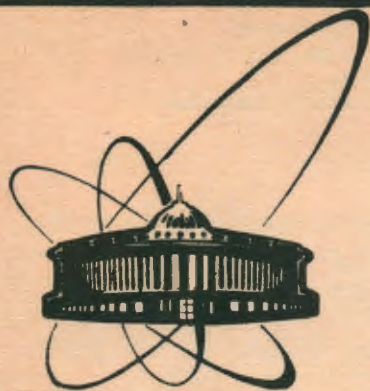


89-213



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P1-89-213

A 654

ЦЕНТРАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ЯДЕР НЕОНА-22
С ТЯЖЕЛЫМИ ЯДРАМИ ФОТОЭМУЛЬСИИ
ПРИ $P_0 = 4,1 \text{ A ГэВ/с}$

Сотрудничество: Алма-Ата - Бухарест -
Гатчина - Дубна - Душанбе - Ереван -
Зерноград - Кошице - Краков - Ленинград -
Москва - Ташкент - Тбилиси - Улан-Батор

1989

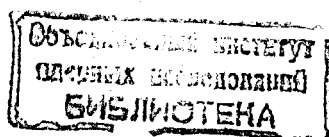
ВВЕДЕНИЕ

Общие характеристики и особенности неупругих взаимодействий ядер неона-22 с ядрами фотоэмульсии при $P_0 = 4,1$ А ГэВ/с и их зависимость от $Q = \sum Z_{fr}$ - суммарного заряда всех фрагментов ядра снаряда, приведены в ^{1,5/}. Некоторые особенности центральных взаимодействий ядер неона-22 с ядрами фотоэмульсии, в том числе характеристики "особых" событий, приведены в ^{2-4/}. Критерии выделения и характеристики центральных взаимодействий ядер гелия и углерода с ядрами серебра и брома при импульсе 4,5 А ГэВ/с рассмотрены в ^{7,9/}.

В настоящей работе приведены данные о множественности и угловых характеристиках вторичных частиц центральных взаимодействий ядер неона-22 на ядрах Ag, Br при $P_0 = 4,1$ А ГэВ/с. В результате изучения флуктуаций плотности релятивистских частиц по псевдобыстроте для центральных взаимодействий методом быстротных интервалов выделены события, содержащие плотные группы частиц. Приведены характеристики плотных групп и событий, в которых они возникли. Рассмотрены поперечные импульсы вторичных релятивистских частиц "особых" событий.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Стопки слоев ядерных фотоэмульсий типа БР-2 размером $10 \times 20 \times 0,06$ см³ облучались горизонтально пучком ядер неона-22 с импульсом $P_0 = 4,1$ А ГэВ/с на синхрофазотроне ОИЯИ. Поиск ядерных взаимодействий осуществлялся просмотром вдоль следа. Для каждого взаимодействия определено число ливневых частиц n_s - однократно заряженных релятивистских частиц с $\beta > 0,7$ и число медленных ($\beta \leq 0,7$) сильно ионизирующих частиц $N_h = n_p + n_g$, где n_p - число фрагментов с $\beta \leq 0,25$ ядра мишени; n_g - число частиц с $0,25 < \beta \leq 0,7$ / n_s , в основном, протоны отдачи/. Для всех заряженных частиц определены полярные (θ) и азимутальные (ψ) углы вылета, для v -частиц с $\theta \leq 3^\circ$ /а на части статистики с $\theta \leq 5^\circ$ / измерялись импульсы по многократному кулоновскому рассеянию. Это позволило выделить события без фрагментов-спектаторов ядра-снаряда, т.е. события с $Q = 0$. Для выделения центральных взаимодействий на тяжелых ядрах фотоэмуль-



сии Ag, Br использовали критерии: $Q = 0$ и $N_h \geq 7$. Условие $Q = 0$ обеспечивает центральность взаимодействия, а $N_h \geq 7$ - отбор соударений с ядрами мишени Ag, Br. Из общего числа 4309 взаимодействий выделено 237 событий центральных взаимодействий на всех ядрах фотоэмульсии, в том числе на ядрах Ag, Br - 226 событий, что составляет ~5,2% от взаимодействий на всех ядрах фотоэмульсии /или ~9,5% от взаимодействий на ядрах Ag, Br /.

МНОЖЕСТВЕННОСТЬ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

На рис. 1 представлены распределения по n_s, n_g, n_b и $N_h = n_b + n_g$ для центральных взаимодействий $^{22}\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Br}$. В табл. 1 приведены средние значения $\langle n_s \rangle, \langle n_b \rangle, \langle n_g \rangle, \langle N_h \rangle$ для различных групп по N_h центральных взаимодействий ядер неона-22 на ядрах фотоэмульсии. Там же для сравнения приведены данные для всех взаимодействий, а также для группы взаимодействий $\text{Ne} + \text{Em}$ с $Q = 1$: события с $N_h \leq 6$ и $Q = 0$ - центральные взаимодействия ядер неона на легких ядрах фотоэмульсии; с $N_h \geq 28$ - события, которые сопровождаются полным разрушением ядер мишени Ag, Br.

Из анализа данных рис. 1 и табл. 1 и после изучения корреляций $\langle n_s \rangle = f(N_h), \langle n_b \rangle = f(n_g)$ можно заключить, что:

1/ Для центральных взаимодействий $\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Br}$

а/ при переходе к центральным взаимодействиям $\langle n_s \rangle$ и $\langle N_h \rangle$ увеличиваются примерно в три раза;

б/ для большинства событий $N_h \geq 17$ /220 событий из 226/;

в/ для различных групп по N_h ($N_h = 7 - 27$ и $N_h \geq 28$) $\langle n_s \rangle$ и $\langle n_b \rangle$ практически не изменяются, а $\langle n_g \rangle$ увеличивается примерно в 2 раза;

Рис. 1. Распределение по n_s, n_g, n_b, N_h для взаимодействий $\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Br}$ /события с $Q = 0$ и $N_h \geq 7$ /.

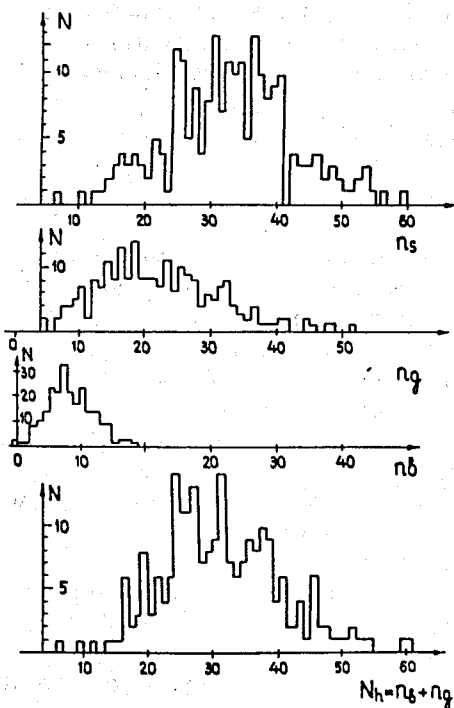


Таблица 1. Множественность заряженных частиц

N_h	$\langle n_s \rangle$	$\langle n_b \rangle$	$\langle n_g \rangle$	$\langle N_h \rangle$	$N_{\text{взаим.}}$
≥ 0	$32,6 \pm 0,6$	$8,5 \pm 0,3$	$21,9 \pm 0,6$	$30,4 \pm 0,7$	237
≤ 6	$24,7 \pm 1,2$	$0,9 \pm 0,3$	$3,7 \pm 0,5$	$4,6 \pm 0,4$	11
≥ 7	$33,2 \pm 0,7$	$8,9 \pm 0,4$	$22,8 \pm 0,6$	$31,7 \pm 0,7$	226
7-27	$32,6 \pm 1,2$	$8,0 \pm 0,4$	$14,4 \pm 0,5$	$22,4 \pm 0,5$	80
≥ 28	$33,6 \pm 0,7$	$9,4 \pm 0,3$	$27,4 \pm 0,6$	$36,8 \pm 0,7$	146
"особые"	$31,5 \pm 2,5$	$8,8 \pm 0,9$	$22,7 \pm 1,2$	$31,5 \pm 1,6$	19
} $Q = 0$					
≥ 0	$28,6 \pm 0,6$	$8,9 \pm 0,3$	$18,4 \pm 0,6$	$27,3 \pm 0,8$	225
≤ 6	$19,0 \pm 1,5$	$0,6 \pm 0,2$	$3,7 \pm 0,4$	$4,3 \pm 0,4$	16
7-27	$28,1 \pm 0,9$	$7,8 \pm 0,3$	$11,9 \pm 0,6$	$19,7 \pm 0,6$	87
≥ 28	$30,1 \pm 0,7$	$10,7 \pm 0,3$	$24,9 \pm 0,6$	$35,6 \pm 0,6$	122
} $Q = 1$					
Ne + Em	10,53	4,22	6,32	10,54	4309
($N_h \geq 0$)	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$	$\pm 0,04$	$\pm 0,05$	

$g / \langle n_s \rangle$ не зависит от N_h, n_g ; данному интервалу по n_s соответствует широкое распределение по n_g, N_h . Для всех взаимодействий ($N_h \geq 0$) $\langle n_s \rangle$ увеличивается примерно в 3 раза при изменении N_h от 15 до 27, для $N_h \geq 28$ $\langle n_s \rangle$ остается без изменения /1/.

2/ Средние характеристики взаимодействий $\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Br}$ с $Q = 1$ и $Q = 0$ близки, $\langle n_s \rangle$ и $\langle N_h \rangle$ для событий с $Q = 1$ примерно на 10% ниже, чем для $Q = 0$, однако в области $n_s > 40$ преобладают события с $Q = 0$, а в области $n_s < 20$ - события с $Q = 1$.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ПСЕВДОБЫСТРОТЕ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЧАСТИЦ

В качестве угловой характеристики релятивистских частиц используется псевдобыстрота $\eta = -\ln \tan \theta / 2$. Распределения по плотности релятивистских частиц по псевдобыстроте /числу частиц на единицу псевдобыстроты/ $\rho(\eta) = (1/N) dn_s / d\eta$ для различных интервалов по N_h центральных взаимодействий $\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Br}$ /события с $Q = 0$ и $N_h \geq 7$ / приведены на рис. 2. На рис. 3 показаны аналогичные распределения для событий с $Q = 1$. В табл. 2 даны средние характеристики распределений по псевдобыстроте

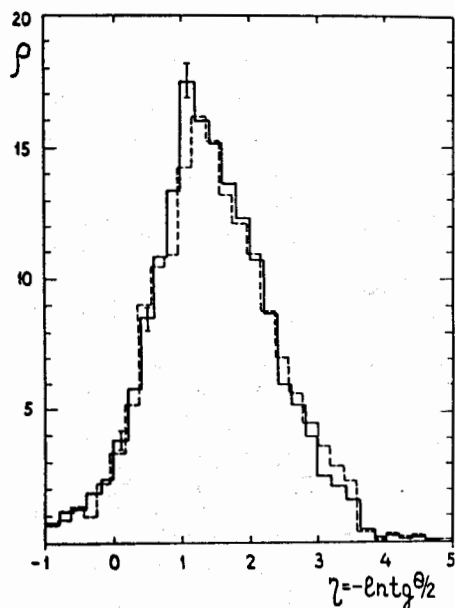


Рис. 3. Распределение по псевдобыстроте релятивистских частиц из взаимодействий Ne + AgBr /события с Q=1 и N_h ≥ 7/.

Рис. 2. Распределение по псевдобыстроте релятивистских частиц из взаимодействий Ne + AgBr /события с Q=0 и N_h ≥ 7/.

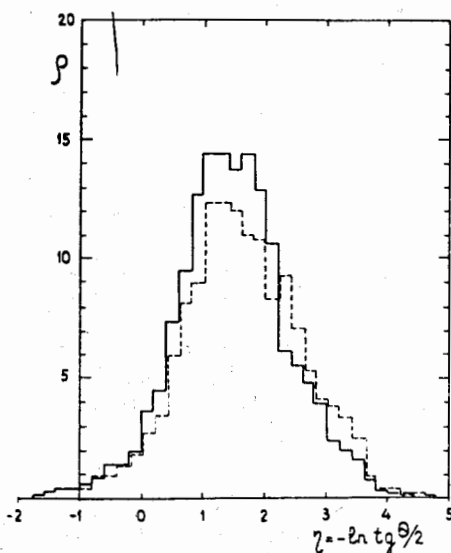


Таблица 2. Характеристики распределений по псевдобыстроте для различных групп Ne + Em-взаимодействий, P₀ = 4,1 А ГэВ/с

N _h	<η>	D(η)	N звезд	N частиц	
≥ 0	1,47±0,06	0,93	237	7785	} Q=0
	/1,57±0,02/				
≤ 6	2,0±0,3	0,88	11	272	
(≥ 7)	/1,85±0,02/				
	/1,10±0,02/				
7-27	1,51±0,11	0,95	80	2609	} Q=1
≥ 28	1,42±0,08	0,91	146	4904	
≥ 0	1,54±0,06	0,94	225	6423	
≤ 6	1,95±0,24	0,93	16	304	
7-27	1,60±0,11	0,97	87	2445	
≥ 28	1,46±0,08	0,90	122	3674	

* В скобках приведены значения для pA-взаимодействий с 4,5 ГэВ/с.

<η> и дисперсии D(η) для событий с Q = 0 и Q = 1 для различных интервалов по N_h.

Из анализа данных рис. 2, 3 и табл. 2 следует, что распределения по псевдобыстроте релятивистских частиц для событий различных групп по N_h (N_h=7 ÷ 27 и N_h ≥ 28) близки, при переходе от Q=0 к Q=1 плотность частиц ρ(η) в центральной области уменьшается примерно на 20%. Максимальная средняя плотность релятивистских частиц по псевдобыстроте для событий с Q=0 и N_h ≥ 7 достигает <ρ(η)_{max}> = 17,5 ± 0,05 /интервал псевдобыстрот 1 ÷ 1,2/, при этом средняя плотность частиц <ρ(η)> для интервалов быстрот 0,5 ÷ 1,0, 1,0 ÷ 2,0, 2,0 ÷ 3,0 составляет ≈ 11, 15 и 7 соответственно.

ФЛУКТУАЦИИ В ПЛОТНОСТИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЧАСТИЦ ПО ПСЕВДОБЫСТРОТЕ

1. Для центральных взаимодействий /Q=0 и N_h ≥ 7/ проведен анализ угловых характеристик индивидуальных событий с целью выделения плотных групп частиц. Использован метод быстротных интервалов. Выделялись события, в которых была группа частиц с числом K ≥ 6 на интервале Δη ≤ 0,1, что соответствовало плотности частиц ρ(η) ≥ 60. Из 226 центральных взаимодействий Ne + AgBr выделено 46 событий с плотными группами ρ(η) ≥ 60, т.е. около 20% центральных взаимодействий. При <ρ(η)_{max}> = 1,75 (Δη = 0,1) вероятность появления числа частиц K ≥ 6 на Δη ≤ 0,1 по Пуассону составляет менее 2% от всех центральных взаимодействий, т.е. меньше 4,5 событий. Ниже приведены характеристики событий с плотными группами. Для них <n_s> = 43,1 ± 1,1; <n_b> = 7,8 ± 0,4; <n_g> = 23,8 ± 1,1 и <N_h> = 31,6 ± 1,1. Из сравнения этих данных со средними <n_s> для центральных взаимодействий с Q=0 и N_h ≥ 7 следует, что <n_s> ≈ в 1,3 раза больше для событий с плотными группами, а характеристики <n_b>, <n_g>, <N_h> не отличаются.

На рис. 4 дано интегральное распределение событий по ρ(η). Как следует из рис. 4, это распределение может быть представлено экспонентой

$$N(> \rho) = e^{-a\rho/\rho_0}$$

где ρ₀ = ρ_{max} = 17,5 и a = 0,6 ± 0,1.

На рис. 5 показано распределение по <η> плотных групп частиц. Для интервала быстрот η от 0,9 до 1,8 это распределение согласуется с распределением Пуассона. При среднем <η> = 1,4 dN/d<η> = 5. Как видно из рис. 5, распределения по <η> для

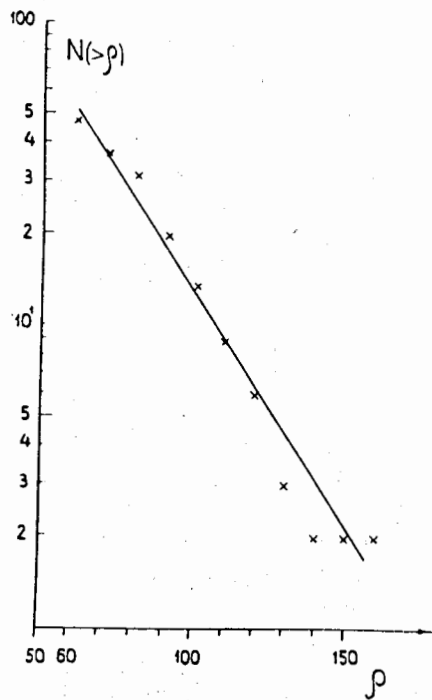


Рис. 4. Интегральное распределение по $\rho(\eta)$ для событий с плотными группами $K \geq 6$, $\Delta\eta \leq 0,1$.

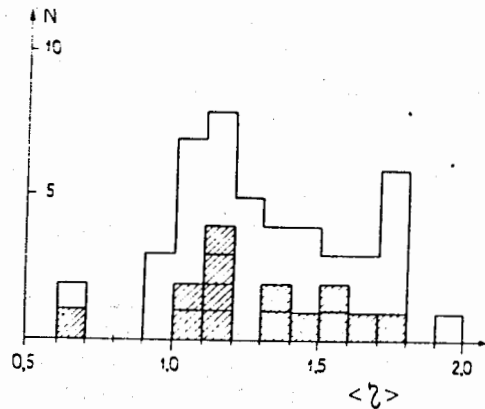


Рис. 5. Распределение по $\langle \eta \rangle$ плотных групп $K \geq 6$, $\rho(\eta) \geq 60$ для индивидуальных событий.
 \square - все события, \blacksquare - события с $\rho(\eta) > 100$.

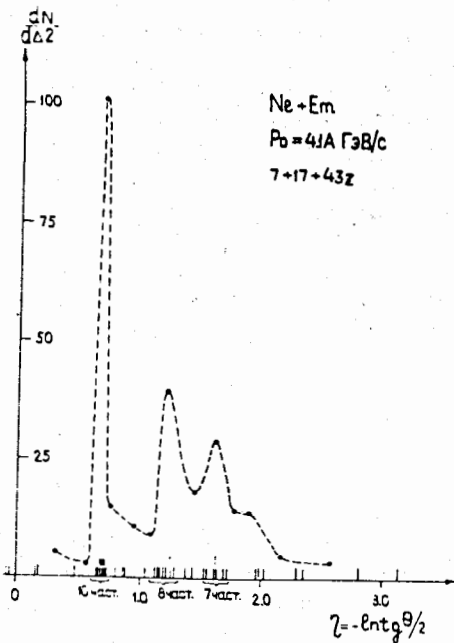


Рис. 6. Плотность релятивистских частиц по псевдобыстроте для события $n_b = 7$, $n_g = 17$, $n_s = 43$ /№62025090/.

всех событий ($\rho(\eta) \geq 60$) и событий с $\rho(\eta) \geq 100$ подобны. На рис. 6 показан пример распределения по $\rho(\eta)$ для уникального события типа $n_b = 7$, $n_g = 17$, $n_s = 43$, особенностью которого является наличие плотной группы частиц с $K = 10$ на $\Delta\eta = 0,089$, что соответствует $\rho(\eta) = 112$. Для данного события $\langle \eta \rangle = 0,69$, и если учесть, что для центральных взаимодействий $\langle \rho(\eta) \rangle = 10$ для $\eta \approx 0,7$, т.е. 1 частицы на $\Delta\eta = 0,1$, то вероятность наблюдения 10 частиц /по Пуассону/ будет $\approx 10^{-7}$.

Таким образом, среди центральных взаимодействий $Ne + AgBr$ примерно в 20% событий наблюдаются плотные группы частиц с $\rho(\eta) \geq 60$, что является особенностью взаимодействий ядро - ядро.

2. Для центральных взаимодействий на ядрах $AgBr$ изучено распределение событий по наличию групп частиц с $K \geq 2$ на интервале псевдобыстрот $\Delta\eta \leq 0,1$, что соответствует плотностям частиц по псевдобыстроте $\rho \geq 20$. Анализ проведен на экспериментальных событиях, а также на событиях, полученных по розыгрышу каскадно-испарительной модели /КИМ/. Статистика взаимодействий составила:

эксперимент	$N_{вз} = 4309$,	$N_{ц.вз} = 226$ /5,2%/
КИМ	$N_{вз} = 4976$,	$N_{ц.вз} = 196$ /3,9%/

Из сопоставления приведенных данных следует, что в эксперименте доля центральных взаимодействий заметно выше.

В табл. 3 приведено распределение числа групп /кластеров/ с $K \geq 2$ на $\Delta\eta \leq 0,1$. Из сопоставления эксперимента и модели КИМ /при нормировке на число центральных взаимодействий/ следует, что в эксперименте имеется избыток ≈ 200 плотных групп с $K \geq 4$ /на интервал $\Delta\eta \leq 0,1$; для $K \geq 6$ и $\Delta\eta \leq 0,1$ наблюда-

Таблица 3. Распределение числа плотных групп /кластеров/ с $K \geq 2$ на интервале $\Delta\eta \leq 0,1$ для центральных взаимодействий ($Q = 0$, $N_b \geq 7$)

K	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$N_{зв}$
Эксперимент	1842	607	299	115	41	17	6	0	1	226
КИМ	1528	524	163	59	19	4	1	0	0	196
КИМ /нормировка на 226 событий/	1760	605	188	68	22	4,6	1,15	0	0	226

ется избыток 40 событий. Методом быстрой интервалов выделено /см. пункт 1 данного раздела/ 46 событий с $K \geq 6$ ($\rho \geq 60$), при этом фон составляет не более 4-5 событий.

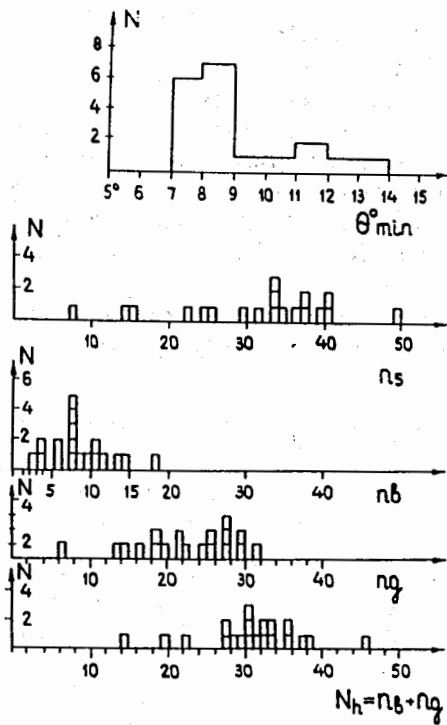
ОСОБЫЕ СОБЫТИЯ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Среди центральных взаимодействий ядер неона на ядрах Ag, Вг выделены т. наз. "особые" события^{/2/}, в которых минимальный угол вылета релятивистских заряженных частиц $\theta > 7^\circ$. В этих событиях нет фрагментов-спектаторов ядра-снаряда с $Z \geq 1$ ($\theta \leq 2,8^\circ$) и даже отсутствуют упругорассеянные спектаторы ядра-снаряда с $Z = 1$ ($\theta < 5,6^\circ$). Таких событий оказалось 19. Распределения по θ_{\min} , n_s , n_b , n_g и N_h для "особых" событий приведены на рис. 7, средние значения $\langle n_s \rangle$, $\langle n_b \rangle$, $\langle n_g \rangle$, $\langle N_h \rangle$ даны в табл. 1. Средние значения $\langle n_1 \rangle$ для "особых" событий не отличаются от тех же величин для центральных взаимодействий. Из распределений по n_s /см. рис. 7/ следует, что для "особых" событий n_s занимает интервал от 20 до 40, т.е.

эти события не являются событиями самой высокой множественности. В угловых характеристиках "особых" событий наблюдаются плотные группы частиц и неравномерность распределения релятивистских частиц по псевдобыстроте.

Для индивидуальных "особых" событий была проведена оценка среднего поперечного импульса быстрых (v) частиц на основе углового распределения этих частиц. Составлялся баланс импульсов с учетом энергии, уносимой как быстрыми (v) нейтронами и нейтральными пионами, так и v -частицами /протонами, нейтронами/:

Рис. 7. Распределение по θ_{\min} , n_s , n_b , n_g для "особых" событий / $0 = G$, $N_h \geq 7$, $\theta_{\min} > 7^\circ$ /.



$$90 = \langle P_{\perp} \rangle \left(2,2 \sum_{i=1}^{10} \text{ctg} \theta_i^s + \frac{3}{2} \sum_{i=11}^{n_s} \text{ctg} \theta_i^s \right) + 0,4 \cdot 2,3 \sum_{j=1}^{n_g} \text{ctg} \theta_j^g$$

$\frac{dN_{\text{сое}}}{d\langle P_{\perp} \rangle}$

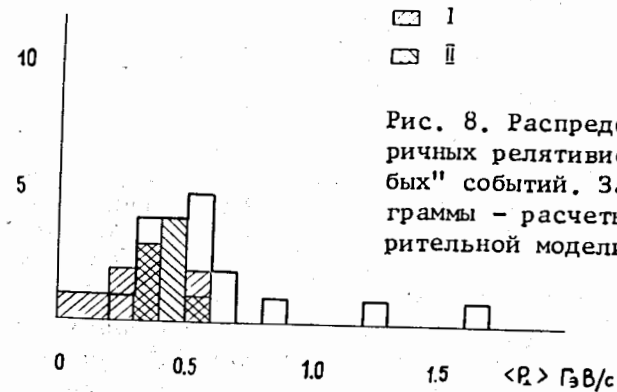


Рис. 8. Распределение по $\langle P_{\perp} \rangle$ вторичных релятивистских частиц "особых" событий. Заштрихованные гистограммы - расчеты по каскадно-испарительной модели.

Полученное распределение показано на рис. 8. Среднее значение $\langle P_{\perp} \rangle$ для особых событий оказалось равным $0,61 \pm 0,08$ ГэВ/с, что существенно выше аналогичной величины $\langle P_{\perp} \rangle = 0,38$ ГэВ/с для случая всех $Ne + Em$ -взаимодействий^{/8/}. Представление о том, чего следует ожидать из суперпозиционной картины ядро-ядерных взаимодействий дают расчеты $\langle P_{\perp} \rangle$, выполненные в рамках каскадно-испарительной модели /КИМ/ для событий, выделенных как особые. Расчеты, проведенные по указанному алгоритму, дают $\langle P_{\perp} \rangle = (0,32 \pm 0,05)$ ГэВ/с. Учет импульсов и углов приводит к $\langle P_{\perp} \rangle = (0,41 \pm 0,02)$ ГэВ/с. На рис. 8 гистограммы первого и второго вариантов КИМ обозначены соответственно цифрами I и II. Очевидно, что модель не в состоянии объяснить $\langle P_{\perp} \rangle = 0,6$. Кроме того, по аналогии с расчетами по КИМ, следует ожидать, что определение $\langle P_{\perp} \rangle$ по реальным измерениям импульсов дает большее значение этой характеристики.

Хорошо согласуется с экспериментальными $\langle P_{\perp} \rangle$ оценка $\langle P_{\perp} \rangle = 0,62$ ГэВ/с, сделанная в предположении коллективного взаимодействия ядер на основе принципа неопределенности^{/8/}.

ВЫВОДЫ

1. Центральные взаимодействия ядер неона-22 на тяжелых ядрах фотоэмульсии Ag, Вг при $P_0 = 4,1$ А ГэВ/с, выделенные по критериям $Q = 0$ и $N_h \geq 7$, составляют $\approx 9,5\%$ от взаимодействий на

ядрах Ag, Br, или $\approx 5,3\%$ от взаимодействий на всех ядрах фотоэмульсии.

2. Для центральных взаимодействий Ne + Ag, Br средние множественности $\langle n_s \rangle$ и $\langle N_h \rangle$ примерно в три раза больше, чем для всех взаимодействий Ne + Em.

3. Распределения ливневых частиц по псевдобыстроте для центральных взаимодействий Ne + Ag, Br для групп взаимодействий $N_h = 7 \div 27$ и $N_h \geq 28$ близки. Максимальная плотность релятивистских частиц $\langle \rho(\eta)_{\max} \rangle = 17,5 \pm 0,5$ приходится на интервал псевдобыстрот $1,0 \div 1,2$.

4. Доля событий с плотными группами $\rho \geq 60$ составила $\approx 20\%$ от всех центральных Ne + Ag-, Br - взаимодействий. Оценка фона дает величину менее 2% от Ne + Ag-, Br - взаимодействий.

5. Среди центральных взаимодействий выделены "особые" события, для которых $\theta_{\min} > 7^\circ$ /для спектаторов с $Z=1$ $\theta < 2,8^\circ$ /. Доля таких событий составляет $\approx 8\%$ от центральных Ne + Ag-, Br - взаимодействий. Средний поперечный импульс быстрых заряженных вторичных частиц этих событий $\langle P_\perp \rangle = (0,61 \pm 0,05)$ ГэВ/с.

Таким образом, особенности центральных взаимодействий ядер ^{22}Ne на тяжелых ядрах Ag, Br, вероятно, указывают на коллективный характер ядро-ядерных взаимодействий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева Н.П. и др. - В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ №12-85, Дубна: ОИЯИ, 1985, с.15.
2. Краснов С.А. и др. - В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ №16-86. Дубна: ОИЯИ, 1986, с.11.
3. Andreeva N.P. et al. - In: Proc. of XX Int. Conf on Cosmic Rays. M.: Nauka, 1987, v.5, p.64.
4. El-Naghy A. et al. - JINR Preprint E1-87-472, Dubna, 1987.
5. Андреева Н.П. и др. - Препринт ОИЯИ P1-86-8, Дубна, 1986; ЯФ, 1987, т.45, в.1, с.123.
6. Шабратова Г.С. и др. - Сообщение ОИЯИ P1-86-303, Дубна, 1986.
7. Абдельсалам А. и др. - Сообщение ОИЯИ P1-83-577, Дубна, 1983.
8. Толстов К.Д. - Сообщение ОИЯИ P1-86-464, Дубна, 1986.
9. Богданов В.Г., Перфилов Н.А., Соловьев З.И.. - Препринт Радиевого института им. В.Г.Хлопина РИ-152, Л., 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 марта 1989 года.