



Н.П.Богачев, К.Д.Толстов, Г.С.Шабратова,
К.Дороба, А.Яхолоковски, Е.Скжипчак,
Ф.Г.Лепехин, Б.Б.Симонов, Д.А.Галстян,
Н.А.Перфилов, З.И.Соловьева, Е.В.Фадина,
С.А.Азимов, Е.Басова, У.Г.Гулямов,
В.И.Петров, Г.М.Чернов

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДЕЙТОНОВ 9,4 ГЭВ/С
С ЯДРАМИ В ФОТОЭМУЛЬСИИ

1972

Н.П.Богачев, К.Д.Толстов, Г.С.Шабратова,
К.Дороба,¹ А.Яхолоковски,¹ Е.Скжипчак,¹
Ф.Г.Лепехин,² Б.Б.Симонов,² Д.А.Галстян,³
Н.А.Перфилов,⁴ З.И.Соловьева,⁴ Е.В.Фадина,⁴
С.А.Азимов,⁵ Е.Басова,⁵ У.Г.Гулямов,⁵
В.И.Петров,⁵ Г.М.Чернов⁵

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДЕЙТОНОВ 9,4 ГЭВ/С
С ЯДРАМИ В ФОТОЭМУЛЬСИИ

- ¹ Институт экспериментальной физики Варшавского университета.
² Ленинградский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова
АН СССР.
³ Ереванский физический институт.
⁴ Радиевый институт им. В.Г.Хлопина.
⁵ Физико-технический институт АН Уз. ССР.

1. Введение

Ускорение дейтонов до релятивистских энергий позволило начать изучение взаимодействия ядер с ядрами /1/ и в настоящей работе нами исследовались общие характеристики дейтон-ядерных взаимодействий.

Полученные результаты обрабатывались на ЭВМ, причем события разделялись на классы, были построены распределения, для которых проведен анализ и установлены некоторые, ранее не наблюдавшиеся, свойства ядерных расщеплений. Проведено сравнение с каскадно-испарительной моделью /2/.

2. Условия эксперимента

Эмульсионные камеры из слоев НИИХИМФОТО БР-2 облучались на синхрофазотроне ОИЯИ выведенным пучком дейтонов с импульсом 9,38 Гэв/с. Плотность облучения составляла $2 \cdot 10^4$ част/см². Поиск событий осуществлялся просмотром вдоль следа /3/. Всего просмотрено 604 м следа и найдено 2650 событий. Средняя длина до взаимодействия оказалась равной $22,8 \pm 0,4$ см. После исключения 235 взаимодействий с единственным релятивистским следом /среды которых возможны случаи упругого рассеяния на ядрах/ средняя длина до взаимодействий составляет $\lambda = 25,0 \pm 0,5$ см. Для измерений использовано 1650 событий. Половина событий измерялась на микроскопе МПЭ-1 /4/. В событиях регистрировались δ -электроны и ядра отдачи. Все следы делились на 3 группы по следующим критериям:

а/ следы с плотностью сгустков $B < 1,4 B_0 / B_0$ - плотность сгустков на следе первичной частицы/ считались следами ливневых частиц;

б/ следы $B > 1,4 B_0$ с пробегами $R > 3000$ мкм относились к частицам промежуточных энергий /“серые“ следы/;

в/ следы с $5 \text{ мкм} < R < 3000$ мкм отнесены к “черным“ следам;

г/ следы с $R < 5$ мкм считались ядрами отдачи.

Данные о всех событиях были записаны на магнитные ленты ЭВМ Минск-32 и CDC 3170.

3. Распределение событий по числу частиц

Распределение событий по числу частиц представлено на рис.1, где дано число событий с данным числом ливневых частиц N_s при данном числе $N_b = N_g + N_b$ /число “серых“ + число “черных“ следов/. Распределения по числу ливневых частиц для всех событий, для событий с $N_b \geq 7$ и для 190 квазинуклонных событий /без ядра отдачи и δ -электрона $N_b = 0$, $N_g = 0,1$ / представлены на рис. 2 /а,б,в/ соответственно. Средние значения $\langle N_s \rangle$ для этих распределений равны $3,09 \pm 0,04$ /что совпадает с расчетным значением $^{12}/$, $3,75 \pm 0,08$ и $2,06 \pm 0,10$ соответственно.

Экспериментальные данные были аппроксимированы распределением Пуассона, удовлетворяющим минимуму χ^2 .

Наилучшее согласие / $\chi^2 = 8,85$ для 12 степеней свободы/ наблюдается для распределения с $N_b \geq 7$. Наибольшие отклонения из двух других распределений дают события с $N_s = 0$ и 1.

При анализе установлено, что распределение событий по числу частиц N_b /рис. 3/ на уровне $\chi^2 = 37$ при 24 степенях свободы совпадает с аналогичным распределением для протонов с энергией 25 Гэв $^{5-10}/$. Среднее значение $\langle N_b \rangle = 7,8 \pm 0,1$ совпадает со значениями $\langle N_b \rangle$ для протон-ядерных взаимодействий в широком интервале энергий $^{8}/$, но существенно отличается от расчетного $\langle N_b \rangle = 5,6$ $^{12}/$. Отметим, что расчеты производились для среднего ядра фотоэмульсии (Gd^{70}) и это может быть одной из причин расхождения.

Из рис. 3 следует еще одна важная особенность распределения по числу медленных частиц N_b , которая ранее была не известной - в интервале $N_b = 8 \div 23$ вероятность появления события с данным N_b изменяется линейно, причем это имеет место как для дейтонов 9,4 Гэв/с, так и для протонов 6,2 $^{10}/$ и 25 Гэв.

Нами найдено 94 события / $5,7 \pm 0,6\%$ с $N_b \geq 24$, в то время как для протонов 25 Гэв их / $3,0 \pm 0,4\%$, что в рамках каскадно-испарив-

N_s

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	77	52	23	17	10	8	0	0	0	0
1	2	79	33	26	5	9	6	0	0	0	0
2	2	33	36	29	17	11	5	1	0	0	0
3	3	19	34	22	11	11	7	3	2	1	0
4	6	33	25	23	26	17	5	3	1	3	0
5	5	17	19	36	27	10	11	4	2	0	0
6	2	10	32	17	10	12	5	1	0	0	0
7	0	14	18	12	13	6	2	1	1	0	0
8	2	9	2	9	8	12	4	1	1	0	0
9	1	4	6	13	4	6	2	1	2	0	0
10	2	3	10	9	7	7	5	3	1	0	0
11	5	6	9	11	14	5	4	1	1	0	0
12	2	2	10	13	3	9	5	2	0	1	0
13	2	3	6	12	15	7	0	1	0	0	1
14	2	2	5	11	9	10	1	1	0	0	0
15	0	2	3	7	4	5	5	1	1	0	0
16	0	0	4	7	6	6	3	0	1	0	0
17	1	4	4	5	7	8	2	4	1	0	1
18	1	1	6	4	4	2	4	1	2	2	0
19	0	3	5	1	4	4	3	1	0	1	0
20	1	2	0	4	8	4	3	2	0	1	1
21	0	1	4	5	4	2	1	0	1	0	0
22	1	0	4	3	3	5	3	3	0	0	0
23	0	1	3	5	3	2	2	1	0	0	0
24	1	0	2	3	1	0	2	2	0	0	0
25	1	1	1	1	5	2	1	1	0	0	0
26	0	1	3	2	2	5	2	1	0	0	0
27	0	0	0	2	1	1	0	2	0	0	0
28	0	0	3	2	0	0	0	2	0	0	0
29	1	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0
30	0	2	1	1	0	2	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
32	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
34	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
35	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0

 N_b

Рис. 1. Распределение событий по числу N_b в зависимости от числа ливневых частиц N_s .

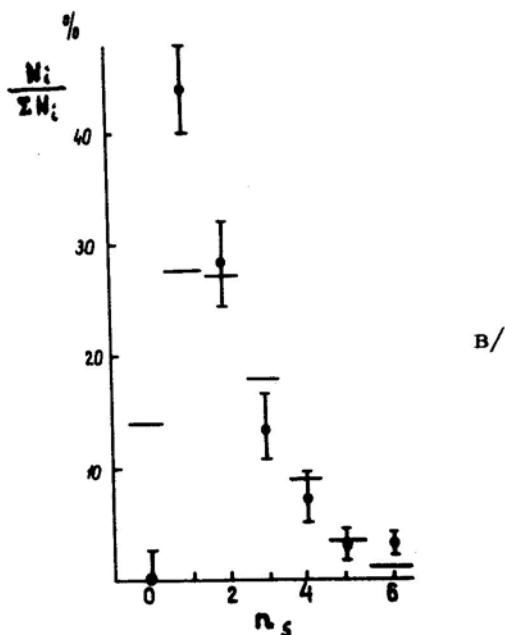
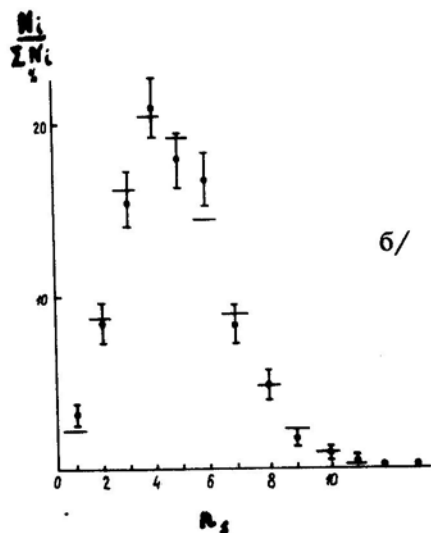
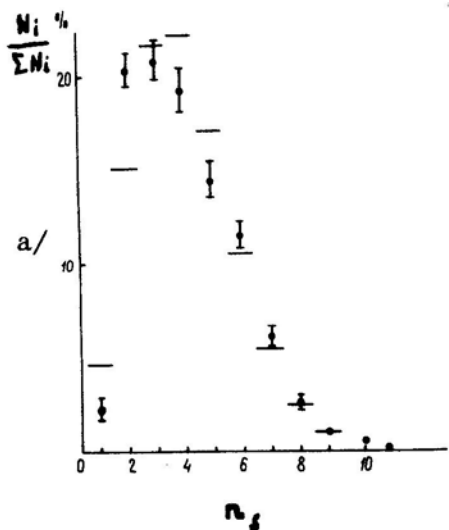


Рис.2. а/ Распределение всех событий по числу ливневых частиц. Горизонтальные черточки - наилучшее распределение Пуассона, соответствующие минимуму χ^2 . б/ Распределение событий с $N_b \geq 7$ по числу ливневых частиц N_s . в/ Распределение квазинуклонных событий по числу ливневых частиц N_s .

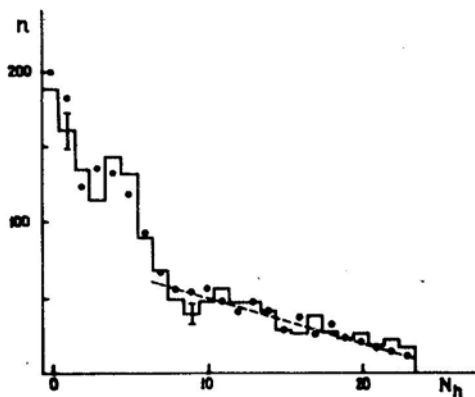


Рис. 3. Распределение 1650 событий по числу следов N_b . Точки - 6618 взаимодействий протонов 25 Гэв с ядрами эмульсии /5-10// нормировано на 1650 событий/.

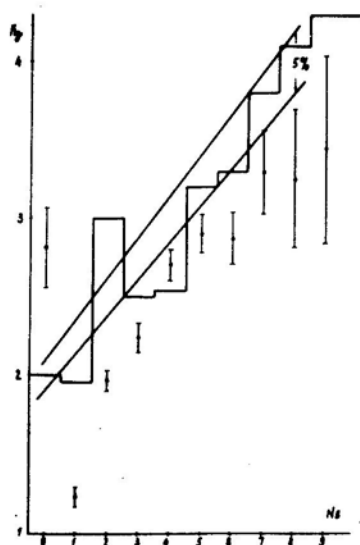


Рис. 4. Зависимость $\langle N_g \rangle$ при данном числе ливневых частиц N_s . Гистограмма - расчет $D/2$ ядерного каскада D - ядро эмульсии при энергии 5 Гэв/нуклон. Точность расчета = 5%.

тельной модели может рассматриваться как указание на развитие в нашем случае каскада из двух центров.

Из рис. 1 следует, что распределение по N_b для $N_s = 0$ резко отличается от распределения для $N_s = 1$. Казалось бы, что разница в одну ливневую частицу не должна так сильно влиять на испускание медленных частиц. Аналогичная картина наблюдается и при расщеплении ядер протонами 25 Гэв ⁹⁻¹⁰/, что, однако, не было отмечено в прежних публикациях. Средние же величины $\langle N_g \rangle$ и $\langle N_b \rangle$ для $N_s = 0$ практически совпадают со средними характеристиками всего набора. Для событий с $N_s \geq 1$ эти величины монотонно растут с N_s . Лучше всего это можно проследить на зависимости $\langle N_g(N_s) \rangle / \text{см. рис. 4/}$, а также сравнить ее с каскадными расчетами ^{12/}. Скачок при переходе от $N_s = 0$ к $N_s = 1$ да и дальнейший характер зависимости не следуют этим расчетам, хотя средние значения близки $\langle N_g \text{ эксп} \rangle = 2,47 \pm 0,13$, $\langle N_g \text{ расч} \rangle = 2,7$.

4. Угловые распределения

Угловые распределения ливневых частиц для всех событий и для квазинуклонных событий приведены на рис. 5. Углы θ_{12} , содержащие половину всех частиц, равны 27,5 и 16° соответственно, причем первое значение совпадает с рассчитанным по модели ядерного каскада ^{2/}. Угловое распределение ливневых частиц, имеющих угол меньше 5°, имеет резкий пик в интервале до 1,5° /рис. 6/, что указывает на существенную роль стриппинга в механизме генерации ливневых частиц ^{12,13/}.

Угловое распределение частиц промежуточных энергий /“серые” следы/ приведено на рис. 7. Аналогичные распределения для взаимодействий π^- -мезонов 60 Гэв/с и протонов 20,5 Гэв/с были описаны ^{14/} эмпирической формулой вида $\exp(a \cos \theta)$, где $a = 0,96$, кривая для которой приведена здесь же. Можно видеть, что угловые распределения “серых” следов не зависят от энергии и природы налетающих частиц.

Угловое распределение медленных частиц /“черные следы”/ показано на рис. 8. Параметр асимметрии $A = (F-B)/(F+B) = 0,145 \pm 0,004$. /Здесь F и B - число частиц, испускаемых в переднюю и заднюю полусферы/. Угловое распределение медленных частиц для событий с $N_g \geq 24$ не отличается от приведенного для всех событий. Отметим также согласие с расчетами ^{2/} $\theta_{1/2}$ для N_g и N_b .

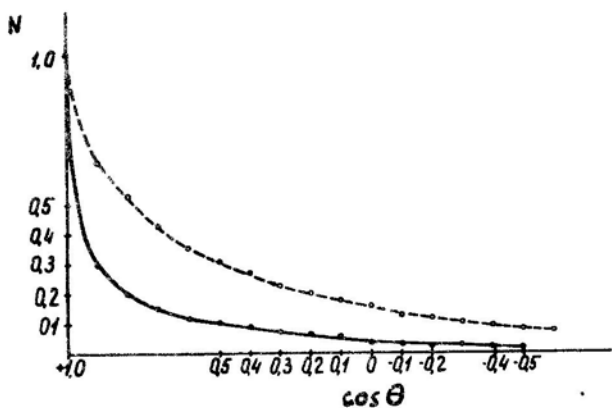


Рис. 5. Интегральное угловое распределение ливневых частиц из ядерных/пунктир/и квазинуклонных взаимодействий.

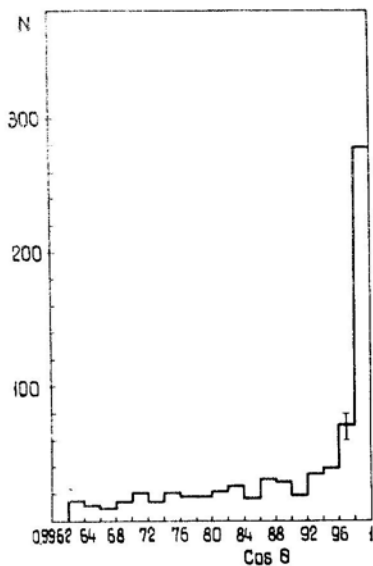


Рис. 6. Угловое распределение ливневых частиц с углом вылета меньше 5° .

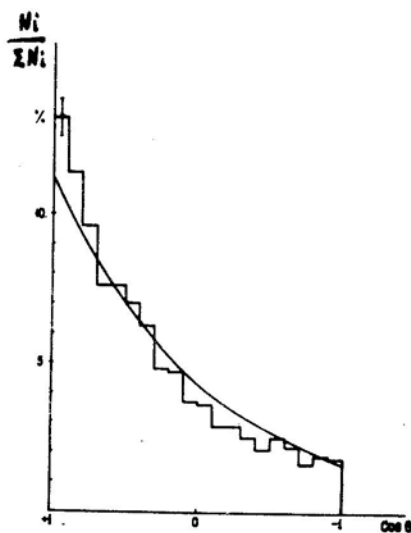


Рис. 7. Угловое распределение "серых" следов. Плавная кривая - зависимость вида $const + \exp(a \cdot \cos \theta)$, где $a_0 = 0,96/14$.

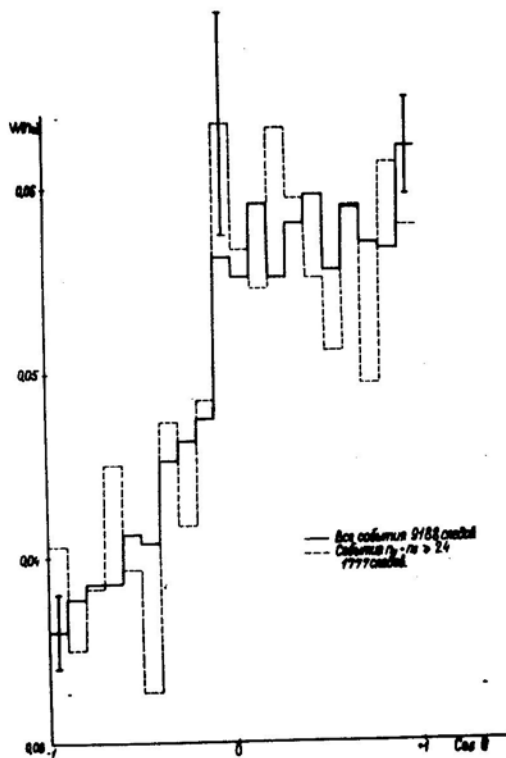


Рис. 8. Угловые распределения "черных" следов всех событий и событий с $N_b \geq 24$ /пунктир/.

5. Угловые корреляции

Получены распределения по углам между парами частиц одного типа. Для ливневых частиц и частиц промежуточной энергии наблюдаемое увеличение числа комбинаций с малыми углами естественно объясняется преимущественным вылетом этих частиц вперед. Для медленных частиц /46839 пар/ наблюдается более резкий пик вперед, а также пик назад /рис. 9/.

Для событий, имеющих только одну ливневую частицу и любое число других частиц, было сделано предположение, что эта ливневая частица есть первичный дейтрон, испытавший упругое рассеяние на нуклоне ядра. Тогда, зная энергию первичной частицы, по углу вылета ливневой частицы можно вычислить направление предполагаемого нуклона отдачи, а затем углы всех остальных частиц относительно этого направления. Распределение для них приведено на рис. 10 и обнаруживает корреляцию с таким направлением/параметр асимметрии $A = 0,23 \pm 0,03$ /.

Для двухлучевых событий вычислялся параметр компланарности. Для компланарных событий он должен следовать распределению χ^2 при одной степени свободы. Полученное распределение показывает, что в значительной доле двухлучевые события компланарны. Для компланарных событий был вычислен критерий согласия с кинематикой упругого рассеяния, распределение для которого, однако, не следует χ^2 распределению и оказалось практически равномерным, что, возможно, связано с фермиевским движением нуклонов в ядре.

6. Заключение

Обнаружено сходство распределения по N_b с аналогичными распределениями при взаимодействиях с ядрами протонов 25 Гэв.

При сопоставлении с расчетными данными χ^2 обнаружено согласие угловых характеристик и значения $\langle N_s \rangle$ и расхождение для $\langle N_b \rangle$ и зависимости $\langle N_g(N_s) \rangle$.

Угловые распределения "серых" следов при расщеплении ядер дейтонами, π^- -мезонами и протонами высоких энергий не отличаются друг от друга.

Обнаружены корреляции в углах между следами медленных частиц, не объясняющиеся моделью испарения.

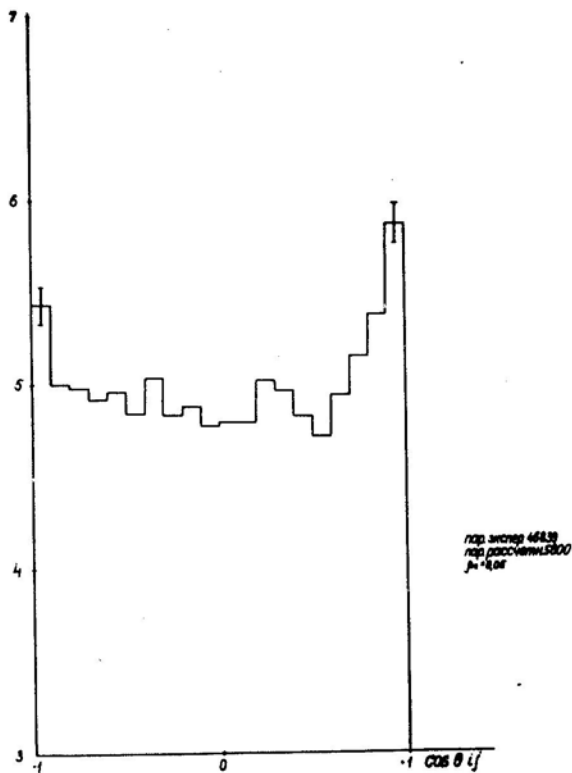


Рис. 9. Распределение по углам между всеми парами "черных" следов.

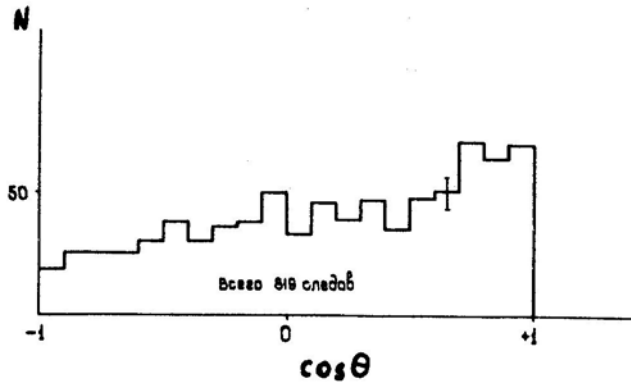


Рис. 10. Угловое распределение "серых" и "черных" следов относительно направления вылета нуклона отдачи при упругом $D-N$ - рассеянии в событиях с $N_s = 1$.

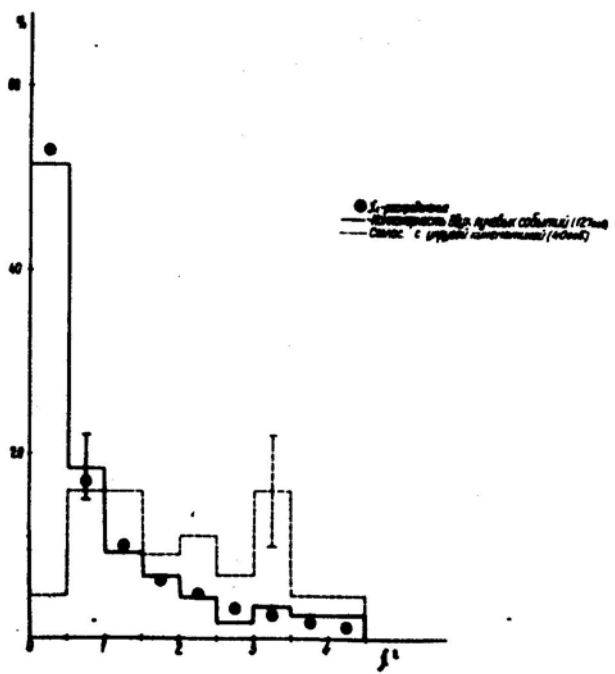


Рис. 11. Распределение двухлучевых событий по параметру компланарности и критерию согласия с упругой кинематикой /пунктир/. Точки - ожидаемое распределение для χ^2 .

Среди двухлучевых событий значительную долю составляют компланарные события, не удовлетворяющие, однако, кинематике упругого рассеяния.

Авторы выражают благодарность коллективу синхрофазотрона ОИЯИ и в особенности И.Б.Иссинскому и В.И.Морозу; С.И.Любомилову с сотрудниками за качественную обработку камер; В.В.Лентьеву - за помощь в обработке данных на ЭВМ Минск-32, В.И.Остроумову - за участие в обсуждении результатов.

Литература

1. А.М.Балдин, Н.Гиордэнеску и др. Препринт ОИЯИ, Р1-5819, Дубна, 1971.
2. В.С.Барашенков, А.С.Ильинов, В.Д.Тонеев. Препринт ОИЯИ, РЗ-5548, Дубна, 1970.
3. Б.П.Банник, М.И.Подгорецкий. ПТЭ, №3, 36, 1960.
4. Ф.Г.Лепехин. Препринт №321 ФТИ АН СССР, Ленинград, 1972.
5. G. Bizzeti et al., *Nuovo Cimento*, 27, 6 (1963).
6. G. Cvijanovich et al., *Nuovo Cimento*, 20, 1012 (1961).
7. A. Barbaro-Galtieri et al., *Nuovo Cimento*, 21, 469 (1961).
8. H. Meyer, M. W. Teucher, E. Lohrmann. *Nuovo Cimento*, 28, 1399 (1963).
9. S. Hasegawa et al., *Suppl. of the Progr. Theor. Phys.*, 47, 126 (1971).
10. H. Winzeler. *Nucl. Phys.*, 69, 661 (1965).
11. G. Castagnoli et al., *Nuovo Cimento*, 10, 1539 (1953).
12. R. L. Lander et al., *Phys. Rev.*, 137B, 1228 (1965).
13. М.И.Адамович и др. Препринт ОИЯИ, Р1-6386, Дубна, 1972.
14. А.А.Горячих и др. *Ядерная физика*, 13, 1267 /1971/.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 декабря 1972 года.