

ИМПУЛЬСНЫЕ СПЕКТРЫ ПИОНОВ И ПРОТОНОВ  
В СТОЛКНОВЕНИЯХ  $p$ ,  $^{12}\text{C}$  и  $^{22}\text{Ne}$  С ЯДРАМИ  
ФОТОЭМУЛЬСИИ ПРИ 4,5 А ГЭВ/с

В.А.Лескин\*, К.Д.Толстов

В неупругих взаимодействиях  $p$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{22}\text{Ne}$  с ядрами фотоэмульсии при импульсе 4,5 ГЭВ/с на нуклон ливневые частицы разделены на  $\pi^{\pm}$ -мезоны и протоны, испытавшие неупругие столкновения, а в случае ядер  $^{12}\text{C}$  и  $^{22}\text{Ne}$  выделены также  $p$ -,  $d$ -,  $t$ -фрагменты ядра-снаряда, сохранившие энергию. Получены соотношения для выхода этих частиц, распределения по импульсу, углу вылета и скоростям  $\pi^{\pm}$  и протонов. Средние импульсы  $\pi$ -мезонов для всех снарядов близки к их значениям в нуклон-нуклонных столкновениях. Показана слабая зависимость импульсов и скоростей мезонов и про-взаимодействовавших протонов от числа нуклонов на их пути в ядре мишени.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Momentum Spectra of Pions and Protons  
in  $p$ ,  $^{12}\text{C}$  and  $^{22}\text{Ne}$  Collisions with Emulsion  
Nuclei at 4.5 A GeV/c

V.A.Leskin, K.D.Tolstov

In inelastic  $p$ ,  $^{12}\text{C}$  and  $^{22}\text{Ne}$  collisions with emulsion nuclei at 4.5 GeV/c per nucleon the shower particles are separated into  $\pi^{\pm}$ -mesons and protons that have undergone inelastic interaction. In the case of  $^{12}\text{C}$  and  $^{22}\text{Ne}$  nuclei, the  $p$ ,  $d$  and  $t$  projectile fragments conserving their energy are also separated. The ratios for the yields of these particles and the momentum, emission angle and rapidity distributions of  $\pi^{\pm}$  and protons have been obtained. The average momenta of  $\pi$ -mesons for all projectiles are close to their values in nucleon-nucleon collisions. A weak dependence of the momenta and rapidities of mesons and interacting protons on the number of nucleons on their way in the target nucleus is shown.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

\* Физико-технический институт АН ТаджССР, Душанбе

В исследовании механизма неупругих столкновений частиц и ядер с ядрами большой интерес представляет изучение импульсных спектров  $\pi^\pm$ -мезонов и протонов. Однако малое различие в ионизационных потерях этих частиц при импульсах более 1 ГэВ/с затрудняет их разделение.

В настоящей работе исследовались неупругие столкновения  $^{12}\text{C}$  и  $^{22}\text{Ne}$  с ядрами фотоэмульсии при импульсе 4,5 А ГэВ/с, где в основном преодолены указанные трудности в разделении  $\pi^\pm$ -мезонов и протонов и получены их импульсные спектры в области  $\beta > 0,75$ .

Экспериментальный материал изложен в работах <sup>1,2,3/</sup> и представляет наборы следов однозарядных частиц с  $\beta > 0,75$ , включающие  $\pi^\pm$ -мезоны и протоны, испытавшие неупругие столкновения, а также однозарядные фрагменты ядер-снарядов  $^{12}\text{C}$  и  $^{22}\text{Ne}$ , сохранившие энергию: p, d, t.

Измерения относительной ионизации, величин  $\rho\beta$  позволили идентифицировать  $\pi^\pm$ -мезоны и протоны на следах с малыми  $\rho\beta$ . Разделение этих частиц в области больших величин  $\rho\beta$  проведено статистически с использованием импульсных спектров  $\pi^\pm$ -мезонов в пр(pн)-столкновениях <sup>4/</sup> и выделением фрагментов ядра-снаряда <sup>3/</sup>.

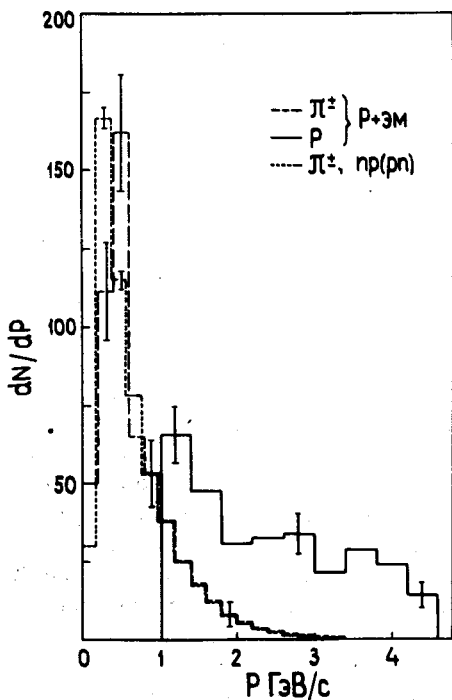


Рис. 1. Импульсные спектры  $\pi^\pm$ -мезонов и протонов-участников.

На рис. 1 представлены импульсные спектры релятивистских  $\pi^\pm$  и протонов, испытавших неупругие столкновения, и точками показан импульсный спектр  $\pi^\pm$ -мезонов из пр-взаимодействий, использованный при процедуре разделения частиц. В табл. 1 даны соотношения выхода этих  $\pi^\pm$ , протонов и фрагментов снаряда — протонов, дейтронов, тритонов для трех пучковых ядер. Из таблицы видно, что с увеличением массы ядра снаряда процентный выход пионов уменьшается, количество протонов-участников изменяется незначительно, выход фрагментов снаряда p, d, t составляет меньшую долю от s-частиц и растет примерно одинаково для частиц каждого типа. Фрагменты большой массы имеют

Таблица 1  
Выход в процентах релятивистских  $\pi^{\pm}$ , протонов-участников и фрагментов ядра-снаряда - p, d, t

$A_p$	$\pi^{\pm}$	p	Фрагменты ядра-снаряда		
			p	d	t
p	65 $\pm$ 6	35 $\pm$ 4	-	-	-
$^{12}\text{C}$	59 $\pm$ 4	27 $\pm$ 3	9 $\pm$ 1	3,7 $\pm$ 1	1,1 $\pm$ 0,4
$^{22}\text{Ne}$	50 $\pm$ 2	32 $\pm$ 2	12 $\pm$ 1	4,8 $\pm$ 1	1,5 $\pm$ 0,4

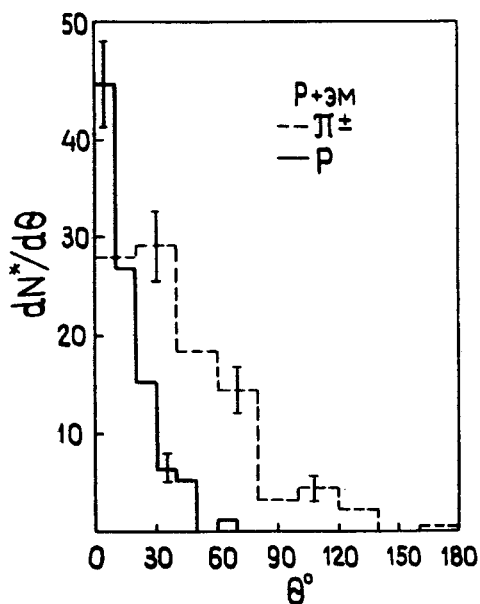


Рис. 2. Распределения  $\pi^{\pm}$  и протонов-участников по углу вылета.

протон-участник /частицы с  $\beta > 0,75$ / снижается при замене ядер-снарядов во взаимодействиях  $^{12}\text{C}$  на ядра  $^{22}\text{Ne}$ .

В табл. 3 представлены средние характеристики спектров  $\pi^{\pm}$  и протонов-участников для групп событий с  $N_h < 7$  и  $N_h > 7$ .  $N_h$  - число частиц из ядра-мишени. События с  $N_h < 7$  соответствуют взаимодействиям с легкими ядрами фотоэмульсии H, C, N, O и периферическим взаимодействиям с тяжелыми ядрами Ag и Br, а с  $N_h > 7$  - остальным взаимодействиям на этих ядрах. В табл. 4 даны те же характеристики для групп событий с разным числом Q, равным суммарно-

меньший выход. Угловые распределения  $\pi^{\pm}$ -мезонов и протонов даны на рис. 2.

Распределения  $\pi^{\pm}$ -мезонов и протонов по импульсу, поперечному импульсу и продольной скорости  $u$ , представленные на рис. 3, 4, 5, выявляют их сходство для всех снарядов. При этом средние импульсы пионов  $\langle P_\pi \rangle$ , а также протонов, практически одинаковы /табл. 2/, и величины  $\langle P_\pi \rangle$  близки к соответствующим значениям в пр(рр)-взаимодействиях.

Средняя скорость пионов растет, приближаясь к скорости протонов, с увеличением "А" снаряда, в то время как спектры протонов устойчивы в этом отношении. Среднее число рожденных  $\pi^{\pm}$ -мезонов на один

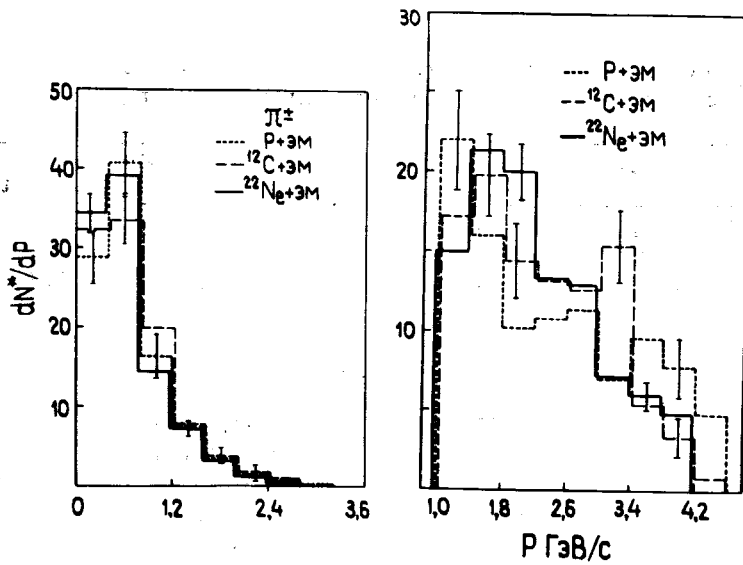


Рис. 3. Импульсные спектры  $\pi^{\pm}$ -мезонов и протонов-участников во взаимодействиях  $p$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{22}\text{Ne}$  с ядрами фотоэмulsionи.

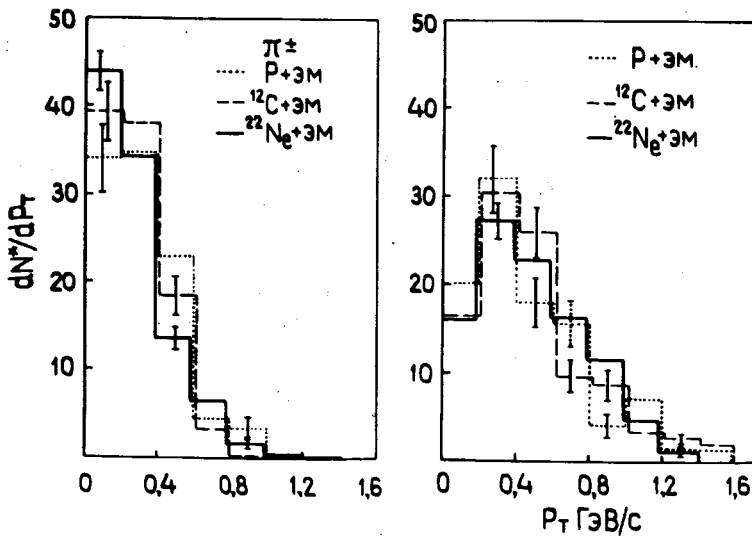


Рис. 4. Распределения  $\pi^{\pm}$  и протонов по поперечному импульсу.

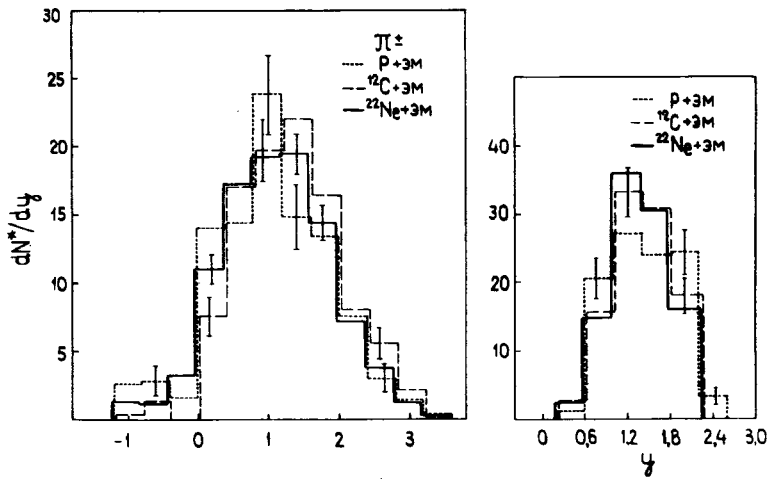


Рис. 5. Распределения  $\pi^{\pm}$  и протонов по быстроте.

Таблица 2

Средние характеристики спектров  $\pi^{\pm}$  и протонов

$A_p, P_p$	$p, 4,5$ ГэВ/с	$^{12}\text{C}, 4,5 \cdot A$ ГэВ/с	$^{22}\text{Ne}, 4,1 \cdot A$ ГэВ/с
$\langle P_{\pi} \rangle$	$690 \pm 40$	$730 \pm 30$	$650 \pm 20$
$\langle P_p \rangle$	$2370 \pm 100$	$2260 \pm 80$	$2190 \pm 50$
$\langle \theta_{\pi} \rangle$	$41 \pm 2$	$33 \pm 1,5$	$38 \pm 1$
$\langle \theta_p \rangle$	$15 \pm 1$	$15 \pm 1$	$16 \pm 1$
$\langle y_{\pi} \rangle$	$1,07 \pm 0,06$	$1,27 \pm 0,04$	$1,14 \pm 0,03$
$\langle y_p \rangle$	$1,43 \pm 0,04$	$1,4 \pm 0,04$	$1,36 \pm 0,02$
$\langle P_{\pi T} \rangle$	$320 \pm 16$	$280 \pm 10$	$280 \pm 10$
$\langle P_{pT} \rangle$	$470 \pm 30$	$490 \pm 30$	$500 \pm 20$
$N_{\pi}/N_p$	$1,9 \pm 0,2$	$2,2 \pm 0,2$	$1,6 \pm 0,1$
<b>B np(pn)</b>			
$\langle P_{\pi} \rangle$	$700 \pm 6$	$700 \pm 6$	$620 \pm 5$

Таблица 3

Средние характеристики спектров  $\pi^+$  и протонов в зависимости от Nh

A p' P p	P, 4,5 ГэВ/с			$^{12}\text{C}$ , 4,5·A ГэВ/с			$^{22}\text{Ne}$ , 4,1·A ГэВ/с		
	$\leq 7$	$> 7$	Nh	$\leq 7$	$> 7$	Nh	$\leq 7$	$> 7$	Nh
$\langle P_\pi \rangle$	$710 \pm 40$	$660 \pm 70$	$790 \pm 50$	$700 \pm 30$	$740 \pm 30$	$620 \pm 30$	$740 \pm 30$	$740 \pm 30$	$620 \pm 30$
$\langle P_p \rangle$	$2480 \pm 100$	$2030 \pm 150$	$2440 \pm 100$	$2150 \pm 100$	$2390 \pm 60$	$2070 \pm 60$	$2390 \pm 60$	$2390 \pm 60$	$2070 \pm 60$
$\langle \theta_\pi \rangle$	$40 \pm 2,5$	$46 \pm 5$	$32 \pm 2,5$	$33 \pm 2$	$27 \pm 2$	$43 \pm 2$	$27 \pm 2$	$27 \pm 2$	$43 \pm 2$
$\langle \theta_p \rangle$	$14 \pm 1$	$22 \pm 3$	$10 \pm 1$	$17 \pm 1,5$	$12 \pm 1$	$18 \pm 1$	$12 \pm 1$	$12 \pm 1$	$18 \pm 1$
$\langle y_\pi \rangle$	$1,12 \pm 0,07$	$0,93 \pm 0,1$	$1,33 \pm 0,07$	$1,24 \pm 0,05$	$1,45 \pm 0,05$	$1,02 \pm 0,04$	$1,45 \pm 0,05$	$1,45 \pm 0,05$	$1,02 \pm 0,04$
$\langle y_p \rangle$	$1,48 \pm 0,05$	$1,2 \pm 0,07$	$1,53 \pm 0,04$	$1,32 \pm 0,05$	$1,5 \pm 0,03$	$1,29 \pm 0,03$	$1,5 \pm 0,03$	$1,5 \pm 0,03$	$1,29 \pm 0,03$
$\langle P_{\pi T} \rangle$	$310 \pm 20$	$350 \pm 40$	$280 \pm 15$	$280 \pm 15$	$240 \pm 10$	$290 \pm 10$	$280 \pm 15$	$240 \pm 10$	$290 \pm 10$
$\langle P_{pT} \rangle$	$420 \pm 30$	$670 \pm 80$	$390 \pm 30$	$560 \pm 50$	$430 \pm 20$	$540 \pm 25$	$560 \pm 50$	$430 \pm 20$	$540 \pm 25$
$N_\pi/N_p$	$1,7 \pm 0,2$	$2,5 \pm 0,6$	$1,8 \pm 0,3$	$2,4 \pm 0,4$	$1,2 \pm 0,1$	$1,8 \pm 0,2$	$1,2 \pm 0,1$	$1,2 \pm 0,1$	$1,8 \pm 0,2$

Таблица 4

Средние характеристики спектров  $\pi^{\pm}$  и протонов  
в зависимости от  $Q$

$A_p, P_p$	$^{12}\text{C}, 4,5 \cdot A \text{ ГэВ/с}$		$^{22}\text{Ne}, 4,1 \cdot A \text{ ГэВ/с}$	
$Q$	$0 \div 1$	$4 \div 6$	$0 \div 2$	$7 \div 10$
$\langle P_{\pi} \rangle$	$720 \pm 40$	$770 \pm 70$	$600 \pm 40$	$690 \pm 40$
$\langle P_p \rangle$	$2220 \pm 100$	$2360 \pm 150$	$2020 \pm 90$	$2340 \pm 70$
$\langle \theta_{\pi} \rangle$	$33 \pm 2$	$35 \pm 5$	$44 \pm 2$	$32 \pm 2$
$\langle \theta_p \rangle$	$16 \pm 1,5$	$10 \pm 1$	$18 \pm 1,6$	$12 \pm 1$
$\langle y_{\pi} \rangle$	$1,26 \pm 0,05$	$1,24 \pm 0,13$	$0,98 \pm 0,06$	$1,3 \pm 0,06$
$\langle y_p \rangle$	$1,36 \pm 0,05$	$1,48 \pm 0,06$	$1,27 \pm 0,05$	$1,48 \pm 0,03$
$\langle P_{\pi T} \rangle$	$280 \pm 15$	$270 \pm 20$	$280 \pm 15$	$245 \pm 15$
$\langle P_{p T} \rangle$	$550 \pm 50$	$350 \pm 30$	$530 \pm 30$	$410 \pm 30$
$N_{\pi}/N_p$	$2,4 \pm 0,4$	$1,7 \pm 0,4$	$1,9 \pm 0,3$	$1,3 \pm 0,2$

му заряду фрагментов снаряда. События с малыми  $Q$  соответствуют центральным, а с большими  $Q$  - периферическим взаимодействиям /5/.

Из анализа таблиц 2, 3, 4 следует, что при переходе от столкновений с тяжелой компонентой к столкновениям с легкой компонентой эмульсии проявляются следующие свойства:

- средние импульсы частиц незначительно возрастают;
- наблюдается усиление коллимации и соответствующее возрастание средних быстрот;
- наблюдается снижение числа рожденных пионов на один провзаимодействовавший протон ( $N_{\pi}/N_p$ ).

Средние импульсы протонов-участников практически не зависят от массы ядра-снаряда и уменьшаются только в пределах 10% при переходе от  $Nh < 7$  к остальным событиям. В  $p, ^{12}\text{C}, ^{22}\text{Ne}$  взаимодействиях с ядрами фотозэмульсии и элементарных  $pp(p\bar{p})$  - столкновениях средние импульсы  $\pi^{\pm}$ -мезонов близки по величине.

Сопоставление импульсных спектров частиц для периферических и условно-центральных столкновений  $p, ^{12}\text{C}$  и  $^{22}\text{Ne}$  с ядрами фотозэмульсии при едином методическом подходе позволяет сделать заключение о незначительной зависимости импульсов  $\pi^{\pm}$ -мезонов и протонов от числа нуклонов на

пути вторичных частиц. В соответствии с работой<sup>/6/</sup> это указывает на возможное проявление "длины формирования", необходимой для генерации пионов и восстановления собственной структуры протонов. Этот вывод аналогичен заключению в обзоре<sup>/7/</sup>: "... несущественность для кумулятивного рождения /в первом приближении/ эффектов поглощения в веществе ядра первичной волны и рожденных частиц".

### *Литература*

1. Банник Б.П. и др. ОИЯИ, Р1-13055, Дубна, 1980.
2. Карабова М. и др. ОИЯИ, Р1-83-14, Дубна, 1983.
3. Шабратова Г.С. и др. ОИЯИ, Р1-86-303, Дубна, 1986.
4. Абдивалиев А. и др. ОИЯИ, Р1-82-507, Дубна, 1982.
5. Вокалова А. и др. ОИЯИ, Р1-86-8, Дубна, 1986.
6. Фейнберг Е.Л. УФН, 1980, т.132, вып. 2, с.255.
7. Ставинский В.С. ЭЧАЯ, 1979, т.10, вып. 5, с.949.

Рукопись поступила 16 июня 1986 года.