < 10% случаев реакции $\pi^+p \rightarrow p \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^0$. Масса ρ^0 -мезона оказалась в нашем случае равной (764 ± 36) Мэв и его ширина — (166 ± 55) Мэв.

Авторы считают своим долгом поблагодарить Я Бэма, И. Врану, Я. Гладкого, А. Прокеша и Й. Скуру за оказанную помощь в работе, а также коллективы лаборанток ЛВЭ ОИЯИ, ФИ ЧСАН и ФТЯФ ЧВУТ за тщательно проведенные измерения. За обсуждение текста авторы выражают свою благодарность В.Б. Любимову.

1. Ван Ган-чан, М.И. Соловьев, Ю.Н. Шкобин, ПТЭ 1 (1959) 41.
2. Ким Хи Ин, А.А. Кузнецов, В.В. Миллер, Препринт ОИЯИ 2082 (1965).
3. Е.Н. Кладницкая. Материалы совещания по методике пузырьковых камер, препринт ОИЯИ 796 (1961).
4. Ю.А. Александров, Г.С. Воронов, В.М. Горбунков, Н.Б. Делоне, Ю.И. Нечаев, Пузырьковые камеры, Госатомиздат, Москва (1963).
5. E.L.Feinberg, L.Pomeranchuk, Suppl.Nuovo Cimento 3 (1956) 652.
6. M.L.Good, W.D.Walker, Phys.Rev. 120 (1960) 1855, 1857.
7. S.Ratti. Nuovo Cimento 33 (1964) 1232.
8. L.Stodolsky. Phys.Rev. 144 (1966) 1145.
9. A.Caforio, D.Ferraro, S.Semeraro, C.M.Fisher, A.Mason, W.A.Venus, D.Evans, A.Hossain, M.F.Votruba, A.Wataghin, M.M.Kasim, M.A.Shaukat, A.J.Herz, A.E.Sichiorollo, G.Vegni, Nuovo Cimento 32 (1964) 1471.
10. J.D.Rinaldo, P.L. Jain, P.D.Bharadwaj. Nuovo Cimento 36 (1965) 1089.
11. Аннотации сообщений на 16 совещании фотоэмульсионного комитета ОИЯИ, препринт ОИЯИ 2623 (1966).
12. B.A.Shahbazjan. Nucl. Phys. B1 (1967) 16.
13. G.Bellini, E.Fiorini, A.J.Herz, P. Negri, S.Ratti. Nuovo Cimento 29 (1963) 896.
14. J.F.Allard, D.Drijard, J.Hennessy, R.Huson, A.Lloret, P.Musset, J.J.Veillet, H.H.Bingham, M. Dickinson, R.Diebold, W.Koch, D.W.Leith, M.Nikolic, B.Ronne, G.Bellini, E.Fiorini, P.Negri, P.Rollier, J.Crussard, J.Ginestet, A.H.Tran, M. di Corato, W.B.Fretter, J.H.Lubatti, W.Michael. Physics Letters 12 (1964) 143.
15. F.R.Huson, W.B. Rettter. Nuovo Cimento 33 (1964) 1.
16. Orsay-Ecole Polytechnique-Milan-Saclay-Berkeley Collaboration, Physics Letters 19 (1965) 431. Nuovo Cimento 46 A (1966) 737.
17. G.Bellini, M.diCorato, F.Duimio, E.Fiorini. Nuovo Cimento 40 A(1965) 948.
18. M.A.Abolins, D.D.Carmony, R.L.Lander, Ng.-h.Xuong Phys.Rev.Letters 15 (1965) 125.
19. A.Forino, R.Gessaroli, L.Lendinara, G.Ouareni, A.Ouareni-Vignudelli, N.Armenise, B.Ghidini, V.Picciarelli, A.Romano, A.Cartacci, M.G.Dagliana, M. dela Corte, G.Dicaporiaco, J.Laberrigue-Frolow, Nguyen huu Khanh, J.Ouinquart, M.Sene, W.Fickinger, O.Goussu. Physics Letters 19 (1965) 68.
20. G.Vegni, H.Winzeler, P.Zaniol, P.Fleury, G. deRosny. Physics Letters 19 (1965) 526.
21. Aachen-Berlin-Birmingham-Bonn-Hamburg-London (I.C.)-München Collaboration. Phys.Rev. 138 B (1965) 897.

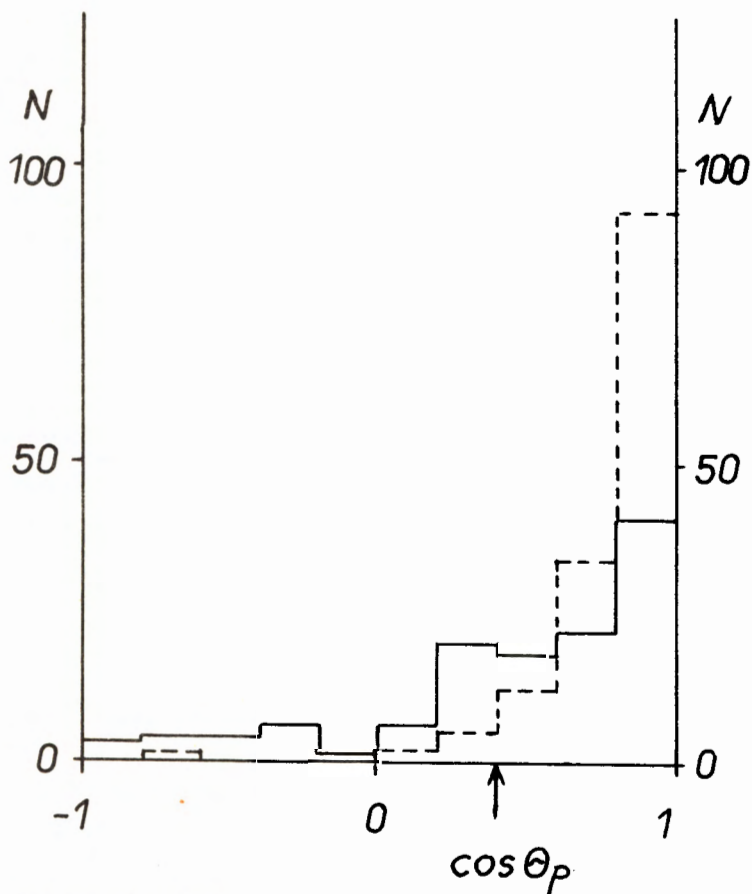


Рис. 1. Распределение значений косинусов углов вылета θ_p протонов в лабораторной системе для событий типа 3_+ (сплошная линия) и типа 3_- (пунктирная линия). Стрелкой обозначена кинематическая граница для испускания протона в пион-нуклонных взаимодействиях при энергии 4 Гэв с двумя пионами в конечном состоянии.

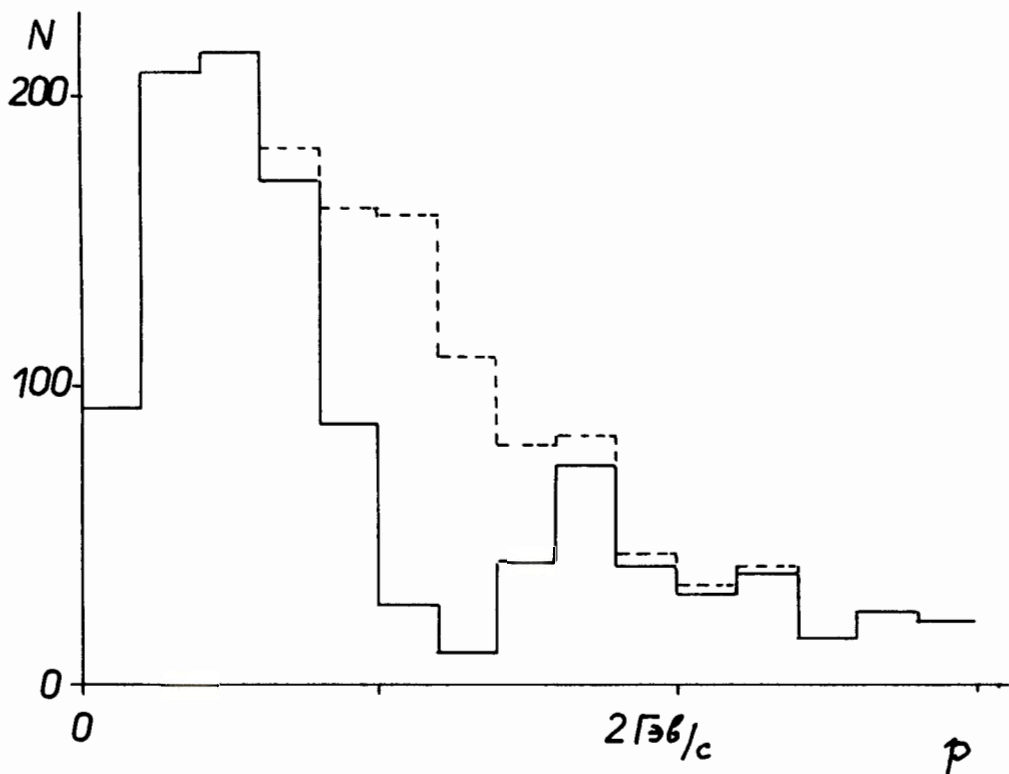


Рис. 2. Импульсное распределение положительных пионов в лабораторной системе для 1501 случаев типа 3_ (см. текст).

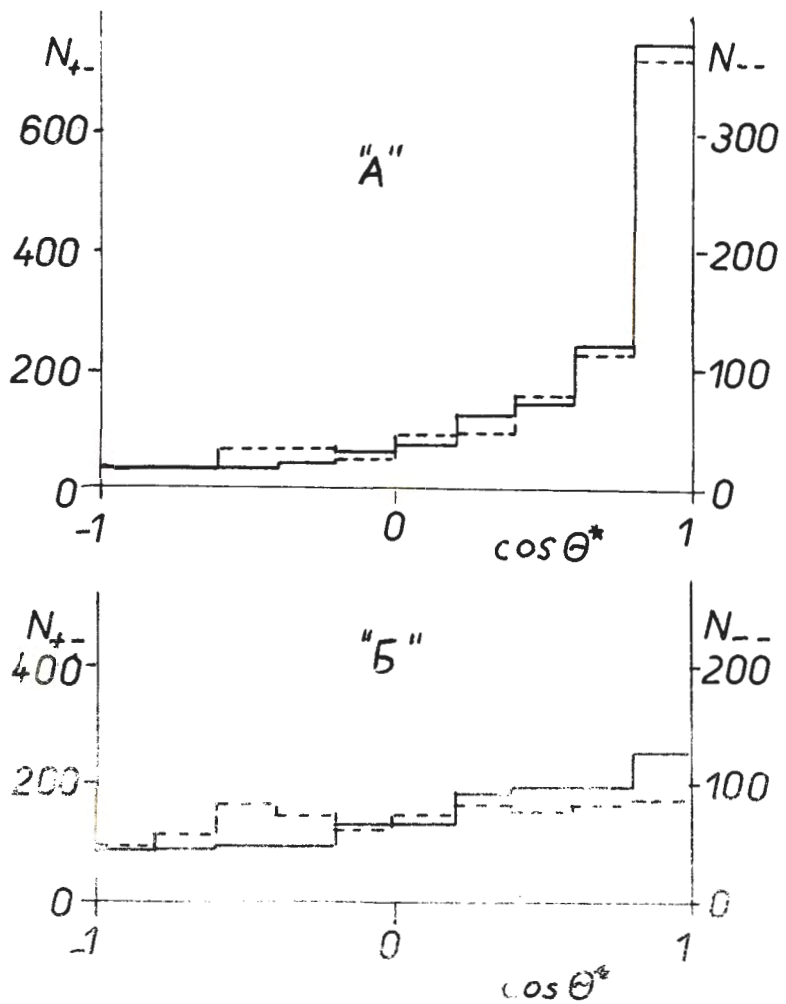


Рис. 3. Распределения значений косинусов углов вылета θ^* в с.и.и. относительно направления движения первичного пиона для пар $\pi^+\pi^-$ (сплошная линия) и для пар $\pi^-\pi^-$ (пунктирная линия) в случаях "А" и "Б".

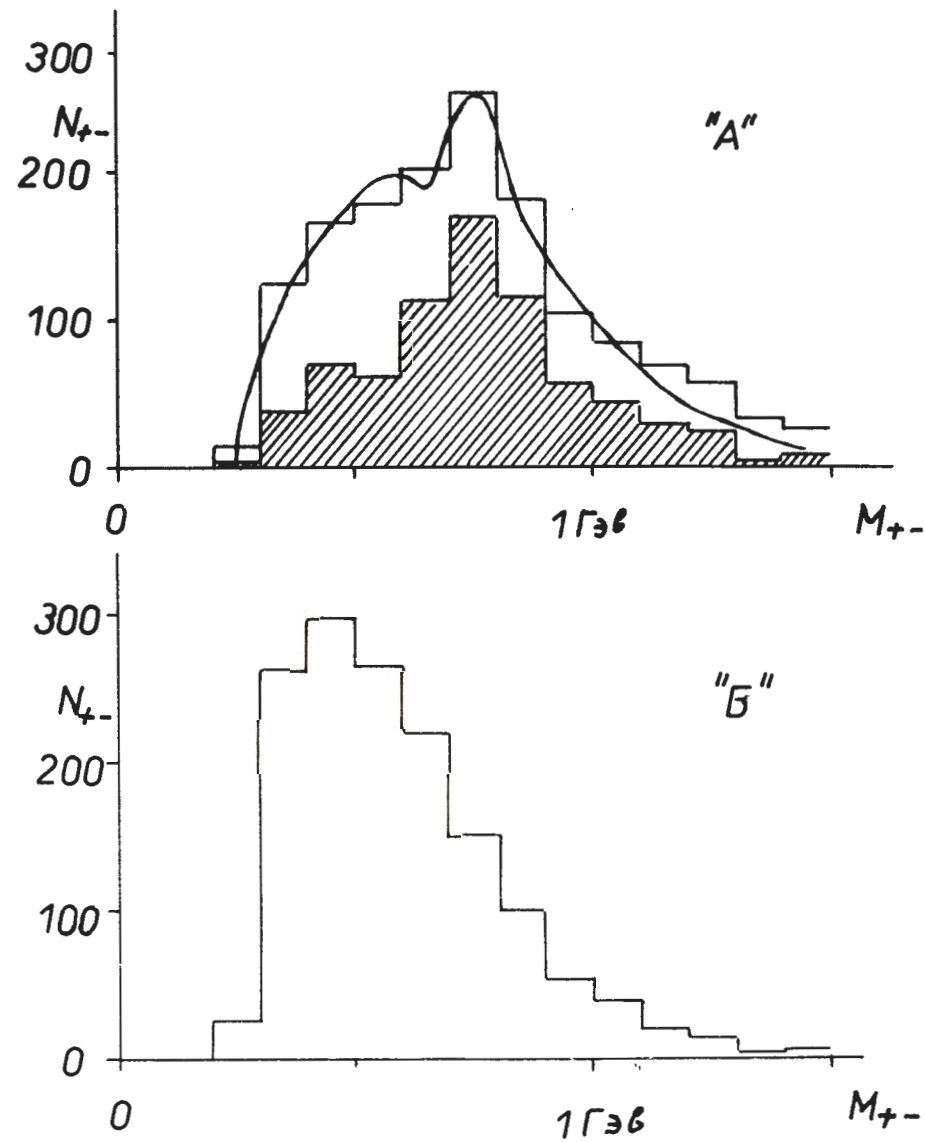


Рис. 4. Распределения значений эффективных масс M_{+-} для пар $\pi^+\pi^-$ в событиях "А" и "Б". Плавной кривой обозначен результат расчета фона с учетом кривой Брейт-Вигнера. В событиях "А" заштрихованы значения M_{+-} для пар $\pi^+\pi^-$ с $\cos \theta^* \geq 0,8$.

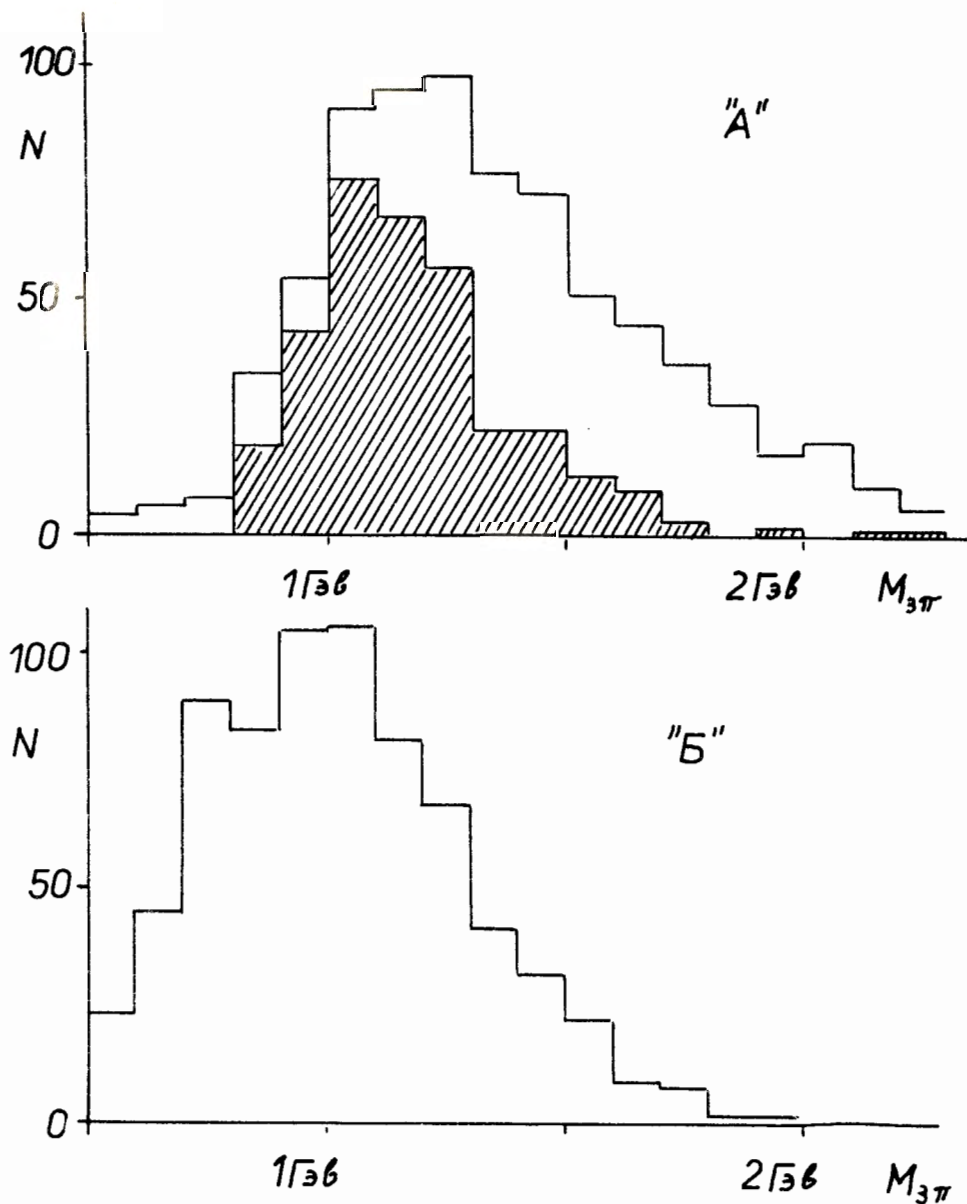


Рис. 5. Распределения значений эффективных масс: трех пионов $M_{3\pi}$ для случаев "А" и "Б". Заштрихованы значения $M_{3\pi}$ для событий "А", в которых хотя бы для одной пары выполнялись условия $0,6 \text{ Гэв} \leq M_{+-} < 0,9 \text{ Гэв}$ и $\cos \theta^* \geq 0,8$.